ГОДИШНИК НА МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”

Том 66

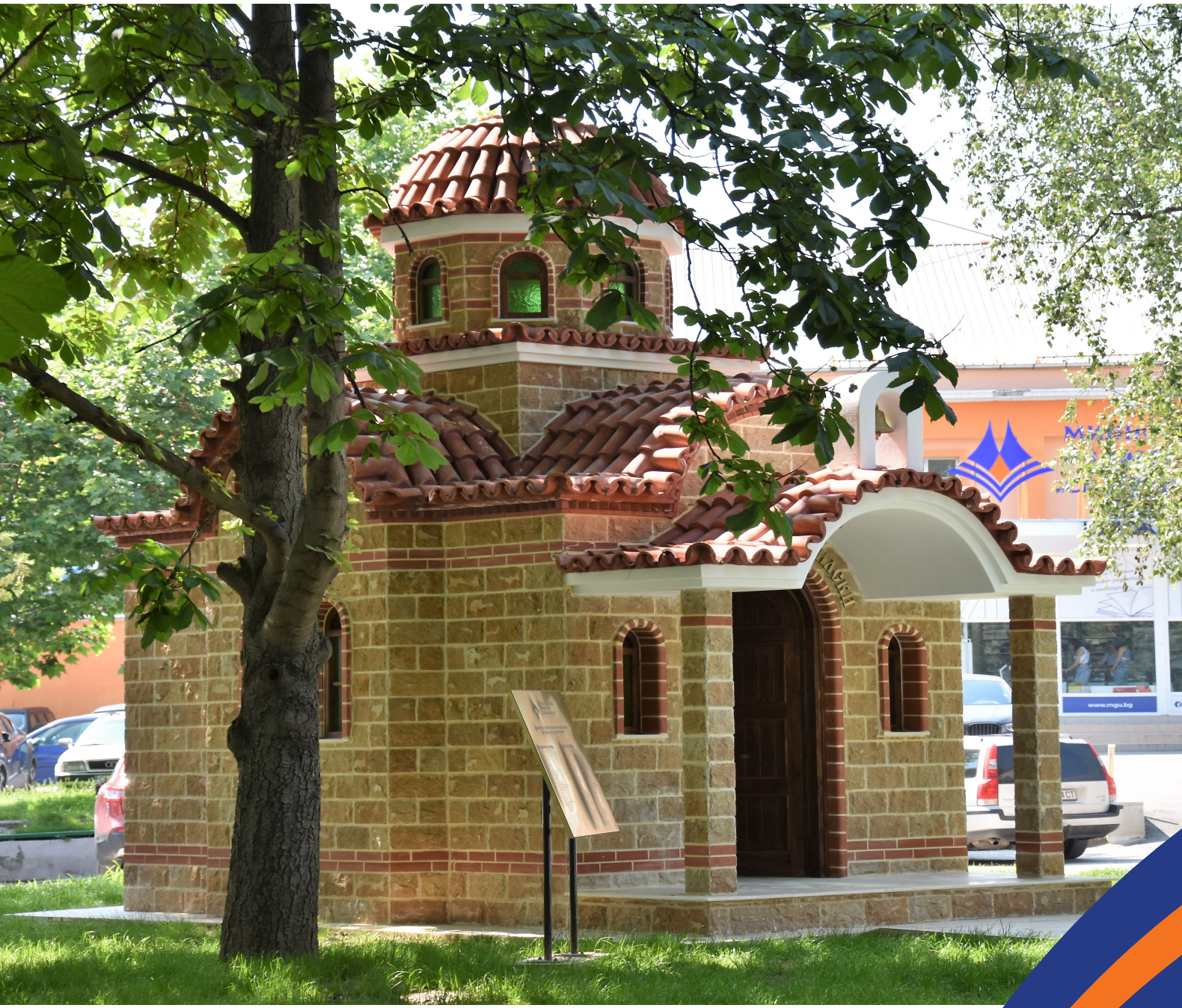
МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

ANNUAL OF UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY “ST. IVAN RILSKI”

Volume 66

София 2023

Sofia 2023



ГОДИШНИК

НА

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ

„СВ. ИВАН РИЛСКИ“ – СОФИЯ

ТОМ 66

ANNUAL

OF

UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY

“ST. IVAN RILSKI” – SOFIA

VOLUME 66

2023

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

Доц. д-р Мариана Трифонова – главен редактор
Проф. дгн Стефан Димовски
Проф. д-р Маринела Панайотова
Доц. д-р Борис Вълчев
Доц. д-р Евгения Александрова
Доц. д-р Ясен Горбунов
Доц. д-р Николай Янев
Гл. ас. Милена Първанова – стилов редактор английски език

Инж. Костадинка Конакчийска – секретар

EDITORIAL BOARD

Assoc. Prof. Dr. Mariana Trifonova – Editor-in-Chief
Prof. D.Sc. Stefan Dimovski
Prof. Dr. Marinela Panayotova
Assoc. Prof. Dr. Boris Valchev
Assoc. Prof. Dr. Evgeniya Aleksandrova
Assoc. Prof. Dr. Yassen Gorbounov
Assoc. Prof. Dr. Nikolay Yanev
Chief Assist. Prof. Milena Purvanova – English Editor

Eng. Kostadinka Konakchiyska – Secretary

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“
1700 София, България
ул. „Проф. Боян Каменов“ 1
http://www.mgu.bg

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”,
1, Prof. Boyan Kamenov Str.,
1700 Sofia, Bulgaria

ISSN 2738-8808 (print)
ISSN 2738-8816 (online)

Издателска къща „Св. Иван Рилски“, София, 2023
Publishing House “St.Ivan Rilski”, Sofia, 2023

СЪДЪРЖАНИЕ

CONTENTS

СЕКЦИЯ ДОБИВ И ПРЕРАБОТКА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ
SECTION MINING AND MINERAL PROCESSING

Ангелов, А., М. Лечева. Влияние на дължината на вълната върху ефективността на подпомогната от микроалги микробна горивна клетка **11**
Angelov, A., M. Lecheva. Impact of light wavelength on the performance of an algae-assisted microbial fuel cell

Ангелов, Т., Ив. Вълчанова. Охарактеризиране и предварително експериментално изследване за излужване на оксидна медна руда **16**
Angelov, T., Iv. Valchanova. Characterisation and preliminary experimental study on leaching of copper oxide ore

Вацкичева, М., Пл. Савов, К. Величкова, Н. Колев, Д. Димитров. Експериментално и теоретично изследване на дисперсията на фини прахови частици около точков и линеен източници **20**
Vatzkitcheva, M., Pl. Savov, K. Velichkova, N. Kolev, D. Dimitrov. Experimental and theoretical study of the dispersion of particulate matter around a point and line source

Вълчанова, Ив., Т. Ангелов. Приложения на процеса на течна екстракция за извличане на цинк от вторични материали **25**
Valchanova, Iv., T. Angelov. Applications of solvent extraction to recover zinc from secondary materials

Грозданова, В., П. Величкова. Физикохимично и бактериално-морфологично охарактеризиране на млечнокисели продукти **30**
Grozdanova, V., P. Velichkova. Physicochemical and bacterial-morphological characterisation of dairy products

Димитров, Л., Ив. Копрев. Възможности за подобряване на дренажните системи и устойчивостта при комбинираните съоръжения за депониране на минни отпадъци **34**
Dimitrov, L., Iv. Koprev. On the possibilities for improving drainage systems and safety factor with combined mine waste dump facilities

Иванова, М., А. Йочев. Технология за производство на пелети във фирма „Аксел Трейд 2009“ ЕООД **38**
Ivanova, M., A. Yochev. Technologie for the production of pellets in the *Axel Trade 2009 Ltd.* company

Кайков, Д., Кр. Арсова-Борисова, К. Куцаров. Изследване на основните фактори, определящи рентабилността на крайния контур на открит рудник, чрез планиране на експеримента **43**
Kaykov, D., Kr. Arsova-Borisova, K. Kutsarov. A design of experiments approach for establishing key factors determining the profitability of ultimate pit limits

Колев, Д. Възможност за намаляване на емисиите на парникови газове чрез превръщане на твърдите битови отпадъци в енергия **53**
Kolev, D. An opportunity to reduce greenhouse gases by turning municipal solid waste to energy

Кърцелин, Е., Ст. Топалов, Ив. Марков, Щ. Щерев, Р. Биков. Използвани решения, етапи на строителство, постижения и проблеми при подземния въгледобив в рудник „Бабино“, мини „Бобов дол“ **57**
Kartzelin, E., St. Topalov, Iv. Markov, S. Shterev, R. Bikov. Solutions, construction stages, achievements and problems in underground coal production in the *Babino* mine, *Bobov dol* mines

Петров, П. Оценка на процесите на възстановяване в рекултивирани насипища от добива медни руди **63**
Petrov, P. Assessment of restoration processes in reclaimed copper ore mining embankments

Терзийски, Д., Д. Кайков. Симулация на товаропотоците минна маса в кариера за строителни материали **69**
Terziyski, D., D. Kaykov. A simulation of the materials flow in a quarrying operation

Трифонова-Генова, В., Г. Тонкова. Напрежения около хоризонтална кръгова изработка, преминаваща през два изотропни пласта **74**
***Trifonova-Genova, V., G. Tonkova*.** Stresses around a horizontal circular opening passing through two isotropic layers

Янкова, Т. Веществен състав на смесен тип сулфидно-оксидни руди от меднопорфирно находище **78**
Yankova, T. Material composition of mixed type sulphide-oxide ores from a porphyry-copper deposit

Янкова, Т. Технологични изследвания по обогатимост на сулфидна руда за получаване на молибденов концентрат **83**
Yankova, T. Sulphide ore beneficiation to obtain molybdenum concentrate – technological investigations

Янкова, Т., ***И. Григорова*.** Физико-механични свойства на смесен тип сулфидно-оксидна руда от меднопорфирно находище **87**
Yankova, T., I. Grigorova. Physico-mechanical properties of a mixed-type sulphide-oxide ore from a porphyry-copper deposit

СЕКЦИЯ ДОБИВ НА ЕНЕРГИЙНИ СУРОВИНИ

SECTION EXTRACTION OF ENERGY RESOURCES

Бояджиев, М., О. Влайкова, Т. Христова. Възможности за използване на водород в газоразпределителните мрежи в сегмента зелена енергия **93**
Boyadjiev, M., O. Vlaykova, T. Hristova. Possibilities for the use of hydrogen in the natural gas distribution networks in the green energy segment

Георгиев, Л., В. Митков. Перспективи и възможности за повишаване на капацитета за съхраняване на природен газ в подземни газохранилища в Република България **99**
Georgiev, L., V. Mitkov. Prospects and opportunities for increasing the capacity for natural gas storage in underground gas storage facilities in the Republic of Bulgaria

Караджов, М. Перспективи и възможности за повишаване на ефективността и надеждността на битовите газови инсталации за природен газ чрез използване на нови съвременни газови тръби и фитинги **104**
Karadjov, M. Prospects and opportunities for increasing the efficacy and safety of domestic natural gas installations by using new up-to-date gas pipes and fittings

Крайчев, Е. Изследване и опитно определяне на коефициента на мощността на нов тип разбъркващо устройство „КС – 3.1 ПМ“ **109**
Kraychev, E. Research and experimental determination of the power coefficient of a new type of mixing device: *KS - 3.1 PM*

Радев, Ю., М. Бояджиев. Технико-икономически анализ на производството на водород от морска вода **113**
Radev, Y., M. Boyadzhiev. Feasibility analysis of hydrogen production from seawater

Христов, Л., М. Бояджиев. Определяне на параметрите на горивен процес на смес на природен газ и водород **119**
Hristov, L., M. Boyadzhiev. Determining the parameters of the combustion process of a mixture of natural gas and hydrogen

Янев П., Л. Георгиев, Р. Кулев. Оптимизация на добива от нефтени сондажи, оборудвани с дълбочинни щангови помпи **123**
Yanev P., L. Georgiev, R. Kulev. Production optimisation of oil wells equipped with sucker rod pumps

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИЯ И ПРОУЧВАНЕ НА МИНЕРАЛНИ И ЕНЕРГИЙНИ РЕСУРСИ

SECTION GEOLOGY AND EXPLORATION OF MINERAL AND ENERGY RESOURCES

Божинова–Попова, Ина. Относно някои проблеми при мониторинга на подземни и противосвлачищни конструкции **129**
Bozhinova-Popova, Ina. Some issues with the monitoring of underground and landslide supporting structures

Божинова–Попова, Ина, Е. **Малинкова.** Инженерногеоложки и хидрогеоложки условия и методи за отводняване и фундиране на сграда в близост до воден басейн **134**
Bozhinova-Popova, Ina, E. Malinkova. Engineering geological and hydrogeological conditions and methods for draining and constructing building foundation near a water basin

Вълчев, Б., Г. Ангелов. Пясъчните пирамиди при с. Банище, Брезнишко (Западна България) – един непознат български геотоп **138**
Valchev, B., G. Angelov. The sand pyramids near the village of Banishte, the district of Breznik (Western Bulgaria) – an unknown Bulgarian geosite

Димитров, Ив., Д. Съчков. Специален случай на механична нестабилност в северния склон на Рила планина в Югозападна България. Описание на процесите и социална значимост **144**
Dimitrov, I., D. Sachkov. A special case of mechanical instability in the northern slope of the Rila Mountain in Southeast Bulgaria. Description of the processes and social significance

Кисьов, А., Хр. Цанков, Г. Георгиева. Комплексно практическо обучение по геофизика и геология за студенти, допълващо обучението в университета **150**
Kisyov, A., Ch. Tzankov, G. Georgieva. A comprehensive practical training in geophysics and geology for students supplements the studies at the university

Климентов, С., К. Русков, К. Попов, Ив. Маринов. Геохимични асоциации в находище „Седефче“, България **154**
Klimentov, S., K. Ruskov, K. Popov, I. Marinov. Geochemical associations in the Sedefche ore deposit, Bulgaria

Маринова, К., Ст. Приставова. Минералого-петрографски особености на керамика от ранно желязната епоха, Кърджалийско, източни Родопи **159**
Marinova, K., St. Pristavova. Mineral-petrographic particularity of ceramics from the Early Iron Age, the Kardzhali area, the Eastern Rhodopes title

Попов, К. Херцинска постколизионна металогения на България **163**
Popov, K. Hercynian post-collisional metallogeny of Bulgaria

Ризова, Р., В. Николова. Кално-каменни потоци във водосбора на река Боровица, източни Родопи **171**
Rizova, R., V. Nikolova. Debris flows in the watershed of the Borovitsa River, the Eastern Rhodopes

Савов, П., Р. Паздеров, П. Петров. Изследване на топлопроводността в зависимост от зърнометричния състав на изолиращия слой **177**
Savov, P., R. Pazderov, P. Petrov. Research on thermal conductivity depending on the particle size composition of the insulating layer

Томова, М. Възможности на геофизичните методи за мониторинг на интегрирано съоръжение за минни отпадъци **180**
Tomova, M. Possibilities of geophysical methods for monitoring an integrated mine waste facility

Цанков, Хр., А. Кисьов, Я. Иванов. Прилагане на геофизични методи за търсене и локализиране на зарити невзривени боеприпаси в района на ж.к. Тракия, гр. Пловдив **186**
Tzankov, Ch., A. Kisyov, Y. Ivanov. Application of a geophysical methods for searching and locating buried unexploded ordnance in the area of the *Trakiya* living estate, the town of Plovdiv

СЕКЦИЯ **МЕХАНИЗАЦИЯ, ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МИНИТЕ**
SECTION **MECHANISATION, ELECTRIFICATION, AND AUTOMATION OF MINES**

Вучева, Р., ***В. Трифонова–Генова.*** Напрежения около кръгова хоризонтална изработка прокарана в напукан скален масив **195**
Vucheva, R., V. Trifonova–Genova. Stresses around a circular horizontal opening driven in cracked rock mass

Георгиев, Ст. Статистически анализ на пукнатини и дефекти по носещите стоманени конструкции на роторните багери тип SRs 2000 със значително изразходван ресурс **199**
Georgiev, St. Statistical analysis of cracks and defects on the bearing steel structures of the SRs 2000 type bucket wheel excavators with a significantly used resource

Горбунов, Я., Й. Бекяров, Н. Лаков. Елементи от управлението на лабораторен макет на делта робот **203**
Gorbounov, Y., Y. Bekyarov, N. Lakov. Control elements of a delta robot laboratory model

Дурчев, В., Ив Минин. Основни параметри при рязането на мрамор, гранит, варовик, технически камък, керамика и порцелан посредством дискове с диамантени сегменти **208**
Durchev, V., Iv. Minin. Main parameters of cutting marble, granite, limestone, technical stone, ceramics, and porcelain by the use of diamond segmented disks

Дрънков, Ив., Р. Нешева. Удостоверяване на географско местоположение: подобряване на сигурността чрез използване на изтекли данни **212**
Drankov, Iv., R. Nesheva. Geo-location authentication: improving security using data leaks

Джустров, К., Ж. Илиев. Изследване на пускови характеристики на гумено лентов транспортьор за условията на открит рудник **216**
Dzhustrov, K., Zh. Iliev. Study of starting characteristics of a rubber belt conveyor for open-pit conditions

Зъбчев, А. Изчисляване на двупроводна линия чрез моделиране с квадрати от съпротивления **220**
Zabchev, A. Calculation of a two-wire line through modelling squares of resistances

Иванова, М. Напрежения по контура на кръгова изработка в трансверзално-изотропен масив **224**
Ivanova, M. Contour stresses of a circular opening in a transversely isotropic rock mass

Иванова, Н. Класификация на основните методи за анализи на данни в индустрията **228**
Ivanova, N. Classification of basic methods for data analysis in industry

Илиев И., Д. Делчева, Р. Йорданов. Минимални загуби на електрическа енергия в процеса на експлоатация на силов трансформатор **233**
Iliev I., D. Delcheva, R. Jordanov. Minimal loss of electrical energy in the operation process of a power transformer

Камински, П. Киберсигурност при разплащания **236**
Kaminsky, P. Cybersecurity in payments

Камински, П. Ефектът на квантовите компютри върху сигурността на картовите разплащания **240**
Kaminsky, P. The effect of quantum computers on card payments security

Лаков, Н., Д. Делчева. Изследване на електроенергийната ефективност при проветряване на глуха минна изработка с уредба за местно проветряване **244**
Lakов, N., D. Delcheva. Research of the electrical efficiency of dead-end ventilation with a local ventilation system

Лаков, Н., Д. Делчева, И. Илиев. Изследване на натоварването на електродвигателите на гумено-транспортна лента **249**
Lakov, N., D. Delcheva, I. Iliev. Study of the loading of electric motors on a rubber conveyor belt

Недялков, П. Методика и анализ на надеждността на задвижващите групи и станции за гумено-лентови транспортьори **252**
Nedyalkov, P. Methods and analysis of the reliability parameters for driver groups and stations for belt conveyors

Недялков, П., С. Савов. Модален анализ на задвижващата станция за гумено-лентов транспортьор **258**
Nedyalkov, P., S. Savov. Modal analysis for the driver station of a belt conveyor y

Переновски, Н. Относно повишаване на ефективността на работа на диагоналните вентилатори **264**
Perenovski, N. On increasing the efficiency of operation of mixed-flow fans

Синилков, П. Транспортна дейност на совалките при добив на полезни изкопаеми от космически тела **267**
Sinilkov, P. Transport activity of shuttles in the extraction of minerals from cosmic bodies

Синилков, П. Някои възможности на транспортните средства при добива на полезни изкопаеми от космически тела **271**
Sinilkov, P. Some opportunities of vehicles in the extraction of minerals from space bodies

Станчев, Ст., Ст. Георгиев. Теоретичен анализ за оптимизиране на натегателна станция на лентов транспортьор на багер SRs 2000 **274**
Stanchev, St., St. Georgiev. Theoretical analysis for the optimisation of the belt conveyor tensioning station of an SRs 2000 excavator

Тасев, Л. Методика за оразмеряване на кормилното управление на съчленени пневмо-колесни транспортни средства **280**
Tasev, L. Methods for calculating the steering of articulated pneumatic-wheeled vehicles

Шейретов, Хр. Сравняване на различните видове задвижване на лентовите транспортьори **284**
Sheiretov, Hr. Comparison of different types of drive of the belt conveyors

СЕКЦИЯ УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА МИНЕРАЛНО-СУРОВИННАТА ИНДУСТРИЯ
SECTION SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE MINERAL RESOURCES INDUSTRY

Антонов, Й. Иновации за безопасност и здраве при работа за устойчиво развитие в индустрията **293**
Antonov, Y. Innovations in occupational safety and health for sustainable development in industry

Владкова, Бл., Н. Костадинова. Проучване на типа и продължителността на заетост в различни отрасли в България за периода 2019–2022 г. **299**
Vladkova, Bl., N. Kostadinova. Study of employment type and duration in various industries in Bulgaria for the period 2019–2022

Гълъбова, Б., Димов Е. Предприемачеството като ключова компетентност в контекста на кариерното развитие и придобиването на умения за заетост **306**
Galabova, B., E. Dimov. Entrepreneurship as a key competence in the context of the career development and acquisition of employability skills

Димитрова, В. Преход към дигитално счетоводство за устойчиво финансово управление при неустойчив добив на енергийни ресурси **312**
Dimitrova, V. Transfer to digital accounting for sustainable financial management in unsustainable extraction of energy resources

Митев, В. Динамичен детерминиран факторен анализ на производителността на труда в българската минната индустрия **318**
Mitev, V. Dynamic deterministic factor analysis of labour productivity in the Bulgarian mining industry

Митев, В. Анализ на търсенето, предлагането и цените на суров петрол за периода 2010 ÷ 2022 г. **323**
Mitev, V. Analysis of the demand, supply, and prices of crude oil for the period 2010 ÷ 2022

Петрова, В. Влияние на индустриалните революции в прехода от линейна към кръгова икономика **328**
Petrova, V. The impact of the industrial revolutions in the transition from linear to circular economy

Първанова, М., М. Евгениев. Приложение на обучението на преподаватели от МГУ „Св. Иван Рилски“ в модул по дидактика при оценяване на знанията **333**
Purvanova, M., M. Evgeniev. Application in assessment of the training of trainers from the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski” in a module on Didactics

Ставрева, Ив. Професионално значими личностни характеристики за инженерите в миннодобивната промишленост **339**
Stavreva, Iv. Professionally significant personality characteristics for engineers in the mining industry

Трифонова, Б. Интегриране на традиционния и дигиталния маркетинг в съвременните икономически условия **343**
Trifonova, B. Integrating traditional and digital marketing in present-day economic conditions

Цолова, В. Защо йога трябва да се изучава в часовете по физическо възпитание и спорт в българските университети? **347**
Tzolova, V. Why should yoga be studied in physical education and sport classes in Bulgarian universities?

СЕКЦИЯ

ДОБИВ И ПРЕРАБОТКА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ

SECTION

MINING AND MINERAL PROCESSING

IMPACT OF LIGHT WAVELENGTH ON THE PERFORMANCE OF AN ALGAE-ASSISTED MICROBIAL FUEL CELL

Anatoliy Angelov, Marta Lecheva

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: tonyagev@mgu.bg

ABSTRACT. In a combined system of the photobioreactor (PBR) and microbial fuel cell support (MFC), studies have been carried out to establish the influence of the light's wavelength on the fuel cell's performance. LED light sources have been used for this purpose at 5 different wavelengths, with maximum - blue (469 nm), green (520 nm), yellow (604 nm), orange (629 nm), and red (659 nm), respectively. The influence of the dissolved oxygen concentration in the cathode zone of MFC has been detected, depending on the wavelength of the aerobic photosynthesis process of microalgae dominated by Scenedesmus sp. The growth curves of the micro-algae are established by the change in optical density and biomass quantity, at different wavelengths, while also tracing the influence on the electrochemical parameters of MFC. The maximum power density values established (26.5 mW/m^2) and current density (78.3 mA/m^2) in the fuel cell show a clear correlation between dissolved oxygen concentration, cathode potential, and wavelength of the light source.

Keywords: algae, microbial fuel cell, oxygenic photosynthesis, bioenergy.

ВЛИЯНИЕ НА ДЪЛЖИНАТА НА ВЪЛНАТА ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ПОДПОМОГНАТА ОТ МИКРОАЛГИ МИКРОБНА ГОРИВНА КЛЕТКА

Анатолий Ангелов, Марта Лечева

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В комбинирана система на фотобиореактор (ФБР) и подпомогната от микроалги микробна горивна клетка (МГК), са проведени изследвания за установяване на влиянието на дължината на вълната на светлината върху ефективността на горивния елемент. За целта са използвани LED източници на светлина при 5 различни дължини на вълната, с максимуми съответно – синя (469 nm), зелена (520 nm), жълта (604 nm), оранжева (629 nm) и червена (659 nm). Установено е влиянието на концентрацията на разтворен кислород в катодната зона на MFC в зависимост от дължината на вълната при процеса на аеробна фотосинтеза на микроалги, доминирани от Scenedesmus sp. Растежните криви на микроалгите са установени чрез промяната на оптичната плътност и количеството на биомасата, при различни дължини на вълната, като едновременно с това е проследено и влиянието върху електрохимичните параметри на МГК. Максималните стойности на плътността на мощността (26.5 mW/m^2) и тока (78.3 mA/m^2) в горивната клетка, показват ясно изразена корелация, между концентрацията на разтворен кислород, катодния потенциал и дължината на вълната на светлинния източник.

Ключови думи: микроводорасли, микробни горивни клетки, оксигенна фотосинтеза, биоенергия.

Introduction

The use of renewable and net-zero energy sources is one way to reduce the impact of greenhouse gases on the environment. Microalgae are very efficient converters of solar energy into biomass, having some significant advantages over plants, such as requiring less space, having higher growth rates, and accumulating significantly more biomass (Jones and Mayfield, 2012). Microalgae are also attracting considerable interest for the various possible applications related to sustainable environmental management. Such applications are: the use of microalgae for biomass production and valuable value-added substances (Fabris et al., 2020; Liu et al., 2021), wastewater treatment of nitrogen and phosphorus compounds (Nguyen et al., 2022), biofuel production (Hartman, 2008), carbon capture from waste gases (Onyeaka et al., 2021), etc.

Incorporation of microalgae into microbial fuel cells (MFCs) is an innovative concept which provides new opportunities for obtaining additional energy when combining aerobic and/or anaerobic photosynthesis with other microbial processes occurring in the anode or cathode zone of bioelectrochemical systems (Khandelwal et all., 2023). In MFC, microalgae are used in 2 variants: algae-assisted MFC (AMFC) and photosynthetic MFC (PMFC) (Zhang et al., 2019). The microbial fuel cell technology was developed for energy generation and pollutant removal based on the metabolism of electroactive microorganisms. Microorganisms oxidise a substrate in the anode chamber in the MFC, and electrons generated in the biological process are transferred to the anode and then pass through an external circuit to the cathode. Oxygen as an oxidant receives the electrons on the cathode and is transformed into water (Logan et all., 2006). However, the actual application of MFCs is limited by the low power and high material and maintenance costs of the fuel cell (Kannan and Donnellan, 2021). However, the interest of the global scientific community in MFCs and related other bioelectrochemical systems has grown significantly over the past 10 years (Elshobary et al., 2021). One possible approach to optimise the processes in

MFCs is the use of oxygen microalgae in the cathode zone of the MFC. Microalgae introduced into the cathode chamber of the MFC convert light energy and CO_2 through photosynthesis into chemical energy and produce oxygen. Higher oxygen concentration in the cathode chamber can save the cost of additional aeration in the catalyst and is a prerequisite for obtaining higher cathode potential and power of the MFC (Kannan and Donnellan, 2021).

The effect of light intensity and wavelength on the accumulation of microalgal biomass depends on the particular species and environmental factors. Microalgae use light wavelengths from 400 to 700 nm for the process of photosynthesis, and depending on the species, microalgae absorb different wavelengths. Growth is accelerated by increasing light intensity to a point that varies depending on the microalgae species (Metsoviti at., 2019). Photoinhibition can be caused by high light intensity beyond the saturation point (Difusa et all., 1016). On the other hand, there is also a clear correlation between the intensity of microalgal development and dissolved oxygen levels in the medium. Oxygenic microalgae introduced into the cathode zone of the fuel cell can provide significant concentrations of dissolved oxygen, which is the preferred electron acceptor in electron transfer (Khandelwal et al., 2023)

To this moment, to optimise the cathode potential of oxygenated microalgae-assisted microbial fuel cells, the influence of wavelength on the oxygen concentration in the catholyte has been insufficiently investigated. An example of typical oxygenic microalgae is Scenedesmus sp., which are among the most common types of microalgae found in both natural and wastewater (Ortiz-Betancur et al., 2022). At the same time, they are also among the frequently applied species in the cathode zones of MFCs (Elshobary et al., 2021).

A major objective of the study was to determine the influence of the wavelength of the light source on the oxygen capacity of the studied microalgae in the cathode zone of the MFC. One of the most important tasks is tracking the technological parameters of an algae-assisted microbial fuel cell, to establish the optimal conditions for energy extraction and biomass production.

Materials and methods

A mixed culture of microflora dominated by Scenedesmus sp. was used for laboratory tests, isolated from natural water sources. The cultivation was performed in a flat-type photobioreactor with a volume of 0.8 dm^3 with continuous recirculation of the liquid phase through a buffer vessel with a volume of 0.4 dm^3 (Fig.1). For the cultivation of microalgae, the modified nutrient medium BG11 was used, with the following composition for 1 L - 1.5 g $NaNO_3$, 0.5 g Na_2CO_3, 0.04g K_2HPO_4, 0,075g $MgSO_4$.7H2O, 0.036g $CaCl_2.2H_2O$, 0.045g Citric acid, 0.0015g, Ferric ammonium Citrate, 0.045g EDTA (disodium salt), and 1ml trace elements solution consisted of 2.86 g/l H_3BO_3; 1.81 g/l $MnCl_2.4H_2O$; 0.222 g/l $ZnSO_4.7H_2O$; 0.39 g/l $NaMoO_4.2H_2O$; 0.079 g/l $CuSO_4.5H_2O$; 0.0494 g/l $Co(NO_3)_2.6H_2O$. Algae were inoculated at 10% (Vinoculation/Vmedia) in a volume of 1.2 dm^3 of PRB together with the buffer vessel. Cultivation of the microalgae was carried out at room temperature in the range of 24-29^{0}C. The photobioreactor (PBR) was aerated using an air pump with a flow rate of 1.5 L/h, without further addition of CO_2 to the air.

A Bürker counter camera for a light microscope (BoecoR, BM-800) was used to determine the number of microalgae, as well as the parallel determination of the optical density of the cell suspension during the cultivation of the microalgae at a wavelength of 650 nm and a red filter. In the continuous mode of operation of the photobioreactor (PBR), 6 variants of operation of the MFC microbial fuel cell integrated into it were investigated (Fig. 1). These modes of operation differed only in the type of light source used to illuminate the photobioreactor. For this purpose, LED light sources were used with six different wavelengths with characteristics shown in Table 1. White light with a mixed spectrum-type LED-4300K was used as a control. In each of the 6 buffer vessels, air was supplied with a flow rate of 1.5 l/h, through air pumps. For all variants, samples were taken at certain time intervals to determine the optical density of the liquid phase. A 30 W LED illuminator was placed in each Flat-PBR, installed 3 cm from the surface of the photobioreactor in the lighting mode - 12h light: 12h dark.

MFC electrical parameters were measured with a Keithley 2000 digital multimeter, using a precision potentiometer with a maximum value of – 11 kΩ for load resistance. The maximum power value, Pmax, was established by constructing polarisation curves. Current density and power were calculated based on the geometric area of the electrodes in the anode/cathode chambers and the voltage across the load resistors (R1/R2). The dissolved oxygen concentration was measured using an oxygen optical sensor - Vernier^R DO-BTA, and using the LabQuest^R interface. In addition, the illuminance of each of the options was measured, as well as the Photosynthetic Active Radiation (PAR) value, using sensors of the Vernier-PAR and Vernier-LS types.

The microbial fuel cell (MFC) used is of a classical H-shaped design, with equal volumes of the anode and cathode chambers of 0.5 dm^3. Graphite rods with a diameter of 8 mm and a length of 100 mm were used for the electrodes. A cation exchange membrane (CEM), CMI-7000S (Membrane International Inc.) with a diameter of 30 mm was used as the separator. To study the influence of microalgae on the cathode potential of the MFC, after reaching the exponential (log) phase, the catholyte was moved from the buffer volume to the cathode zone of the fuel cell and after reaching constant values of the open circuit voltage (OCV- open circuit voltage), the power curves and polarisation curves were measured. An abiotic anode was used in the microbial fuel cell, with an anolyte composition typical of sulfide fuel cells (Beshkov et al., 2018).

Table 1. *Spectral characteristics of LED-based light sources used in the research*

The average wavelength, nm	**469 nm**	**520 nm**	**604 nm**	**629 nm**	**659 nm**	**420-750 nm**
Illumination (Lx)	5960	9210	9105	8340	5750	6070
PAR, (mmol/m^{-2}. s^{-2})	1531	1272	503	1331	946	706

Fig.1. Laboratory installation to research the influence of wavelength on the growth and development of microalgae used in the cathode zone of the MFC.

For this purpose, under abiotic conditions, an HS^- concentration of approximately 300 mg/l was provided in the aqueous solution of the anolyte by adding $Na_2S.9H_2O$ and adjusting the pH to 8.0 using a 1N NaOH solution. In this way, a constant value of the anodic potential in the MFC was ensured, and the variation of the cathodic potential during the experiments was reported against a comparative calomel electrode.

Results and discussion

Investigation of the influence of the wavelength of the light source on the growth and development of microalgae in a flat-type photobioreactor.

In this research, microalgae were cultivated in a laboratory installation consisting of 6 flat-type photobioreactors, buffer vessels, recirculation pumps and air pumps (Fig. 1). All laboratory photobioreactors were constructed with equal volumes of 800 ml connected to buffer vessels with liquid phase volume of 400 ml. During cultivation, the entire liquid phase was recirculated with a peristaltic pump at a flow rate of 6 l/h. In each of the 6 buffer vessels, air was supplied with a flow rate of 1.5 l/h, through air pumps. For all variants, samples were taken at certain time intervals to determine the optical density of the liquid phase. In each Flat-PBR, a 30 W LED illuminator was installed, placed 3 cm from the surface of the photobioreactor in the lighting mode - 12h light: 12h dark. Based on that data, the dynamics of the optical density for the 6 investigated variants was determined (Fig. 2a).

The obtained results (Fig. 2a) at the end of the exponential phase (8th day) show the highest optical densities at red (559 nm), blue (469), green (520 nm), and white (control- LED-4300) colour of the light source and lower values for yellow (604nm) and orange (629nm).

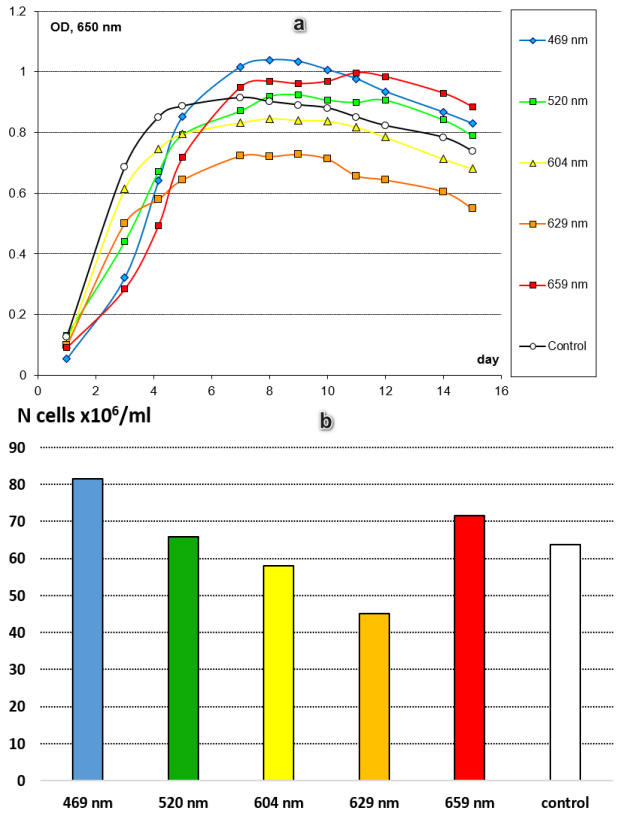


Fig.2. Variation in optical density under the 6 light source variants investigated (a), and microbial cell number on the 8th day from the start of microalgae cultivation (b).

The obtained curves of the optical density at 650 nm, after comparison with the number of cells (measured by a counting camera), can be used as comparative growth curves for the specific case of microalgae of the Scenedesmus sp. (Fig. 2b). These results could be employed in the selection of the light source to be used in the photobioreactor to obtain an optimal amount of biomass of the cultivated microalgae.

Results similar to those obtained were reported by Keerthi et al., 2022 when cultivating a mixed culture of Chlorella sp. and Scenedesmus sp. and studying growth curves at 4 different light source wavelengths.

Investigation of the oxygen productivity of microalgae and its influence on the electrochemical parameters of the microbial fuel cell (MFC).

To establish the influence of the wavelength on the amount of oxygen produced in the cathode zone of the MFC, at the end of the exponential phase, the day-and-night dynamics of the dissolved oxygen concentration was tracked for each of the 6 investigated variants.

The obtained values for oxygen were compared with the change in the cathode potential of the MFC. According to the presented data from the growth curves, the 8th day from the beginning of the experiment was accepted as the moment of the cultivation of the microalgae, when the exponential (log) phase is reached.

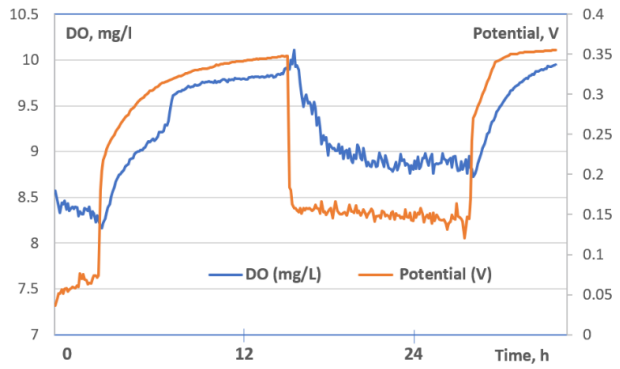


Fig.3. Change in the concentration of dissolved oxygen and the cathodic potential, with a 24-hour lighting cycle - 12 (light): 12 hours (dark) for 469 nm wavelength.

The obtained results prove the role of microalgae as producers of oxygen in the cathode zone of the MFC. For example, at 469 nm, the oxygen concentration varies from 8.3 mg/l during the dark phase to 10.2 mg/l during the light phase (Fig.3). At the same time, the cathode potential of the microbial fuel cell changes in a similar way – in the range from 104 mV (dark phase) to 366 mV (light phase). The results are similar for the rest of the tested options shown in Table 2, where the maximum measured values of dissolved oxygen and cathode potential are indicated. The highest dissolved oxygen and cell potential values were achieved with blue (469 nm) and red (659 nm) light at 366 and 355 mV, respectively. The results are shown in the Table. 2. They also correspond with the obtained data from the growth curve (Fig. 2), when the oxygen productivity of the algae is highest with the greatest accumulation of biomass in the cathode zone.

Examining the polarisation curves and power curves of the MFC, for each of the 6 variants, confirms the influence of higher oxygen concentrations on the obtained higher values of the power density 26.5 mW/m^2 and the density of current 78.3 mA/m^2 in the system (Fig. 4).

Table 2. *Average values of dissolved oxygen (DO) and cathodic potential in MFC, during the photosynthetic light cycle at 6 different light source wavelength variants*

The average wavelength, nm		Dissolved oxygen, DO (mg/l)	Cathode potential of MFC, mV
469 nm		10.2	366
520 nm		9.6	318
604 nm		9.2	304
629 nm		9.1	295
659 nm		10.0	355
420-750 nm		9.7	320

The established maximum power density values are in the range of 469 nm (blue) and 659 nm (red), and the difference with the values at 604 nm (yellow) and 629 (orange) reaches 39.9 %. This proves that the influence of wavelength on the electrochemical parameters of MFCs is significant.

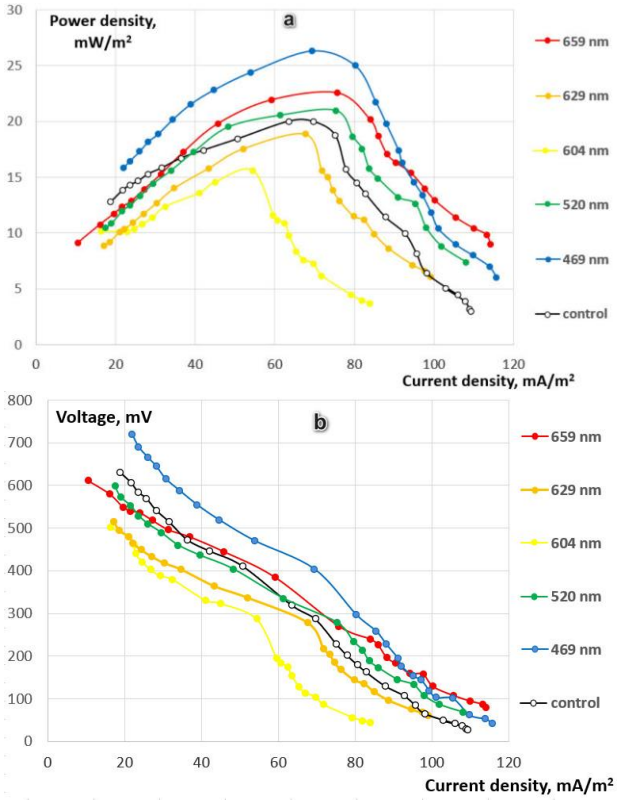


Fig.4. Power curves (a) and polarization curves (b) of the MFC measured for the 6 variants studied.

The results of these studies could serve for further optimisation of MFCs based on oxygenic microalgae in the biocathode area. Because the real practical application of microalgae is realised both in open and in closed cultivation systems, to achieve more favourable MFC power values, it is appropriate to use MFCs integrated with photobioreactors in

which appropriate combinations of light filters tailored to the specific type of microalgae are placed.

Conclusions

In the present research, the influence of the wavelength of the light source in 6 different variants on the growth curves of microalgae, dominated by Scenedesmus sp., was determined. The influence on the electrochemical parameters of the MFC was also established and tracked, reaching maximum values of power density - 26.5 mW/m^2 and current - 78.3 mA/m^2 at 659 nm wavelength. The results clearly show the influence of the spectral characteristics of the used light source on the oxygen productivity of the microalgae, and from there on the electrochemical parameters of the MFC.

References

Beschkov, V., E. Razkazova-Velkova, M. Martinov, S. Stefanov. 2018. Electricity Production from Marine Water by Sulfide-Driven Fuel Cell, *Appl. Sci., 8(10),* 1926; https://doi.org/10.3390/app8101926

Difusa, A., J. Talukdar, M. C. Kalita, K. Mohanty, V. V. Goud. 2015. Effect of light intensity and pH condition on the growth, biomass and lipid content of microalgae Scenedesmus species, *Biofuels, 6(1-2)* (2015): 37-44

Elshobary, M. E., H. M. Zabed, J. Yun, G. Zhang, Qi X. 2021. Recent insights into microalgae-assisted microbial fuel cells for generating sustainable bioelectricity, *International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 4,* Pages 3135-3159, ISSN 0360-3199, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.251

Fabris, M., R. M. Abbriano, M. Pernice, D. Sutherland, A. Commault, C. Hall, L. Labeeuw, J. McCauley, U. Kuzhiuparambil, P. Ray, T. Kahlke, P. Ralph. 2020. Emerging Technologies in Algal Biotechnology: Toward the Establishment of a Sustainable, Algae-Based Bioeconomy. *Front Plant Sci.* doi 10.3389/fpls.2020.00279. PMID: 32256509; PMCID: PMC7090149.

Hartman, E. 2008. A Promising Oil Alternative: Algae Energy. *The Washington Post*. http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/01/03/AR2008010303907.html. Retrieved 10 June 2008.

Jones, C. S. and S. P. Mayfield. 2012. Algae biofuels: versatility for the future of bioenergy, 23(3), 346–351. doi:10.1016/j.copbio.2011.10.013

Kannan Nethraa and Donnellan Philip. 2021. Algae-assisted microbial fuel cells: A practical overview. *Bioresource Technology Reports, Volume 15, 100747,* ISSN 2589-014X, doi:10.1016/j.biteb.2021.100747

Keerthi Katam, Rishika Ananthula, Sushmitha Anumala, Malinee Sriariyanun, Debraj Bhattacharyya. 2022. The impact of light intensity and wavelength on the performance of algal-bacterial culture treating domestic wastewater, *E3S Web Conf. 355 02003*, doi: 10.1051/e3sconf/202235502003

Khandelwal, A., M. Chhabra and P. Lens. 2023. Integration of third generation biofuels with bioelectrochemical systems: Current status and future perspective. *Front. Plant Sci.* 14:1081108. doi: 10.3389/fpls.2023.1081108

Liu, Xy., Y. Hong. 2021. Microalgae-Based Wastewater Treatment and Recovery with Biomass and Value-Added Products*: a Brief Review. Curr Pollution Rep 7,* 227–245. https://doi.org/10.1007/s40726-021-00184-6

Logan, Bruce E., Bert Hamelers, René Rozendal, Uwe Schröder, Jürg Keller, Stefano Freguia, Peter Aelterman, Willy Verstraete, Korneel Rabaey. 2006н. Microbial fuel cells: Methodology and technology. *Environ. Sci. Technol.*, 40(17):5181–5192

Metsoviti, M. N., G. Papapolymerou, I. T. Karapanagiotidis, N. Katsoulas. 2019. Effect of Light Intensity and Quality on Growth Rate and Composition of Chlorella vulgaris, *Plants, 9(1)*: 31

Nguyen, L. N., L. Aditya, H. P. Vu et al. 2022. Nutrient Removal by Algae-Based Wastewater Treatment. *Curr Pollution Rep 8, 369–383*. https://doi.org/10.1007/s40726-022-00230-x

Onyeaka, Helen, Taghi Miri, KeChrist Obileke, Abarasi Hart, Christian Anumudu, Zainab T. Al-Sharify. 2021. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture, *Carbon Capture Science & Technology, Volume 1,* 2021, 100007, ISSN 2772-6568, https://doi.org/10.1016/j.ccst.2021.100007.

Onyeaka Helen, Taghi Miri, KeChrist Obileke, Abarasi Hart, Christian Anumudu, Zainab T. Al-Sharify, J. J. Ortiz-Betancur, M. S.Herrera-Ochoa, J. B.García-Martínez, N. A. Urbina-Suarez, G. L.López-Barrera, A. F. Barajas-Solano, S. J. Bryan, A. Zuorro. 2022. Application of Chlorella sp. and Scenedesmus sp. in the Bioconversion of Urban Leachates into Industrially Relevant Metabolites. *Appl. Sci. 2022, 12, 2462.* https://doi.org/10.3390/app12052462

Zhang, Y., Y. Zhao & M. Zhou, A photosynthetic algal microbial fuel cell for treating swine wastewater. *Environ Sci Pollut Res 26*, 6182–6190 (2019). https://doi.org/10.1007/s11356-018-3960-4

CHARACTERISATION AND PRELIMINARY EXPERIMENTAL STUDY ON LEACHING OF COPPER OXIDE ORE

Todor Angelov, Ivanka Valchanova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: t.angelov419@gmail.com

ABSTRACT. A Copper oxide ore sourced from several small-scale mining sites in Tanzania was subjected to a metallurgical testwork to assess the rate and level of copper recovery and acid consumption under typical conditions of sulfuric acid leaching. The testwork comprised characterisation and preliminary tests to determine whether the ore was amenable to this type of leaching and to gather initial data for the major leach characteristics and parameters. The oxide ore was investigated using a sequence of physico-mechanical property determination, chemical assay, whole rock analysis, copper distribution analysis and standard acid consumption, agglomeration, and bottle roll tests.

The experimental results presented demonstrated the favourable response of the oxide ore to acid leaching with high copper recovery and moderate acid consumption. Acid addition dosage needed for the acid curing step prior to leaching was also determined.

Key words: leaching, copper recovery, acid consumption.

ОХАРАКТЕРИЗИРАНЕ И ПРЕДВАРИТЕЛНО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ ЗА ИЗЛУЖВАНЕ НА ОКСИДНА МЕДНА РУДА

Тодор Ангелов, Иванка Вълчанова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ: Оксидна медна руда от няколко малки миннодобивни обекта в Танзания беше подложена на металургично тестване за оценка на скоростта и степента на извличане на медта и киселинната консумация при типични условия на излужване със сярна киселина. Тестването включва охарактеризиране и предварителни експерименти, за да се определи дали рудата е подходяща за този тип излужване и да се съберат първоначални данни за основните характеристики и параметри на процеса. Изследването на оксидната руда е проведено в следната последователност: определяне на физико-механичните свойства, химичен анализ, силикатен анализ, фазов анализ на медта и стандартни тестове за киселинна консумация, агломерация и bottle roll тестове.

Представените експериментални резултати показват, че оксидната руда реагира положително на процеса на излужване, като са достигнати висока степен на извличане на медта и умерена консумация на киселина. Определено е и количеството киселина, необходима за етапа на предварително закисляване.

Ключови думи: излужване, медно извличане, киселинна консумация.

Въведение

Най-важните оксидни медни минерали са азурит ($2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$), хризокола ($CuO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$), малахит ($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$) и тенорит (CuO), които се излужват сравнително лесно с разредени разтвори на сярна киселина. Скоростта на разтваряне на медта зависи от различни фактори, като размера на контактната площ между излужващия разтвор и минералите, бактериалната активност, типа на медните минерали, концентрацията на киселина и реакционната температура. Приблизителната разтворимост на различни медни минерали и самородна мед в разтвори на сярна киселина при нормална температура е установена от Parkison and Bhappu (1995).

Въпреки че кинетиките на излужване на оксидните медни руди варират значително, те са подходящи за купово излужване.

Куповото излужване е хидрометалургичен процес за извличане на мед, при който руди с определени характеристики се натрупват на специално проектирана подложка и след това се оросяват с воден разтвор на сярна киселина (Scheffel, 2002; Breitenbach, 2005; John, 2011). Излужващият разтвор преминава през рудата в условията на ненаситена течност и контактувайки с нея, извлича медта до получаване на т. нар. набогатен излужващ разтвор, който се изпраща до завод за извличане на метала с помощта на процесите цементация, йонообмен или течна екстракция, и електролиза (Kordosky, 2002). Към отработените в завода разтвори се добавят вода за компенсиране на загубите от изпарение и/или сярна киселина и същите се връщат към процеса на излужване.

Двата основни показателя, определящи ефективността на процеса на купово излужване, са медното извличане и киселинната консумация. Медното извличане зависи най-вече от типа на медните минерали в рудите за излужване и се определя от pH на излужващите разтвори, наличието на фери-желязо и температурата. Понастоящем рудите, които се подлагат на купово излужване, са главно медни оксиди и вторични медни сулфиди (Schlesinger et al., 2011).

Киселинната консумация, основният операционен разход при процеса на излужване, се определя от концентрацията на киселина, скоростта на подаване на излужващите разтвори и присъствието на киселина-консумиращи скалообразуващи минерали, като карбонати, железни оксиди и хидроксиди и силикати (Free, 2010).

За да се определи възможността за ефективна преработка на оксидна медна руда от Танзания с помощта на процеса излужване, представителна проба от нея е подложена на охарактеризиране и металургично тестване, включващо определяне на физико-механичните свойства, химичен анализ, силикатен анализ, фазов анализ на медта, последвани от предварителни тестове за определяне на киселинната консумация, агломерационни тестове за определяне на киселината, необходима за закисляване, и bottle roll тестове (Miller and Newton, 1999; Robertson and Van Staden, 2009; Scheffel et al., 2016).

Основната цел на експерименталното изследване е да се получи предварителна информация за медното извличане и киселинната консумация при сярнокиселинно излужване на оксидната руда. Освен това, провеждането му ще даде възможност да се дефинира цялостното металургично поведение на рудата и да се събере информация за по-нататъшно разработване на основните металургични параметри, които са функция от съдържанието на мед и минералогията.

Материали и методи

Подготовка на рудната проба

Медна оксидна руда, добита от няколко малки минни операции в източно-централната част на Танзания в количество от около 1 t, се разпределя внимателно на чиста бетонна повърхност и от нея се подготвя представителна 150 kg проба, която след това се натрошава до -19 mm. От представителната проба се отделя „главна“ проба с количество 15 kg, която се използва за охарактеризиране на рудата и за провеждане на тестове за определяне на киселинна консумация, агломерационно ниво и за bottle roll тестове. Част от нея допълнително се натрошава до -2 mm, а друга част се смила до -150 µm (-0.15 mm).

Охарактеризиране на рудната проба

Охарактеризирането на рудната проба включва:

- Определяне на основните физикомеханични свойства: обемна и специфична плътност, обем и коефициент на порите;
- Определяне на концентрациите на елементите в рудата чрез оптично-емисионна спектрометрия с индуктивно свързана плазма (ICP-OES) след разтваряне в царска вода;
- Определяне на основните скалообразуващи елементи с помощта на пълен силикатен анализ;
- Определяне на разпределението на медта в оксидите, вторичните и първичните сулфиди и общото съдържание на мед в рудата (фазов анализ за Cu).

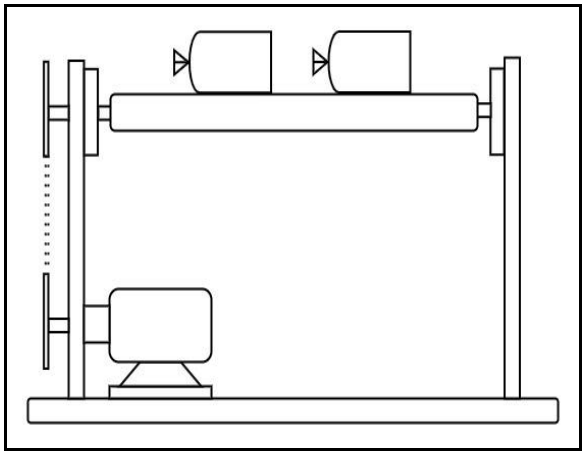
Металургично тестване

Определяне на киселинната консумация на рудата. Тестовете за киселинна консумация се провеждат по две методики – кратка и стандартна. Кратката методика представлява агитационен тест на пулверизирана проба при постоянно pH=1.5, докато при стандартната руден пулп се агитира в bottle on rolls при стайна температура в продължение на 24 часа и поддържане на pH 1.5 чрез добавяне на сярна киселина. Резултатите от двете методики са обща и нетна киселинна консумация, изразени в килограм сярна киселина на тон руда (kg H_2SO_4/t).

Агломерационни тестове. За да се определи количеството сярна киселина, което трябва да се добави по време на етапа на предварително закисляване на рудата, обикновено се тестват 4 киселинни нива, вариращи от 50-125% от определената киселинна консумация от тестовете при pH=1.5. Експериментите се състоят от смесване (агломериране) на 1 kg руда с вода и сярна киселина на пластмасова подложка. Агломерираната руда се оставя за 24 часа, след което се подлага на bottle roll тест със съдържание на твърдо 33% w/w и продължителност 2 часа.

Bottle roll тест. Bottle roll тестовете симулират излужването в динамични условия. Те дават предварителна информация за медното извличане и киселинната консумация. Bottle roll тестът се провежда с размери на рудните частици под 2 mm, постоянно pH=1.5, съдържание на твърдо 33% w/w и време на излужване 96 часа.

Схема на инсталация за провеждане на bottle roll тестове е показана на Фиг. 1.



Фиг. 1. Инсталация за провеждане на bottle roll тестове

Основни резултати и обсъждане

Резултатите от физикомеханичния анализ са представени в Таблица 1.

Таблица 1. *Физикомеханични свойства*

Параметър	Единица	Стойност
Обемна плътност, ρ	g/cm^3	2.50
Специфична плътност, ρ_s	g/cm^3	2.95
Обем на порите, **n**	%	15.25
Коефициент на пори, ε	-	0.180

Резултатите от ICP-OES анализ и пълния силикатен анализ са представени в Таблица 2 и Таблица 3.

Таблица 2. *ICP-OES анализ*

Параметър	Единица	Стойност
Al	%	5.57
Ca	%	4.99
Mg	%	1.41
Ti	%	0.76
Fe	%	10.4
Cu	%	3.4
Zn	ppm	90
Pb	ppm	30
Bi	ppm	< 5
Cd	ppm	< 1
Ni	ppm	91
Co	ppm	34
Mn	%	0.19
Cr	ppm	130
V	ppm	122
Be	ppm	< 1
Ba	ppm	63
Sr	ppm	67
Li	ppm	3
P	%	0.07

Таблица 3. *Пълен силикатен анализ*

Параметър	Единица	Стойност
Fe_2O_3	%	14.91
MnO	%	0.25
TiO_2	%	1.27
CaO	%	6.99
K_2O	%	1.16
P_2O_5	%	0.15
SiO_2	%	47.88
Al_2O_3	%	10.52
MgO	%	2.34
Na_2O	%	2.91
ЗПН	%	6.88
Влага	%	2.92

От Таблица 2 се вижда, че съдържанието на мед е 3.4%. Съдържанията на калций, алуминий, магнезий и желязо са сравнително високи и индикират наличието на киселина-консумиращи скалообразуващи минерали. В същото време, съгласно силикатния анализ (Таблица 3), съдържанието на кварц, който е стабилен и почти не се разтваря в киселинна среда, е 47.88%.

Резултатите от фазовия анализ на медта са дадени в Таблица 4. Около 8% от общото съдържание на мед в рудата е под формата на първични сулфиди. Съдържанието на оксидна мед е около 90%, докато съдържанието на вторични сулфиди е около 2% от общата мед. Като се има предвид, че оксидните медни минерали са лесно и бързо разтворими в разредени разтвори на сярна киселина, вторичните сулфиди са слабо разтворими, а първичните сулфиди почти не се разтварят при тези условия, излужваемата мед в рудата е около 90%.

Таблица 4. *Фазов анализ*

Cu %			Общо съдържание на Cu, %
Cu в оксидни минерали	Cu във вторични сулфиди	Cu в първични сулфиди	
3.03	0.082	0.293	3.4

По принцип, киселинната консумация зависи от най-вече от наличието на киселина–консумиращите минерали и на по-дребното натрошаване на рудата, но също така и от увеличеното контактно време ликсивиант–руда и високата концентрация на киселина в излужващите разтвори. Определената по кратката методика обща киселинна консумация е 17.1 kg H_2SO_4/t руда, а нетната киселинна консумация е 4.0 kg H_2SO_4/t руда. Определените по стандартната методика киселинни консумации са: обща киселинна консумация – 22.4 kg H_2SO_4/t руда и нетна киселинна консумация – 10.1 kg H_2SO_4/t руда. Разликата между общата и нетната киселинна консумация представлява киселинният еквивалент на медта, извлечена при процеса на течна екстракция и върната към излужването.

На база на получената средна нетна киселинна консумация от 7 kg/t, за агломерационните тестове са избрани 4 различни киселинни нива (вариращи от 50-125% от нея), като резултатите от тях са представени в Таблица 5.

Таблица 5. *Агломерационни тестове*

% от нетната киселинна консумация	Агломерация			Краен разтвор	
	Руда kg	H_2O l	H_2SO_4 kg/t	pH	Cu g/l
50%	1.0	0.07	3.5	4.5	0.163
75%	1.0	0.07	5.3	4.5	0.345
100%	1.0	0.07	7.0	4.0	0.818
150%	1.0	0.07	10.5	4.0	1.434

Съгласно получените резултати, количеството сярна киселина, което трябва да бъде добавено по време на агломерационния етап или етапа на предварително закисляване, е около 3 kg H_2SO_4/t руда.

Резултатите от bottle roll теста са представени в Таблица 6 и на Фиг. 2.

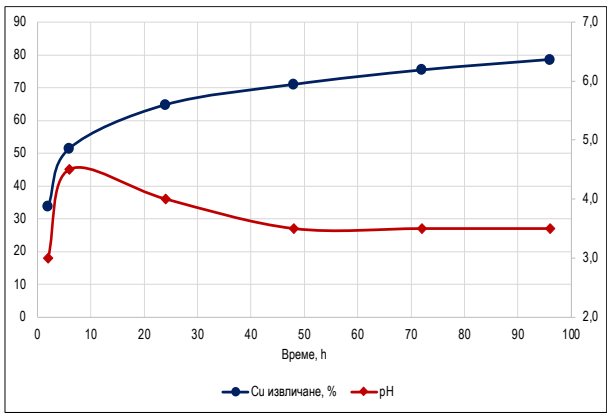
Bottle roll тестът е важна част от металургичното тестване, а двата ключови резултата, които се получават от него, са медното извличане и киселинната консумация. Основната цел при този експеримент е да се определят времето на излужване и концентрацията на сярна киселина в излужващите разтвори, така че да се достигне максимално медно извличане и адекватна киселинна консумация. Полученото медно извличане е 78.6%, а нетната киселинна консумация е 13.1 kg H_2SO_4/t руда.

Таблица 6. *Bottle roll тест.*

Достигнатото по време на металургичното тестване извличане на медта индикира почти пълно извличане на излужваемата мед от оксидните минерали. В същото време нетната киселинна консумация е сравнително ниска

и е много под икономическата граница от 50 kg H_2SO_4/t, приета в индустриалната практика (Scheffel, 2002).

Време, h	Bottle roll тест			Краен разтвор		
	Руда, kg	H_2O, l	pH	Cu^{2+}, g/l	pH	Cu извличане, %
2	0.500	1	1.5	5.73	3.0	33.7
6	0.500	1	1.5	8.76	4.5	51.5
24	0.500	1	1.5	11.0	4.0	64.8
48	0.500	1	1.5	12.1	3.5	71.0
72	0.500	1	1.5	12.8	3.5	75.4
96	0.500	1	1.5	13.4	3.5	78.6



Фиг. 2. Медно извличане и pH в зависимост от времето на излужване

Заключение

На база на резултатите от охарактеризирането и металургичното тестване на представителна проба медна руда от няколко малки миннодобивни обекта в Танзания могат да бъдат направени следните изводи:

- Изследваната рудна проба е със съдържание на мед – 3.4%, като около 90% от нея е под формата на оксидни медни минерали, които се разтварят бързо и лесно в условията на сярнокиселинно излужване;
- Киселинната консумация е основна характеристика на излужваната руда, която е свързана както с разтварянето на медните минерали, така и с реакциите на киселината със скалообразуващите минерали. Получените по кратката и стандартната методика нетни киселинни консумации са съответно 4 kg H_2SO_4/t руда и 10.1 kg H_2SO_4/t руда. Тези резултати се приемат за предварителни, тъй като тестовете изискват малки количества проба и се провеждат за сравнително кратък период от време;
- Определянето на оптималната доза при агломерационните тестове за предварително закисляване представлява баланс между медното извличане и кинетиката на процеса на излужване от една страна, и киселинна консумация, от друга. Предварителната агломерация и закисляване на рудата преди същинския процес на излужване с около 3 kg H_2SO_4/t руда биха довели до повишаване кинетиката на медното извличане и редуциране на киселинната консумация.
- Достигнатото по време на bottle roll теста извличане на медта от 78.6% индикира почти пълно извличане на медта от оксидните минерали. Общото медно извличане би могло да се подобри допълнително чрез използването на по-дълъг цикъл на излужване и редуване на активни и пасивни периоди на излужване в комерсиалната операция;
- Получената нетна киселинна консумация при bottle roll теста е 13.1 kg H_2SO_4/t руда. Обикновено се приема, че консумацията на киселина, получена при bottle roll опитите, където твърдите частици са суспендирани в излужващия разтвор, е по-висока в сравнение с тази, която може да се очаква при операциите на излужване в комерсиален мащаб. Това се дължи на стабилизирането на състава на циркулиращите излужващи разтвори, и по-специално на натрупването на алуминий, магнезий и сулфати (Jansen and Taylor, 2003). Възможно е и допълнително редуциране на общата киселинна консумация чрез използване на по-високи скорости на подаване на разтворите в началото на излужващия цикъл и по-ниски след това.

Литература

Breitenbach, A. J. 2005. Heap leach pad design and construction practices in the 21st Century. *Vector Colorado LLC, 9*.

Free, M. L. 2010. Understanding acid consumption and its relationship with copper recovery. *Proceedings of the SME Annual Meeting, 28*.

Jansen, M., A. Taylor. 2003. Overview of gangue mineralogy issues in oxide copper heap leaching. *Proceedings of the ALTA Conference*, 19-24.

John, L. W. 2011. The art of heap leaching – the fundamentals. *Percolation Leaching: The status globally and in Southern Africa SAIMM*, 17-42.

Kordosky, G. A. 2002. Copper recovery using leach/solvent extraction/electrowinning technology: Forty years of innovation, 2.2 million tonnes of copper annually. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, *102*, 445-450.

Miller, G., T. Newton. 1999. Copper heap leach testing, interpretation and scale up. *ALTA copper hydrometallurgy forum.*

Parkison, G. A., R. B. Bhappu. 1995. The sequential copper analysis method-geological, mineralogical, and metallurgical implications. *PREPRINTS-SOCIETY OF MINING ENGINEERS OF AIME*.

Robertson, S., P. Van Staden. 2009. The progression of metallurgical testwork during heap leach design. *Mintek.*

Scheffel, R. E. 2002. Copper heap leach design and practice. *Mineral processing plant design, practice and control*, *2*, 1571-1587.

Scheffel, R. E., A. Guzman, J. E. Dreier. 2016. Development metallurgy guidelines for copper heap leach. *Minerals & Metallurgical Processing, 33* (4), 187-199.

Schlesinger, M., M. King, K. Sole, W. Davenport. 2011. *Extractive Metallurgy of Copper - 5th edition*, Elsevier.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF THE DISPERSION OF PARTICULATE MATTER AROUND A POINT AND LINE SOURCE

Maya Vatzkitcheva, Plamen Savov, Kalinka Velichkova, Nikolay Kolev, Dimitar Dimitrov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: mayavack@mgu.bg

ABSTRACT. Sites for extraction and processing of building materials usually cause an increase in the levels of atmospheric air pollution, and in certain meteorological situations these levels can significantly exceed the maximum permissible norms. The issue is particularly relevant if the mentioned sources are located near settlements, in which emissions from transport are added to those resulting from industrial activity.
This report presents and discusses the results of experimental studies of the dispersion of particulate matter (PM) in the area of the town of Zlatna Panega, in whose vicinity there is a quarry for the extraction of materials for a cement production plant. The measurements were carried out around the plant and near the road with the heaviest traffic. The experimental data were compared with a Gaussian model for the dispersion of PM in the atmosphere. Several meteorological situations were modelled. The data show that in the particular weather situation, the plant pollutes the atmosphere of the town to a lesser extent than does the main road passing through it.

Key words: particulate matter dispersion, Gaussian model.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И ТЕОРЕТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИСПЕРСИЯТА НА ФИНИ ПРАХОВИ ЧАСТИЦИ ОКОЛО ТОЧКОВ И ЛИНЕЕН ИЗТОЧНИЦИ

Майя Вацкичева, Пламен Савов, Калинка Величкова, Николай Колев, Димитър Димитров
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Наличието на обекти за добив и преработка на строителни материали обикновено предизвикват повишаване нивата на замърсеност на атмосферния въздух, като при определени метеорологични ситуации тези нива могат да надхвърлят значително пределно допустимите норми. Проблемът е особено актуален, ако споменатите източници се намират в близост до населено място, в което към емисиите от транспорта се добавят и тези от промишлената дейност.
В настоящия доклад са представени и дискутирани резултати от експериментални изследвания на дисперсията на фини прахови частици в района на гр. Златна Панега, в околността на който се намира кариера за добив на материали към завод за производство на цимент. Измерванията са извършени около завода и в близост до най-натоварената пътна артерия. Експерименталните данни са сравнени с гаусов модел за дисперсията на праха в атмосферата. Моделирани са няколко метеорологични ситуации. Данните показват, че при конкретната метеорологична ситуация заводът замърсява в по-ниска степен атмосферата на града в сравнение с натовареното шосе, минаващо през него.

Ключови думи: дисперсия на фини прахови частици, гаусов модел.

Въведение

Целта на този материал е да се направи едно комплексно научно изследване на дисперсията на фини прахови частици в атмосферата около трите основни типа източници – точков (завод за производство на цимент, гр. Златна Панега), линеен (магистрала (околовръстен път)) и площен (открит рудник/кариера до град Златна Панега на 1.5 км). Подобни проучвания са публикувани в (Abu-Allaban at al., 2011; Kolev at al., 2019, Vatzkitcheva at al., 2020, Savov at al., 2021). Замърсяването на атмосферния въздух се установява по два метода: мониторинг (Myronova, 2015; Kolesnik at al., 2016; Vambol at al., 2017; Kolesnyk at al., 2020;) и дисперсионно моделиране (Venegas at al., 2014; Petrov at al., 2016), като паралелно се провеждат наблюдения на основните метеорологични елементи в приземния слой на атмосферата: посока и скорост на вятъра, атмосферно налягане, температура на въздуха, слънчево греене и влажност на въздуха. Дисперсионното моделиране дава възможност да се изготвят профили на концентрациите на замърсители в атмосферния въздух. За целта се използва Гаусов модел за дисперсията на аерозола в зависимост от стратификацията на атмосферата (Buske at al., 2012; Venegas at al., 2014; Draxler, 1979; Petrov at al., 2016).

Въздухът в атмосферата е в непрекъснато вертикално и хоризонтално движение. Атмосферната циркулация и разслояване (стратификация) в зависимост от устойчивостта си спомагат или затрудняват разсейването на атмосферните замърсители. Устойчивостта на атмосферата е елемент, определящ динамиката на атмосферната циркулация и моментната способност за разсейване на вредни вещества в нея. Устойчивостта зависи от термичната конвекция – изменението на температурата на въздуха по височина и механичната

турбулентност – функция на скоростта на вятъра и грапавостта на подстилащата повърхност.

При дисперсионното моделиране, способността на атмосферата за движение във вертикална посока се определя чрез въведените за целта категории на устойчивост на атмосферата. В качествено отношение тези категории са известни със следните означения: A – силно неустойчива атмосфера; B – умерено неустойчива атмосфера; C – неустойчива атмосфера; D – неутрална атмосфера; E – слабо устойчива атмосфера; F – устойчива атмосфера (Draxler, 1979).

Състоянието на атмосферното замърсяване и способността на атмосферата да се самоочиства е пряко свързана с конкретна стратификация и клас на устойчивост на приземната атмосфера. При голяма слънчевата радиация и малка скорост на вятъра, устойчивостта се определя като клас A. При силна слънчева радиация и скорост на вятъра над 6 m/s класът е C, тъй като силният вятър препятства развитието на естествена термична конвекция, каквато се наблюдава при безветрие или много слаб вятър. Клас A, съответстващ на силно неустойчива атмосфера, и клас B – умерено неустойчива, са най-благоприятните за разсейване условия, защото част от замърсителите се пренасят във височина и не позволяват достигането на високи приземни концентрации.

Фините прахови частици са микроскопични твърди и течни частици от органични и неорганични вещества, суспендирани в земната атмосфера. Актуалната дефиниция за фини прахови частици идва от въведения през 1987 година от Американската агенция за опазване на околната среда (United states Environmental Protection Agency): „National Air Quality“ стандарт за Particulate Matter (накратко означен като PM-стандарт). В българското законодателство за фините прахови частици е приета абревиатурата ФПЧ, като в зависимост от размера на частиците се означават като ФПЧ10 и ФПЧ2,5.

Степента на замърсяване на атмосферния въздух над дадена територия зависи основно от 2 фактора: наличие на източници на вредни емисии (точкови, линейни и площни) с техните характеристики – местоположение, пространствени параметри, масов поток и режим на емитиране, както и от микроклиматичните особености на разглеждания район. Масовият поток и времетраенето на емитиране на аерозоли от източниците зависи от режима на вятъра и степента на засушаване на земната повърхност, което пък е следствие от режима на валежите. Един от метеорологичните елементи с най-силно влияние върху разпределението на вредните вещества в атмосферата е вятърът. Концентрацията на замърсителите от постоянно действащи източници е обратно пропорционална на скоростта на вятъра. Ако той е устойчив по посока, замърсяването е по-голямо, отколкото при вятър с променлива посока.

Експеримент

Измерванията са проведени на 23.05.2022 г. в района на град Златна Панега (Фиг. 1). През западната част на града минава основен междуградски път (E83) със значителен трафик, който се явява линеен източник на замърсяване с фини прахови частици. На изток, на 1 km от последните къщи, е разположен завод за производство на цимент, чийто комин се разглежда като точков източник. Данните за масовата концентрация на фините прахови частици и метеопараметрите са измерени преди обяд в интервала 9–11 ч. и следобяд между 14 и 16 ч. И в двата случая се снемат данни първо в точки от 1 до 4 над с. Брестница (около 3 km югоизточно от завода) и след това по дължина на града (точки от 5 до 8). Отстоянията между точките на дадено измерване са около 200 m. Най-близо разположената измервателна точка до линейния източник е 5-та, а до завода е 8-ма. За основен източник на замърсяване в града предположихме, че е пътят София-Плевен, а за т. 1-4 – заводът за цимент.

Числената и масовата концентрации на ФПЧ са измерени с преносими лазерни броячи на частици BQ20 – Trotec, измерващи в два канала: канал 1 (0 – 2,5 μm) и канал 2 (2,5 - 10 μm), обозначени по-нататък в текста съответно като PM2,5 и PM10.

Фиг. 1. Карта на района с измервателните точки

Концентрациите се измерват на момента, като скоростта на вземане на проби е 0,9 l / min. Точността на устройствата е в диапазона 15-20%.

Метеорологичните параметри са измервани с мултифункционална станция PCE-FWS 20-1. Тя позволява точно измерване на посоката и скоростта на вятъра чрез анемометър, на температурата и относителна влажност на въздуха чрез термохигрометър и на количеството на валежите (валежомер). Измерваните параметри са: температура в градуси по Целзий, относителна влажност в %RH, атмосферно налягане в hPa, посока и скорост на вятъра съответно в deg и m/s. Слънчевата радиация е измерена с уред PCE-SPM1.

Метеорологична обстановка по време на експеримента беше както следва. За сутрешните измервания около 10 часа: температура на въздуха 19 °C; скорост на вятъра 2-3 m/s; посока запад; слънчева радиация – 650-700 W/m^2.

За следобедните измервания около 14 часа: температура на въздуха 23 °C; скорост на вятъра 3-5 m/s; посока запад-северозапад; слънчева радиация – 850-950 W/m^2.

Стойностите на метеорологичните параметри по време на експеримента ни дават основание да предположим, че класът на устойчивост на атмосферата е между A и B.

Обработка и анализ на данните

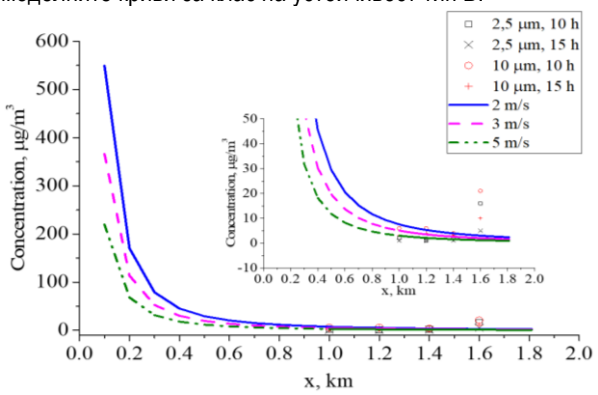
За теоретично моделиране на дисперсията на ФПЧ се използва гаусов модел за линеен и точков източник, описан в Petrov at al. (2016).

За точков източник уравнението на разпределение на ФПЧ като функция на разстоянието от източника на частици е

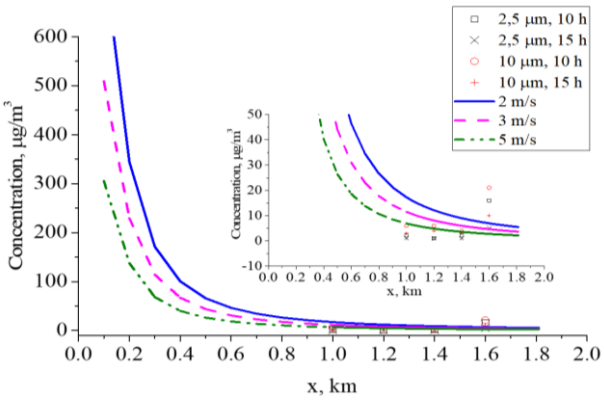
$$C(x,0,0)=\frac{Q}{\pi\sigma_z u}e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}},$$

където Q е интензитетът на източника на замърсяване, u – скоростта на вятъра, H – височината на източника, а σ_z – дисперсията на частиците във височина (по оста z). Стойностите на параметрите при моделирането са Q = 2 g/s, u = 2 m/s;3 m/s и 5 m/s, H = 15 m, σ_z = 0,2x за клас на устойчивост тип A и σ_z = 0,12x за клас на устойчивост тип B.

На Фиг. 2 са показани моделните криви на дисперсия на частиците за клас на устойчивост тип A, а на Фиг. 3 – моделните криви за клас на устойчивост тип B.



Фиг. 2. Изменение на концентрация на ФПЧ с размери 2,5 μm и 10 μm с отдалечаване от източника (комина на завода за цимент) за клас на устойчивост тип A

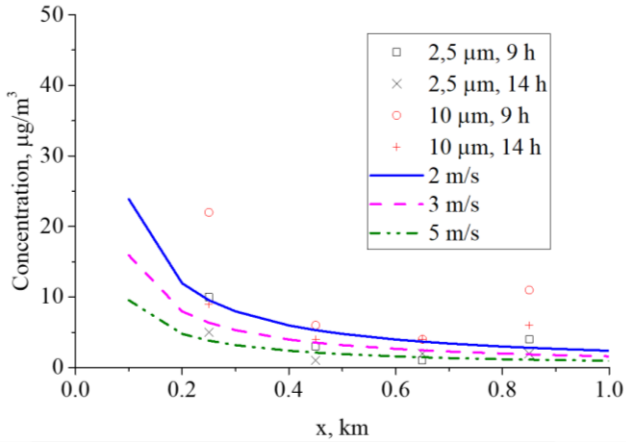


Фиг. 3. Изменение на концентрация на ФПЧ с размери 2,5 μm и 10 μm с отдалечаване от източника (комина на завода за цимент) за клас на устойчивост тип B

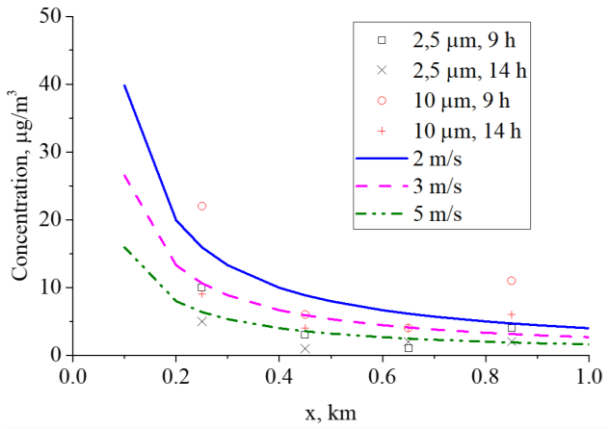
Върху двете графики са нанесени и концентрациите на финитe прахови частици, измерени по шосето, източно от циментовия завод (Фиг. 1, точки 1 - 4). По абсцисата е нанесено отстоянието на точките на измерване от циментовия завод, а по ординатата – масовата концентрация на ФПЧ. В малките графики е даден интервалът 0-50 μg/m^3 за по-добра визуализация на изменението в измерените стойности на концентрацията.

От сравнението между двата класа на устойчивост се вижда, че по-добро съвпадение има при тип A и скорост на вятъра около 3 m/s. Не се забелязва съществена разлика в стойностите на концентрацията между сутрешните и следобедните часове. Единствено на разстояние около 1600 m от завода имаме съществено различие между експерименталните стойности и тези от модела. Едно логично обяснение на този факт е, че шосето по което са извършени измерванията има лек положителен наклон по трасето на измерване и на ниво четвърта точка денивилацията спрямо завода е около 20 - 30 m. По този начин четвъртата точка на измерване може да се намира на нивото на линията на максимална концентрация на факела от фини прахови частици, емитирани от завода.

На Фиг. 4 и Фиг. 5 са показани моделните криви на дисперсия на частиците за клас на устойчивост тип A и тип B, съответно, за линейния източник на замърсяване - крайградският път, който е значително натоварен от преминаващите преобладаващо тежкотоварни камиони.



Фиг. 4. Изменение на концентрация на ФПЧ с размери 2,5 μm и 10 μm с отдалечаване от линейния източник на замърсяване за клас на устойчивост A



Фиг. 5. Изменение на концентрация на ФПЧ с размери 2,5 μm и 10 μm с отдалечаване от линейния източник на замърсяване за клас на устойчивост B

Уравнението за моделиране на разпределението на ФПЧ като функция на разстоянието от линеен източник на частици е

$$C(x,0,0)=\frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u}e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}},$$

където Q, u, H и σ_z са параметрите, определени по-горе, а σ_y е дисперсията на частиците, перпендикулярно на линейния източник (пътя). Дисперсията σ_y за клас на устойчивост тип A се определя с израза

$\sigma_y = 0{,}22x.(1+10^{-4}x)^{-0.5}$,

а за тип B

$\sigma_y = 0{,}16x.(1+10^{-4}x)^{-0.5}$.

Интензитетът на източника е Q = 3 mg/(s.m), а останалите приемат стойностите, посочени по-горе..

На Фиг. 4 и Фиг. 5 са показани също и измерените масови концентрации в сутрешните и следобедните часове, като при този експеримент, точките на измерване са разположени в посока изток, почти перпендикулярно на шосето (точки 5-8 на Фиг. 1).

При сравнение между двете фигури за дисперсията на финитe прахови частици може да се заключи, че най-добро съвпадение между теория и експеримент отново се наблюдава при клас A и скорост на вятъра около 3 m/s.

От фигурите се вижда, че след около 200 m от източника нивата на масовата концентрация спадат под 10 μg/m^3, което се счита за сравнително чист въздух.

Интересно е да се отбележи, че и за двата района на измерване, моделът дава по-добро съответствие с експерименталните данни за концентрацията на по-финатa фракция (2,5 μm) на праховите частици, докато за 10 μm имаме по-голямо разминаване. Тази разлика би могла да се дължи на това, че теренът не е равнинен, а хълмист и то с наличие на дървесна растителност – особено при участъка след циментовия завод (точки от 1 до 4). Този факт с голяма вероятност би могъл да доведе до по-висока степен на турбулентност на атмосферата, което от своя страна да причинява и наблюдаваните различия.

Заключение

От анализа на експерименталните данни и при сравнението им с теоретичния гаусов модел за дисперсията на аерозола в атмосферата, могат да се направят няколко извода.

Измерените нива на масовата концентрация на финитe прахови частици и при двата източника и за двата диапазона на радиуси (2,5 μm и 10 μm) са 2–3 пъти под средноденонощните пределно допустими концентрации.

От направените сравнения за дисперсията на аерозола между експерименталните данни и модела се вижда, че данните около шосето по-добре корелират помежду си, докато тези около циментовия завод, особено в края на трасето, значително се разминават. Това показва, че гаусовият модел описва по-добре дисперсията над равнинни терени, докато използването му при хълмисти и пресечени местности не е много удачно или трябва да се използва по-внимателно.

Друг интересен факт, който ясно се вижда върху направените графики за дисперсията, е, че теоретичните криви за масовата концентрация на аерозола дават малко по-високи стойности за канала 2,5 μm и малко по-ниски за 10 μm (разлика в интервала около 5 - 10%). Понеже по-голямата разлика е около завода, може да се твърди, че и тук основна роля играе по-сложната орография на терена, която допълнително би могла да турбулизира аерозолния факел и съответно да доведе до по-сложна картина на разпределението на приземната концентрация.

Благодарности

Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на:

- Национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и финансирана от МОН (Споразумение № Д01-322/18.12.2019).
- Дог. ГПФ № 244, НИС-МГУ, Срок: V – XII.2023 г. „Изследване на комплексното влияние на натоварен междуградски път и открита кариера за добив на инертни материали към циментов завод върху дисперсията на фини прахови частици в атмосферата на населено място“. Ръководител: доц. д-р Майя Вацкичева - катедра „Физика“, научен колектив:, доц. д-р Пламен Савов, доц. д-р Н. Колев, гл. ас. д-р Калинка Величкова, гл. ас. д-р Димитър Димитров - катедра „Физика”.

Литература

Abu-Allaban, M., Hani Abu-Qdais. 2011. Impact Assessment of Ambient Air Quality by Cement Industry: A Case Study in Jordan, *Aerosol and Air Quality Research* 11(7):802–810, 10.4209/aaqr.2011.07.0090

Buske, D., M. T´ullio Vilhena, T. Tirabassi, B. Bodmann. 2012. Air Pollution Steady-State Advection-Diffusion Equation: The General Three-Dimensional Solution. *Journal of Environmental Protection*, *3*, pp. 1124-1134.

Draxler, R. R. 1979. Estimating vertical diffusion from routine meteorological tower measurements, *Atmospheric Environment, Volume 13,* Issue 11, pp. 1559-1564.

Kolesnik, V. Ye., A.V. Pavlichenko, Yu. V. Buchavy. 2016. Determination of dynamic parameters of dust emission

from a coal mine fang. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (2)*, pp. 81–87.

Kolesnyk, V., A. Pavlychenko, O. Borysovska, Y. Buchavyi, D. Kulikova. 2020. Justification of the method of dust emissions localization on mobile crushing and sorting complexes of quarries with the use of air-andwater ejectors, *E3S Web of Conferences 168*, 00029, pp.14.

Kolev, N., P. Savov, M. Vatzkitcheva, K. Velichkova, D. Dimitrov, B. Vladkova, S. Toncheva. 2019. The impact of outdoor mining activities on atmospheric air quality in nearby settlements. *Journal of Mining and Geological Sciences, Volume 62*, Number 2, pp. 45-49.

Myronova, I., 2015. The level of atmospheric pollution around the iron-ore mine. *New Developments In Mining Engineering*, pp. 193-197.

Petrov, A., E. Batchvarova, M. Kolarova. 2016. Performance Assessment of Gaussian Dispersion Model AERMOD as a Tool for an Urban Air Quality Emergency Response, *3rd National Congress on Physical Sciences*, 29 Sep. - 2 Oct. 2016, Sofia, pp. 1-9. (in Bulgarian with English abstract).

Savov, P., N. Kolev, M. Vatzkitcheva, K. Velichkova, D. Dimitrov, B. Vladkova. 2021. Urban parks and their relation to air pollution. *Annual of University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, volume 64*, pp. 81-86.

Vambol, S., V. Vambol, I. Bohdanov, Y. Suchikova, N. Rashkevich. 2017. Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nanoinclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6*, 10(90), pp. 57-64.

Vatzkitcheva, M., K. Velichkova, N. Kolev, P. Savov. 2020. A study of horizontal distribution pattern of particulate pollutants near a highway, *Annual of University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, volume 63*, pp. 113-117.

Venegas, L. E., N. A. Mazzeo, M. C. Dezzutti. 2014. A simple model for calculating air pollution within street canyons, *Atmospheric Environment 87*, 77-86.

APPLICATIONS OF SOLVENT EXTRACTION TO RECOVER ZINC FROM SECONDARY MATERIALS

Ivanka Valchanova, Todor Angelov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: Ivanka.valchanova@gmail.com

ABSTRACT. A review of the applications of solvent extraction process for zinc recovery from several secondary materials is presented. These materials include electric arc furnace dust (EAFD), roast-leach-electrowinning (RLE) residue, Waelz oxides, and spent batteries. The use of solvent extraction technology for the treatment of such materials has increased significantly in the past few decades due to its rapid kinetics with high percentage of zinc recovery, selectivity and flexibility, simplicity of operation, environmental sustainability, and cost effectiveness. This review focuses on the secondary materials recycling, with special reference to the integration of the solvent extraction as a step in concentration and purification to produce high quality zinc metal. Process flowsheets and selected operational parameters for various zinc solvent extraction applications are discussed. The scale of operation and current status are also presented.

Key words: zinc, solvent extraction, recycling

ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПРОЦЕСА НА ТЕЧНА ЕКСТРАКЦИЯ ЗА ИЗВЛИЧАНЕ НА ЦИНК ОТ ВТОРИЧНИ МАТЕРИАЛИ

Иванка Вълчанова, Тодор Ангелов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Представен е преглед на приложѐния на процеса на течна екстракция за извличане на цинк от различни вторични материали. Тези материали включват прах от електродъгови пещи (EAFD), остатъци от класическия процес пържене-излужване-електролиза (RLE), Велц оксиди и отработени батерии. Използването на процеса на течна екстракция за третиране на такива материали нарасна значително през последните няколко десетилетия поради неговите бърза кинетика с висока степен на извличане на цинка, селективност и гъвкавост, лесен операционен контрол, екологична устойчивост и икономическа ефективност. Прегледът е фокусиран върху рециклирането на вторични материали със специално внимание, отделено на интегрирането на течната екстракция като етап на концентриране и пречистване с цел получаване на метален цинк с високо качество. Дискутирани са технологичните схеми и операционните параметри на различни приложения на цинковата течна екстракция, като са представени и нивата на разработка и текущото им състояние.

Ключови думи: цинк, течна екстракция, рециклиране

Въведение

Конвенционалният хидрометалургичен процес е разработен за преработка на цинкови сулфидни концентрати с високо съдържание на цинк и ниско съдържание на примеси. Интензивното развитие на цинковата промишленост в световен мащаб през последните години доведе до значително изчерпване на богатите цинкови рудни находища. За да се задоволят съществуващите производствени потребности от цинк се налага да се преработват комплексни суровини, някои от които се флотират трудно, а при други, поради сложната им минералогия, полученият цинков концентрат съдържа значителни количества примеси. В тези случаи, процесите на излужване и течна екстракция са все по-предпочитани в сравнение с традиционните техники. Основните типове разтвори след излужване са най-често сулфатни или хлоридни, и затова течната екстракция се провежда в тези среди.

На вторичните цинк-съдържащи източници се падат около 30% от произвеждания в световен мащаб цинк и тенденцията е този процент да се увеличава поради намаляване на първичните суровини и все по-строгите екологични изисквания. Пирометалургичните процеси за третиране на вторични материали са икономически ефективни единствено при постоянен състав на изходната суровина и висока производителност (Diaz and Martin, 1994), докато хидрометалургичните процеси са намерили успешно приложение, тъй като са по-малко чувствителни към тези ограничения. Основните вторични източници на цинк са: филтърни прахове от отпадни газове, прах от електродъгови пещи (EAFD), Велц оксиди, остатъци от класическия RLE процес, отработени батерии, утайки от поцинковане и други.

Преработване на прахове от филтриращите системи на пирометалургични производства

При производството на един тон стомана от галваничен скрап във филтруващите съоръжения на електрическите пещи се генерират 15-20 kg прах (EAFD),

който съдържа значително количество цинк (15-25% Zn, в някои случаи и над 25% Zn), (Hughes et al., 2007). Въпреки, че представлява опасен отпадък поради наличието на лесно излужващи се тежки метали (Pb, Cr, Cd и др.), този материал е един от основните вторични източници на цинк.

В началото на 90-те години на миналия век Modified Zincex Process (MZP) е използван в пилотен мащаб за третиране на EAFD, генериран в стоманодобивните заводи на испанския консорциум Elansa (Martín et al., 2002).

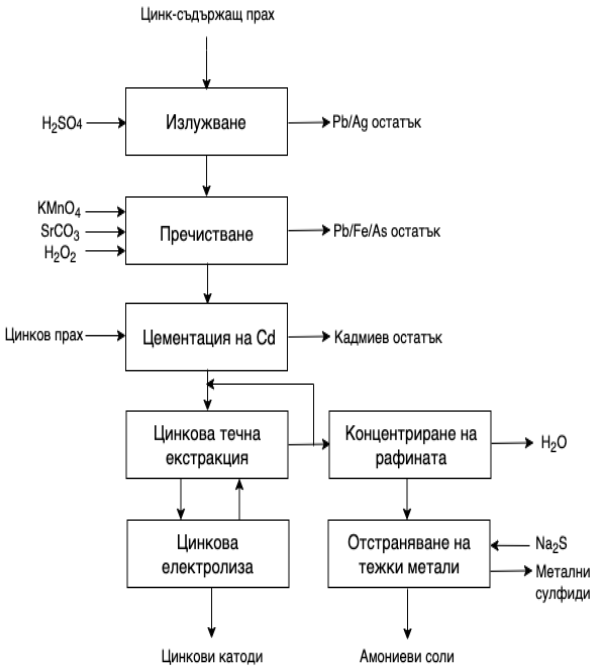
Малко по-късно, в Италия, е разработен процес за хидрометалургично извличане на цинк от същия тип материали (Lupi et al., 1999), включващ излужване, течна екстракция и електролиза. След сярнокисело излужване, полученият разтвор преминава през пет екстракционни стъпала, в които цинкът се екстрахира с 1 M DEHPA в разтворител керосин. Тъй като желязото не се отстранява от разтвора преди процеса на течна екстракция, то се екстрахира заедно с цинка.

При реекстракцията с 1 M сярна киселина в седем стъпала се реекстрахира само цинка, а желязото остава в органичната фаза. Когато съдържанието на ко-екстрахираното желязо достигне определена концентрация, то се отделя от органичната фаза с разтвор на солна киселина. По-късно, поради наблюдавана деградация на органичната фаза, третирането със солна киселина е заменено с редукционна реекстракция (Cole and Sole, 2003).

През 2010 г. Tsakiridis et al. (2010) предлагат процес за пречистване на разтвори, получени след агитационно излужване на EAFD с разредена сярна киселина. След отстраняване на желязото като ярозит, се провежда течна екстракция на цинк с 25% v/v CYANEX 272, разреден в керосин и с 5% TBP като модификатор, при pH 3.5 и температура 40°C. Набогатената с цинк органична фаза се реекстрахира с беден електролит (62.5 g/l Zn и 3 M H_2SO_4) при фазово отношение O/A=2:1, за получаване на разтвор, подходящ за електролиза.

Интегриране на течна екстракция на цинк при преработка на прахове от шахтова и реверберационна пещи при производство на олово в MetMax Penoles, Mexico е докладвано от Cole and Sole (2003). Процесът включва сярнокиселинно излужване, цементация със стронциев карбонат ($SrCO_3$), калиев перманганат ($KMnO_4$) и цинков прах за отстраняване на кадмий, олово, арсен и желязо, и екстракция на цинка от получения разтвор с 12% (v/v) D2EHPA при pH 2.5 - 3.

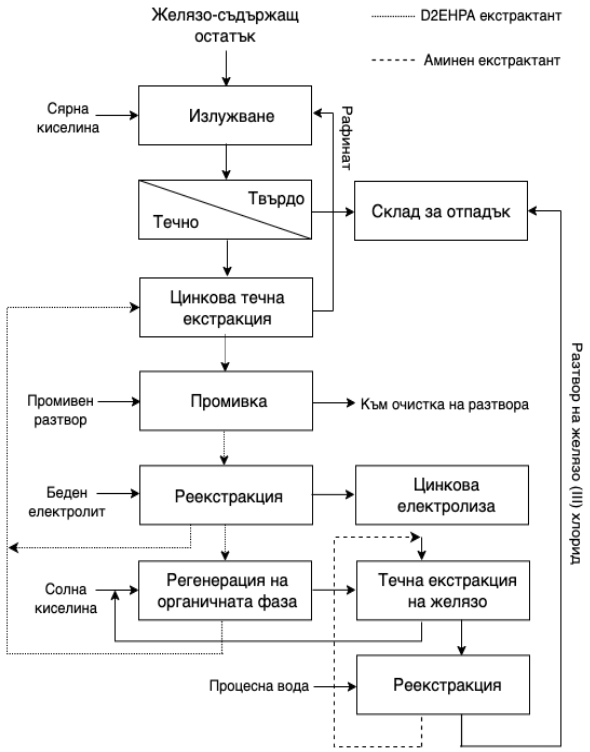
След две екстракционни стъпала концентрацията на цинка намалява от 8 g/l до 0.15 g/l. Поради присъствието на хлориди, разтворени по време на излужването, набогатената органична фаза се промива с вода за тяхното отстраняване. Накрая цинкът се реекстрахира от промитата органична фаза с беден електролит (Deep and de Carvalho, 2008). Производителността на инсталацията е 5000 тона на година цинкови катоди с 99.99% чистота (Filippou, 2004). На Фиг. 1 е показана схемата на процеса.



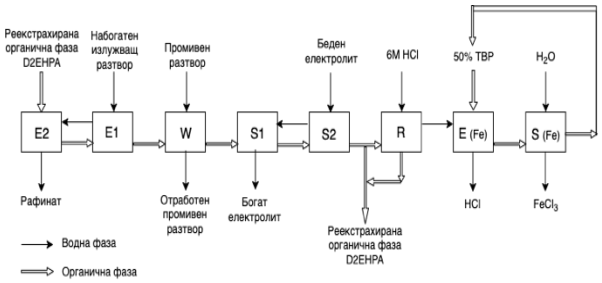
Фиг. 1. Схема за третиране на цинк-съдържащ прах в MetMax Penoles, Mexico (адаптирано от Cole and Sole, 2003)

Преработване на остатъци от RLE процеса

При очистката на разтворите в класическия RLE процес се генерират твърди желязо-съдържащи остатъци, съдържащи значителни количества цинк (17-20% Zn), което налага тяхната преработка, от икономическа и екологична гледна точка. В края на 80-те години на миналия век, Espanola del Zinc S.A. (Испания) разработва процес за извличане на цинк от тези остатъци, включващ течна екстракция като стъпало за пречистване и концентриране на разредените разтвори. Процесът се състои от излужване със слабо киселинен разтвор на сярна киселина, течна екстракция и електролиза. Това е първият комерсиален завод в света с използване на екстрактант D2EHPA за извличане на цинк от сулфатна среда. Набогатеният разтвор, получен от сярнокиселото излужване, съдържащ около 10 g/l Zn, 0.09 g/l Cu, 0.06 g/l Cd и 0.08 g/l Fe^{3+} се изпраща към процеса на течна екстракция. След два екстракционни етапа с помощта на 12% v/v D2EHPA при внимателен контрол на pH с амоняк при pH 2.0-2.5, цинкът се екстрахира над 98% (Heng et al., 1986). Рафинатът след второто екстракционно стъпало се връща към излужващия етап. За да се предотврати преминаването на примеси към електролита, набогатената органична фаза преминава през няколко промивни стъпала, където контактува с цинков сулфатен разтвор и след това се реекстрахира в две реекстракционни стъпала с беден електролит. Богатият реекстракционен разтвор се пропуска през две адсорбционни кули за отделяне на увлечената органика и се изпраща директно към електролизата. Технологичната схема на процеса в Espanola de Zinc е показана на Фиг. 2, а конфигурацията на течно-екстракционната верига – на Фиг. 3.



Фиг. 2. Схема на процеса в Espanola del Zinc за извличане на цинк (адаптирано от Heng et al., 1986)



Фиг. 3. Конфигурация на SX веригата на Espanola de Zinc (адаптирано от Cole and Sole, 2003)

Въпреки, че D2EHPA е ефективен екстрактант за цинк от киселинни разтвори, тя притежава много по-висок афинитет към фери-йоните, отколкото към цинка и веднъж екстрахирано фери-желязото се реекстрахира изключително трудно. Ето защо в технологичната схема на процеса в Espanola de Zinc е включена отделна верига за реекстрахиране на желязото със солна киселина, с което се предотвратява непрекъснатото му натрупване в цикъла (Monhemius, 1994). Полученият от регенерацията разтвор на железен трихлорид се екстрахира с помощта на 50% v/v TBP и в същото време се регенерира солната киселина. Желязо-хлоридният комплекс се реекстрахира от органичната фаза с вода в едно стъпало. Втората екстракционна верига по-късно е премахната поради по-ниското съдържание на желязо в използваните суровини.

Преработване на Велц оксиди

Велц оксидите се генерират при пирометалургичното третиране на различни вторични материали във Велц пещи. Характерно за получените оксиди е високото съдържание на хлориди и флуориди, което затруднява тяхната преработка по конвенционалната технология. Възможно решение на този проблем е използването на течната екстракция като етап за пречистване на разтворите (Garcıa et al., 2000).

MZP технологията е успешно приложена за третиране на непромити Велц оксиди в Portovesme, Сардиния, Италия през 2013 г. за увеличаване на капацитета на съществуващата рафинерия, произвеждайки допълнително количество от 52500 тона на година SHG цинк (Diaz et al., 2014). Процесът се състои от три екстракционни стъпала, три промивни стъпала и две реекстракционни стъпала с използване на катионен екстрактант D2EHPA. Полученият богат електролит се смесва с очистен разтвор от класическия RLE процес за получаване на цинкови катоди чрез електролиза. Това е пример за интегриране на MZP процеса в конвенционален завод за производство на цинк.

MZP технологията за третиране на непромити Велц оксиди (вторични оксидни материали) е намерила приложение и в пуснатия в експлоатация през 2014 г. завод Horsehead Zinc, Mooresboro, САЩ, който е с производителност от 140000 тона на година SHG цинк (Diaz et al., 2014).

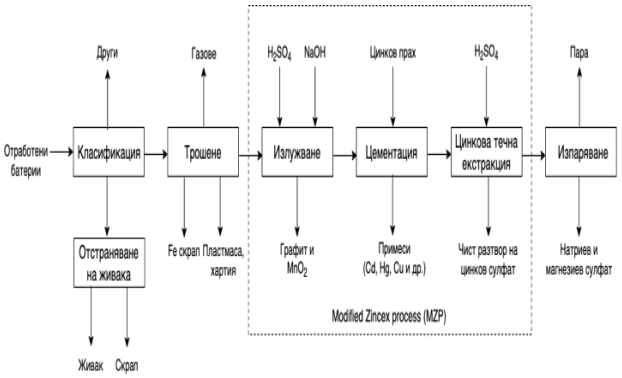
През 2010 г. в съществуващата цинкова рафинерия Akita Zinc, Япония, собственост на Akita Zinc Co., е интегриран MZP завод за извличане на цинк от Велц оксиди с годишна производителност на SHG цинк от 20 000 тона (Diaz et al., 2010). Това е първият завод в света, при който като изходна суровина се използват само Велц оксиди.

Преработване на отработени батерии

Процес за извличане на цинк от отработени цинково-манганови батерии с използване на течна екстракция е тестван в Швейцария през 1988 г. Първоначално изследванията се провеждат с екстрактант D2EHPA, за да се екстрахират цинкът и манганът, които след това се разделят чрез реекстракция. Изследванията в малък мащаб са успешни, но в пилотен мащаб непрекъснатата работа на процеса се оказва проблемна, поради необходимостта от строг контрол на pH. Понижаването на pH се балансира чрез неутрализация, но в този случай се генерират големи количества отпадни продукти, които трябва да се депонират. Това налага замяната на D2EHPA с друг екстрактант - CYANEX 301, като механизмът на цинкова екстракция е същият (катионобменен). И при двата реагента екстракцията е свързана със значително понижение на pH, особено при високи концентрации на разтворените метали. С използване на CYANEX 301 цинкът се екстрахира в органичната фаза при много ниски стойности на pH и неутрализация не е необходима. Манганът се екстрахира при pH над 2, затова екстрактантът е подходящ за това разделяне. Тъй като реекстракцията на мед и тривалентно желязо от CYANEX 301 е много трудна, същите трябва да са отделени предварително от захранващите разтвори (Steiner et al., 1990).

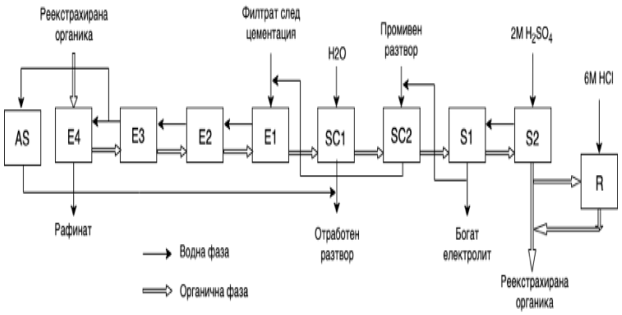
Първото комерсиално приложение на MZP процеса е през 1997 година, когато в близост до Барселона е пуснат

завод за третиране на 2800 тона на година отработени батерии (Martin et al., 2002). Целта на преработката е извличане на цинк и манган и получаване на чист разтвор на цинков сулфат от захранващия излужващ разтвор, съдържащ високи нива на примеси. Процесът се състои от предварителна подготовка, включваща класификация, трошене, отстраняване на хартиени, пластмасови и железни компоненти, при което се получава цинково-манганов прах, който след това се излужва с разтвор на сярна киселина при pH 1.8 – 2.2. На Фиг. 4 е представена схема на процеса за третиране на отработени батерии.



Фиг. 4. Схема на завода за третиране на отработени батерии (адаптирано от Martin et al., 2000)

Полученият след излужване набогатен разтвор се третира с калиева основа за преципитация на фери-желязо след което се подлага на цементация с цинков прах за отстраняване на някои примеси – мед, кадмий, живак, никел, кобалт. Полученият филтрат след цементацията е захранващ разтвор за цинковата течна екстракция. Цинкът се екстрахира с 15% v/v D2EHPA в три екстракционни стъпала, при което концентрацията му от 25 g/l се редуцира до 7 g/l в рафината. При концентрация на хлориди до 30 g/l, цинкът в разтвора е под формата на Zn^{2+} и използването на катионен екстрактант гарантира, че няма да се екстрахират хлориди заедно с цинка. По-голямата част от рафината се връща към излужването, с изключение на малка част (около 10%), от която цинкът се екстрахира в четвърто екстракционно стъпало с контрол на pH около 2 за максимално извличане. Отделянето на част от рафината има за цел да се ограничи натрупването на алкални елементи във веригата. Набогатената органична фаза се промива в две стъпала, като при първото се използва вода, за да се отстранят увлечените хлориди, а при второто - богат електролит, за отделяне на ко-екстрахираните калций и магнезий. Промитата органична фаза се реекстрахира с 2M H_2SO_4, продуцирайки богат електролит, съдържащ 140 g/l Zn. Част от реекстрахираната органична фаза отново се регенерира с 6 M HCl, за да се предотврати натрупването на желязо. Поради малкия мащаб на работа, този процес не е икономически рентабилен и през 2000 година заводът преустановява работа. Течно-екстракционната верига е представена схематично на Фиг. 5.



Фиг. 5. Конфигурация на SX веригата в завод за третиране на отработени батерии (адаптирано от Cole and Sole, 2003)

Заключение

Процесът на пречистване е един от най-важните процеси в хидрометалургията на цинка. Получаването на чист електролит има огромно значение, тъй като от това зависи ефективността на процеса, неговото усъвършенстване и интензифициране. Особено вредно влияние върху електролизата на цинка оказват по-електроположителните от него примеси, които се намират в електролита. Това налага разтворите, получени от излужване на различни първични и вторични източници да се подлагат на пречистване. Този процес става особено актуален поради обедняването на суровините и преработката на комплексни концентрати, оксидни руди и остатъци, получени при традиционните металургични производства на основните метали - цинк, мед, олово.

Напоследък, като алтернатива на конвенционалния подход за пречистване на разтворите все по-голямо приложение намира процесът на течна екстракция, който е много ефективен за третиране на разтвори, получени при сярнокиселинно, хлоридно, амонячно излужване и биоизлужване на нестандартни и вторични цинк-съдържащи източници. Основните предимства на течната екстракция за разделяне и пречистване на разтворите са следните: възможност да се третират разтвори с концентрации на цинк, вариращи в широки граници; бързи екстракционни и реекстракционни кинетики; висока степен на разделяне на металните йони; възможност за провеждане на непрекъснат процес в затворена система; отсъствие на етапи на утаяване и филтруване.

Литература

Cole, P. M., K. C. Sole. 2003. Zinc solvent extraction in the process industries. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 24*(2), 91–137.

Deep, A., J. M. R. de Carvalho. 2008. Review on the recent developments in the solvent extraction of zinc. *Solvent Extraction and Ion Exchange, 26*(4), 375–404.

Diaz, G., A. B. Mejias, D. Martin, F. Cubeddu. 2014. Zincex technology: recent industrial operations. *Proceedings of Hydrometallurgy, 1.*

Diaz, G., C. Frias, C. Onoberhie, F. Sanchez, D. Martin. 2010. Improving zinc smelter profitability. Is secondary zinc the solution? Use Zincex solvent extraction. *Proceedings of Pb-Zn 2010 International symposium on lead and zinc processing.*

Díaz, G., D. Martín. 1994. Modified Zincex process: The clean, safe and profitable solution to the zinc secondaries treatment. *Resources, Conservation and Recycling, 10*(1-2), 43-57.

Filippou, D. 2004. Innovative hydrometallurgical processes for the primary processing of zinc. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 25*(3), 205–252.

García, M., A. Mejías, D. Martín, G. Díaz. 2000. Upcoming zinc mine projects: The key for success is Zincex solvent extraction. *Lead-Zinc 2000*, 751–762.

Heng, R., R. Lehmann, D. J. Garcia. 1986. Zinc recovery from hydrometallurgical zinc processing residues by solvent extraction. *Proceedings of International Solvent Extraction Conference ISEC'86, 2*, 613-619.

Hughes, S., R. Matusewticz, M. A. Reuter, D. Sherrington. 2007. Ausmelt - Extracting value from EAF Dust. In *Proceedings EMC*, *3*, 1993-1208.

Lupi, C., M. Cavallini, A. Ferone, D. Pilone, P. P. Milella, R. Mussapi. 1999. Hydrometallurgical way to recover zinc and lead from EAF dusts. *EPD Congress* 1999, 621-629.

Martín, D., G. Díaz, M. García, F. Sánchez. 2002. Extending zinc production possibilities through solvent extraction. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 102*(8), 463-467.

Monhemius, A. J. 1994. Recent advances in the use of solvent extraction in hydrometallurgy. *Bulletin Chemical Technology Macedonia, 13*, 7-12.

Steiner, L., X. Miaolin, S. Hartland. 1990. Recovery of zinc and manganese from waste batteries by liquid-liquid extraction. *Solvent extraction; Sekine, T. (Ed.)*; Elsevier, 1175–1180.

Tsakiridis, P. E., P. Oustadakis, A. Katsiapi, A. Agatzini-Leonardou. 2010. Hydrometallurgical process for zinc recovery from electric arc furnace dust (EAFD). Part II: Downstream processing and zinc recovery by electrowinning. *Journal of Hazardous Materials, 179*(1-3), 8-14.

PHYSICOCHEMICAL AND BACTERIAL-MORPHOLOGICAL CHARACTERISATION OF DAIRY PRODUCTS

Viktoria Grozdanova, Polina Velichkova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: viktoria.grozdanova7@gmail.com

ABSTRACT. Lactic acid bacteria possess the ability to efficiently convert lactose into lactic acid. This leads to an increase in acidity, coagulation of proteins, and prevents the growth of unwanted microorganisms. The most consumed fermented milk product worldwide is yoghurt, followed by ayran, kefir, koumiss, and others. Unlike Bulgarian yoghurt, which is obtained by adding starter cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subspecies *bulgaricus*, kefir and koumiss are obtained by a mixed starter culture of lactic acid bacteria and yeast. To determine the physicochemical and morphological differences between fermented dairy products (homemade yoghurt, purchased yoghurt with 2 % fat as per the Bulgarian State Standard, ayran with 1.8 % fat, and kefir with 3 % fat), active (pH) and titratable acidity (ºT), lactic acid (%), and dry matter (%) were determined. The morphology of the microorganisms was established through the Loeffler method and observation of the microscopic preparations with an immersion objective (x100). The results were close and similar for both types of yoghurt: 13.4-13.5 % dry matter, 1.5-1.7 % lactic acid, and active acidity around 4.00. In the case of the drinking products, large differences were found related to the technological process of their production and the starter cultures used.

Key words: dairy products, lactic acid, titratable acidity, lactic acid bacteria, lactic acid fermentation.

ФИЗИКОХИМИЧНО И БАКТЕРИАЛНО-МОРФОЛОГИЧНО ОХАРАКТЕРИЗИРАНЕ НА МЛЕЧНОКИСЕЛИ ПРОДУКТИ

Виктория Грозданова, Полина Величкова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Млечнокиселите бактерии притежават способността ефективно да превръщат лактозата в млечна. Това води до повишаване на киселинността, коагулацията на белтъчините и предотвратява растежа на нежелани микроорганизми. Най-употребяваният ферментирал млечен продукт в световен мащаб е киселото мляко, следвано от айряна, кефира, кумиса и други. За разлика от българското кисело мляко, което се получава чрез добавяне на закваска от *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subspecies *bulgaricus*, кефирът и кумисът се получават чрез смесена закваска от млечнокисели бактерии и дрожди. За да се установят физикохимичните и морфологични разлики между ферментирали млечни продукти (домашно кисело мляко, кисело мляко с 2 % масленост по БДС от търговската мрежа, айрян с 1,8 % масленост и кефир с 3 % масленост), бяха измерени и сравнени активна (pH) и титруема киселинност (ºT), млечна киселина (%) и сухо вещество (%). Чрез метода на Льофлер и наблюдение на микроскопските препарати с имерсионен обектив (x100), бе установена морфологията на микроорганизмите. Резултатите бяха близки и сходни за двата вида кисело мляко: 13,4-13,5 % сухо вещество, 1,5-1,7 % млечна киселина, активна киселинност около 4.00. При продуктите за пиене се установиха големи разлики, свързани с технологичния процес на тяхното производство и използваната закваска.

Ключови думи: млечнокисели продукти, млечна киселина, титруема киселинност, млечнокисели бактерии, млечнокисела ферментация.

Въведение

Пробиотиците са живи непатогенни микроорганизми, прилагани за подобряване на микробния баланс, особено в стомашно-чревния тракт. Състоят от дрожди (например *Saccharomyces boulardii*) или млечнокисели бактерии (например *Lactobacillus, Streptococcus u Bifidobacterium*). Пробиотиците упражняват своите благоприятни ефекти чрез различни механизми, включително понижаване на pH на червата, намаляване на колонизацията и инвазията от патогенни организми (Williams, 2010).

Киселото мляко е сред най-разпространените ферментирали млечни продукти в световен мащаб. За производството му се използват бактерии, известни като „стартерни култури за кисело мляко“- *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Те превръщат млечната захар (лактоза) в млечна киселина (Kim and Oh, 2013).

Айрянът е хранително балансиран ферментирал млечен продукт, който съдържа въглехидрати, белтъчини, мазнини, витамини и минерали. Промишлено се получава чрез ферментация на разредено мляко с вода с помощта на бактериите от киселото мляко (*Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) при 42 - 45 ºC, докато pH достигне около 4,4 – 4,6. След това се добавя солта и следва охлаждане до 4 ºC при непрекъснато разбъркване. Стандартно се описва като течен млечен продукт, претърпял млечнокисела ферментация, с добавка на вода под 50 % и съдържание на сол около 0,8 % (Koksoy and Kiliç, 2003; Ozdemir and Kilic, 2004).

В България под „кефир“ се разбира млечен продукт, получен от краве мляко в резултат на развитие на

млечнокисела и алкохолна ферментация. За закваска се използват стартерни култури на *Lactobacillus kefiri, Leuconostoc, Lactococcus* и *Acetobacter* в определено съотношение и дрожди *Kluyveromyces marxianus, Saccharomyces unisporus, Saccharomyces cerevisiae* и *Saccharomyces exiguus* в определени съотношения, както и кефирни зърна (Наредба за специфичните изисквания към млечните продукти). Съставът му варира в зависимост от вида на млякото и микробиологичния състав на закваската. В зависимост от средата, в която протичат ферментационните процеси, може да се говори за два вида кефир – воден и млечен (Azizi et al., 2021). Най-често се използват кефирни зърна или майчини култури, приготвени от кефирни зърна (малки, твърди, с неправилна форма, жълтеникаво-бели гранули с различен диаметър от 3 до 35 мм). Те съдържат млечнокисели бактерии (*Lactobacillus, Lactococcus, Leuconostoc, Streptococcus*), дрожди (*Candida* sp., *Kluyveromyces* sp., *Saccharomyces* sp., *Torulopsis* sp., *Zygosaccharomyces* sp.) и понякога оцетнокисели бактерии (*Acetobacter* sp.), свързани с казеин и въглехидрати в полизахаридна матрица. Основният полизахарид е кефиранът, включващ равни количества глюкоза и галактоза. Микроорганизмите в кефира произвеждат витамини, разграждат белтъчини и хидролизират лактозата, което води до получаването на високо питателна и лесно смилаема храна. (Beshkova et al., 2002; Guzel-Seydim et al., 2005; Otles and Cagindi, 2003; Arslan, 2015).

Целта на настоящата работа е да се сравнят физикохимичните и бактериално-морфологични параметри между различни ферментирали млечни продукти – домашно кисело мляко, кисело мляко с 2 % масленост по БДС 12:2010, айрян с 1,8 % масленост и кефир с 3 % масленост, закупени от търговската мрежа.

Материали и методи

Физикохимични и аналитични методи

Сухото вещество (%) беше измерено с електронен анализатор на влага (Kern DAB, Германия). Активната киселинност (pH) беше определена с pH-метър (HANNA HI-8424, USA). Титруемата киселинност (ºT) беше определена по метода на Тьорнер (БДС 1111-80) и след това беше изчислено количеството млечна киселина (%). Чрез йодна реакция беше изследвано дали млечнокиселите продукти са сгъстени изкуствено чрез добавяне на нишесте.

Бактериално-морфологични анализи

Морфологията на млечнокиселите бактерии в анализираните продукти беше изследвана чрез прост метод на оцветяване на бактериите (с метиленово синьо на Льофлер) и наблюдение с имерсионен обектив при увеличение 100 пъти (Misra et al., 1994). Снимките бяха направени с 5 MP камера за окуляр.

Резултати и дискусия

В табл. 1 са дадени основните физикохимични показатели, по които е направено сравнение между различните проби - домашно кисело мляко, кисело мляко по БДС, айрян и кефир.

Табл. 1. *Физикохимични показатели на изследваните млечнокисели продукти*

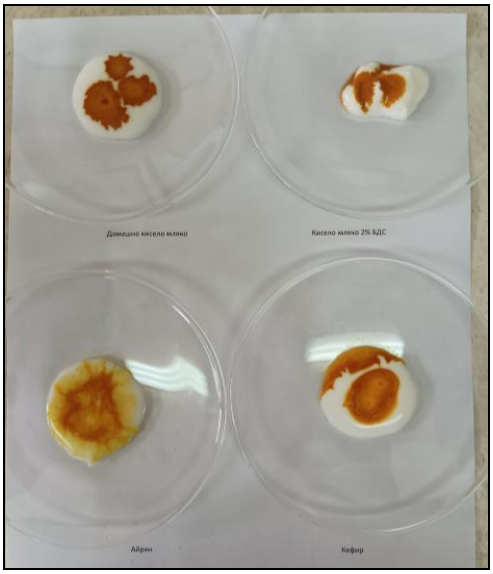
Параметър	Домашно кисело мляко	Кисело мляко по БДС	Айрян	Кефир
Сухо вещество, %	13.43	13.53	7.54	13.76
Активна киселинност (pH)	4.06	3.99	3.88	4.45
Титруема киселинност, ºT	164	187	68	132
Млечна киселина, %	1.476	1.683	0.612	1.188

Сравнявайки двата вида кисело мляко - домашно заквасено и от търговската мрежа, се забелязва, че няма съществени разлики във физикохимичните показатели. Активната киселинност е около 4,00 и при двата продукта, сухото вещество е 13,43 % при първото и 13,53 % при второто. Според БДС 12:2010 съдържанието на сухо вещество в пълномаслено българско краве кисело мляко трябва да е не по-малко от 11,8 %, което кореспондира с получените резултати. Съдържанието на млечна киселина е съответно 1,476 % и 1,683 %, а титруемата киселинност - 164 и 187 ºT. След добавяне на закваската разфасованото мляко започва да се охлажда до достигане на температура 2 ºC - 6 ºC и 90 ºT - 110 ºT киселинност с цел прекратяване на ферментацията, след което престоява в хладилни камери за „узряване“ (БДС 12:2010). Киселинността на готовия продукт трябва да е от 90 ºT до 150 ºT. И при двете изследвани кисели млека киселинността е малко по-висока, което може да се дължи на забавяне в стъпката с охлаждането на продукта.

Напълно очаквано, резултатите за айряна показват по-малко сухо вещество (7,54 %), по-ниска титруема киселинност (68 ºT) и съдържание на млечна киселина (0,612 %) в сравнение с киселото мляко. Активната киселинност е малко по-ниска- 3,88.

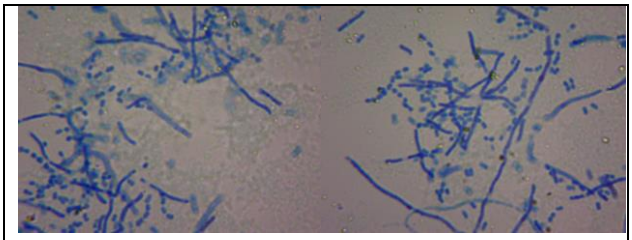
Кефирът се характеризира с pH стойности в диапазона 4,2 - 4,7, съдържа 0,8 - 1,2 % млечна киселина, 0,5 - 0,7 % етанол, 0,20% CO2, 0,2 % липиди, 3,0% протеин, 6,0 % захар, 0,7 % пепел, 89 – 90 % влага (Sarkar, 2007; Wszolek et al., 2006). Получените данни за анализирания кефир, кореспондират с литературните. Сухото вещество е 13,76 %, активната киселинност- 4,45, титруемата - 132 ºT, а съдържанието на млечна киселина е 1,188 %.

Гъстата консистенция на млечнокиселите продукти може да се дължи на добавено нишесте към тях. Това компрометира реалния процес на ферментация и заблуждава купувача, че купува качествен продукт. На фиг. 1 е показана снимка от анализа с йодна проба за установяване наличието на скорбяла с пробите. Резултатите показват, че в нито един от изследваните млечнокисели продукта няма положителна реакция за наличие на нишесте, тъй като пробите остават оцветени в кафяво, а не в синьо-виолетово.

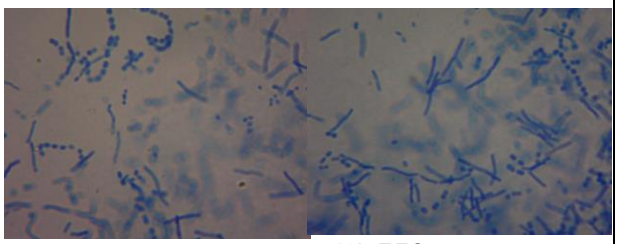


Фиг. 1. Проверка на млечнокиселите продукти за добавено нишесте с йодна проба

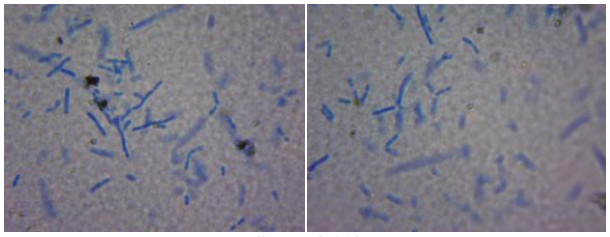
На фиг. 2 са показани микроскопските снимки на направените цветни препарати от анализираните проби.



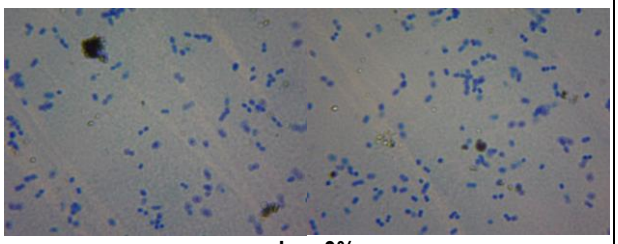
домашно кисело мляко



кисело мляко 2%, БДС



айрян 1,8%



кефир 3%

Фиг. 2. Снимки на оцветените микроскопски препарати на млечнокиселите продукти

При двата вида кисело мляко и айряна (първите 3 реда на фиг. 2) се наблюдават типичните пръчковидни бактерии *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* и коковидни бактерии *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*. Наличието на множество клетки на *Str. thermophilus* в двете кисели млека и установената сравнително по-високата титруема киселинност доказва, че в асоциация с *L. bulgaricus,* стрептококът издържа на киселинност 180 ºТ - 190 ºТ. Също така впечатление прави и наличието на повече пръчки при киселото мляко от търговската мрежа в сравнение с домашното, но и при двете *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* има голям превес пред *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus.*

Тъй като айрянът представлява разредено с вода кисело мляко, броят на микроорганизмите в него е по-малко от този в останалите млечнокисели продукти. На фиг. 2 ясно се различават двете характерни за киселото мляко бактерии - *Lactobacillus bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*, като съотношението им е около 1:2.

Съставът на стартерната култура за кефир варира и може да включва *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и subsp. *cremoris, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus kefir, Lactobacillus casei, Candida kefyr* (Kim and Oh, 2013). От морфологичното охарактеризиране на анализирания кефир, се вижда, че преобладават коковидни бактерии-може би лактококи *Lactococcus lactis* и стрептококи *Streptococcus thermophilus*, докато пръчковидните бактерии се ограничават до 1-2 броя в натривката.

Заключение

От проведения сравнителен анализ на различните ферментирали млечни продукти се установи, че има високо сходство във физикохимичните параметри между киселите млека. Съдържанието на млечна киселина при киселите млека е 1,476-1,683 %, в кефира – 1,188 %, а в айряна – 0,612 %. Резултатите напълно кореспондират с литературните данни за изследваните ферментирали продукти. Не беше установена външна намеса чрез добавяне на нишесте с цел подправено сгъстяване. При двата вида кисело мляко и айряна бяха открити типичните бактерии *Lactobacillus bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus* с преобладаващи стрептококи пред пръчките, докато при кефира бяха открити основно коковидни бактерии с минимално наличие на пръчковидни. Обект за бъдещи сравнителни анализи биха били микробиологичните методи за определяне броя на млечнокиселите бактерии, както и диференциално оцветяване по Грам.

Литература

БДС 1111-80. *Мляко и млечни продукти*. Метод за определяне на титруемата киселинност. https://www.bds-bg.org

БДС 12:2010. *Български стандарт за Българско кисело мляко*. https://www.bds-bg.org

Наредба за специфичните изисквания към млечните продукти в сила от 04.11.2021. *Глава втора-Специфични изисквания към млечните продукти*, Министерство на земеделието. https://www.mzh.

government.bg/media/filer_public/2021/08/04/naredba_za_spetsifichnite_iziskvaniia_km_mlechnite_produkti.pdf

Arslan, S. 2015. A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. – *CyTA-Journal of Food*, 13, 3, 340-345, DOI:10.1080/19476337.2014.981588.

Azizi, N. F., M. R. Kumar, S. K. Yeap, J. O. Abdullah, M. Khalid, A. R. Omar, M. A. Osman, S. A. S. Mortadza, N. B. Alitheen. 2021. Kefir and Its Biological Activities. - *Foods*, 10, 1210-1235.

Beshkova, D. M., E. D. Simova, Z. I. Simov, G. I. Frengova, Z. N. Spasov. 2002. Pure cultures for making kefir. - *Food Microbiology*, 19, 537–544. doi:10.1006/fmic.2002.0499.

Guzel-Seydim, Z., J. T. Wyffels, A. C. Seydim, A. K. Greene. 2005. Turkish kefir and kefir grains: Microbial enumeration and electron microscopic observation. - *International Journal of Dairy Technology*, 58, 25–29. doi:10.1111/j.1471-0307.2005.00177.x.

Kim, S.-H., S. Oh. 2013. *Fermented Milk and Yogurt*. Milk and Dairy Products in Human Nutrition, 338–356. doi:10.1002/9781118534168.ch16.

Misra, V., S. P. Misra, M. Dwivedi, S. C. Gupta. 1994. The Loeffler’s methylene blue stain: An inexpensive and rapid method for detection of Helicobacter pylori. – *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 9, 5, 512–513. doi:10.1111/j.1440-1746.1994.tb01283.x.

Otles, S., O. Cagindi. 2003. Kefir: A probiotic dairy-composition, nutritional and therapeutic aspects. - *Pakistan Journal of Nutrition*, 2, 54–59. doi:10.3923/pjn.2003.54.59.

Sarkar, S. 2008. Biotechnological innovations in kefir production: A review. - *British Food Journal*, 110, 283–295. doi:10.1108/00070700810858691.

Williams, N. T. 2010. Probiotics. - *American Journal of Health-System Pharmacy*, 67, 6, 449–458. doi:10.2146/ajhp090168.

Wszolek, M., B. Kupiec-Teahan, H. Skov Guldager, A.Y. Tamime. 2006. *Production of Kefir, Koumiss and Other Related Products*. Fermented Milks, edited by A.Y. Tamime, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 174-216.

ON THE POSSIBILITIES FOR IMPROVING DRAINAGE SYSTEMS AND SAFETY FACTOR WITH COMBINED MINE WASTE DUMP FACILITIES

Ljupcho Dimitrov, Ivaylo Koprev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ljupcho.dimitrov@mgu.bg

ABSTRACT. The information about the phreatic surface and moisture content of the depositing tailings from the processing plant has a crucial role in the design, construction, and maintenance of a tailings storage facility (TSF). This problem does not exclude the combined mine waste dump facilities (CMWDF). A CMWDF was designed with publicly available information for the integrated mine waste facility (IMWSF) that is under construction in the *Ada Tepe* mine in the town of Krumovgrad, Bulgaria. In this paper, the level of the phreatic surface was considered while calculating the factor of safety (FS). The FS was calculated on a high phreatic surface passing throughout the starting platform, and a low one which ends in the back end. The data about the material was from the publicly available data about the overburden and tailings produced from the mine and processing plant. The version with the higher phreatic surface has lower FS, than the one with the lower phreatic surface. The results were compared with the FS calculated by Dimitrov and Koprev (2023) on the same designed facility, but with fully drained and consolidated tailings. Various drainage systems were discussed, and recommendations were given. The calculations were made using the *Slide 2* program from *Rocscience*.

Key words: tailings storage facilities, tailings deposition, co-disposal, safety factor, drainage systems

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ДРЕНАЖНИТЕ СИСТЕМИ И УСТОЙЧИВОСТТА ПРИ КОМБИНИРАНИТЕ СЪОРЪЖЕНИЯ ЗА ДЕПОНИРАНЕ НА МИННИ ОТПАДЪЦИ

Люпчо Димитров, Ивайло Копрев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Информацията за водното ниво и влага в отпадъка от обогатителните фабрики са от много съществена важност при проектиране, конструкция и поддържане на отпадъкохранилищата. Същият проблем важи и за комбинираните съоръжения за депониране на минни отпадъци (КСДМО). Проектирано е КСДМО с публично достъпните данни за интегрираното съоръжение за съхранение на минни отпадъци (ИССМО), което в момента е в експлоатация в рудник „Ада Тепе“ в Крумовград, България. За изчисляване коефициента на устойчивост (КУ) бяха разгледани различни нива на водното ниво в съоръженията. КУ беше определен при по-високо водно ниво, което минава през стартовата платформа, и с по-ниско водно ниво, което минава под стартовата платформа по дренажната система. Данните за откривката и отпадъка са също така от публично достъпните данни за материалите. Вариантът с по-високо водно ниво даде по-ниски резултати от варианта с по-ниско водно ниво. Резултатите са сравнени с КУ, изчислен от Димитров и Копрев (2023) при вариант на същото проектирано съоръжение, но с изцяло консолидирал отпадък. Бяха разгледани възможности за дренажни системи и са предложени решения. Изчисленията са направени с софтуерен продукт Slide 2 на Rocscience.

Ключови думи: Отпадъкохранилища, депониране на отпадък, комбинирано депониране, коефициент на устойчивост, дренажни системи

Introduction

The mining industry generates large volumes of waste materials that need to be properly managed to prevent negative environmental impacts. Plenty of authors (Tayebi-Khorami et al., 2019), (Yankova, 2020; 2021) emphasise the key problems with mining and processing waste, along with tailings storage, mining waste amount reduction and safe storage. Effective waste management is the basis of sustainable development (Yankova, 2020; 2021). Many experts contend the present stage of the mineral-raw material industry evolution is described by mineral deposits with complex mining-geological conditions, difficult for mining, and low-grade ores with complex processing, which leads to considerable waste quantities formation. Proper waste storage is critical to the planet and human health (Grigorova, Nishkov, 2016).

One common practice is the construction of Tailings Storage Facilities (TSFs) to store mine waste. However, these facilities require significant amounts of land and can pose a risk of catastrophic failure, leading to environmental damage and potential harm to nearby communities.

An alternative approach is the use of an Integrated Mine Waste Storage Facility (IMWSF), also known as a Combined Mine Waste Dump Facility (CMWDF), which combines mine waste materials in a single location. This method has the potential to reduce the required land area, decrease construction costs, and improve environmental management.

The great challenge which TSF and CMWDF face is the control of the water from the tailings consolidation and the runoff inflow. In the process of consolidation, a great amount of water is released, which needs to be safely transported out of the facility. This is done by internal or external drainage systems. The drainage systems in the TSF depend on the design method

and can be designed to be constructed in the embankment from the inside of the embankment or in another place. In the Evaluation of Liner Requirements report by *AMEC Earth and Environmental UK Ltd.* (Diaz M., 2014) is given that the drainage system in the IMWFS in the *Ada Tepe* mine is designed under the facility, and this is possible because of the bench-by-bench construction of the facility. In that way, the cells will be in direct contact with the drainage system allowing it to drain and consolidate faster.

The control of the phreatic surface is crucial in the construction and operation of a CMWDF. In this study are presented results considering the change in heights of the phreatic surface and calculating the FS. Discussion about the possibilities of the drainage system is made.

Background

Facilities such as the CMWDF are great but expensive and complex to construct. Such a facility is great because it offers a storage capacity for less impacted area. The IMWSF currently under construction in Krumovgrad, Bulgaria saves approximately 55 % of surface area, concluded Eldridge et al. (2011). To build a separate waste dump and tailings storage facility, 96 ha of land was needed. With implementing this technology, the construction area decreased to 41 ha (Eldridge et al. 2011). One more positive characteristic of IMWSF is that it is relatively easy to monitor their stability and water drainage. According to Grigorova (2020), electrical resistivity measured is directly related to the geological characteristics of the study area, such as lithological composition, fluid saturation, porosity, and others. This information is very important for monitoring the effect of internal water drainage into constructed cells (ibid).

Other than the positive sides, this design has its negative sides, such as the expensive construction materials and technology, and the difficult operational sequence. Aleksandrova et al. (2021) suggest that the operational sequence can be managed by using the critical path method (CPM), which will give information about the important and urgent tasks that need to be started earlier and the ones that can be delayed. Dimitrov et al. (2023) have designed two variants of a CMWDF. The first one was with a wider body, and the second was with a narrower. The authors have concluded that the wider body has a better operational sequence because of the greater number of available cells, which can accumulate thickened tailings.

Methodology

Dimitrov and Koprev (2023) designed a CMWDF in AutoCAD Civil 3D. The CMWDF is designed using the publicly available data for the IMWSF which is used to store the tailings and waste rock from the *Ada Tepe* mine in Krumovgrad, Bulgaria. The same design was used to evaluate how the change in the phreatic surface influences the FS.

In the design, there are two facilities designed. The facilities are named by the side on which they belong, hence the names: “East” and “West” facilities.

The design has four variants which differ by the thickness of the tailings layer. The four variants are with 3 m, 5 m, 7 m, and 9 m thick layers of tailings (LOT) on every bench.

The phreatic surface was added using the command “Piezometric Line” in the *Slide 2* software from *Rocscience*.

For the calculation of the factor of safety (FS), 2D central profiles of all the variants were designed. The profiles were extracted as DXF files from *AutoCAD Civil 3D* and imported into *Slide 2* from *Rocscience*.

In the program, all the material properties were set using publicly available data for the overburden and tailings stored in the IMFDF in the *Ada Tepe* mine in Krumovgrad, Bulgaria.

The friction angle for the tailings and the overburden used for the construction are taken from the environmental impact statement (EIS) made by *Balkan Mineral and Mining EAD* in 2010 (Petkov G. 2010). As stated in the EIS (2010), the angle of friction is 40° for the waste rock (overburden) and 30° for the thickened tailings (at 56% w/w solids). The material density of the overburden is given at 2.00 g/cm^3 in the "NI 43-101 Technical Report" made by *CSA Global* (White G. et al. 2014). The material density for the tailings is given to be 1.45 g/cm^3 in the Evaluation of liner requirements report by *AMEC Earth and Environmental UK Ltd.* (2014). For the drainage system and the base, the same friction angle was used. For the base, a material density was used for fresh breccia conglomerate given in Table 44 in the report from "CSA Global" (White G. et al. 2014).

For all the materials, cohesion was given as 1 kPa, which was done because the calculations could not be performed with 0 kPa of cohesion. The base was given as "Infinite strength," which means that it will not fail under any circumstances, but the option was chosen for the failure surface to be allowed to pass through it.

The water level is added above the drainage system because it is meant to be ~~also~~ used for atmospheric water, too, so it will have water running through and near it.

The calculations were made using the option "Circular" surface type and the *Eurocode 7 - Design approach 3* design standard.

Calculations were not made for the 7 and 9 m variants because the facilities were not as high.

Results

The results given in Tables 1 and 2 show that the phreatic surface influences the FS; but when it ends in the back end of the starting platform, the results are approximately the same as the results in the case of consolidated tailings given in the paper published by Dimitrov and Koprev (2023). In the case when it passes through the starting platform, the FS decreases by approximately 0.3. The models from the calculations are given in Figures 1 to 6. Only the models with high phreatic surface are given.

Table 1. *FS for the well-controlled phreatic surface*

Thickness of the Tailings layer, m	West CMWDF				East CMWDF			
	3 m	5 m	7 m	9 m	3 m	5 m	7 m	9 m
Method Name	Factor of safety							
Janbu corrected	1.83	1.78	1.63	1.55	1.83	1.80	-	-
Spencer	1.80	1.76	1.64	1.54	1.80	1.78	-	-
Corps of Engineers #1	1.80	1.76	1.64	1.54	1.80	1.78	-	-
Corps of Engineers #2	1.80	1.75	1.64	1.53	1.80	1.77	-	-
GLE / Morgenstern-Price	1.80	1.76	1.64	1.53	1.80	1.77	-	-
Sarma	1.80	1.75	1.64	1.53	1.80	1.77	-	-

Table 2. *FS for high phreatic surface*

Thickness of the Tailings layer, m	West CMWDF				East CMWDF			
	3 m	5 m	7 m	9 m	3 m	5 m	7 m	9 m
Method Name	Factor of safety							
Janbu corrected	1.46	1.44	1.43	1.33	1.69	1.48	-	-
Spencer	1.45	1.43	1.43	1.34	1.70	1.48	-	-
Corps of Engineers #1	1.46	1.44	1.44	1.34	1.70	1.48	-	-
Corps of Engineers #2	1.45	1.43	1.43	1.34	1.68	1.49	-	-
GLE / Morgenstern-Price	1.45	1.43	1.43	1.33	1.70	1.48	-	-
Sarma	1.45	1.43	1.43	1.33	1.70	1.47	-	-

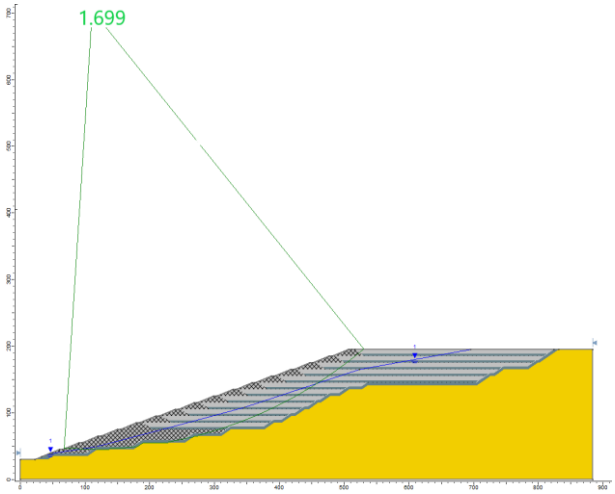


Fig. 1. East CMWDF with 3 m LOT with high phreatic surface

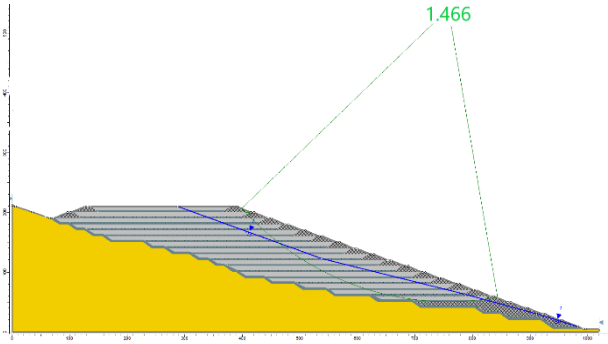


Fig. 2. West CMWDF with 3 m LOT with high phreatic surface

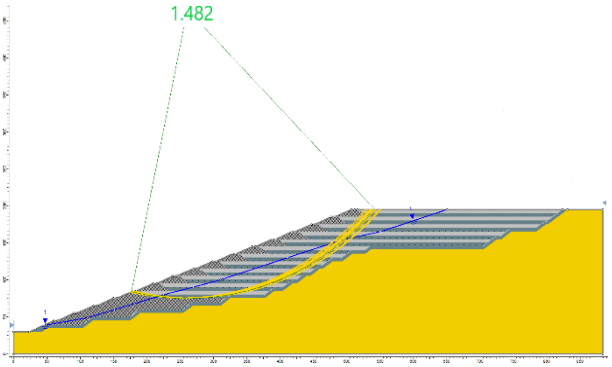


Fig. 3. East CMWDF with 5 m LOT with high phreatic surface

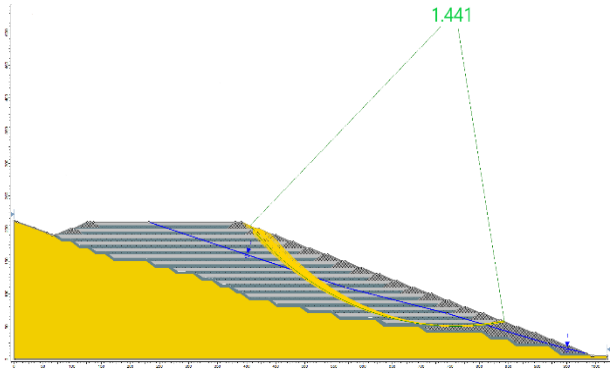


Fig. 4. West CMWDF with 5 m LOT with high phreatic surface

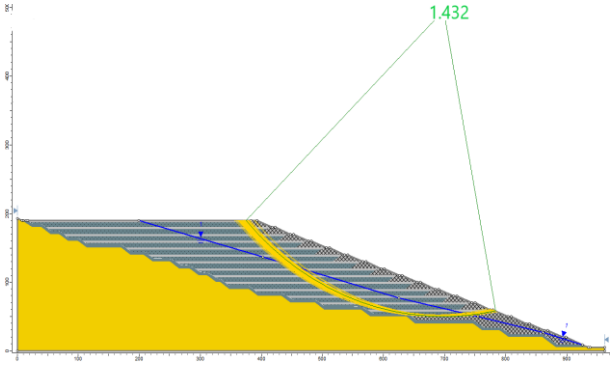


Fig. 5. West CMWDF with 7 m LOT with high phreatic surface

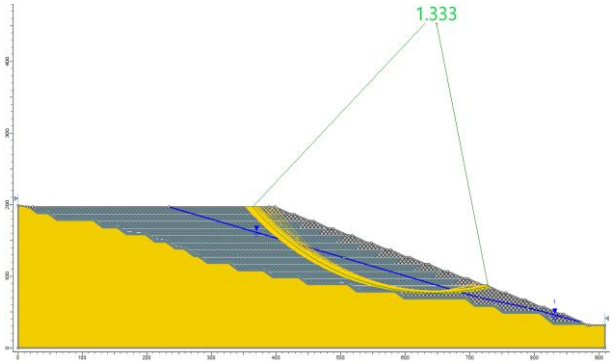


Fig. 6. West CMWDF with 9 m LOT with high phreatic surface

Discussion

The calculations have shown that the higher phreatic surface also influences the stability of the CMWDF. Considering that fact, greater attention needs to be given to the drainage systems.

Waiting for the full consolidation and removing the water from the cell is by itself a great challenge as time is not in abundance. Removing the water from a cell with a 3 m-thick layer of tailings is for sure easier than from a 7 or 9 m-thick layer. So, considering that, a different approach should be applied for a thicker layer.

For the cells with the thicker layer, internal drainages are recommended. The internal drainage can be placed in the LOT itself and on the bottom and walls. An option can be perforated pipe as the one suggested for draining the TSF in China by Wei et al. (2016). Another option can be adding prefabricated drainage systems (PDS) as the one given in Fig. 7. This will

provide a free way for water to escape. The PDS can be placed at an angle of approximately 5°, and pointed to the main drainage system. That will provide a faster route to the drainage system and in case of bending of the PDS, it will not block passage of the water as one point will be higher from the other. Such drainage veins can be added in the cells, so the tailings can be in direct contact with the drainage system, hence ensuring faster consolidation.

Fig. 7. Prefabricated drainage system

The starter platform can be protected with geomembrane or geocomposite to prevent water from entering. In addition to that, the top of the starting platform can have a slight incline, e.g. 1-2 degrees. In that way, the possibilities for the phreatic surface to end behind the starter platform will be greater.

In case of improper work of the drainage system, a new drainage system can be constructed; or if the facility is already at its end phase, a two-way slotted drainpipes can be inserted to maintain low phreatic surface. The technology can be implemented in a similar manner as given from Wei et al. (2016).

Conclusions

Taking into consideration the results, the following conclusions can be made:

- Internal drainage systems that lead to the main drainage are needed to shorten the consolidation time.
- The FS greatly depends on the water content in the CMWDF.
- The height of the facility does not greatly influence the FS as it is from the phreatic surface and the thickness of the tailings layer.

References

Aleksandrova, E., L. Dimitrov, D. Kaykov. (2021). Operational Sequence for Constructing a Combined MineWwaste Facility. *XVI International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals*, pp. 7-13, Varna

Dimitrov, L., I. Koprev. (2023, 28-31 May), Determining the Efect of the Tailings Height on the Safety Factor of a Combined Mine Waste Dump Facility, *XIX Balkan Mineral Processing Congress*

Dimitrov, L., I. Grigorova, T. Yankova. (2023, 6-9, July), Possibilities to Construct Combined Mine Waste Dump Facility with Better Operational Sequence. Eurasia *Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM)*

Dimitrov, L. (2021, 9-10), Types of tailings facilities in the processing of mineral raw materials – advantages and disadvantages, pp. 5-11

Diaz, M. (2014, October), AMEC Earth & Environmental UK Ltd. Evaluation of Linear Requirement – Integrated Mine Waste Facility Dundee Precious Metals Krumovgrad Ada Tepe Gold Project, Bulgaria, Report No: A150-14-R2243, Octomber, https://s27.q4cdn.com/486073686/files/doc_documents/EN/2017/12/A150-14-R2243-IMWF-Liner-Evaluation_EN.pdf

Eldridge T., A. Wickland, A. Goldstone, M. Kissiova. (2011, November 6-9). Integrated Mine Waste Storage Concept, Krumovgrad Gold Project, Bulgaria. *Proceedings of Tailings and Mine Waste 2011, Vancouver*, BC, pp. 1-12

Eldridge, T., M. Kissiova, B. Wickland, I. B. Ahmed, J-F. Laurin. (2013, June 12-16). Integrated Mine Waste Storage Facility, Krumovgrad Gold Project, Bulgaria. *Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol*, Bulgaria, pp. 932-934

Grigorova, I., I. Nishkov. (2016). *Technogenic raw materials processing and recycling*, ISBN-978-954-353-299-5, Publishing house "St. Ivan Rilski".

Grigorova, M. (2020). Geophysical and mining technologies for increasing efficiency in „Han Krum” open pit mine, Bulgaria, *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference* SGEM 2020

Petkov, G. (2010, October), Environmental impact statement for investment project for Mining and Processing of Auriferous Ores the Ada Tepe Prospect of Khan Krum Gold Deposit, Krumovgrad, https://www.ebrd.com/documents/environment/krumovgrad-gold-mine-project-2010-eia.pdf

Yankova, T., (2020, August 16-25). *Mineral processing waste utilisation*, *XX International Multidisciplinary Scientific GeoConference* SGEM 2020, Albena, Bulgaria, 20 (1.1), 219-226. DOI: 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100

Yankova, T., (2021, August 16-22). *Mining damaged landscape reclamation study, XXI International Multidisciplinary Scientific GeoConference* SGEM 2021, Albena, Bulgaria, 2 (1.1), 383-390, ISSN: 13142704, DOI: 10.5593/sgem2021/1.1/s04.071

Tayebi-Khorami M., M. Edraki, G. Corder, A. Golev (2019). *Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations*, Minerals, 9 (286), 1-12, https://doi.org/10.3390/min9050286

White, G., J. Bennett, S. Meik, P. Corrigan. (21.03.2014), Dundee Precious Metals Inc. NI 43-101 Technical Report, Ada Tepe Deposit, Krumovgrad Project, Bulgaria, Report Number:R135.2014, https://minedocs.com/17/Krumovgrad_Project_TR_2014.pdf

Wei, Z., Y. Gyangzhi, L. Wan, L. Guangzhi. (2016), A case study on a Geotechnical Investigation of Drainage Methods for Heightening a Tailings Dam. *Environ Earth Sci.* DOI 10.1007/s12665-015-5029-8

TECHNOLOGIE FOR THE PRODUCTION OF PELLETS IN THE *Axel Trade 2009 Ltd.* COMPANY

Malina Ivanova, Alexander Yochev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: malina_vatz@abv.bg; alexanderyochev@gmail.com

ABSTRACT. Biomass is a widely available renewable fuel that has advantages over fossil fuels, such as low sulfur and ash content. It ranks third as the world's energy resource after coal and oil and is the primary source of energy for more than half of the world's population, being able to absorb carbon dioxide during growth and release it during combustion, which is the same amount of CO_2 and helps recycle carbon in the atmosphere and does not contribute to the greenhouse effect.
The article examines an opportunity to get acquainted with the technological process in the production of pellets, considering the sources of biomass, the raw material used, and its delivery. The necessary preparation of the material before entering the main process has been studied. The process of converting the raw material into pellets was investigated. Special product standards and certification have been reviewed.

Keywords: biomass, technological process, pellets, production standards, certification.

ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПЕЛЕТИ ВЪВ ФИРМА „Аксел Трейд 2009“ ЕООД

Малина Иванова, Александър Йочев
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София,

РЕЗЮМЕ. Биомасата е широко достъпно възобновяемо гориво, което има предимства в сравнение с изкопаемите горива, като например ниско съдържание на сяра и пепел. Тя се нарежда на трето място като енергиен ресурс в света след въглищата и нефта и е първичен източник на енергия за повече от половината население на света, като може да поглъща въглероден диоксид по време на растежа и да го отделя по време на изгарянето, което е същото количество CO_2 и спомага за рециклирането на въглерода в атмосферата и не допринася за парниковия ефект.
В статията се разглежда възможност за запознаване с технологичния процес при производството на пелети, като са разгледани източниците на биомаса, използваната суровина и нейната доставка; проучена е необходимата подготовка на материала преди постъпването му в основния процес; изследван е процесът на преобразуване на суровината в пелети; направен е преглед на специалните продуктови стандарти и сертифициране.

Ключови думи: биомаса, технологичен процес, пелети, продуктови стандарти, сертифициране.

Introduction

Biomass is a widely available renewable fuel that has advantages over fossil fuels, such as low sulfur and ash content. It ranks third as an energy resource in the world after coal and oil (Bapat et al., 1997).

Biomass of plant origin can absorb carbon dioxide during growth and release it during combustion, which is the same amount of CO_2 and thus helps recycle carbon into the atmosphere and does not contribute to the greenhouse effect. All this means that biomass burning is carbon neutral (Klason and Bai, 2007).

Biomass fuels, including wood, wood waste, straw, manure, sugarcane, and many other by-products of various agricultural processes are still the main source of energy in much of the developing world.

The subject of the present study is familiarisation with the technological process in the production of pellets.

To achieve the goal, the following tasks from the technology of pellet production have been solved, such as:

- The sources of biomass, the raw material used and its delivery were examined;
- The necessary preparation of the material before entering the main process has been studied;
- The process of converting the raw material into pellets was studied;
- Special product standards and certification were reviewed.

Theoretical part

1. Sources of biomass

Biomass feedstocks include special energy crops, agricultural crops, forest residues, aquatic crops, biomass processing residues, household waste, and animal waste (http://www.seps.sk/zp/fond/dieret/biomass. html; Madadian et al., 2012).

One of the most common and effective ways to apply biomass is by increasing its bulk density, which can be achieved by mechanical or thermochemical compaction (Abdoli, 1984). The possible advantages of densified biomass are as follows:

- Burning rate can be comparable to that of coal;
- Burning is possible in grate-fired boilers;
- Even combustion can be achieved;
- Particulate emissions can be reduced;
- Possibility of spontaneous combustion in storage is reduced;
- Transportation and storage become more efficient (Balatinecz, 1983)).

Generally, any process that results in lower physical density and higher energy density can be considered a densification process. Compaction increases the bulk density of biomass (40–200 $\frac{kg}{m^3}$ / 600–800 $\frac{kg}{m^3}$) and improves handling, transport, storage, and combustion properties and improves shape regularity. Densified biomass can be in the form of pellets, briquettes, bales, pucks, sawdust, charcoal, and bio-oil (Nalladurai et al., 2009).

A decisive criterion for the fuel properties of the energy source is its level of drying, as well as the moisture content of the fuel. In order to be able to calculate and compare these characteristics, two physical measurement parameters have been introduced – water content (w) and fuel moisture (u).

The water content (w) is obtained from the crude mass. It expresses the water in the biomass and combines the dry biomass m_B and the water content m_W in it:

$$w = \frac{m_w}{m_B + m_w}$$

In contrast, the fuel moisture u (= moisture content) is obtained on the basis of its dry mass. It is defined as the mass of water (m_W) present in the fuel, referred to its dry biomass (m_B):

$$u = \frac{m_w}{m_B}$$

Fuel moisture (u) can be converted to water content (w). For example, 50% water content corresponds to 100% moisture in the fuel. Moisture values above 100% are therefore possible.

In practice, the water content (w) is usually calculated in the energy sector.

The calorific value of wood decreases linearly as its water content increases, as shown in Figure 1.

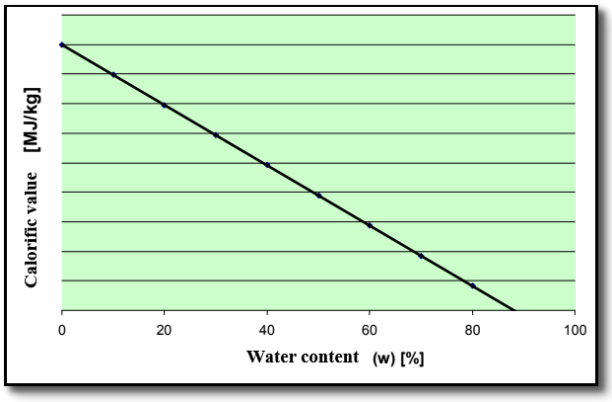


Fig.1. Dependence of the fuel's calorific value on its water content

The values of the calorific value and heat of combustion parameters are important data for the properties of the fuel. Calorific value H_u (lower heating value) indicates the amount of heat that is released during the complete combustion (oxidation) of the given fuel. This value does not include the so-called heat of condensation (heat of vaporisation) of the water vapour contained in the exhaust gases. Almost the same amount of heat is required for evaporation as would be given off for condensation, i.e. the calorific value H_u decreases with increasing water content.

Unlike H_u, the heat of combustion H_o (higher heat value) is actually the heat that is released during combustion, but also includes the heat of condensation of water vapour released during combustion that can be used.

For solid biofuels, the heat of combustion is higher than the calorific value by about 6% (bark), 7% (wood) or 7.5% (agricultural produce) on average.

2. Palletisation plant.

2.1. Technology.

The production of wood pellets involves the application of various types of equipment besides proper process and method. Typically, the production of pellets includes the following steps: raw material supply; screening of pollutants from the raw material; coarse grinding of wood; drying and possibly repeated intermediate storage; hammer milling; conditioning; pressing of the raw material; cooling of the pellets; filtration of fine particles; storage; packaging; delivery of the pellets.

Figure 2 is a schematic view of the aforementioned processes linked together to form a pellet plant.

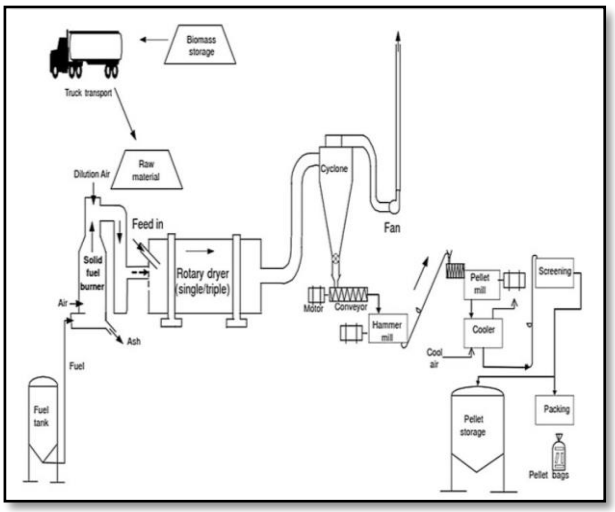


Fig. 2. General diagram of a pellet plant

2.2 Special product standards - three quality classes (A1, A2, and B) are defined for wood pellets. On the fuel market, the highest quality of pellets is class A1. To meet this level, wood pellets must fulfill, among other things, the following conditions:
- They must be produced only from unprocessed chemical raw materials;
- The length and diameter of the pellets must be within the prescribed limits;
- The moisture content must amount to a maximum of 10%;
- The ash content must not be more than 0.5%;
- Pellets must be particularly resistant to abrasion. The proportion of dust particles in them (i.e. particles with a diameter of less than 3.15 mm) in a given batch should not exceed 1%. In addition, maximum content values of various elements (nitrogen, sulphur, chlorine, heavy metals) are prescribed.

Practical part

For practical application of the theoretical part of the present development, the production process in the *Axel Trade 2009 Ltd* company will be considered.

The wood used to make the pellets is taken from nearby forest clearings. Unprocessed logs are delivered to the premises of the processing plant by means of heavy-duty trucks. Upon entry to the site, they must be weighed using a scale. Once the truck enters, it is guided to the unloading area, where specialised machines assist in unloading and later loading onto the assembly line. Before entering the main process, the raw materials must go through a process of screening and coarse grinding. After this stage, the raw material obtained is of relatively uniform size pieces. The raw material formed after coarse grinding is transported for storage in the wet product hopper, which is shown in Figure 3.

Fig.3. Wet production hopper

A belt conveyor is used to feed the wood to the next stage of the production process – the drying system.

The material is transported into the drum shown in Figure 4 by a screw feeder or chute, and the speed is controlled using sensors.

Fig.4. Tumble dryer (front) and chute (rear)

The continuous rotation of the housing and its inclination cause the material to move towards the exit end. The dried material is discharged from the cyclone at the end of the dryer and stored in the dried material hopper (Fig.5).

Fig.5. Discharge cyclone and hopper for dried material

A 4 MW stove is located parallel to the wood chipping process, which provides the necessary heat for the dryer to process the wood.

The next step is moving to the fine grinding process to reduce the particles to the desired size. The material is moved by means of a screw conveyor shown in figure 6 and is poured directly into the hammer mill.

Fig. 6. Screw conveyor to hammer mill

After breaking the raw material into fine particles, they are drawn out by means of an air flow generated by a reverse cyclone (Fig. 7) and thus the fine material reaches the conditioning process.

Fig. 7 Reverse cyclone

In the conditioning chamber, the raw material is mixed at a high speed together with other admixture until the desired result is achieved. The higher speed results in better mixing of the raw material and additives. On the other hand, in order to minimise crushing and abrasion, the speed of the agitator should be kept as low as possible.

From the conditioning process, the mixture is routed and distributed between three pellet mills, one of which is shown in Figure 8.

Fig. 8. Pellet mill

The total combined output of the machines is approximately 2.5 tons per hour, nearly 60 tons per day, and over 20,000 tons per year. After the mixture is pressed into the desired shape, the finished granules are sucked from the mills through return pipes and down through discharge pipes to the equipment for the next stage of cooling.

The materials entering the cooling section are pellets and fines generated in the previous sections. During the cooling process, the pellets are air-cooled to the desired temperature and moisture content, thereby reducing their brittleness. Air flow in the cooling process can pick up smaller particles and larger particles remain with the pellets. Both types of generated fines (carried by air flow or remaining with the pellets) must be separated. On leaving the cooler, they go through a rapid pressing process using vibrating screens, as shown in Fig. 9:

Fig. 9. Cooler with a vibrating screen

This serves to screen the quality output from the defective one when dropping the pellets into the cooler, as well as to take it to the transport conveyor belt, illustrated in Figure 10, and the elevator. The air used to cool the pellets leaves the cooler containing fine particles and enters the dust collection system where it is cleaned through filters.

Fig. 10. Belt conveyor

The last step of the production process is the packaging of the produce. The packaging system includes a conveyor belt, a hopper, a dosing filling system, and weighing scales. The pellets are fed into the hopper by a belt conveyor, and the dosing filling system shown in Figure 11 controls the feed flow into the bag.

Fig. 11. Dosing filling system

Pellet packing equipment fills the bags based on the desired weight. The bags then move along a conveyor to the sealing station where each bag is sewn shut. At the end of the process, the bag comes out sealed and is unloaded.

Main findings

The report examines a technology for the production of pellets, considering the sources of biomass, the raw material used, and its supply. In addition, the necessary preparation of the material before entering the main process is studied and the process of converting the raw material into pellets ~~was~~ discussed. Special product standards and certification have been reviewed.

Conclusion

The article describes a technology for the production of pellets and shows the equipment for its implementation.

The presented solution is a complement to the existing technologies for the production of pellets. This solution can also be extended to produce other types of compacted biomass.

Future research on the topic will includes optimisation of some stages of the technology described.

Literature

Abdoli, M. A. 1984. *Biogas.* Published by: Atomic Energy Organisation of Iran (AEOI).

Balatinecz, J. J. 1983. The potential of densification in biomass utilisation. Biomass utilisation. Plenum Press, London.

Bapat, D. W., S. V. Kulkarni, V. P. Bhandarkar. 1997. Design and operating experience on fluidized bed boiler burning biomass fuels with high alkali ash. In: *Proceedings of the 14th international conference on fluidized bed combustion*, ASME, Vancouver, New York, NY, 165–74.

Klason, T., X. S. Bai. 2007. Computational study of the combustion process and NO formation in a small-scale wood pellet furnace. – *Fuel,* 86, 1465–1474.

Demirbas A (2004) Combustion characteristics of different biomass fuels. Prog Energy Combusion Science 30:219–230.

Madadian, E., L. Amiri, M. A. Abdoli. 2012. Application of analytic hierarchy process and multicriteria decision analysis on waste management: a case study in Iran. - *Environ Prog Sustain Energy*.

Nalladurai, K., R. Vance Morey. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. - *Biomass* Bioenergy, 33(3), 337–359.

http://www.seps.sk/zp/fond/dieret/biomass.html.

http://www.wvu.edu/*agexten/wildlife/803.pdf

A DESIGN OF EXPERIMENTS APPROACH FOR ESTABLISHING KEY FACTORS DETERMINING THE PROFITABILITY OF ULTIMATE PIT LIMITS

Dimitar Kaykov, Kremena Arsova-Borisova, Kiril Kutsarov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: dimitar.kaykov@mgu.bg; kremena.arsova@mgu.bg; k.kutsarov@mgu.bg

ABSTRACT. Pit limits are determined by numerous factors of different nature, including commodity prices, geologic uncertainty, pit geometric design features, operational costs, etc. On the one hand, a substantial amount of these factors is related to uncontrollable conditions, such as economic and financial trends on a global scale, which lead to varying commodity prices and operational costs. On the other hand, geological uncertainty, geotechnical and technological constraints are also of great importance when determining the ultimate pit limits. This article is based on using the Design of Experiments (DOE) paradigm to quantify the dependences between different factors and the net present value (NPV) of the ultimate pit contour. Different factors are represented as a set of input variables for a pit limit optimisation software (*MiningMath*) and the obtained net present value under different conditions is evaluated. Two regression models are built for the purpose of providing guidance for making robust design decisions. This approach provides a way of quantifying factor influences on the magnitude of the calculated NPV. In addition, a smaller set of design alternatives can be considered, which would accelerate the process of reaching an optimal ultimate pit design scenario, taking uncertainty into account.

Key words: open-pit design, geological block model, economic model, Design of Experiments, regression analysis

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОСНОВНИТЕ ФАКТОРИ, ОПРЕДЕЛЯЩИ РЕНТАБИЛНОСТТА НА КРАЙНИЯ КОНТУР НА ОТКРИТ РУДНИК, ЧРЕЗ ПЛАНИРАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТА

Димитър Кайков, Кремена Арсова-Борисова, Кирил Куцаров
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Границите на открития рудник до голяма степен се определят от фактори с различно естество – цена на продукцията, геоложки риск, конструктивни елементи на минните изработки, оперативни разходи и др. Една част от тях се свързват с икономическите и финансовите тенденции в международен план, като това рефлектира върху цените на металите и върху разходите за добив и преработка на рудата. От друга страна ключово значение върху границите на открития рудник има геоложката изученост на находището, както и геотехнически и технологични ограничения, определящи конструкцията на открития рудник. В настоящото изследване е използван подход, базиран на парадигмата на Планирането на експеримента с цел търсенето на зависимости между отделните фактори и получаваната нетна осъвременена стойност (NPV) за крайния контур на рудника. Отделните фактори са представени като множество от входящи променливи за оптимизационен софтуер (*MiningMath* и получената нетна осъвременена стойност се оценява при различни условия. Създадени са два регресионни модела, които имат за цел да послужат като насока при избора на проектен вариант. Този подход позволява количествено да се оцени влиянието на всеки фактор върху рентабилността на крайния контур, както и да се намали броят на разглежданите варианти. Приложението на подхода цели да ускори намирането на оптимален вариант за краен контур на открития рудник, отчитайки вероятностните уловия.

Ключови думи: проектиране на открити рудници, геоложки блоков модел, икономически модел, планиране на експеримента, регресионен анализ

Introduction

Mining operations are complex activities that require careful planning to ensure maximum profitability while at the same time taking into account multiple environmental and safety considerations. Among the critical decisions in open-pit mining is the determination of the ultimate pit contour, which directly impacts the economic viability of the project's economic viability (Koprev and Aleksandrova, 2022). Numerous factors influence the profitability of these contours, and understanding their interactions is vital for informed decision-making. These factors can be grouped into two major categories:

1) controllable
2) uncontrollable.

In terms of pit limits consideration, a number of factors can be considered uncontrollable, which have a great influence on the profitability of the mining operation. Hence, this requires a thorough investigation of the effects of such factors on the profitability of the mining operation with respect to the set of controllable factors. This paper presents a comprehensive investigation using a Design of Experiments (DOE) approach to identify and evaluate the key factors that significantly affect the profitability of ultimate pit contours. By applying statistical techniques to post-optimisation data of the net present value (NPV) for each ultimate pit scenario, this paper aims to provide valuable insights and practical guidelines for mining professionals to enhance their decision-making process and achieve optimal economic outcomes. For this purpose,

modern-day mining is heavily dependent on the consideration of multiple ultimate pit scenarios. These scenarios serve as a basis for mining engineers and geologists and lead to making informed decisions on how to further optimise the mine's design and operational planning with the gained insight. Hence, this can be considered a trial-and-error process, where each consecutive solution and considered scenario is used to refine the following one. Therefore, today's mining requires the use of robust and fast-working algorithms, which provide mine planners with the tools to optimise the mining operation's profit under the tough conditions of uncertainty and multiple safety, technological and environmental constraints.

Pit optimisation algorithms

The main purpose of each ultimate pit optimisation algorithm is to determine the optimal configuration of an open-pit mining operation, maximising the economic value of the utilised mining and processing technology, as well as the geometric features of the pit under the conditions of geological and economic uncertainty. Each algorithm is specifically designed to address these challenges, while considering various constraints and factors. They include the geological characteristics of the deposit, mining costs, commodity prices, processing costs, environmental regulations, safety considerations, and infrastructure limitations (Hustrulid et al., 2013). Therefore, the algorithm's primary goal is to determine the optimal pit shell, which is the outer boundary of the pit that encloses the economically viable material to be mined. This involves finding the optimal trade-off between the economic value of the extracted material, the associated mining costs, and different environmental and social aspects.

Generally speaking, ultimate pit optimisation algorithms utilise mathematical and optimisation techniques to solve complex problems involving multi-variable constraints and objectives. During the past 60 years, optimisation algorithms have been extensively researched to the point that they have displaced manual methods for an initial evaluation of the deposit and for mine planning (ibid.). Several of the more notable and flexible algorithms, which have shaped the understanding of how such algorithms perform in a real-life environment, include: the floating cone method, the Lerchs-Grossman algorithm, the Pseudoflow algorithm, and algorithms for solving Mixed-Integer Linear Programming (MILP) problems.

The floating cone method

The floating cone method is a popular technique used in open-pit mining for designing and planning the layout of a new mine or the expansion of an existing one. It helps determine the optimal pit shell and the sequence of mining blocks to maximise the value of the mineral deposit while considering various economic and operational constraints.

The process starts with a geological resource model of the mineral deposit, which includes information on the ore body's shape, size, and grade spatial distribution. The next step is to create a pit shell, which represents the ultimate boundary of the open pit. The floating cone method assumes that the mining will start from the pit's highest point. At this stage, the "ultimate pit" includes all blocks with positive values above the cut-off grade. The floating cone is a theoretical slope that moves down from the highest point of the pit, progressively encompassing blocks with positive values as it descends. The blocks that fall within the floating cone are considered part of the mineable reserves, and those outside are left as waste (ibid.). The floating cone is iteratively adjusted to maximise the project's economic value, considering the value of the extracted ore, operating costs, and other financial factors. As the floating cone descends, it may encounter practical limitations, such as physical pit slopes or mining equipment restrictions. When these constraints are reached, "pushbacks" are designed. Pushbacks involve re-evaluating the pit design and creating a new shell around the existing one to include additional blocks that were previously excluded due to constraints. The process of adjusting the floating cone and adding pushbacks is repeated until no more profitable blocks can be included. The result is the final pit design, which includes the ultimate boundary and the sequence of pushbacks that maximise the profitability of the mining project. A notable drawback of the algorithm is that it is time-consuming, especially for deposits represented by a large number of blocks (Ares et al., 2022). Another crucial problem of the floating cone method is its inability to find an optimal solution when two overlapping pit contours are the optimal solution (Jodeiri et al., 2021). However, it was demonstrated that the problem can be overcome by more recent iterations of the method (Ares et al., 2022).

The Lerchs-Grossman algorithm

The Lerchs-Grossman (LG) algorithm is a widely used optimisation technique in open-pit mine design and planning. It was developed by H. Lerchs and I. F. Grossman in 1965 and has since become a fundamental tool for determining the optimal ultimate pit shell in a mineral deposit, considering economic and physical constraints (Lerchs & Grossman, 1965). However, the method became practical after its implementation by J. Whittle in the mid-1980s (Poniewierski, 2017). The algorithm seeks to maximise the economic value of the mining operation while accounting for factors, such as the geometry of the orebody, mining costs, processing costs, and commodity prices. It is named after its developers, and its main goal is to identify the ultimate pit that contains the highest-value blocks while considering the economic viability of the mining operation (Alford & Whittle, 1986).

The algorithm works by creating a series of nested pit shells. Each pit shell represents a hypothetical pit that includes all blocks with a grade above the cut-off grade. The algorithm uses a series of mathematical calculations to determine the optimal ultimate pit shell. It does this by finding the set of nested pit shells that maximises the NPV of the mining operation. In some cases, the resulting ultimate pit shell may not be practically achievable due to physical constraints or other factors. If necessary, additional design modifications, known as pushbacks, can be applied to the pit to make it more feasible for mining operations. The final output of the LG algorithm is the boundary of the ultimate pit, which represents the maximum economically viable extent of the open-pit mine.

The LG algorithm is highly regarded because it considers both economic and geological factors in determining the optimal pit design. It provides a systematic and efficient approach for mine planners to evaluate various scenarios and make informed decisions about the mine's layout, leading to better resource utilisation and financial outcomes (Nikolov et

al., 2019; Svilenov and Nikolov, 2021). However, similar to the Floating cone method, a notable drawback of the LG algorithm is that it is time-consuming due to the number of computations required to navigate the search space. Nonetheless, it performs faster than the Floating cone method, deeming it the most preferable algorithm for several generations.

The Pseudoflow algorithm

The Maximum Flow Method as an alternative to generating an optimal pit contour has been proven to be a more efficient approach for finding the maximum closure, as direct searching for it has been deemed inefficient (Hochbaum & Chen, 2000; Hochbaum, 2001; Chandran & Hochbaum, 2009; Bai et al., 2017). A variant version of a graph, known as a flow graph or flow network, has been established as a more effective method for this purpose. To comprehend this concept more easily, a suitable analogy is that of a flow graph as a network of pipes designed for transporting water from one city to another. In this flow graph, two special nodes are present: the source node, where the flow initiates, and the sink node, where the flow concludes.

Each arc in the flow graph, analogous to a pipe, possesses a capacity property, allowing a flow to pass through, but only up to the capacity limit. It is essential to note that both the flow and capacity along an arc must be positive. Moreover, the nodes in the graph represent a junction of pipes, meaning that the flow into a node must be equal to the total flow out of the same node, adhering to the flow balance criteria. The primary objective in this network is to search for a flow distribution that yields the maximum total flows entering the sink node (or leaving the source node). This is commonly referred to as the maximum flow problem, which has been demonstrated to be equivalent to the maximum closure problem for obtaining an optimal pit solution (Bai et al., 2017). However, the relationship between water flow and mining concepts is not straightforward. To elucidate this association, ore is represented as water stored in a source city that must be efficiently transported to a destination city through a pipe network. In this network, the economic value of a block is not reflected on a node, but rather measured by the capacity of the pipe (arc) connecting it with the source or destination city. The three types of pipes identified are "waste-to-destination," "source-to-ore," and "block-to-block." When the maximum flow is achieved, it guarantees the optimal utilisation of ores to cover the costs of waste excavation (Bai et al., 2017).

The Pseudoflow algorithm has been proven to produce the same results as the LG algorithm and is considered to be one of the most efficient methods for solving the maximum flow problem (ibid.; Poniewierski, 2017). Its time complexity allows for larger models, containing millions of blocks to be solved in significantly less time, compared to the LG algorithms, which deems it preferable in the newer pit optimisation solvers.

***MiningMath*'s MILP Branch and Cut algorithm**

Unlike current best practices, *MiningMath* handles all parameters simultaneously and generates multiple scenarios, enabling a more comprehensive solution space exploration. By doing so, *MiningMath* provides a more accurate representation of the mining operation, optimising the entire project instead of focusing on individual stages. *MiningMath* employs a flexible mining optimisation algorithm that combines Mixed Integer Linear Programming (MILP) with linearisation methods to address the non-linear aspects of the problem. It also uses its own Branch and Cut algorithm, which is fine-tuned to the specific optimisation problem and provides more efficiency than standard MILP optimisers (https://miningmath.com/docs/knowledgebase/).

The *MiningMath* and LG/Pseudoflow methods are both used for pit optimisation, but they differ in their approach to maximising project cash flow. One of the key features of *MiningMath* is its use of surface-based formulations, allowing the inclusion of geometric constraints and the provision of solutions that more closely resemble real mining operations, compared to the other algorithms (https://miningmath.com/docs/knowledgebase/). The user has the flexibility to include mining and bottom widths, maximum vertical advance rates, and other constraints that guide the geometry and direct the optimisation problem toward a more realistic and technologically feasible search space. This approach also eliminates geotechnical errors that can arise with block precedence methods, which may provide slopes that are steeper than what is desired. Furthermore, *MiningMath*'s model optimises all periods simultaneously, and hence, it has the potential to find higher NPVs than traditional procedures based on LG/Pseudoflow nested pits. Last but not least, the Branch and Cut method allows for accelerating the solving time.

Assumptions regarding pit limits optimisation

Established practices

The process of strategic mine planning and pit limits optimisation involves breaking down a large pit into smaller problems, called pushbacks, for efficient mine production scheduling. Typically, this process is divided into three stages: finding nested pits, defining pushbacks, and creating schedules. This division is made in order to obtain the best solution within a realistic time frame. Various techniques and algorithms can be used for each stage, but the ultimate goal is to identify the final pit limit that maximises cash flow and afterwards to determine the optimal extraction block sequence within this limit. However, this approach is not short on its drawbacks in terms of underestimating the NPV of the project, as already mentioned.

Conventional optimisation practices in mining problems assume that all inputs are fixed values and usually do not consider uncertainty associated with different parameters, such as orebody attributes and market uncertainties. This practice of assuming constant metal prices and block values calculated from limited data has major limitations that may lead to unrealistic assessments and decisions. However, as practical and efficient as this paradigm may be, it has some crucial limitations, which need to be acknowledged. The pushback definition process is usually performed manually, and automatic approaches focusing on NPV optimisation often overlook geometric requirements and resource constraints. To mitigate some of the factors that contribute to errors, uncertainties, and approximations in the pit optimisation process, certain practices have been introduced. Scenario strategies proposed by Hall (2014) and Whittle (2009) can be helpful in designing for risk minimisation. However, it is also important to check optimistic scenarios to determine infrastructure boundaries. Ultimately, the choice of pit optimisation method depends on the project's stage, objectives, and resources.

Stochastic approaches

Recent efforts have been made to include uncertainty in mine design by using a set of equally likely orebody models in combination with stochastic optimisation for the mine production scheduling problem (Dimitrakopolous et al., 2002, Rimélé et al., 2019, Jelvez et al, 2022). Stochastic integer programming (SIP) models have been developed to maximise net present value (NPV) and minimise deviations from production goals while streamlining the use of a stochastic stockpile. However, the SIP approach is computationally demanding, and researchers are currently addressing this issue through parallelisation.

Leite and Dimitrakopoulos (2009) have developed stochastic optimisation methods using a simulated annealing algorithm to optimise scheduling. Although computationally efficient, the approach requires a labour-intensive preparation of inputs.

Additionally, scheduling methods, such as genetic algorithms and dynamic programming, generate a limited variety of solutions due to the single pushback input. Although thousands of potential schedules can be generated with different methods, they all follow the same stepwise approach, which restricts the exploration of the solution space. Additionally, a notable drawback of heuristic and meta-heuristic approaches is that a global optimum solution is not guaranteed and hence this field of study of their implementation for pit optimisation can still be considered experimental. Nonetheless, they prove to be a promising approach to scheduling and potentially to pit limits optimisation due to the reduced calculation time required for converging to an acceptable solution.

Unresolved problems and possible solutions related to pit limits optimisation

In the mining industry, planning models often rely on shortcuts and approximations to accommodate the complexities and constraints of a project. This necessitates using powerful computational resources to find the optimal pit limit and mining sequence that delivers maximum project value. One common approximation is using blocks with vertical sides to represent a pit design with nonvertical sides, leading to errors in the tonnes and grade output. Hence, slope accuracy representation plays a crucial role in modelling, with the accuracy relying on the number of dependencies used to define the slope. Larger blocks may give less slope accuracy, while more, smaller blocks can allow for greater accuracy but will slow down computations. An average error of 1° is considered acceptable (Poniewierski, 2017). Additionally, the effect of minimum mining width on the bottom of a shell is often overlooked, even when the package used provides such a facility, which can change the value of the selected shell used for design. It is important to note that no algorithm can give a completely accurate solution to the pit optimisation problem, as all three algorithms rely on different assumptions making the problem solvable in a discrete space.

Despite the significant efforts put into developing advanced optimisation algorithms, there is often not enough emphasis on ensuring the accuracy and reliability of the data used in the optimisation problem and the proper utilisation of the results obtained. As with any optimisation method, the accuracy and reliability of the results heavily depend on the input parameters, such as metal prices, mining costs, and slope angles. Subjectivity in these parameters can lead to biased outcomes. A common way of performing pit optimisation is by assuming a single value for each input variable in each scenario. This may lead to certain biases in the model as influential factors usually vary over time. Although this can be avoided by dividing the life of mine into distinct periods, assuming different sets of values for the input variables is a labour and computationally intensive process and hence it is avoided in many cases. An alternative shortcut to this problem is by assuming factors, dependent on bench levels taking into account the variability of costs for a single scenario.

Another problem worth mentioning is the choice of using discounted or undiscounted cashflows to calculate a pit contour's profitability. The discounted ultimate pit is proven to be no larger than the undiscounted ultimate pit, according to Caccetta and Hill (2003), who stated that the discounted ultimate pit is a subset of or equal to the undiscounted ultimate pit. This theorem was validated through a case study, although no robust mathematical proof was used (Askari-Nasab et al., 2011). Nonetheless, the global validity of this theorem is a key issue, as optimisation of NPV instead of undiscounted profit is more idealised. On the one hand, introducing time as a factor influencing profitability is not an easy task, especially when considering cashflow modelling under uncertainty. Hence, the NPV approach is an easy-to-use alternative compared to using predictions of commodity prices, annual costs and inflation levels. On the other hand, the extraction of certain blocks, which are considered unfeasible during an optimisation stage, occurs during the later stages of the life of mine. Hence, the economic value for these blocks is not entirely accurate, considering the stochastic nature of the economic value due to the uncertainty of commodity price and ore grade estimations. Nonetheless, the calculation of the NPV is a more preferred parameter accounting for the project’s cashflows, given that time is considered a factor in the decision-making process.

A DOE approach to the pit limits optimisation problem

The use of a Sensitivity analysis is a common way of interpreting the most influential factors on the NPV of a mining project at a design stage. However, the choice of a sampling strategy can be problematic when dealing with multiple factors and multiple factor levels which can influence the magnitude of the NPV. The most commonly used method for studying the influence of different factors on the magnitude of the NPV are first-degree models by applying the One-At-a-Time (OAT) approach (Nikolov et al., 2019; Chaves et al., 2020; Svilenov and Nikolov, 2021). However, a more efficient and more robust approach is required when dealing with multiple factors. The Design of Experiments (DOE) approach can be considered a complementary way to Sensitivity analysis, for several reasons:

1. Compound factor influences can be investigated in a controlled and systematic way in the input feature space. In addition, DOE allows studying the variation of multiple factors by efficiently gathering new data points, while at the same time, the required number of runs can be drastically reduced.
2. DOE can be used for testing the system's response by applying different inputs to optimise the system. Hence, this provides a systematic way of finding the best set of controllable factors under different external conditions.

3. The DOE approach provides a way for the investigation of the robustness of a system by exploring the variation of the response variable. Hence, this approach is suitable for the future implementation of optimisation algorithms with randomised components for solving the ultimate pit limits problem.

Fractional factorial design

Fractional factorial design is used in statistics and experimental studies to efficiently investigate the effects of multiple factors on a response variable. It is particularly useful when many factors are involved, and conducting a full factorial experiment (testing all possible combinations of factors) would be impractical or resource-demanding.

In a full factorial design, if there are a k number of factors, each with n levels, a total of n^k experimental runs should be conducted. In contrast, fractional factorial design reduces the number of experimental runs by running only a carefully selected subset of the full factorial combinations. The goal is to obtain enough information about the main effects and some interaction effects while minimising the number of experiments needed. The selection of the fractional factorial design is based on different design strategies, which ensure a balanced distribution of factor combinations. Fractional factorial designs are commonly denoted as 2^{k-p} designs, where k is the number of factors, and p is the number of factors that are fractionated (run at only a subset of levels). The division from the full factorial design is expressed as $1/2^p$ (Anthony, 2014). This can significantly reduce the workload and resources needed for experimentation.

While fractional factorial designs provide useful information about the main effects and certain interactions, they have their limitations. Some higher-order interactions may be confounded with main effects or lower-order interactions, making their interpretation challenging. As such, these designs are best suited for situations where the primary focus is on identifying significant main effects and the most important lower-order interactions. Other design methods are considered more appropriate for more complex studies.

Screening design

In Design of Experiments (DOE), a Screening design is a type of experimental approach used to quickly and effectively pinpoint the key factors that strongly influence the response variable of interest (ibid.). The primary goal of a screening design is to identify these influential factors while reducing the number of experimental trials, resources, and time required for the overall experimentation process. Screening designs are particularly valuable when dealing with numerous factors, making it impractical to investigate all possible combinations exhaustively. Instead, these designs involve selecting a smaller subset of experimental trials that represent a fraction of the total feasible combinations of factors. The chosen subset is thoughtfully selected to ensure that critical main effects and, if possible, some interactions between factors be accurately estimated.

The most commonly used Screening design is the Fractional factorial design. By employing mathematical algorithms, like orthogonal arrays or other statistical methods, the design ensures that the selected subset of runs provides enough information to estimate the main effects and, potentially, some two-factor interactions with precision. Upon conducting the experimental runs and collecting response data, statistical methods are applied to identify the significant factors that have a notable impact on the response variable. These influential factors can then be further investigated in subsequent experiments, such as optimisation or response surface designs, to refine the understanding of their effects and interactions.

DOE application in the current case study

For the purpose of this study, the use of the NPV was considered to be a better-suited optimisation criterion, as the aim of this paper is to rank key input variables, which represent factors, influencing the ultimate pit profitability by also introducing time as a factor. The purpose of this ranking is to provide the pit design team with quantifiable information for the set of input factors, which deserve further attention when developing different ultimate pit scenarios. In addition, each scenario assumes a single value for each factor variable. A total of 12 factors were considered for this analysis which range in their corresponding domains, depending on the set of technological solutions proposed for the exploitation of the deposit (Table 1).

Table 1. *Input parameters range, accounting for uncertainty*

Parameter	Notation	Min	Base	Max
Variation in Cu grade	A	-15%	0	+15%
Variation in Au grade	B	-15%	0	+15%
Cu Price, USD/t	C	6000	8000	10 000
Au Price, USD/g	D	35	55	75
Cu Extraction	E	0.80	0.85	0.90
Au Extraction	F	0.65	0.73	0.80
Bottom width, m	G	60	90	120
Mining width, m	H	90	120	150
Overall slope, °	I	35	40	45
Mining costs, USD	J	3.40	3.70	4.00
Processing costs, USD	K	10.63	12.50	14.38
Mine recovery, %	L	0.9	0.93	0.95

The discount rate is assumed to be 10% for all scenarios, which are represented as a set of equally probable economic block models. It should be noted that all 12 factors were considered to be independent of one another, as the inherent randomness of the noise in a mining operation results in the shift of each parameter in a random direction from the initially planned value. One can argue that certain dependences can exist, e.g. between processing costs and the extraction of Cu and Au; however, the implementation of such relationships would require a different sampling method, which is not in the scope of this case study. Additionally, when dealing with a deposit at a pre-feasibility stage, these relations cannot be described robustly. Nonetheless, it is worth investigating how different relationships between input parameters can influence the NPV distribution at a later stage of the life of mine, when actual field data is used for certain factors.

For this case study, the Marvin deposit (https://miningmath.com/docs/knowledgebase/formatting-data/datasets) was used for 2 major reasons:

1. The Marvin deposit’s block model is a well-known model, used as a “testing ground” for different illustrations of concepts and experimental studies in the field of open-pit

mining. Hence, results for this model are comparable, as it is a public dataset;

2. The deposit is fairly “light” with a total of 53 271 blocks, which makes it an easy-to-handle model from a computational point of view.

The software used for ultimate pit optimisation for this case study is *MiningMath (v2.3.52)* (https://miningmath.com/) due to its flexibility for applying different geometrical constraints and features regarding the open-pit design. Table 2 shows the constraints used for this case study, which aim to introduce an element of realism into the software’s solution by using a ramp-up in the ore’s annual output, as well as different periods in the life of mine in terms of waste output.

Table 2. *Material output constraints*

Period (years)	Ore volume constraint, Mt	Waste volume constraint, Mt
1 – 5	10	75
2 – 10	25	125
10 – 30	50	125
30 – end period	25	0

As shown, production periods are grouped in 5-year bins. Two experimental design alternatives were used for this case study – a Definitive Screening design, (25 runs) and a Fractional factorial design (128 runs). All 12 factors were introduced in both cases, so as to compare how different each estimation would be, given that a different number of runs is used for each experiment. Mining sites, which have to deal with block models consisting of millions of blocks, are limited in the number of considered scenarios, as each one can take up to several hours to find an optimal ultimate pit contour, depending on the complexity of the algorithm used. So far, such mining sites can rely solely on a limited number of scenarios, which leads to dealing with scenarios that may not be representative of the vast number of solutions in the feature space. However, this can be avoided by using the DOE approach. The software used for the DOE analysis is *Minitab*.

Results and discussion

A Resolution IV design was assumed for this case study. The design generators used include the following relations: H = ACDG; J = ABCD; K = BCFG; L = ABDEFG; M = CDEF. Hence, the number of runs for the Fractional Factorial design is 128 (2^{12-5}). The defining relations used are as follows: I = ACDGH = ABCDJ = BCFGK = ABDEFGL = CDEFM = BGHJ = ABDFHK = BCEFHL = AEFGHM = ADFGJK = CEFGJL = ABEFJM = ACDEKL = BDEGKM = ABCGLM = CFHJK = ADEFHJL = BCDEFGHJM = EGHKL = ABCEHKM = BDHLM = BEJKL = ACEGJKM = DGJLM = AFKLM = ABCDEGHJKL = DEHJKM = ACHJLM = CDFGHKLM = BCDFJKLM = ABFGHJKLM.

Fig. 2a and 2b show the distribution of the NPV, provided from each optimisation scenario with its corresponding set of input variables.

It can be observed that both NPV distributions resemble the Normal distribution, which can be attributed to its well-known property that it is the product of the influence of a number of independent random variables. This can be observed in the case of investigating the set of optimal solutions in a pre-planning stage or at a pre-feasibility stage, when the input data regarding the cost model of the pit optimisation problem is very limited.

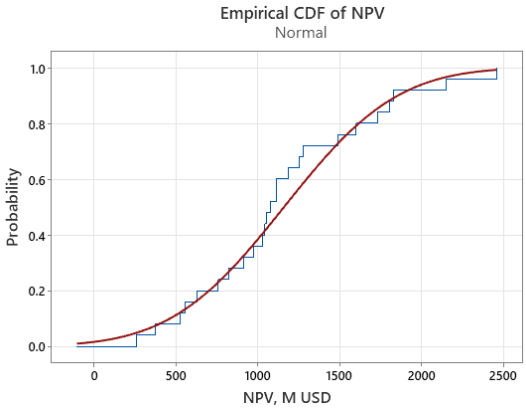


Fig. 2a. Empirical CDF vs Normal distribution CDF (Screening design)

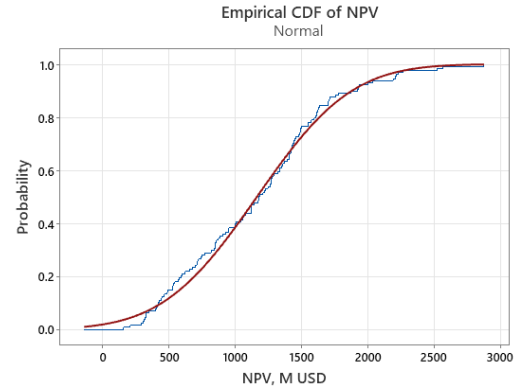


Fig. 2b. Empirical CDF vs Normal distribution CDF (Fractional Factorial design)

Indeed, there is no evidence that both distributions behave in a non-normal manner, as the results from the Kolmogorov-Smirnov test yield values above 0.05 ($p > 0.150$) for both the Screening and the Factorial design.

Table 3 shows the descriptive statistics for the estimated NPV in both design methods.

Table 3. *Descriptive statistics for obtained NPV results, M USD*

Descriptive statistics	Screening design	Factorial design Resolution: IV Fraction: 1/32
Runs	25	128
Mean	1158.90	1161.07
Median	1073.50	1179.00
Std. deviation	544.65	560.15
Min	255.9	155.9
Max	2460.1	2873.97
Skewness	0.58	0.39
Kurtosis	0.14	-0.10

Results obtained by both methods are similar to one another in terms of mean, median, and standard deviation values. Both distributions tend to be positively skewed, however, the skewness seems to decrease with a higher number of observations. The kurtosis in both cases is relatively low, which further implies that both distributions resemble the shape of the Normal distribution.

These results alone can be considered a good argument that both methods yield a similar set of NPV values. However, this resemblance should be studied further by applying a suitable regression model in both cases. Results for both models are shown in Table 4.

Table 4. *Screening design model and Factorial regression model*

Parameters	Screening design	Factorial design Resolution: IV Fraction: 1/32
Centre points	1	0
R^2	0.9681	0.9902
R^2 (adjusted)	0.9361	0.9886
R^2 (prediction)	0.8614	0.9865

The regression model formula obtained from the Screening design is as follows:

$$NPV = 34502 + 1153\,A + 849\,B + \\ + 0.1605\,C + 17.04\,D - 98552\,E + \\ + 1399\,F + 50.0\,G + 22.50\,H - \\ - 131.0\,I - 34.2\,J + 58709\,E^2 - 0.2179\,H^2 \quad (1)$$

It could be observed that certain variables are of second order, which would mean that the relationship between the factors and the NPV is non-linear, although it exhibits a predominantly linear behaviour in some sections of the feature space.

The formula for the regression model obtained from the Factorial design is as follows:

$$NPV = 705 - 2232\,A - 1127\,B - \\ - 0.2520\,C - 0.66\,D - 2280\,E - \\ - 182\,F - 2.027\,H + 8.63\,I - \\ - 13.5\,J - 31.44\,K + 1711\,L + \\ + 0.1902\,AC + 2165\,AE + 17.74\,BD + \\ + 1481\,BF + 0.2563\,CE + \\ + 0.001344\,CI - 0.01331\,CJ \quad (2)$$

Once more, certain compound factor effects are also present in the Factorial design model. However, this model serves only as an indicator of the compound effects which have the highest influence on the estimated NPV. Higher-order interactions can indeed exist, however, the modelling accuracy is satisfactory, which does not necessarily imply that further investigations are required.

It should be pointed out that for both equations, the Variation of Cu estimation and the Variation of Au estimation assumed values of 0.85 and 1.15 for their lower and upper bounds. These are the fractions used for multiplication with the ore grades from the block model.

In order to verify both models, the residuals in both cases were investigated in terms of their randomness, independence, and homoscedasticity. As seen below, the residuals in both cases follow a near-normal distribution, judging by both histograms (Fig. 3a and 3b).

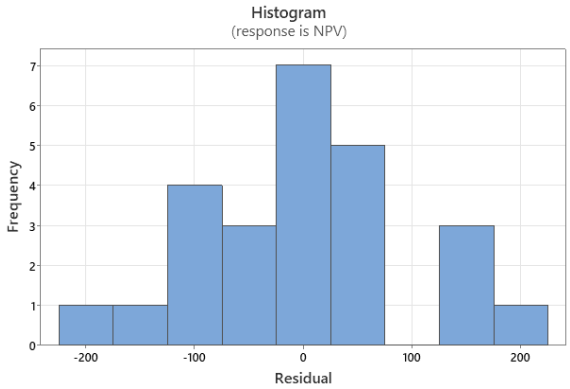


Fig. 3a. Residuals histogram (Screening design)

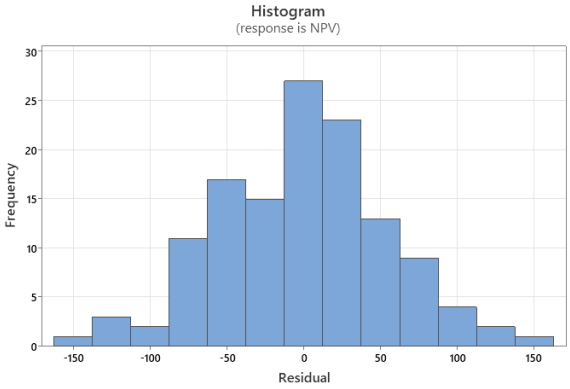


Fig. 3b. Residuals histogram (Fractional Factorial design)

This can be further supported by the graph for the empirical data and their corresponding values from the normal distribution (Fig. 4a and 4b).

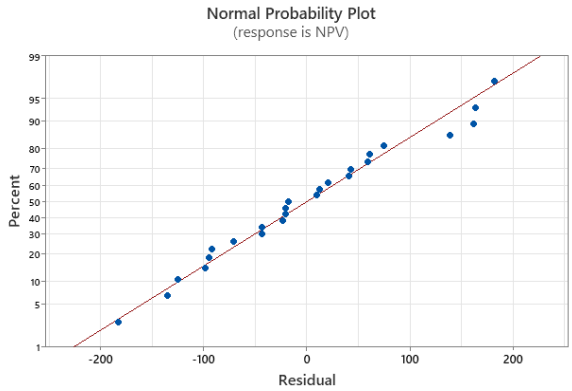


Fig. 4a. Regression model residuals normality resemblance (Screening design)

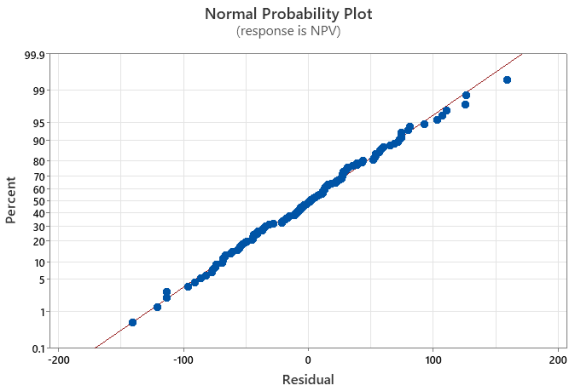


Fig. 4b. Regression model residuals normality resemblance (Fractional Factorial design)

Once more, the Kolmogorov-Smirnov test was used, which yielded p > 0.150 for both design methods. Hence, there is no evidence to believe that both distributions are different from the Normal distribution. In terms of their independence, in both cases, the residuals do not display evidence of autocorrelation, as well as heteroscedasticity (Fig 5a and 5b).

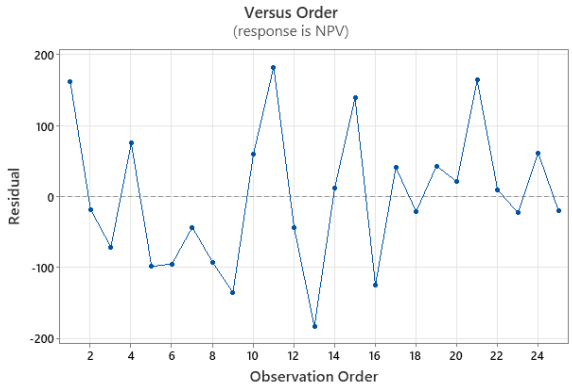


Fig. 5a. Variation and randomness of regression model residuals (Screening design)

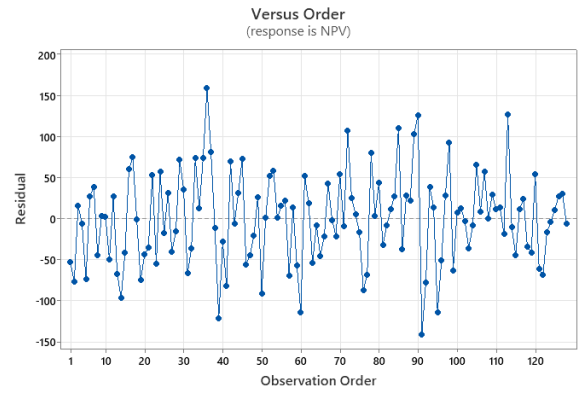
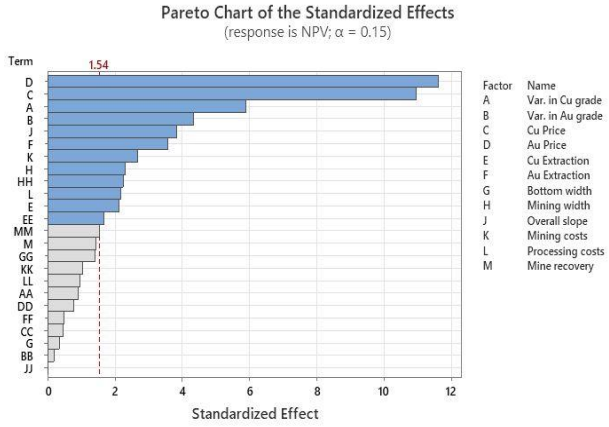


Fig. 5b. Variation and randomness of regression model residuals (Fractional Factorial design)

There is a residual with a higher value, as can be observed in Fig 5b; however, this should not be surprising as the NPV values can vary significantly with a small change in a certain factor. Additionally, big changes in the input parameters may lead to smaller changes in the NPV. This is especially true when a certain constraint is relaxed for the optimisation problem.

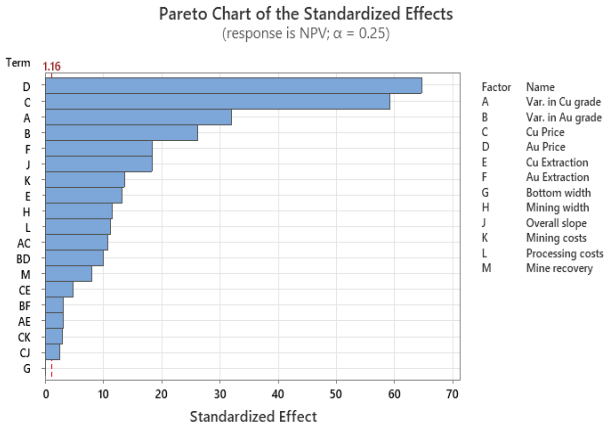
Indeed, both models can be considered valid, and their superb accuracy evidently shows that the NPV response variable is predominantly linearly dependent on the assumed factor levels. Although there is still evidence of the variability of the estimated NPV by the software, on a bigger scale the NPV response can be approximated by a non-linear model with low-level interactions between the major factors. However, a certain level of the NPV's variation cannot be explained by this approach. This can be attributed to the inherent problem with models, which rely on the NPV as an optimisation criterion – the mining of certain blocks is postponed due to their infeasibility at the initial stage of their evaluation. Additionally, the relaxation of some constraints can also lead to non-linear behaviour. Nonetheless, the actual relationship between the 12 input parameters with the NPV can be estimated with satisfying accuracy when considering combinations of best and worst-case scenarios. Therefore, the purpose of both DOE regression models is not to eliminate the further need to use the optimiser, but rather to quantify the relative importance of different factors, denoted by the model's input variables. Furthermore, this can provide a rational way of identifying which controllable factors deserve attention in terms of applying changes in the considered mining method, pit design geometry, or processing technology. Additionally, this would also provide a way of estimating which uncontrollable factors require further investigation in order to reduce the variability of NPV's distribution (geological surveying, financial modelling, etc.). Last but not least, the estimated regression models can also serve as a basis for an optimisation problem for finding the best search space for exploring different sets of controllable parameters in a certain scenario. In any case, the obtained results should be validated by solving the optimisation problem via the pit optimiser with different sets of input variables, as the absolute error of the regression model can reach over 150 M USD. Nevertheless, this approach can significantly accelerate the process of refining the ultimate pit design, as well as the choice of mining method and processing technology.

Fig. 6a and 6b show the standardised importance of the considered 12 factors with the addition of second-order and compound factor influences.



A gray bar represents a term not in the model.

Fig. 6a. Pareto chart of standardized effects (Screening design)



A gray bar represents a term not in the model.

Fig. 6b. Pareto chart of standardized effects (Fractional Factorial design)

A comparison of both results can be seen in Table 5, which represents each factor's rank in terms of its influence on the NPV result from the optimiser.

Table 5. *Factor ranks for Screening and Fractional Factorial design*

Factor rank	Screening design	Factorial design Resolution: IV Fraction: 1/32
1	Au Price*	Au Price*
2	Cu Price*	Cu Price*
3	Var. in Cu grade*	Var. in Cu grade*
4	Var. in Au grade*	Var. in Au grade*
5	Overall slope*	Au extraction*
6	Au extraction*	Overall slope*
7	Mining costs*	Mining costs*
8	Mining width*	Cu extraction*
9	Processing costs*	Mining width*
10	Cu extraction*	Processing costs*
11	Ore losses	Ore losses*
12	Bottom width	Bottom width

** Statistically significant factors*

As can be observed, both design methods provide similar results regarding factor rankings, which additionally correspond to intuitions from practical experience.

Indeed, commodity prices are the most influential, as copper and gold prices are volatile and can vary in very wide ranges, especially over longer periods of time. Additionally, the accuracy of the Cu and Au grades in the geological block model can significantly influence the profitability of the mining operations. Both underestimating or overestimating ore grades can lead to significant changes in the estimated NPV value. Moreover, dilution from different mining technologies is also a factor worth further attention. The extraction of both commodities, yielded by the choice of mineral processing method, are also important parameters which deserve worth investigating. Additionally, the overall slope is also a crucial factor, which requires a detailed cost-benefit analysis in terms of finding a rational set of design parameters under geotechnical uncertainty and safety requirements. Mining costs and mining width correspond to the choice of mining method, as well as equipment choice, which can be considered a different optimisation problem on its own. Ore losses in the studied domain do not seem to affect significantly the NPV's magnitude and therefore can be considered non-essential factors. Last but not least, it should be pointed out that factor rankings may vary for different site conditions and hence the point of the DOE approach is to estimate them in a robust way in the specifics of each mining site.

Conclusion

A major conclusion, which can be drawn for the magnitude of the ultimate pit NPV is that it is heavily dependent on the input parameters, as the MILP model applies a Branch and Cut algorithm for disregarding parts of the deposit that are deemed infeasible or suboptimal at a certain stage of the life of mine. Additionally, changes in the input parameters can lead to changes in the pit development schedule or the relaxation of certain constraints, which can further influence the NPV value of an evaluated scenario.

Regardless of its limitations in capturing the details of the NPV's volatility, the DOE approach can be used as a guideline for estimating the key factors which influence the NPV results for the ultimate pit optimisation problem. Furthermore, the high modelling accuracy provides a way of improving the exploration of the feature space for more feasible design alternatives. Although the dependence between the input variables and the NPV value is non-linear in the hyperspace domain of the input parameters, applying a combination of best-case and worst-case scenarios or best-case, worst-case and realistic scenarios for the set of input parameters can provide a very good understanding of how the profitability of different scenarios is influenced by each factor. As a superior way, compared to the conventional One-At-a-Time approach, the DOE approach applies statistical power in order to regard each factor as significant or insignificant. Additionally, it also provides a way of quantifying the relationship between different factors and their compound effect on the magnitude of the NPV. Last but not least, a Screening design could be a reasonable solution in cases where block models of a substantial size are investigated with optimisation algorithms with higher time complexity (e.g. the Lerchs-Grossman algorithm), as 25 scenarios provide similar results, compared to a Fractional Factorial design with 128 runs. Results in this case study prove to be similar in every way (NPV distribution, factor ranks), which implies that both approaches can be utilised, depending on the scale and complexity of the deposit's block model. Nonetheless, a design with 128 runs is preferable, as the variation of the model's residuals is lower. Additionally, the estimate of the NPV's variance is more accurate in the design with 128 runs.

For future work, this approach would require further verification in different geological conditions, as well as for more complex block models and more complex optimisation scenarios including ore blending constraints, the addition of dilution, varying hauling costs and commodity prices in time. Additionally, as an improvement over the current approach, more or fewer scenarios could be considered with different sampling strategies, with the addition of correlating factors, as this could lead to a more realistic understanding of the NPV's volatility in the input parameter's hyperspace. Furthermore, data mining (more specifically machine learning) could also prove to be a viable approach to this problem, given that a proper sampling strategy is used. Regardless of which approach is considered for practical use, the parallelisation for the ultimate pit scenario calculations is also a problem worth studying for the sake of reducing computational time.

References

Alford C. G., J. Whittle. 1986. Application of Lerchs–Grossmann pit optimisation to the design of open pit mines. In: *Large Open Pit Mining Conference*, AusIMM–IE Aust Newman Combined Group, 201–207.

Anthony, J. 2014. *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, 2nd Edition, Elsevier, ISBN: 9780080994192

Ares, G., C. Castañón Fernández, I. D. Álvarez, D. Arias, A. B. Díaz. 2022. Open Pit Optimisation Using the Floating Cone Method: A New Algorithm. - *Minerals*, 12, 495. https://doi.org/10.3390/min12040495

Askari-Nasab, H., Y. Pourrahimian, E. Ben-Awuah, S. Kalantari. 2011. Mixed integer linear programming formulations for open pit production scheduling. - *Journal of Mining Science, 47,* (3), 338–359. https://doi.org/10.1134/S1062739147030117

Bai, V. X., G. Turczynski, N. Baxter, D. Place, H. Sinclair-Ross, S. Ready. 2017. *Pseudoflow Method for Pit Optimisation.* White Paper, https://www.3ds.com/fileadmin/products-services/geovia/pdf/whitepaper/2017-geovia-whitepaper-pseudoflow.pdf (Last accessed on 30th June 2023)

Caccetta, L., S. P. Hill. 2003. An application of branch and cut to open pit mine scheduling. - *Journal of Global Optimisation, 27,* (2–3), 349–365. https://doi.org/10.1023/A:1024835022186.

Chandran, B. G., Hochbaum, D. S. (2009). A computational study of the pseudoflow and push-relabel algorithms for the maximum flow problem, Operations Research, 57(2): 358-376.

Chaves, L. S., L. A. Caravalho, F. R. Souza, B. Nader, C. E. A. Ortiz, V. F. N. Torres, T. R. Camara, G. F. Napa-Garcia, Valadao, G. E. S. (2020). Analysis of the impacts of slope angle variation on slope stability and NPV via two different final pit definition techniques. - *Mining, REM, Int. Eng. J., 73* (1), Jan-Mar 2020, https://doi.org/10.1590/0370-44672019730011

Dimitrakopoulos, R., C. T. Farrelly, M. Godoy. 2002. Moving forward from traditional optimisation: Grade uncertainty and risk effects in open-pit design. - *Mining Technology, 111*(1), 82–88. https://doi.org/10.1179/mnt.2002.111.1.82.

Hall, B. 2014. Cut-off Grades and Optimising the Strategic Mine Plan. - *Spectrum Series 20*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 311 p.

Hochbaum, D. S. 2001. A new-old algorithm for minimum-cut and maximum-flow in closure graphs. - *Networks, 37* (4), 71-193.

Hochbaum, D. S. 2008. A pseudoflow algorithm: a new algorithm for the maximum-flow problem. - *Operations Research, 56* (4), 992-1009.

Hochbaum, D. S., A. Chen. 2000. Performance analysis and best implementations of old and new algorithms for the open-pit mining problem. - *Operations Research, 48* (6), 894-914.

Hustrulid, W., M. Kuchta. 2013. Open Pit Mine Planning and Design. Vol 1. Fundamentals. Third Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN 978-1466575127.

Jelvez E., N. Morales, J. M. Ortiz. 2022. Stochastic Final Pit Limits: An Efficient Frontier Analysis under Geological Uncertainty in the Open-Pit Mining Industry. – *Mathematics, 10,* (1), 100. https://doi.org/10.3390/math10010100

Jodeiri, B., H. Dehghani, M. Sadeghi. 2021. Ultimate Pit Limit Determination Using Flashlight Algorithm. - *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, *55,* (1), 43-48. doi: 10.22059/ijmge.2020.296120.594840

Koprev, I., E. Aleksandrova. 2022. Otkrit dobiv na polezni izkopaemi. Izdatelska kashta "Sv. Ivan Rilski", Sofia, ISBN 978-954-353-459-3, (in Bulgarian).

Leite, A., R. Dimitrakopoulos. 2009. Production scheduling under metal uncertainty – application of stochastic mathematical programming at an open pit copper mine and comparison to conventional scheduling. In: *Proc. Conf. on ‘Orebody modelling and strategic mine planning: old and new dimensions in a changing world’, Perth, Western Australia, March 2009*, The AusIMM, 27–31.

Lerchs, H., I. F. Grossmann. 1965. Optimum design of open pit mines. - *The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 58*, January, 47-54.

Nikolov, I., L. Svilenov, M. Vasileva, P. Petrov, I. Vasilev. 2019. Opredeljane na ikonomičeskite granici, proektirane i optimizirane na otkriti rudnici, chrez spetsializiran minen softuer "Hexagon Mining", "MINEPLAN3D", vnedren za rabota v usloviyata na rudnik "Elatsite. In: *Proceedings of the XVI International Conference of the open and underwater mining of minerals, 03-07 June, 2019, Varna, Bulgaria*, ISSN 2535-0854, 123-131 (in Bulgarian).

Poniewierski, J. 2017. *Pseudoflow explained. A discussion of Deswik Pseudoflow Pit Optimisation in Comparison to Whittle LG Pit Optimisation*. https://www.deswik.com/wp-content/uploads/2017/05/Pseudoflow-Explained.pdf (Last accessed on 30th June 2023).

Rimélé, A., R. Dimitrakopoulos, M. Gamache. 2020. A dynamic stochastic programming approach for open-pit mine planning with geological and commodity price uncertainty. - *Resources Policy, 65*, 101570. doi:10.1016/j.resourpol.2019.101570

Svilenov, L., I. Nikolov. 2021. Metodologiya za tarsene na optimalna dalbochina pri razrabotvane na "perspektiven" kontur za rudnik "Elatsite" chrez specializiran minen softuer. In: *Proceedings of the XVI International Conference of the open and underwater mining of minerals, 06-10 September, 2021, Varna, Bulgaria*, ISSN 2535-0854, 173-181 (in Bulgarian).

Whittle, G. 2009. Misguided objectives that destroy value. In: *Proceedings Orebody Modelling and Strategic Mine Planning*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 7-101.

https://miningmath.com/ (Last accessed on 30th June)

https://miningmath.com/docs/knowledgebase/ (Last accessed on 30th June 2023)

https://miningmath.com/docs/knowledgebase/formatting-data/datasets/ (Last accessed on 30th June 2023)

https://www.minitab.com/en-us/ (Last accessed on 30th June 2023)

AN OPPORTUNITY TO REDUCE GREENHOUSE GASES BY TURNING MUNICIPAL SOLID WASTE TO ENERGY

Dimitar Nikolaev Kolev

Institute of Chemical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, *Acad. G.Bonchev str., bl.103 d.kolev@iche.bas.bg*

ABSTRACT. This article presents existing technologies for the treatment of municipal solid waste (MSW), and offers a comparison between them. A technology suitable to convert MSW into energy without the need for pre-treatment or long-distance transportation is proposed. For every 100 t of MSW, the plant generates 11 100 kWh of electricity and 99.7 MWh of heat with a supply temperature of 75°C to be used for district heating purposes. The technology makes it possible to use the energy for the needs of the community that generates the waste. The presented technology is suitable for communities with a population of 30 to 70 thousand inhabitants.

Key words: environmental protection, incineration, packed bed, gas cleaning

ВЪЗМОЖНОСТ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ЕМИСИИТЕ НА ПАРНИКОВИ ГАЗОВЕ ЧРЕЗ ПРЕВРЪЩАНЕ НА ТВЪРДИТЕ БИТОВИ ОТПАДЪЦИ В ЕНЕРГИЯ

Димитър Николаев Колев

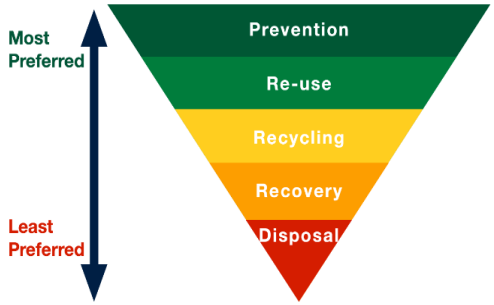
Институт по инженерна химия-БАН, София 1113, ул. „Акад Г. Бончев“, бл. 103

РЕЗЮМЕ. В тази статия са представени съществуващите технологии за третиране на твърди битови отпадъци (ТБО) и е направено сравнение между тях. Предложена е технология, подходяща за превръщане на ТБО в енергия, без да е необходимо предварително третиране или транспортиране на големи разстояния. За всеки 100 t ТБО инсталацията произвежда 11 100 kWh електроенергия и 99,7 MWh топлинна енергия с температура на подаване 75 °C, която се използва за целите на централното отопление. Технологията дава възможност енергията да се използва за нуждите на общността, която генерира отпадъците. Представената технология е подходяща за общини с население от 30 до 70 хил. жители.

Ключови думи: опазване на околната среда, изгаряне, колони с пълнеж, пречистване на газове

Introduction

The EU policy expressed in Directive 2018/850 on the landfill of waste contributes to increasing resource efficiency within the EU and reducing the negative environmental and health impact. The hierarchical order of priorities for the utilisation of MSW is given below.



What is required for the development of a new technology

As society develops and cities grow, the amount of MSW generated has dramatically increased. The amount of waste generated per person per year in the European Union member states is more than 500 kg per capita per year.

Over the years, various waste treatment methods have been used:

- Disposal in open landfills;
- Disposal in covered landfills;
- Incineration in large factories – incinerators.

I would like to try briefly to describe the methods used:

Disposal in open landfills

Environmental pollution resulting from gases generated by anaerobic decomposition of biological components is significant. It should be taken into account that the territories thus used cannot be employed for other purposes.

Disposal in covered landfills

The specific feature is that in the process of the construction of covered landfills, pipes are placed in the construction so that the gases generated by anaerobic decay are collected and discharged. Gases generated from the decaying contain the following components (Assamoi, 2012): methane 55% and CO_2 45%. The collected gases are used to generate thermal and electrical energy.

Unfortunately, according to data from B. Assamoi (2012), 25% of the produced landfill gas is lost due to leakages in the landfill systems. This causes significant damage to the environment.

It should be noted that the territories of the covered landfills can be reclaimed and used for other purposes.

Incineration in large factories – incinerators

From an environmental point of view, the use of incineration plants for waste treatment is the best solution in terms of recovering the calorific value of waste through the heat from their incineration; in terms of reduction of the quantity of waste for landfill; and also in terms of emissions of harmful gases, as mentioned above.

The energy generated from incineration is used to produce electricity and heat. The generated ash and cinder are used in the road construction for roadbeds, and also as a substitute of inert material. Combustion gases are purified in large industrial facilities and the discharged gases thereof meet the highest environmental requirements.

Figure 1 shows the distribution of the technologies used in some European Union member stated in 2015. The figure shows that some countries such as Germany, Belgium, and Sweden have solved their landfill problems with household waste, while others like Romania, Bulgaria, and Greece must work hard to solve the challenges of municipal waste.

All that has been said and shown so far make it clear that the incineration of waste is a preferred method for efficient MSW processing. It is an issue that so far only technologies and plants for processing large quantities of waste have been developed, and this is associated with significant transport costs.

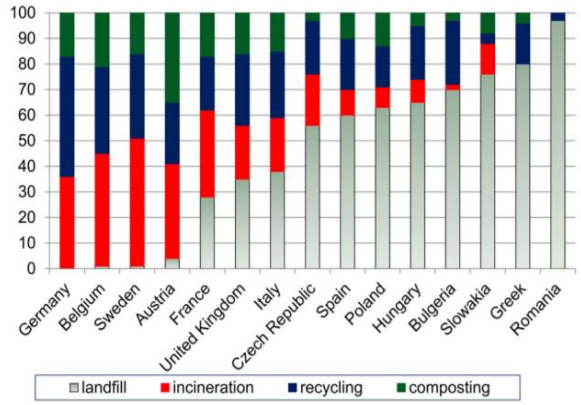


Fig.1. Municipal **Solid Waste treatment in selected EU countries (in %)** (after M. Nellesa 2016)

Presentation of technology and operation processes

Figure 2 shows the process flowchart of the proposed technology (Kolev and Lyutskanova 2006).

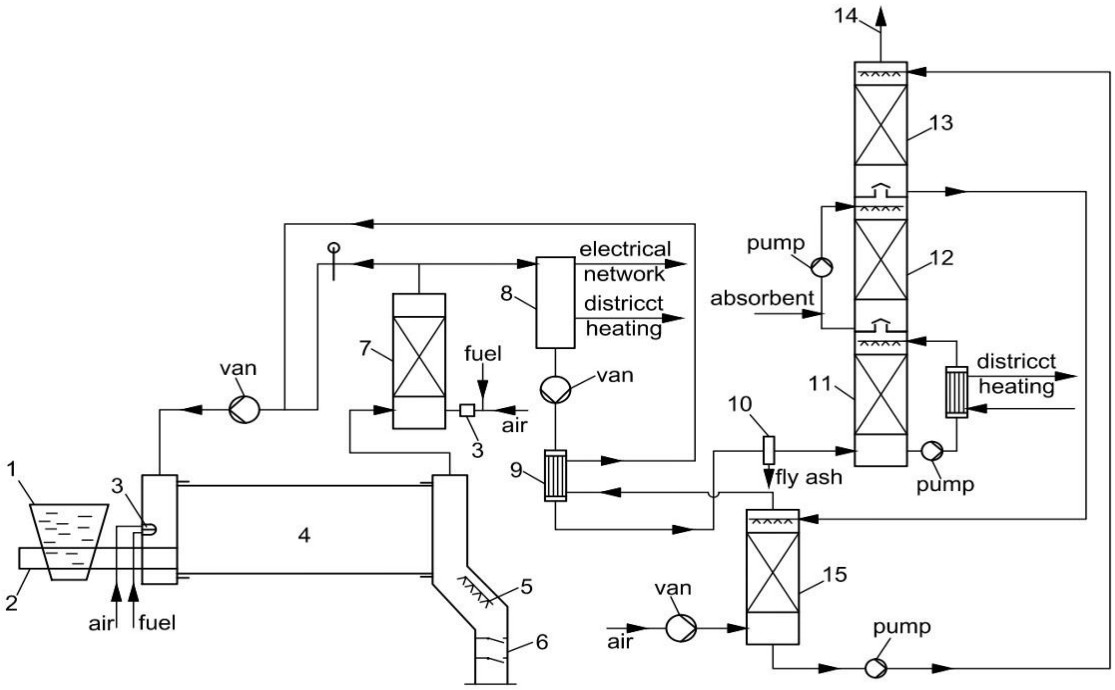


Fig. 2. Installation for incineration of MSW

Operation Processes

The arriving truck discharges the waste into a receiving bunker through a large-size mesh sieve. Thus, large-size waste is separated. After the bunker, the waste passes along a separation line where the following steps takes place: the bags are broken open, then waste passes through a scale and magnetic separator, and from there it is delivered into a shredder. The purpose of the shredder is to homogenise the waste and cut it to pieces of similar size. Having thus been separated, it is delivered into a day bunker or into a line stand-by bunker. The stand-by bunker has a capacity to take waste for 15 days, which makes it possible to store waste in case of a sharp increase in the amount of household waste - for example, during the New Year holidays.

From the daily bunker, the waste is delivered to the rotating combustion chamber (rotary kiln). The downtime therein is

around 30 minutes. The length of the rotary kiln is 15 m. The temperature maintained in the combustion chamber is about 850° C. On the initial start of the plant, a liquid or gaseous fuel burner shall also be used to provide the required temperature. During the process, when the temperature in the combustion chamber starts decreasing, the burner is automatically turned on to maintain it. The bottom ashes generated from the incineration are removed from the combustion chamber, being pre-cooled with water. The device does not allow uncontrolled air entering into the process when removing the ash. The flue gases generated are supplied to a post combustor where a burner maintains a temperature of 1100° C. The post combustor is designed as a packed bed column, which makes it possible to maintain the temperature profile therein constant. The gas downtime in the post combustor is more than 2 seconds. If necessary, a burner can keep the temperature in the post combustor constant.

After the post combustor, the gases are separated into two streams. One stream goes to a recovery unit, where gases are cooled down to 500° C. They are then sent to a recuperation unit, where they heat the air for the incineration process, and ~~they~~ are cooled down to 200° C, the temperature of the wet thermometer is 79.1° C. Next, they pass through a bag filter to separate the ash carried over with the gases. Thus cooled and mechanically purified gases are delivered into a contact economiser (Kolev, 2003) - direct water heat exchanger, where they indirectly heat the district heating water up to 75° C. Then, they enter an absorber for their chemical treatment. After the absorber, the gases enter a second economiser. There, they heat the water, which in turn heats and humidifies the air for the incineration process. Flue gases leave the plant through a flue duct fully meeting the highest environmental requirements.

The second stream of gases is mixed with the heated and humidified air and at a temperature of about 700° C is delivered to the entry of the rotary kiln.

The recovery unit is a Rankine cycle turbine, where electricity and heat are generated in the form of hot water for district heating purposes.

The technology is designed for processing of 50 to 100 t/day of MSW. The inability to work with larger quantities of waste is related to the increase in the diameter of the rotating furnace, which causes worse performance of the combustion process. If necessary, several process lines may be used simultaneously.

Table 1 provide specifications of the waste to be processed.

Table 1. *Integrated specifications of MSW*

Characteristic	Values
bulk weight	300 kg/м^3
total humidity	30%
caloric content	4.6 MJ/ kg
PH value	7
organic substances	35%
inorganic substances	65%

Table 2 shows the quantities of the specified utilities saved from the incineration of 100 t of domestic waste, as well as the emissions of CO_2 during the year-round operation of the installation.

Table 2. *Quantities of fuels replaced by 100 t of MSW*

	MJ/kg	Quantities of fuels replaced by 100t of MSW	CO_2 tons per 365 days
wood	10.8	42304 kg	**278**
wood briquettes	19.6	23404 kg	**10 670**
wooden pellet	19.6	23404 kg	**10 085**
coal briquettes	10.5	44000 kg	**86 620**
light boiler fuel	41.8	11000 kg	**72 575**

The energy obtained from the incineration of 100 tons of MSW is given in Table 3

Table 3. *Energy recuperation after the incineration of 100 t MSW*

electricity – to the electricity grid	kWh	**11 100**
generated heat to be supplied to the district heating network	MWh	**99,7**

In addition to the benefits, incineration plants also cause some problems that need to be addressed. Below are the main contaminants from the incineration of MSW and the methods by which the proposed technology resolves them:

NOx - The presence of nitrogen oxides in combustion gases is due to the following endothermic reaction between nitrogen and air oxygen:

$$N_2 + O_2 = 2NO \quad (1)$$

When the temperature decreases, nitrogen oxide is converted into a nitrous trioxide by the reaction

$$2NO + \tfrac{1}{2}O_2 = 2N_2O_3 \quad (2)$$

as well as in various other extremely harmful nitrogen oxides. In the presence of water vapor in the atmosphere, these oxides are converted into nitrous acid and nitric acid.

Reaction 1 is balanced and at high temperature is shifted to nitric oxide. The reverse reaction of nitric oxide decomposition is very slow, so once formed it does not decompose to nitrogen and oxygen within the foreseeable time. For this reason, the only reasonable measure to avoid its generation is to conduct the incineration process at a lower flame temperature. Moisturising the combustion air leads to a significant decrease in the temperature in the flame.

Furans - MSW contains chlorine-containing waste, such as PVC. When it is incinerated at low temperatures, furans are produces – compounds which are harmful to human health. For this reason, the incineration of the waste is carried out at temperatures above 850° C. In addition, the gases resulting from the incineration must stay at this temperature for more than 2 seconds. The new technology provides an after-burner in the combustion chamber, where the combustion gas temperature is maintained at 1100° C. This is done using an additional burner. In this additional chamber, the gases are retained for more than 2 seconds. It is essential for furans that they can be synthesised back if they are not cooled down

quickly. The new technology uses an indirect heat exchanger to quickly reduce the temperature of combustion gases from 500 to 200° C, while at the same time heating the combustion air.

SO2, chlorides and fluorides - the generated combustion gases undergo treatment in an absorber with a solution of Na_2CO_3. The pH of the solution is monitored during the process. When the absorbent is exhausted, pH decreases and, accordingly, the absorbent is replaced. The absorbent changing intervals cannot be predicted in advance. Below are also shown the reactions that take place therein:

$$Na_2CO_3 + HCl = 2NaCl + CO_2 + H_2O \quad (3)$$

$$Na_2CO_3 + HF = 2NaF + CO_2 + H_2O \quad (4)$$

$$Na_2CO_3 + SO_2 = NaSO_3 + CO_2 \quad (5)$$

$$NaSO_3 + {}^{1}\!/\!_{2}\, O_2 = Na_2SO_4 \quad (6)$$

The resulting solution contains salts that can be used during the winter months to deal with icy pathways.

Dust – the present technology provides a multi-stage dust purification: 1. bottom ashes are discharged after the rotary kiln; 2. flying ashes are discharged from the bag filters; 3. wet cleaning is carried out in a contact economiser, lead powder is exported together with condensed water vapour.

Conclusion

From the presentation so far, it is clear that the new technology solves the addressed issues, namely:

1. To process domestic waste / MSW up to 100 t/day;

2. To recover the resulting heat in several steps;

- generation of electricity more than 8% from the energy carried by MSW (Turboden ORC);
- production of hot water for district heating purposes more than 78% from the energy carried by MSW;
- heating of air used for the combustion;

3. Not to pollute the environment – the level of combustion gases treatment meets the best European practices;

4. To reduce distances from the origin to the processing and use of waste, i.e. to reduce its transport.

References

Assamoi, B., Y. Lawryshyn. 2012 The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. - *Waste management* 32 1019-1030

Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste.

Eurostat File: Municipal waste treatment, EU, 1995-2020 (kg per capita).

Kolev, D. 2003. Selection of packings for contact economiser system. - *Bulgarian Chemical Communications,* Vol.35, Number 3, 153-161.

Kolev, D., R. Lyutskanova. 2006. *“Method and installation for urban domestic wastes treatment through incineration.”* Patent BG 66232 B1 (in Bulgarian).

Nellesa, M., b,*, J. Grünesa, G. Morschecka. 2016. Waste Management in Germany – Development to a Sustainable Circular Economy? - *Procedia Environmental Sciences*, 35, 6–14.

Turboden ORC units. 2008. Turboden-wood EnergyInformationDay1.pdf

SOLUTIONS, CONSTRUCTION STAGES, ACHIEVEMENTS AND PROBLEMS IN UNDERGROUND COAL PRODUCTION IN THE *BABINO* MINE, *BOBOV DOL* MINES

Evtim Kartzelin[1], Stanislav Topalov[1], Ivan Markov[2], Shteryo Shterev[2], Rumen Bikov[3]

[1] University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: stopalov@gmail.com
[2] “Bulgarian Coal Mining” Association, 1000 Sofia, “G. S. Rakovski” 108
[3] Minproekt EAD, 14 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia

ABSTRACT. The *Babino* mine is an example of the use and implementation of modern achievements of the mining science for the realisation of underground coal mining at a great depth under complex mining-geological conditions.
Summarised information is given concerning: solutions used for the uncovering, opening-out and mining development of the Bobovdol coal basin, incl. the *Babino* mine; the stages of construction and of putting production capacities into operation; applied mechanisation for underground mine construction and machine coal mining; production results through the stages of construction and coal mining; used solutions for transporting people, materials, machinery, explosives, rock mass, and coal; mine surveying activities and control during all stages of the process of construction (mining workings and winding machines, installations, and complexes) and mining; solutions for ensuring safe and hygienic conditions for all technological processes in the underground *Babino* mine; some issues that arose and were registered during the stages of construction and coal mining in the *Babino* mine are also summarised.

Key words: project solutions, coal mining, underground construction.

ИЗПОЛЗВАНИ РЕШЕНИЯ, ЕТАПИ НА СТРОИТЕЛСТВО, ПОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМИ ПРИ ПОДЗЕМНИЯ ВЪГЛЕДОБИВ В РУДНИК „БАБИНО“, МИНИ „БОБОВ ДОЛ“

Евтим Кърцелин [1], Станислав Топалов [1], Иван Марков [2], Щерьо Щерев [2],Румен Биков [3]
[1] Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София
[2] Асоциация „Български въгледобив“, 1000 София, ул. „Г. С. Раковски“ 108
[3] Минпроект ЕАД, 1756 София, бул. „Климент Охридски“ 14

РЕЗЮМЕ. Рудник „Бабино” е пример за използване на съвременни постижения на минната наука за реализирането на подземен добив на въглища на голяма дълбочина при сложни минно-геоложки условия.
В доклада е обобщена и представена информация за: използвани решения за разкриване, подготовка и разработване на Бобовдолския въглищен басейн, вкл. р-к „Бабино”; етапите на строителство и въведени производствени мощности; прилагана механизация за подземно минно строителство и механизиран добив на въглища; производствени резултати през етапите на строителството и добива на въглища; използвани решения за транспорт на хора, материали, машини, взривни вещества, скална маса и въглища; маркшайдерско осигуряване и контрол през всички етапи на строителство (минни изработки и технологични машини, уредби и комплекси) и добив; решения за осигуряване на безопасни и хигиенни условия за протичане на всички технологични процеси в подземния р-к „Бабино”; обобщени са и някои проблеми, възниквали и регистрирани през етапите на строителство и добива на въглища в р-к „Бабино”.

Ключови думи: проектни решения, въгледобив, подземно строителство.

Въведение

Бобовдолският въглищен басейн е едно от най-старите въгледобивни находища в България. Още преди освобождението на страната ни от турско робство в своите бележки до Високата порта френският геолог Ами Буе съобщава за него.

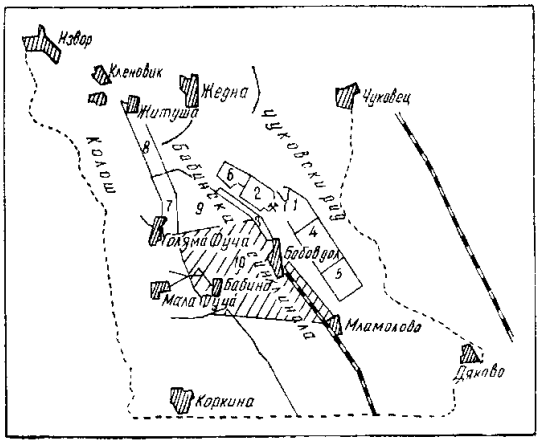
До 1887 г. басейнът не е проучван и разработван. Първите проучвателни галерии и разкриващи изработки са прокарани през 1889-1890 г., а първите въглища са добити през 1891. Ето защо 1891 г. се приема за рождената дата на Мини „Бобов дол“ (Кърцелин и др., 2020).

През първата година на своята производствена дейност в Мини „Бобов дол“ се добиват 254 t въглища, през 1944 г. - 113 404, а през 1978 г. – 1 857 479 t (Стоймирский, 1980).

До 1936 г. въглищата в Мини „Бобов дол“ се добиват ръчно и се извозват на повърхността с използване на животинска тяга. Едва през 1937 г. са доставени първите контактни електролокомотиви.

Подробна информация за Бобовдолския въглищен басейн – минно-геоложки условия, запаси и характерни особености се съдържа в (Стоймирский, 1980).

В резултат на геоложките проучвания е установено, че въглищните запаси са в участъците: 1 – участък „Чеганска синклинала“; 2 – у-к „Цървилото“; 3 – у-к „Връчва“; 4 – у-к „Банковица“; 5 – у-к „Мламолово“; 6 – у-к „Говедарника“; 7 – у-к „Голема фуча“; 8 – у-к „Житуша“; 9 – у-к „Житуша-Връчва“; 10 – у-к „Бабино“, показани на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема на Бобовдолския въглищен басейн

Рудник „Бабино“ – решение за разкриване и технологична схема за разработване

Рудник „Бабино“ разработва югозападната част на Бабинската синклинала от Бобовдолския въглищен басейн на площ около 25 km^2. В продуктивния хоризонт е отложена задруга от 4 въглищни пласта, залягащи синклинално на дълбочина от повърхността до плоското дъно на мулдата от 180 до 580 m. В рудничното поле са съсредоточени 104,3 млн. t въглищни запаси, от които 13,04 млн. t – доказани (кат. 111).

Разкриването на рудника е еднохоризонтно с 5 вертикални шахти – две главни (скипова и клеткова) и три спомагателни (ВШ-1, ВШ-2 и ВШ-3), служещи за вентилация, водоотлив, транспорт на хора, материали и съоръжения. Главните вертикални шахти (ЦСШ с Н=436 m и ЦКШ с Н=384 m) са разположени флангово извън границите на рудничното поле и полезното изкопаемо, но централно спрямо границите на полето по простиране. Те се свързват за действащия хоризонт Н 292 с 4 основни изработки до разкритите и разработвани пластове:

- два капитални хоризонтни травербана, които пресичат стръмно западащата задруга от пластове и на 1500÷1700 m навлизат напречно (косо) на линията на простиране във въглищния комплекс по IV^A пласт, след което продължават като капитални бремзберги до края на полегатата част с наклон 3÷13° и с обща дължина 3400 m.
- две основни скални галерии с определен наклон (2-ра извозна и 2-ра вентилационна), с които IV^A пласт се разкрива на около 800 m от ГВШ.

По този начин на разкриване са разкрити пластове IV и IV^A, както и III пласт, който отстои под IV на около 10-12 m.

Схемата на подготовка на рудничното поле е панелна, може да се приеме и като хоризонтна. Цялото руднично поле с полегато залягане представлява една двустранна панела. Практически хоризонтните галерии са продължение на разкриващите допълнителни изработки. Главните и спомагателните слабо наклонени изработки образуват двустранно почти равни по площ добивно поле с размери по простиране 1400÷1600 m, разделено на добивни блокове (сектори), които се отработват в обратен ред по системата дълги стълбове по простиране. Дължината на добивните стълбове варира от 450÷600 до 900 m, а фронтовете са единични с дължина 90÷115 m, съоръжени с механизирани комплекси.

Рудничното поле се разработва в низходящ ред, като от въвеждането му в действие се експлоатира IV въглищен пласт, който е основен носител на запасите в полето. Той има дебелина 0,8÷6,5 m. В по-голямата част от рудничното поле IV пласт се разслоява и образува два пласта - IV и IV^A с междупластие 0,4÷15 m, отработвани самостоятелно. Горележащият IV пласт е с мощност 0,8÷1,7 m и е развит площно по-слабо. Следващият IV^A е добре развит по цялата площ на полето с дебелина 1,3÷3,5 m. В уклонната част на полето двата пласта се сливат в един мощен пласт с дебелина 4,0÷6,5 m. Ъгълът на западане на пластовете се изменя 2÷18° в основната част на рудничното поле, а дълбочината на залягане варира 260÷450 m.

Пластовете са слабо водообилни, рудничният прах е взривоопасен, въглищата са силно склонни към самозапалване с инкубационен период 25÷45 дни, а рудникът е категоризиран свръх категория по метанообилност.

Етапи на строителство на р-к „Бабино“, Мини „Бобов дол“

С Разпореждане №113/13.03.1971 г. на Комитета за стопанска координация към Министерския съвет се определят етапите на строителството на р-к „Бабино“ (табл. 1.) (Стоянов, 1977).

Таблица 1 *Етапи на строителството на р-к „Бабино“*

Етапи на строителство	Производствена мощност	Година за въвеждане в експлоатация
Първи	400 000 t с временна схема за транспорт	30.12.1974 г.
Втори	400 000 t с временна схема за транспорт	30.12.1975 г.
Трети	700 000 t	30.12.1976 г.

След изграждане и въвеждане в експлоатация на трите етапа в р-к „Бабино“ трябва да се добиват годишно по 1 500 000 t въглища.

Вследствие неспазване на пусковите срокове, показани в табл.1, с постановление на Министерския съвет №107 от 4.09.1974г. строително-монтажните работи и производствени мощности, включени в първия и втория етап, са обединени в един общ с краен срок 30.12.1975 г. и годишна производствена мощност от 800 000 t..

Поради многото нерешени въпроси и проблеми едва през 1976 г. е реализиран първия пуск на р-к „Бабино” с годишна производствена мощност 800 000 t.

През 1976 г. са въведени в експлоатация два фронта за механизиран добив на въглища – 425 фронт, съоръжен с комплекс 2МКЭ и 424 фронт – с комплекс 2ОКП. През 1977 г. в рудника се въвежда в експлоатация и 423 фронт, съоръжен с комплекс 3ОКП.

При тези условия общият добив от трите фронта и подготвителните участъци се определя на повече от 3 000 t на денонощие.

Пропускателната възможност на ГКШ е 1600 t въглища на денонощие. За осигуряване условия за работа на минните строители на хор. 292, 25% от пропускателната способност на ГКШ се определя за строителите. По тази причина добивът и транспортът на въглища се ограничава до 1200 t.

През 1977 г. е реализиран втори пусков етап на р-к „Бабино“ с производствена мощност 700 000 t./год. През 1977 г. са въведени в експлоатация всички елементи на системата за подземен транспорт на въглища на хор. 292:

•магистрален лентов транспорт по 2-ри извозен бремзберг;

• дозаторен комплекс на Главна скипова шахта (ГСШ);

• главна скипова шахта;

• приемни бункери на К + 16,[10] m на ГСШ;

• лентов транспорт до приемни бункери на ЦОФ.

Организация и механизация за подземно минно строителство на р-к „Бабино”

Колев, Якимов, Жегов (1972) представят анализ и резултати от използването на проходчески комбайн ПК-9Р за изпълнение на капитално минно строителство на хор. 292 – на 368-ма вентилационна галерия от ВШ-2 и на 2-ри травербан. При определена в проекта скорост на месечно напредване от 150÷180 m/месец, на практика се реализира напредък от 43 m. След прокарване на около 500 m капитални минни изработки вследствие настъпила висока аварийност комбайнът ПК-9Р е демонтиран и изваден на повърхността.

За изпълнение на капиталното строителство в уклонната част на р-к „Бабино“ през 1975 г. е доставена проходческа механизация, с която се осигуряват високи темпове на минното строителство (Перфилев, Георгиев, 1977).

Петров (1974) дава информация за организацията и резултатите от използването на проходчески комбайн 4ПУ за изпълнение подготовката на 425 добивен фронт на хор. 368 – ВШ1.

Организацията и техническите характеристики на използваната механизация за подземното минно строителство не съответстват на сроковете, сложността и обема на поставените задачи, което налага специално изследване и оценка.

Механизиран добив на въглища в р-к „Бабино“

Природните и производствено-техническите условия, при които се разработва р-к „Бабино“, са значително по-благоприятни в сравнение с условията в другите части на Бобовдолския басейн и позволяват използване на комплексна механизация за изземване на двата разкрити въглищни пласта IV и IV^{A}. От друга страна обаче, съществуващите негативни фактори – неиздържаност на пластовете по дебелина и залягане, слаби вместващи скали и въглища, висока газоносност, пожароопасност и др. – предявяват специфични изисквания към добивните комплекси, на които трудно могат да отговорят предлаганите на пазара серийни образци. Главно поради това резултатите от експлоатацията на прилаганите до 1987 г. комплекси – тип КМ-87ДН, КМ-87УМН, 1МКМ, 2МКЭ, 20КП – не са задоволителни. Многократните анализи във връзка с неефективната им работа (бавно напредване и слабо натоварване на фронтовете, голям обем на спомагателните и ръчно извършваните операции, недостатъчна надеждност на технологичната схема и др., водещи до ниска производителност на труда и високи експлоатационни разходи) показват, че тя се дължи преди всичко на непълното съответствие между условията на разработване и технико-технологичните параметри на използваните средства за комплексна механизация.

За изпълнението на програма за разширяване и повишаване ефективността на механизирания добив в р-к „Бабино“ по задание на СМЕК „Бобов дол“, НИТИ „Минпроект“ разработва технически задания за производство и доставка на механизирани комплекси, производство на западни фирми (табл. 2.)

Табл. 2. *Механизирани комплекси*

Механизиран комплекс, тип	Година на доставка	Година и място на въвеждане в експлоатация
„Кльокнер - Бекорит” Германия	1985	1986 – 421 добивен фронт
Даути 1 Даути 2	1987	м. V 1987 – 424 – 1Д фронт м. II 1988 – 423 – 3Г фронт
„Вестфалия - Бекорит” Германия	VI. 1993	м. V 1993 – 425 – 11Д фронт

Информация за условията на работа и получени резултати от експлоатацията на ново поколение механизирани комплекси производство на западни фирми от Германия и Англия е представена от Александров (1983), Александров и Танев (1989) и в ПСД „Монтаж и технология за работа с комплекс „Даути“ и комплекс „Вестфалия – Бекорит“.

Условия за работа и резултати от механизирания комплекс „Кльокнер-Бекорит“ (Александров, 1983)

Еднослойното механизирано изземване се оказва особено актуално за разработването на рудник „Бабино“, където основната част от запасите са съсредоточени в полегатия IV пласт с мощност 3,6÷5,6 m.

По задание на комбинат „Бобов дол“ и СО „Енергетика“ през 1984 г. „Минпроект“ разработва необходимите технологична схема и техническо задание за изготвяне на добивен механизиран комплекс, а през 1985 г. фирмата „Кльокнер—Бекорит“ (ФРГ) го изработва и доставя, като едновременно с това се подготвя и участъка за внедряването му.

Подготвеният стълб за 421-ви фронт в югозападната уклонна част на рудничното поле има дължина по простиране на пласта 850 m и широчина по западане 96 m. Залега на дълбочина 410 m. На тази дълбочина на разработване в условията на р-к „Бабино“, както показва опитът, се проявяват характерните за дълбоки рудници особености — увеличен скален натиск, неустойчивост на стените на изработките, повишено газоотделяне и прахообразуване и др.

В границите на подготвения стълб мощността на пласта варира от 4,00 до 4,85 m. Той е образуван от сближаването на IV и IV^{A} пласт. Изграден е от три въглищни пачки и от две разделящи ги междупластия. Наклонът на фронта е от 6 до 12°, а наклонът на пласта по посока на напредването се променя незакономерно, но плавно до ±3÷5°.

Пластът е газоносен. Абсолютното газоотделяне на метан при извършване на добивните работи в стълба е от 8 до 12 m^3/min.

Въглищата са склонни към самозапалване, а въглищният прах е силно експлозивен. Инкубационният период на

самозапалването е къс (28÷35 дни), като най-пожароопасна е горната пачка. Ниската влажност и тектонската обработка на пласта са предпоставки за голямо прахообразуване

Условия за работа и резултати от механизираните комплекси „Даути“ (Александров, 1989; ПСД „Монтаж и технология за работа с комплекс „Даути“, 1987)

НИТИ „Минпроект“ съвместно със СМЕК „Бобов дол“ и Асоциация „Енергетика“ разработва техническо задание, по което фирма „Даути“ произвежда и доставя през 1987 г. два добивни комплекса за изземване на пластове с мощност 1,35÷2,50 m.

Първият комплекс влиза в експлоатация през май 1987 г. и до м. април 1988 г. с него е иззет стълбът на фронт $424^{1\text{-д}}$. От м. август с. г. е преместен във фронт $424^{3\text{-г}}$. С втория – от м. февруари 1988 г. до м. март 1989 г. – е отработен стълбът на фронт $423^{3\text{-г}}$.

Стълбът на фронт $4241^{\text{-д}}$, подготвен по пласт VI^{A} на дълбочина 350÷360 m, е разположен под изработеното през 1978 г. поле в IV пласт, от което го отделят плътни глини и глинести пясъчници с дебелина 2,5÷14,0 m. С фронтове $423^{3\text{-г}}$ и $424^{3\text{-г}}$ се изземва IV пласт на дълбочина 370÷400 m.

Добивните работи се извършват от комплексни бригади при шестдневна работна седмица и трисменен режим на работа (2,5 добивни смени в денонощието).

Условия за работа и резултати от механизирания комплекс „Вестфалия-Бекорит“ (WB)

Механизираният комплекс „Вестфалия-Бекорит“ е доставен през м. юни 1993 г. в р-к „Бабино“ по специално задание и технически изисквания на обща първоначална покупна цена 13145 хил. DM в т.ч. за състава на комплекса (10600 хил. DM и за покупка на комбайна „Айкхоф“ - 2545 хил. DM).

Той е предназначен за работа в горния слой (пачка) на IV пласт в югозападната част на рудничното поле, където скалите от междупластието нарастват значително и в промишлените зони дебелината му рядко надминава 1,35 m.

Въведен е в експлоатация в края на 1993 г. на 425-11Д фронт с дължина 95 m. Предвид неблагоприятните условия за работа на комбайна поради мощната скална прослойка от пясъчник в пласта, след експлоатацията на 120 m от стълба комплексът е демонтиран и преместен за добивни работи в 425-2Д в уклонната част на полето с дължина на фронта 100 m, където е работил до края на 1995 г. в нормални производствени условия. След привършването на стълба комплексът започва работа през 1996 г. на 424-5Г фронт, на който работи до края на 1999 г. с дължина на фронта 120 m. С оглед опазването на II^{A} извозен бремзберг от вредното влияние на добивните работи, 424-5Г фронт е спрян на средно разстояние 118 m от основната изработка, след което е демонтиран с оглед консервацията му на повърхността.

Практически се установява, че като се изключи първият добивен стълб, където комплексът WB е работил в неподходящи за неговата характеристика условия, са отработени два добивни стълба, а именно:

- 425-9Д фронт с дължина 436 m за периода 1994-95 г.;
- 425-5Г фронт с дължина на погасения стълб 714 m.

За този период на експлоатация са постигнати следните годишни производствено-технологични резултати:

- за 1994 г. са добити 27026 t със средноденонощен добив 676 t и производителност на забоен работник -19,50 t/чов.смяна;
- през 1995 г. са добити 159616 t въглища със среднодневно натоварване 781 t и производителност на забоен работник - 25,67 t/чов.смяна, които са максималните производствено-технологични резултати за целия експлоатационен период;
- през 1996 г. са добити 62017 t или среднодневно натоварване 395 t и производителност на забоен работник 12,21 t/чов.смяна.

Общият експлоатационен период на комплекса WB е практически от началото на 1994 г. до края на 1999 г. или общо 6 години.

Използвани решения за осигуряване на безопасни и хигиенни условия за всички технологични процеси в р-к „Бабино“

За удовлетворяване изискванията на нормативните документи (Правилник по безопасност на труда в подземни въглищни рудници, 1982; Техническа инструкция за извършване на измервателните маркшайдерски работи при проучването, строителството и разработването на находищата на полезните изкопаеми, 1969), както и за осигуряване на безопасни и хигиенни условия за протичане на технологичните процеси, в подземен р-к „Бабино“ са проектирани, построени и въведени в експлоатация редица обекти, като например:

- Главна вентилационна уредба, построена на площадката на ВШ-3 и съоръжена с два вентилатора тип ВЦД-31,5;
- Главна водоотливна уредба, разположена в руддвора на ГКШ – хор. 292 и обзаведена с три помпени агрегата;
- Изградена е Азотна станция на площадката на ГКШ и стоманени тръбопроводи за подаване (транспортиране) на азот до добивните фронтове за гасене на пожари;
- Изградено е шламово стопанство на площадката на ВШ-1 за затлачване през сондажи на отработени фронтове, потушаване и ограничаване на възникнали ендогенни пожари;
- Изградена е дегазационна уредба на площадката на ВШ-3 и подземни стоманени тръбопроводи за предварително намаляване съдържанието на газ метан (CH_4) във въглищните пластове.
- Доставена и монтирана е апаратура за непрекъснат автоматичен контрол на съдържанието на газ метан в определени точки на вентилационната мрежа на рудника;
- Доставени и монтирани са апарати за непрекъснат автоматичен контрол за състоянието на изолационното съпротивление на електроразпределителната мрежа в подземния рудник;
- Използвано е електрообзавеждане (пускатели, двигатели и др.) само в руднично взривозащитено изпълнение;
- Строителство и въвеждане в експлоатация на „Дизелова монорелсова система“ на хор. 292 за транспорт на работници, машини и материали;
- Строителство и въвеждане в експлоатация на „Въжена монорелсова система“ за транспорт на хора.

Маркшайдерски контрол през етапите на строителството и експлоатацията на р-к „Бабино“

Опорната мрежа на Бобовдолския въглищен басейн е самостоятелна, развита в три класа върху площ от 68 km^2, свързана е с държавната триангулация и съдържа 84 триангулачни точки. През 1971-1972 г. тя е преизмерена и преизчислена с цел елиминиране вредното действие на минните работи и извършеното строителство в територията на басейна. Поради силно пресечения терен на басейна надморските височини на триангулачните точки са определени чрез тригонометрична нивелация, като ходовете са прокарвани по най-късите страни на триангулачната мрежа (най-дълга страна – 1690 m), като и за вертикалните ъгли е ползван теодолит Theo 010. За изходни са използвани три триангулачни точки от Държавната нивелачна мрежа, определени в Балтийска височинна система.

Предвид начина на разкриване на въглищните пластове в р-к „Бабино“ – с вертикални шахти (ЦКШ, ЦСШ, ВШ-1, ВШ-2 и ВШ-3) – ориентировките, извършени от СО „Минстрой“, са чрез съединителен триъгълник, като стриктно са спазвани препоръките за форма и изискванията за точност на методиката, което всички последващи резултати потвърждават категорично. За пренасяне на котата са използвани двата отвеса А и В. В р-к „Бабино“ всички отговорни измервания и последващите ги изчисления са извършвани при предварителна организация и под ръководството на инж. Иван Велков.

За основа на подземните снимки са развити и ползвани полигонови ходове от I-ви и II-ри ред, при разстояния между точките 40÷60 m. За измерване на ъглите са ползвани теодолити Theo 020A и Theo 010, а за измерването на дължините е ползвана 50 m компарирана стоманена ролетка. Подземните вертикални снимки са реализирани чрез геометрична и/или тригонометрична нивелация. Трасирането и заснемането на второстепенните и добивните изработки в р-к „Бабино“ е извършвано периодично, като замерът на очистните работи по всички работни места е през 10 дена и е включвал: напредък на фронта, дебелина на пласта, качество на извършената работа по добива, транспорта, закрепването и др. Цялата геолого-маркшайдерска информация, използвана за съставяне на графична документация, е основа за решаване на различни инженерни задачи. Една от тях е успешното прокарване на минни изработки с насрещни забои. В р-к „Бабино“ са извършвани сбойки от различен тип, но най-често срещаните са „по пласт“ и „по ниво“, което се свежда до задаване направление на посоката на изработката, която трябва да върви по долнището на пласта или с тавана си да следва горнището му. Налични са множество примери за успешни сбойки в границите на рудничното поле.

Определени са и параметрите на процеса „Движение на скалите под влияние на минните работи за условията на р-к „Бабино“ (наклон на пласта α=6°÷12°)“.

Членовете на маркшайдерския отдел успешно са решавали и всички основни задачи, свързани с качествено и навременно осигуряване на проучване, минно строителство и добив, както и са прилагали новостите в маркшайдерските методи, средства и технологии.

За някои проблеми при строителството и експлоатацията на р-к „Бабино“

Кърцелин (2003) и Кърцелин и Топалов (2020) излагат част от проблемите, регистрирани през етапите на строителството и експлоатацията на р-к „Бабино“. Към тях следва да се обобщят и отчетат и следните (поради съществената им роля и влияние):

1. През етапа на строителството няма решение за подземен транспорт на работниците до работните места.
2. Ниска степен на механизация при изпълнение на монтажните работи в подземния р-к „Бабино“.
3. Ниска надеждност на механизираните вагонообмени на ГКШ – хор. 292 и К 16,^{05} m.
4. Ниска надеждност на транспортните системи за скална маса, материали и въглища.
5. Качеството на нормативните документи (Правилник по безопасност на труда в подземни въглищни рудници, 1992; Техническа инструкция за извършване на измервателните маркшайдерски работи при проучването , строителството и разработването на находищата на полезните изкопаеми, 1969) не съответства на сложността и високия риск на технологичните процеси в р-к „Бабино“, обусловен от взриво-опасната производствена среда.
6. През зимния сезон входящата въздушна струя през ГКШ причинява силно обледяване на бетоновия крепеж на шахтата, армировката и обзавеждането, разположени в нея. Това е основната причина за аварийно спиране на два бр. руднични подемни уредби, обслужващи ГКШ, с всички отрицателни последици.
7. Непълна геоложка информация за физико-механичните свойства на скалния масив, през който се прокарват капиталните минни изработки. Това се явява причина за неправилно избрана проходческа механизация и неподходящо избрани конструкции за закрепване на минните изработки.

Сложността на проблемите и нерешени въпроси, които съпровождат етапите на подземното минно строителство и експлоатацията на р-к „Бабино“, могат да се илюстрират и със следните два примера:

→ През м. януари 1977 г. (Киров и Захариев, 1983) в иззетото пространство на 424 фронт в р-к „Бабино“ възниква ендогенен пожар при следните минно-технически условия:

- сложен тектонски строеж и висока газоносност (7,8 m^3/min метан) на IV въглищен пласт, по който се водят добивните работи;
- добивният фронт е обзаведен с механизиран комплекс 2ОКП;
- дължина на експлоатационния стълб и фронта – съответно 750 m и 92m;
- изземвана мощност на пласта 1,50÷2,40 m;
- дълбочина на въглищния пласт – 290 m.

Поради липса на технически средства и достатъчно опит за активно гасене на пожари в отработени пространства е взето решение: участъкът да се изолира с помощта на взривоустойчиви прегради на 424-та вентилационна галерия, 424-та извозна и 368-ма съединителна галерия. Добивният фронт остава затворен до края на 1979 г. В началото на 1980 г. следва провеждане на контролни измервания и е взето решение за извършване

на ремонтно-възстановителни работи във фронта и подготовка за демонтаж на комплекса 2ОКП.

→ През м. април 1981 г. (Чарков и др., 1980) възниква ендогенен пожар на 421-ви фронт в р-к „Бабино“. Експлоатационният стълб е с дължина 805 m и широчина 90 m, и е подготвен по двата пласта IV и IV^{A}, които в тази зона са слети и имат обща мощност 4,60 m. Добивният фронт е съоръжен с механизиран комплекс 3ОКП и е разположен в горната част на пласта. В долната част остава неиззета въглищна пачка с мощност 1,10÷1,20 m. Абсолютното газооделяне достига до 16÷18 m^3/min.

Чарков и др. (1980) подробно излагат редица мероприятия за ограничаване и потушаване на възникналия пожар, след провеждането на които е взето най-трудното решение: заливане с вода на уклонната част на р-к „Бабино“ до нивото на рудничния двор на хор. 292. В рудника са излети 125 000 m^3 вода.

Възстановителните работи на рудника се провеждат по предварително разработен проект от МНИПКИ „Минпроект“ през 1983 г. Водата е изпомпана и са възстановени над 7000 метра минни изработки.

Изводи

1. Рудник „Бабино“ е проектиран, построен и въведен в експлоатация за реализиране на подземен механизиран добив на въглища.

2. В р-к „Бабино“ са използвани постиженията на съвременната минна наука и промишлени технологии за реализирането на технологични процеси за механизиран добив на въглища, сравними със световни върхови постижения (Кърцелин и др., 2003).

3. Независимо от използването на възможностите и усилията на специализиран институт за проектиране и на специализирана организация за подземно минно строителство, за 30-годишната история на р-к „Бабино“ следва да се посочат две събития:

- През етапите на строителство и експлоатация на р-к „Бабино“ възникват различни по мощност и загуби катастрофални събития (пожари, експлозии, аварии, злополуки и др.), които затрудняват, а в някои случаи и спират за определен срок нормалните технологични процеси в рудника.

- Възникването на катастрофални събития през етапите на строителство и експлоатация на р-к „Бабино“ са показател за редица неизследвани и нерешени въпроси, проблеми и задачи за обекти с такъв характер (Кърцелин и Топалов, 2020).

4. В р-к „Бабино“ е акумулиран и апробиран огромен научен потенциал и производствен опит, апробирани са при реални условия редица проектни, технически, технологични и организационни решения.

Този опит и знания трябва да се изучават, развиват и съхраняват за бъдещите поколения и минни специалисти.

5. В Мини „Бобов дол“ и р-к „Бабино“ има изградени мощна материална база и съвременна инфраструктура. Необходимо е разработването на нова актуална програма за нейното съхраняване и пълноценно използване.

Литература

Александров, Д. 1983. Технология за механизирано изземване на мощния пласт в рудник „Бабино“. *Въглища, №1.*

Александров, Д., И. Тенев. 1989. Резултати и изводи от прилагането на въгледобивните комплекси „Даути“ в рудник „Бабино“. *Минно дело, № 3*.

Киров, Е., Е. Захариев. 1983. Потушаване на възникналия през 1981 г. ендогенен пожар в рудник „Бабино“., *Въглища*, *№ 4*.

Колев, К., П. Якимов, В. Жегов. 1972. Прилагане на комбайн ПК-9Р и нов вид крепеж в строителството на рудник „Бобов дол – обединен“. *Въглища, № 8*.

Кърцелин, Е., Ив. Марков, Ст. Топалов, Ив. Кацарски, Ив. Владимиров, Г. Ганов. 2020. 130 години Мини „Бобов дол“., *Сб. доклади от VII Национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“ – Девин*, с. 156–167, ISSN: 1314-7056.

Кърцелин, Е., Ст. Топалов. 2020. Аварии, катастрофи, пожари и експлозии през етапите на строителство и експлоатация на рудник „Бабино“ – Мини „Бобов дол“. *Сб. доклади от Национална научно-техническа конференция с международно участие „Автоматизация в минната индустрия и металургията БУЛКАМК’18“.* 46-58, ISSN: 1314-4537.

Кърцелин, Е. и др. 2003. Електроснабдяване на подземни рудници за механизиран добив на въглища. *Год. на МГУ „Св. Иван Рилски“, том 46, св. III.*

Петров, С. 1974. Национален рекорд на бригадата на г.с.т. Здравко Рударски – 306,40 л.м. галерия за 26 работни дни. *Въглища, № 2.*

Перфилев, С., Г. Георгиев. 1977. Плодотворни са братската дружба и сътрудничество между съветските и българските минни строители. *Въглища., № 8.*

Стоймирский, К. 1980. Бобовдолският въглищен басейн – минно-геоложки условия, запаси и характерни особености. *Въглища, №1.*

Стоянов, Л. 1977. Срочното и качествено изграждане на рудник „Бабино“ от решаващо значение за развитието на СМЕК „Бобов дол“. *Въглища, №1.*

Чарков, В., В. Баулин, Ст. Кличев, Е. Захариев. 1980. Опит за гасене на ендогенен пожар с инертна пяна и инертен пено-пулп в рудник „Бабино“. *Въглища, № 7.*

Механизирано еднослойно изземване на мощния въглищен пласт в рудник „Бабино“ - трудности при внедряването на технологията, технически решения и резултати., Минно дело, 1987, №4.

Правилник по безопасност на труда в подземни въглищни рудници (В-01-01-01). Комитет по енергетика, том 1 и 2, София, 1992.

ПСД „Монтаж и технология за работа с комплекс „Даути“ (Англия) за изземване на 424-1Д фронт в сектор „Бабино“ (концепция)., С., Минпроект, 1987.

ПСД „Монтаж и технология за работа с комплекс „Вестфалия – Бекорит“ на рудник „Бабино“ Проект за техническа консервация.

Техническа инструкция за извършване на измервателните маркшайдерски работи при проучването, строителството и разработването на находищата на полезните изкопаеми – Държавно издателство „Техника“ София – 1969

ASSESSMENT OF RESTORATION PROCESSES IN RECLAIMED COPPER ORE MINING EMBANKMENTS

Petar Petrov

University of Forestry, 10 Kl. Ohridski Blvd., Sofia 1797, Bulgaria, Email: ppetrov@ltu.bg

ABSTRACT. The object of the present study is a reclaimed embankment from copper mining. The research aims to evaluate the restoration processes in the reclaimed embankment - soil formation, restoration of soil fertility, and restoration of microflora. According to an assessment, the restoration processes are in the initial stage. The soils formed are of a primitive structure of the type OF (OFS) - OFS - C. An organic layer was formed. Humus is of the fulvate-humate type. The composition of the microflora is dominated by bacilli (an indicator of self-cleaning processes of the soil).

Key words: restoration, reclaimed lands, copper mining

ОЦЕНКА НА ПРОЦЕСИТЕ НА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ В РЕКУЛТИВИРАНИ НАСИПИЩА ОТ ДОБИВА МЕДНИ РУДИ

Петър Петров

Лесотехнически университет, 1797 София, България, Email: ppetrov@ltu.bg

Резюме. Обект на настоящето изследване е рекултивирано насипище от добива на мед. Изследването цели да бъдат оценени възстановителните процеси в рекултивираното насипище - почвообразуване, възстановяване на почвеното плодородие и възстановяване на микрофлората. Съгласно направена оценка възстановителните процеси са в начален етап. Формирали са се почви са с примитивен строеж от типа OF (OFC) – OFC – C. Формиран е органичен слой. Хумусът е от фулватно-хуматен тип. В състава на микрофлората преобладават бацилите (показател на протичане на процеси на самоочистване на почвата).

Ключови думи: възстановяване, рекултивирани терени, добив на мед

Introduction

The continuous and intensive extraction of copper ores leads to serious impacts on the environment. Although mining activities are carried out on relatively small areas, they cause infrastructural changes and environmental pollution with a large territorial scope and duration (even after the liquidation of the companies) (Pavlov, 2018).

The restoration of disturbed areas because of mining is one of the most important directions in the field of environmental protection. It aims to restore the ecological value in the territories affected by mining (Zheleva - Bogdanova, 2010; McDonald et. al., 2016) and restore the ecosystem so that it provides ecosystem services (Leia et. al., 2016; McDonald et al., 2016).

The presence of two horizons – A and C – is characteristic of recultivated land. When morphologically describing the horizons, A-C horizons are usually found in very young soils (<10 years), and in some older profiles (> 30 years) the onset of formation of B horizons (*Cambic*) has been reported (Onweremadu, 2007). Another important indicator of how soil functions and influences its physical, chemical, and biological properties is soil texture (Lilić et. al., 2014). Man-made soils are characterised by the content of sand particles above 50% (Maiti and Saxena, 1998; Kumar et al., 2015). The composition of the embankments includes sulphide minerals (pyrite (FeS_2), chalcopyrite ($CuFeS_2$), etc.), which are a prerequisite for an acidic pH ~ 5.5. The accumulation of organic matter and total nitrogen is directly dependent on the location of the reclaimed land and the type of vegetation. The rate of organic layer accumulation varies from 0.6-2.4 cm per year (Insam and Domsch, 1988). It has been established that in disturbed lands the phosphorus content is insufficient and difficult to restore. Low phosphorus content is characteristic of reclaimed land (Kumar et al., 2015). The composition of the microflora in recultivated lands is poorer than that in natural soils. Even 15 years after reclamation, no success can be achieved in its restoration (Nusturova et al., 1991).

The present work aims to study the extent of ongoing restoration processes in reclaimed lands disturbed by copper mining according to selected indicators.

Methods and materials

Study area

The study area is reclaimed land disturbed by copper mining. The area is in the Western Stara Planina Mountain at an altitude of 1300 - 1340 m. The studied land has a slope of 35-40 degrees. Reclamation was conducted 6 years ago.

During reclamation, the terrain was divided into two sample sites. The first site was untreated, and the second site was treated (liming: 262 kg/da, fertilisation: 4.5:4.5:4.5 kg/da NPK). The trial sites were forested with spruce (*Picea excelsa* Link.) and sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.).

Materials

Three soil profiles (SP) were taken for the purpose of the analysis. Soil profile 1 (SP1) was taken from the untreated plot of the field, forested with *A. pseudoplatanus* L. Soil profile 2 (SP 2) and soil profile 3 (SP 3) were taken from the treated plot, forested with *Picea abies* L. Soil profile 2 is in the middle of the slope, and soil profile 3 - at the toe of the slope.

Methods

Soil physical and physicochemical properties were studied to determine the soil conditions. A morphological description was carried out in each of the soil profiles. The soil texture was determined according to ISO 11277. Soil reaction (pH) was measured potentiometrically by ISO 10390. The humus content was measured by the Tyurin titrimetric (Tt) method. Total nitrogen in the soil was determined by the Kjeldahl method, assimilable forms of potassium and phosphorus - by the method of Petko Ivanov. Microbiological analyses have been carried out, using the standard dilution methods and medium culture media (Bacteriological agar and Czapek Dox Agar) in three replicates at a controlled temperature of 27° C (Nusturova et al., 1991; Grudeva et al., 2007). Microbiological analyses included the determination of: Ammoxifying bacteria batteries (Czapek Dox Agar) (a), Bacillus (Bacteriological agar), actinomycetes (Czapek Dox Agar), and fungi (Czapek Dox Agar).

The obtained data have been processed and interpreted to establish the degree and speed of recovery processes in the recultivated terrains. The soil texture is determined by the scale of FAO (2006), active soil acidity - by the Malinova scale (2010); content of organic carbon and enrichment of humus with nitrogen (C/N) – by the Artinova scale (2014); the total nitrogen content – by the Vanmechelen scale (1997); available phosphorus and available potassium - by the Penkov scale (1996).

Results

Analysis of soil condition

The soils in the studied sample areas have an OF-(OFC)-C profile formed because of the young age of the restored areas – 6 years. The formed organic layer has a thickness between 1-3 cm. SP1 and SP 2 have a layer of litter - 1 cm, and SP3 - 3 cm. The thickest layer of litter is formed in *P. abies* L. afforestation. The test point is located at the heel of the slope. Probably under the influence of water erosion (accounted for in the morphological analysis), some of the accumulated plant remains on the slope are moved to the heel of the slope (despite the erosion control silt fence). Accumulation rates of organic matter varies between 0.20 cm/y (SP1 and SP2) and 0.60 cm/y (SP3). The rate of formation is below average according to literature data (Barnhisel et al., 2000). However, it is larger compared to reclaimed areas located at a higher altitude in the same region (Stefanova, 2022). The rate of organic matter accumulation is related to applied reclamation improvements and the location of the sample point along the slope.

The soil texture before and after reclamation are presented in Fig. 1.

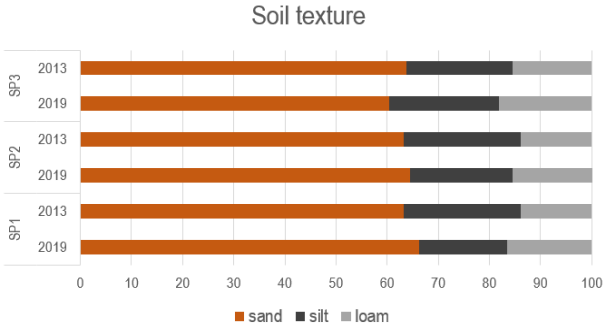


Fig. 1. Soil texture (2013 and 2019), %

The soil texture of technogenic soils is loamy sand. The particle of sand predominates - over 60% in all soil profiles, followed by silt (17.0 % – 21.0 %) and clay (15.0 % – 18.0 %). A high sand content is a prerequisite for deteriorated soil air and soil moisture-holding capacities.

The investigated soils were also of loamy sand soil texture before reclamation (Petrov, 2019). Positive changes in soil texture were observed in 2019. In SP1, the sand content decreased from 63.8 % to 60.4 %, and silt and clay increased from 20.7 % to 21.4 % and from 15.4 % to 18.1%, respectively; in SP2 and SP3, the sand content (SP2 from 63.2 % to 66.2% and SP3 from 62.2 % to 64.4 %) and clay (SP2 from 13.8 % to 17.2 % and SP3 from 13.8 % to 15.2 %) increased respectively at the expense of the silt fraction (SP2 from 23.0 % to 20.0% and SP3 from 22.9 % to 17.2 %). In all samples over the years, the fraction of sand was above 60.0 %, but the amount of clay in 2019 exceeded 15.0 %. The formation of clay particles shows improvement of the structure of reclaimed soils and ongoing recovery processes in the soil.

Data on soil acidity, humus content and nutrients are presented in Table 1.

Table 1. *Soil acidity and basic agrochemical parameters of soils*

Soil profile	Depth	pH (H2O)	C	N	P_2O_5	K_2O
	cm	-	%		mg/100g	
SP1	1-0	6.6	0.74	0.07	0.006	12.0
	0-20	5.3	0.34	0.03	0.005	7.7
SP2	1-0	7.2	1.56	0.12	0.003	22.3
	0-20	7.1	0.27	0.07	0.002	11.0
SP3	3-0	6.3	1.49	0.14	0.004	16.0
	0-20	5.1	0.20	0.06	0.002	8.5

Soil acidity varies in the different profiles (depending on the location of the sample point and on the depth) from highly acidic to very slightly alkaline. In the surface layer, the soil reaction is as follows: SP1 and SP3 – a neutral reaction and SP2 - a slightly acidic reaction. The pH in SP3 is in the range that provides optimal conditions for plant nutrition and favours their development (Malinova, 2010), for the *P. abies* L. as well (plants selected for restoration). Spruce is known to grow best at a pH in the 4.3-7.4 range (Petrova, 2013).

In the subsurface layer, the soil reaction is as follows: SP2 - a neutral reaction, SP1 - a moderate acid reaction, SP3 - a highly acidic reaction. A neutral soil reaction was observed in SP2, which is limed. There is a clear tendency: the pH value in the depth of the profiles decreases. No connection has been established with the land reclamations carried out. The soils in SP2 and SP3 are limed, but nevertheless the soils in SP1 have a higher pH than SP3. This is probably due to the forested species - *Acer pseudoplatanus* L. SP2 and SP3 are forested with *Picea abies* L. It is characteristic that the spruce litter has a very strongly acidic reaction. The average pH $_{(H2O)}$ for leaf mass fraction is 4.21, for wood – 4.48, and for reproductive organs and seeds – 5.02 (Filcheva and Malinova, 2015). The soil acidity before and after reclamation are presented in Fig. 2.

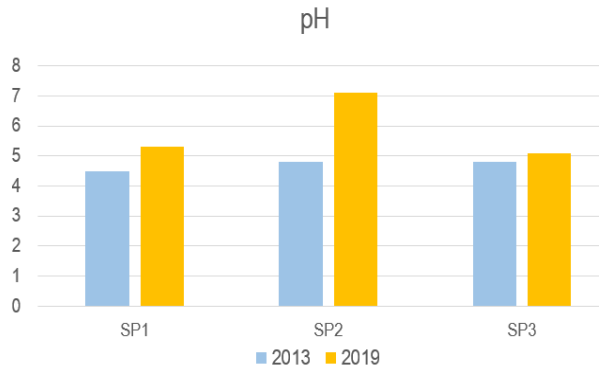


Fig. 2. Soil acidity (2013 and 2019)

The pH varies in the very acidic range - pH – 4.5-4.8 before reclamation. In 2019, a positive change was reported regarding the parameter. The pH rose to neutral (7.1). It is likely that the slope of the terrain has an effect on soil acidity. It is assumed that part of the acidic water infiltrates in depth, and another part is carried out along the slope (this accelerates the neutralisation process). However, no further increase in soil reaction can be expected. It is known that soil-forming materials (mine waste) are inherently acidic and contain sulphur in high concentrations (Petrov, 2019).

The content of organic carbon varies from very low (below 1.0 %) to low. In the surface layer, it is as follows: very low in SP1 (0.74 %) and SP2 (1.56 %) and low in SP3 (1.49 %), and in the subsurface layer it is very low in all sample areas (0.20 – 0.34 %) (Table 1). The highest content of organic matter was registered in afforestation with *P. abies* L., and the lowest amount - in afforestation with *A. preudoplatanus* L. This can be explained by the fact that sycamore is characterised by a slower decomposition of plant residues. It is known that in the leaf litter of the species the bacterial population is significantly lower, as is the C:N ratio (Janukauskaite, 2013). A trend of decreasing organic carbon content in depth was found. The coefficients of the decrease of organic carbon content in depth are as follows 2.18 times (SP1), 5.78 times (SP2), 7.45 times (SP3).

In all three sample areas, there is a positive trend for organic carbon content compared to 2013. It increased up to 14 times in SP2 (Fig. 3). This is due to the nature of the mining waste, the lack of humus materials for reclamation and the environmental conditions in the area.

The content of total nitrogen is very low in all soil profiles (in the surface layer: 0.06 to 0.07 %, and in the subsurface layer: 0.03 to 0.07%) (Table 1.).

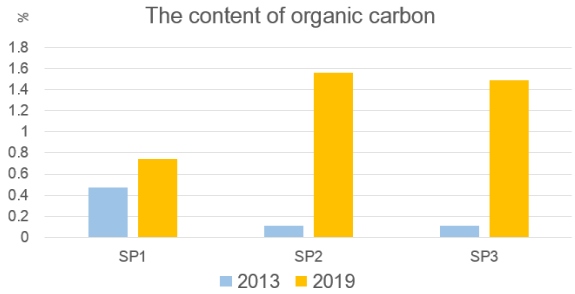


Fig. 3. The content of organic carbon (2013 and 2019), %

A relationship with the treatment of the trial areas is noted. In the fertilised test areas, the amount of total nitrogen was greater (SP2 (0.07 %) and SP3 (0.06 %)). In SP2, the amount of total nitrogen in the surface layer was less compared to SP3. The difference is probably due to the location of the sampling points – SP2 is in the middle of the slope. Reference is assumed of the element towards the toe of the slope, a result of water erosion. Although the amount of nitrogen is very small, its presence is extremely important. The content of the element is a limiting factor for the restoration of disturbed lands (Sever, 2008).

The content of total nitrogen was estimated to be very low in 2013 and 2019. However, an increase of the element was found in all the sampled areas (Fig. 4). In the treated soil profiles SP2 and SP3, the amount of nitrogen increased significantly compared to 2013 (up to 11 times in SP2 and up to 10.5 times in SP3).

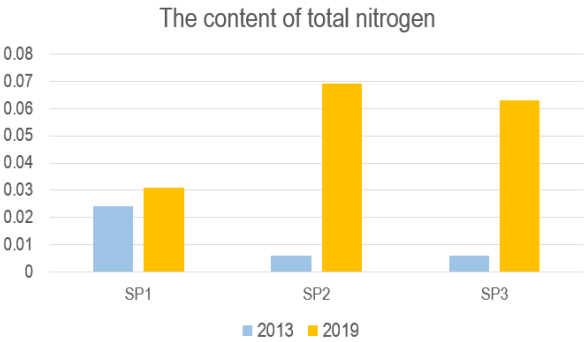


Fig. 4. The content of total nitrogen (2013 and 2019), %

The value of the C:N ratio varies from 17.7 to 21.5 (SP1 – 17.5, SP2 – 21.5, SP3 – 17.7) in the surface layer and from 1.8 to 6.4 (SP1 – 1.8, SP2 – 6.4, SP3 – 5.5) in the subsurface layer. The tendency to decrease its value in the depth of the profile was found. In the surface layer, nitrogen enrichment is low in SP1 and SP3 (17.5 and 17.7), and very low in SP3 (21.5). This is associated with a high degree of humus mineralisation. In the subsurface layer, nitrogen enrichment is very high - below 7.0 (indicator of low mineralisation of organic substances (Artinova, 2014)).

The content of available phosphorus (P_2O_5) is very low in all soil profiles. In the surface layer, the content of the element varies from 0.004 to 0.006 mg/100g, and in the subsurface layer - from 0.002 to 0.005 mg/100g (Table 1). Phosphorus accumulates in the surface layers and follows a decreasing trend with depth, like nitrogen. Decreasing is probably due to absorption of the element by plants over time, its being carried away in depth or its blocking due to the acidity and heavy metal content. Although SP2 and SP3 were treated with

combined fertilisers, the phosphorus content was higher in SP1 - untreated. This is probably due to the fact that the litter of *A. pseudoplatanus* L. accumulates a greater amount of the element (Hobbie, 2006).

The content of available phosphorus (Fig. 4) followed a decreasing trend in all sampled areas from 5.1 mg/100g in 2013 to 0.002 mg/100g in 2019. A certain part of the element is probably blocked by the heavy metal ions characteristic of the embankment (Petrov, 2019), while another part is absorbed by the plants. When liming the sites, part of the element is probably also blocked by calcium (in insoluble compounds). As can be seen, the introduction of fertilisers did not lead to an increase in the phosphorus content in the soil.

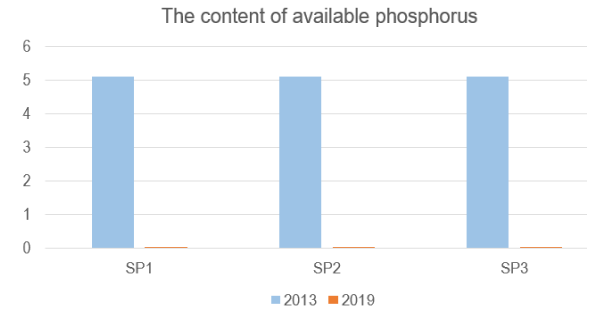


Fig. 5. The content of available phosphorus (2013 and 2019), mg/100 g

The content of available potassium (K_2O) in the soil profiles varies from very poor (7.7 mg/100g) to good (22.3 mg/100g) (Table 1). A tendency was established to decrease the content of the element in depth. In the surface layer, the content of available potassium varies - very low (SP1 – 12.0 mg/100g), moderate (SP3 – 16.0 mg/100g), good (SP2 – 22.3 mg/100g).

Although *A. pseudoplatanus* L. accumulates a greater amount of potassium (Wen, 1984), in the *P. abies* L. forested sample sites, the content of the element is higher (moderate to good). In the subsurface layers, the content of absorbable potassium varies from very low (SP1 – 7.7 mg/100g) to low: very low (SP2 (11.0 mg/100g) and SP3 (8.5 mg/100g)). A higher content was reported in the fertilised sample sites.

The low values of the element are completely within the expected range. They are probably due to the fact that the element has been absorbed by the plants, a long period has passed since the introduction of mineral fertilisers. It is also possible that it has been carried away in depth (it is characterised by easy solubility and mobility (Petrov, 2019)). In 2013, the content of available potassium in the subsurface layer (Fig. 6) was very low (7.4 mg/100g) to low (13.6 mg/100g).

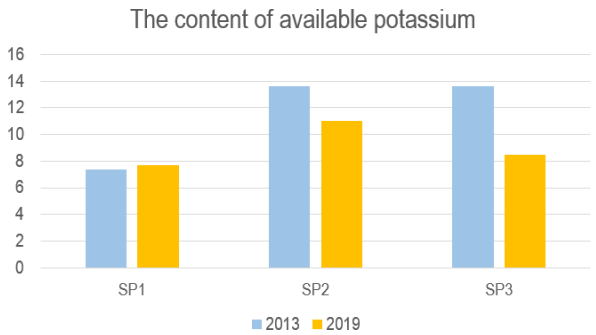


Fig. 6. The content of available potassium (2013 and 2019), mg/100g

A decrease in the content of the element was also reported in 2019, by defining the content of the element as very low.

Analysis of microflora restoration

One of the most important prerequisites for the restoration of ecosystems in disturbed terrains is the amount and activity of microorganisms in the soil. Their activity is related to processes of soil development, in the decomposition and circulation of nutrients, and the presence of pollutants. The results for the composition and quantity of the microflora in the recultivated terrain is presented in Table 2.

Table 2. *Quantitative and qualitative composition of the soil microflora*

SP	Depth	Total microflora	Bacilli	Non-spore forming bacteria	Fungi	Actino-mycetes
	cm	number of colonies x10^3/g substrate				
SP1	1-0	2100	800	0	100	1200
	0-20	740	160	260	0	320
SP2	1-0	2700	800	1900	0	0
	0-20	160	80	40	0	40
SP3	5-0	25600	19600	6000	0	0
	0-20	5890	4840	250	0	800

Microbiological analyses showed a different amount of total microflora in the three profiles. In the surface layers of the soils, the highest amount of the total microflora was reported in all sample areas. A clear tendency to decrease the amount of microflora in depth was found. This is probably due to the better aeration, the content of organic matter in the surface layers compared to that in depth. The percentage distribution of the soil microflora (by groups of microorganisms) does not follow the same trend in all profiles and depths. The composition of the microflora is dominated by bacilli and non-spore-forming bacteria.

The high content of bacilli is related to the self-purification processes of the soil. What is also characteristic of them is that they participate in the more advanced phase of mineralisation of organic substances (Nustorova, 1995). In depth, their number decreases. In a similar type of object at depth, the number of bacilli decreases due to the inhibitory effect of pollutants on them (ibid).

From the spore bacteria, there are representatives of the species: *B. cereus*, *B. mycoides*, *B. megaterium*, and *B. subtilis*. The composition has significant differences in the different soil horizons and depths.

The predominant species is *B. megaterium* – assimilating mineral nitrogen. This species has a dominant role in forest soils, as it participates in the degradation of organic compounds. What is also characteristic of B. megaterium is that they prevail in soils with more active mineralisation processes (Nustorova and Gencheva, 1988).

B. mycoides is distributed in the smallest quantities. This is explainable given the fact that this bacillus is most sensitive to heavy metal contamination and is usually characteristic of ecologically clean areas.

Table 3. *Composition of the bacillary microflora*

SP	Depth	*B. mycoides*	*B. megaterium*	*B. cereus*	*B. subtilis*
	cm	number of colonies x10^3/g substrate			
SP1	1-0	0	100	100	0
	0-20↓	0	20	20	0
SP2	1-0	0	0	200	0
	0-20↓	0	0	20	0
SP3	5-0	100	4400	500	0
	0-20↓	100	1180	30	0

The species is distributed in PP 1.3. Its appearance speaks positively about the recovery processes occurring in the recultivated soils. It is known that the species can be used as an indicator species for low levels of pollution. (Nustorova and Gencheva, 1988, Nustorova, 1995).

In general, the composition of bacilli is too poor, which can be taken as an indicator that the microbiocenosis is still in the process of formation.

Although in small quantities, the presence of actinomycetes was observed in the test areas. Their presence is a sign of active mineralisation processes. Actinomycetes are known to be excellent degrading agents. They survive in extreme conditions (e.g. lack of sufficient nutrients) and synthesise surfactants that accelerate the biodegradation process (Yankova et al., 2016; Malcheva, 2020).

There are no mold fungi in the studied soils (except for the surface layer of SP1). The reason for this is probably the low nitrogen and carbon content. This group of microorganisms is characterised by a strong dependence on environmental conditions - amount of nitrogen, moisture, pH.

The data show that in the treated sample areas SP2 and SP3, the content of total microflora is higher than in the untreated sample areas. This is probably due to the higher amount of nutrients (especially nitrogen), the higher content of organic matter, and probably the lower mobility of the available heavy metals and metalloids (Petrov, 2019) (due to liming).

Conclusion

The data from the conducted research show that recovery processes are taking place in the research area in initial stage.

The technical and biological methods of reclamation have a positive effect on the formation of the soil profile, the soil texture, the soil acidity, the content of organic carbon and total nitrogen.

The ongoing elementary processes of soil formation (in the recultivated lands) lead to the formation of soils possessing the properties of the soil’s characteristic of the area.

The established content of available phosphorus and available potassium in all sample areas indicates depletion of the elements (imported with the carried out mineral fertilisation). The results give reason to believe that it is necessary to carry out additional fertilisation in the future (as a corrective measure).

It was established that the composition of the microflora in the three subsites is dominated by bacilli, an indicator of self-purification processes of the soil. In general, the composition of bacilli is too poor, which can be taken as an indicator that the microbiocenosis is still in the process of formation. The data show that the amount of total microflora is directly dependent on the ameliorative activities carried out.

References

Artinova, N. 2014. Humusno systoyanie na pochvite v Bulgariya. Bulgarsko pochvovedsko druzhestvo, Sofia, (in Bulgarian).

Barnhisel, I., R. Darmody, W. Daniels, J. Sencindiver, J. Ammons. 2000. Minesoil Genesis and Classification. *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*, 41, 595-611.

Filcheva, E., L. Malinova. 2015. Sustav na pochvenoto organichno veshtestvo v Eutric cambisols. *Elektronen sbornik za mezhdunarodna konferentsiya, posvetena na mezhdunarodnata godina na pochvite*, 11-15 mai 2015 g., Sofiya, Bulgariya, Izdatel IPAZR „Nikola Pushkarov“ ISBN: 978-619-90560-0-4 (in Bulgarian).

Grudeva V., P. Moncheva, S. Nedeva, B. Gocheva, S. Antonova-Nikolova, S. Naumova. 2007. *Rukovodstvo po microbiologia*. Universitetsko izdanie “Sv. Kliment Okhridski ", Sofia (in Bulgarian).

Hobbie, S. 2006. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden - *Ecology*, 87(9), 2288–2297.

Insam, N., K. Domsch. 1988. Relationship between Soil Organic Carbon and Microbial Biomass on Chronosequences of Reclamation Sites - *Microb Ecology*, 15, 177-188.

Janusauskaite, D., G. Kadžienė, O. Auskalniene, 2013. *The effect of tillage system on soil microbiota in relation to soil structure,* Polish Journal of Environmental Studies, 22(5), 1387-1391

Kumar, S., S. Maiti, S. Chaudhuri. 2015. Soil development in 2–21 years old coalmine reclaimed spoil with trees: A case study from Sonepur-Bazari opencast project, Raniganj Coalfield, India - *Ecological Engineering*, 84, 311–324.

Lilić, J., S. Cupać, B. Lalević, V. Andrić, M. Gajić-Kvaščev. 2014. Pedological characteristics of open-pit Cu wastes and post-flotation tailings (Bor, Serbia) - *Journal of soil science and plant nutrition*, 14 (1), 18-24.

Leia, K., H. Panb, C. Lina. 2016. A landscape approach towards ecological restoration and sustainable - *Ecological Engineering*, 90, 320-325.

Maiti, S., N. Saxena. 1998. Biological reclamation of coalmine spoils without topsoil: An amendment study with domestic raw sewage and grass-legume mixture - *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 12(2), 28-31.

Malcheva, B. 2020. Pochveno - mikrobiologichni pokazateli za ustanovyavane na statusa na antropogenni pochvi na teritoriyata na obshtina Sofiya, Varna: IK Gea - Print (in Bulgarian).

Malinova, L. 2010. Pochvoznanie i zamursqvane na pochvite, Izdateslka kushta LTU, Sofia (in Bulgarian).

McDonald, T., G. Gann, J. Jonson, K. Dixon. 2016. *International standards for the practice of ecological restoration – including principles*, SER, Washington, D.C.

Nustorova, M. 1995. Lesobiologichna rekultivatsiya na nasipishta ot vugledobiv. - *Pochvoznanie, agrokhimiya i ekologiya*, 10, 90-96 (in Bulgarian).

Nustorova, M., M. Plugchieva. 1991. Vliyanie na olovoto vŭrkhu pochvenata microflora - *Nauka za gorata*, 43-46 (in Bulgarian).

Nustorova, M., S. Gencheva. 1988. Razvitie na pochvenatamikroflora pri antropogenno natovarvane. - *Godishnik na ICHS*, 8, 60-65 (in Bulgarian)

Onweremadu, E. 2007. Pedogenesis of Soils of a Colliery. - *Journal of Environmental Toxicology*, 1, 184-190.

Pavlov, P. 2018. Impact of the mineral industry on lands and soils. Subsequent sustainable management. - *Mining*, 19-23 (in Bulgarian).

Penkov, M. 1996. *Pochvoznanie*. Agroengineering – EOOD, Sofia (in Bulgarian).

Petrov, P. 2019. *Podkhodi za rekultivatsiya na Iztochno nasipishte, rudnik „Elatsite“*. Avangard Prima, Sofia (in Bulgarian).

Petrova, R. 2013. *Pochvoznanie s osnovi na toreneto*. Izdateslka kushta LTU, Sofia (in Bulgarian).

Sever, H., E. Makineci. 2008. *Soil organic carbon and nitrogen accumulation on coal mine spoils reclaimed with maritime pine (Pinus pinaster Aiton) in Agacli–Istanbul*, Environmental Monitoring and Assessment 155, 273–280

Stefanova, V., P. Petrov. 2022. *Methodology for assessing of the restoration processes in reclaimed areas disturbed by polymetallic ore mining.* IOP Conference Series Materials Science and Engineering Online

Vanmechelen, L., R. Groenemans, E. Ranst. 1997. *Forest Soil Condition in Europe. Results of the Large-Scale Soil Survey*, Brussels Geneva.

Yankova P., P. Naskova, B. Malcheva, D. Plamenov. 2016. Impact of the biological fertilisers on the microorganisms and the nutrient elements in the soil. - *International Journal of Current Research*, 8 (10), 39681-39686.

Wen, Y., 1984. *Mechanisms of Alkali Metal Catalysis in the Gasification of Coal, Char, or Graphite*, Catalysis Reviews Catalysis 22, 1-28

Zheleva - Bogdanova, E. 2010. *Rekultivatsiya na narusheni tereni*, PSSE, Sofia. (in Bulgarian).

A SIMULATION OF THE MATERIALS FLOW IN A QUARRYING OPERATION

Danail Terziyski, Dimitar Kaykov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: d.terziyski@mgu.bg; dimitar.kaykov@mgu.bg

ABSTRACT. Determining the exact number of different types of mining equipment on an annual base or for the life of a mine is one of the most crucial elements in a mining project. In most cases, such estimates are based on analytical models which utilise certain empirical coefficients as correction factors, as they account for the individual conditions under which the deposit is exploited. However, their exact values to some extent is unknown and their values used for calculations can be based on subjectivity, leading to a biased estimate of the productivity of different mining equipment. The reason for such bias can originate from the use of data from similar mining operations. Therefore, for this study, a simulation approach was used to more accurately estimate the productivity of different mining equipment for a quarrying operation. Following this approach, certain design decisions can be validated or invalidated in a more robust way. In addition, results from the simulation model are compared to one another, which leads to the adoption of a hybrid solution between two of the considered scenarios.

Key words: hauling, quarrying, simulation of technological processes, overall and annual design projects, open-pit design

СИМУЛАЦИЯ НА ТОВАРОПОТОЦИТЕ МИННА МАСА В КАРИЕРА ЗА СТРОИТЕЛНИ МАТЕРИАЛИ

Данаил Терзийски, Димитър Кайков

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Определянето на необходимата комплексна механизация за изпълнението на годишния производствен план е един от най-важните елементи при изготвянето на цялостни и годишни работни проекти. В повечето случаи това се базира на формулен апарат, включващ поправъчни коефициенти, отчитащи спецификата на работата в производствените условия. До известна степен съществува елемент на субективност при определите стойности за производителността на използваните видове механизация, която се дължи на непълното съответствие на проектирания минен обект с други аналогични на него. Именно затова е възприет симулационен подход за по-точно изчисляване на производителността на основната механизация, участваща в технологичните процеси по добив и транспорт на минната маса. По този начин много точно може да се валидира проектното решение и при необходимост да се коригира своевременно. Настоящата статия разглежда приложението на симулационен модел при работата на комплексна механизация в кариера за строителни материали. Направено е сравнение между получените резултати от симулационния модел. Същевременно е предложено комбинирано решение между разглежданите варианти.

Ключови думи: рудничен транспорт, добив на строителни материали, симулация на технологични процеси, цялостни и годишни работни проекти, проектиране на открити рудници

Introduction

The mining industry has long relied on deterministic analytical models to plan and optimise open pit and quarry operations (Koprev and Aleksandrova, 2022). However, these models often overlook dynamic changes and unforeseen events in real-world environments. To address these limitations and enhance operational efficiency, the mining sector has embraced simulation-based approaches. These approaches provide a more accurate depiction of mining conditions, enabling the exploration of various scenarios to improve equipment utilisation, reduce costs, and minimise environmental impact. Simulation models have emerged as indispensable tools, reshaping the planning, execution, and optimisation of mining processes by facilitating well-informed decision-making. This paper delves into the transformative power of simulation models, highlighting their advantages, applied methods, and illustrates their practical implementation with a case study.

Simulation methods in mining and quarrying operations

Traditionally, open pits and quarries rely on analytical models that are deterministic in nature and often fail to account for dynamic changes in the real environment, as well as the occurrence of unforeseen events. The emergence and application of simulation-based approaches are proving to be a powerful way to more realistically represent the conditions and features of a mining site. This provides the opportunity to consider different scenarios in order to increase the efficiency of production activities by ensuring higher equipment usability, realising lower production costs, as well as reducing the environmental footprint of mining activities. For this reason, globally, simulation models have emerged as a critical tool in the mining industry, transforming the way core, ancillary and service work processes are planned, executed, and optimised based on reasoned decisions.

Modelling of mining workflows

In the context of the mining process and its constituent work operations, such a class of software products simulating work in open-pit mines and quarries covers a wide range of techniques for modelling the work of different types of mining equipment. Each modelling method included in the simulation software product is designed to solve a specific task or the interaction between individual participants in a given situation. Some of the more important tools used to model the complex relations for work operations and the general flow of work include:

1. ***The Monte Carlo method***. This method is a statistical approach for modelling the probabilistic nature of a set of variables in a given system. By generating an arbitrarily large number of random numbers under a known cumulative distribution function, the computer can realise a set of trials that "mimic" the actual realisation of a given process or a set of possible values for a variable whose actual value is not known. In this way, a more comprehensive understanding of the functioning of the system is ensured precisely by considering it probabilistic (Kroese et al., 2011).

2. ***Discrete element system (DES).*** DES is one of the most widely used techniques in the simulation of complex systems. The method focuses on modelling individual events that occur sequentially over time, e.g. movement of dump trucks, stages of work processes (loading, unloading, turning the bucket, etc.). Sequential realisation of these events in a finite number of time intervals for the entire system allows one to obtain a more complete picture of the material flows and the mining equipment. In this way, potential "bottlenecks" in the system can be identified and irrational processes can be avoided in a timely manner (https://rpmglobal.com/product/haulsim/).

3. ***Agent-based modelling (ABM).*** ABM is a computer technique aimed at modelling the behaviour of individual agents (participants) in a given system (e. g. excavators, front loaders, dump trucks, etc.) as autonomous units. This approach is particularly suitable for analysing the interactions and dynamics between individual agents, allowing to clarify the emergent behaviour of the system under different conditions (Grimm and Railsback, 2005).

Other notable methods can also include Markov chains, queueing theory models (Czaplicki, 2008), different optimisation algorithms, most notably linear programming (Koprev, 2018), non-linear methods and heuristic methods. Additional sampling strategies are also known to work well in simulation and uncertainty models, e.g. Latin hypercube sampling (LHS), which can decrease the number of required simulations.

Advantages of simulation models

Integrating simulation methodologies into the planning workflow in mining operations offers several advantages over traditional analytical models. The most important ones are listed below:

1. ***Realism and accuracy.*** Simulation software such as *HAULSIM* creates a virtual replica of the mining site, capturing various factors that affect hauling operations, including geological formations, road conditions, loading and unloading times, truck characteristics, and material properties. The model accurately reflects the real environment by simulating these elements, providing planning and design teams with accurate and reliable information.

2. ***Flexibility and ability to analyse multiple scenarios***. In contrast to traditional planning models, simulation allows the study of different scenarios under different detailed conditions. One can test and evaluate multiple scenarios to understand the implications of specific decisions and identify the most effective strategies. This flexibility enables one to proactively optimise mining operations by taking into account various factors that can affect productivity and costs.

3. ***Risk Reduction.*** Safety is a primary concern in quarrying operations, given the presence of heavy machinery and potentially hazardous environments. Simulation methodologies allow operators to assess potential risks and identify safety hazards before they actually occur. By proactively addressing these concerns, operators can implement appropriate safety protocols, minimising the likelihood of accidents and providing a safer work environment for personnel.

Main features of *HAULSIM*

HAULSIM is specialised software that revolutionises the design and optimisation of production processes in the mining of raw materials. The product was developed to simulate the work of different types of mining equipment (i. e. trucks, shovels, conveyors, etc.) and includes a powerful set of functions designed to model the complex relationships between the participants in the production system of a mining site. At the heart of *HAULSIM*, apart from the aforementioned modelling capabilities, lies its ability to create detailed 3D models of the investigated mining site. These 3D models include the spatial location of given geological formations, road networks, material sources, and destination points for storing (ore stockpiles, waste dumps, etc.). The program also includes three-dimensional models of mining equipment and individual animations of different operations from the workflow. In this way, an overview of operational dynamics can be gained and potential opportunities for optimisation can be identified at the same time *(*https://rpmglobal.com/product/haulsim/*)*.

Another characteristic feature of *HAULSIM* is the use of data received in real time from various sources, such as GPS systems for tracking mining equipment, etc. The software allows simulation inputs to be updated throughout the various stages of a field's development to reflect the latest conditions and operational features. This flexibility allows *HAULSIM* to ensure that operators make decisions based on up-to-date information, resulting in more accurate and reliable results.

One of the key functionalities of *HAULSIM* lies in its algorithms that run during the simulation process. These algorithms take into account a large number of factors, including the technical characteristics of the equipment used, the set of possible transport routes, the traffic rules adopted, the condition of the road surface, the time of the work operations, the capacity of the processing facilities, etc. *HAULSIM* can identify the most efficient and cost-effective transportation strategies by optimising these variables, increasing the efficiency of using different equipment, reducing fuel consumption, CO_2 emissions, and operational costs.

Last but not least, *HAULSIM* provides an easy-to-use interface for performing different analyses of individual scenarios, allowing the understanding of the mechanisms of interaction between technological processes and the efficiency of the whole system. Typical scenarios considered are the

study of the consequences when a different number of dump trucks is used, the distribution of mining equipment at different sources, the exact estimation of the production volumes of different types of equipment, as well as the more accurate estimations regarding the maintenance schedule of mining equipment (https://rpmglobal.com/product/haulsim/).

The successful use of *HAULSIM* to solve a specific production problem for a given mining site is a systematic process starting with data collection and ending with simulation model calibration and validation. As with any computer modelling-based approach, the availability of a sufficient set of accurate and precise data is paramount to the successful integration of *HAULSIM* into the operational environment. The availability of field data on rock properties, road conditions, equipment specifications, transport routes, and historical data on the individual performance of equipment and the overall production system is essential. The data collection process may include the use of surveying instruments, GPS devices, fleet management systems, and other sensor technologies. Once the data is collected, one can begin constructing the simulation model in *HAULSIM*. The three-dimensional model of the mining site and the input of the key information for the software creates the so-called "digital twin" of the mining site. The next stage is the calibration and validation of the model to ensure that the simulation accurately represents the actual operational conditions. This involves comparing simulation results with historical data and field observations. If necessary, adjustment of the model's input parameters is made to minimise discrepancies between simulated and actual results. When a calibrated and validated model is at hand, it is now possible to make predictions and analyses on alternative scenarios. By running multiple simulations under different conditions, it is possible to assess the impact of different factors on the performance of the production system. The information provided on the cycle times of excavators and front loaders in different conditions, as well as the course time of dump trucks, fuel costs, and other critical indicators, allow for an improved decision-making process. The possible situations illustrating the simulation capability of the *HAULSIM* software product are indeed many. For this reason, a typical problem in open-pit mining and quarrying is considered: determining the required equipment for achieving the annual target rate of mining production for a quarry.

Case study: Using *HAULSIM* for annual planning of quarrying operations

Fig. 1 represents the studied mining site and its 3D model used for the purpose of simulation. Five panels are planned for drilling, blasting, and mining to meet the quarry's desired output for 1 year. The quarry deals with basalt mining, and the planned annual pit's output is 320 000 t/a for a total of 235 scheduled shifts. The assumed work schedule is 5 workdays per week and one 8-hour shift per day. The quarry is currently dealing with the extraction of the commodity only, as the overburden is already removed. The remaining pushbacks for the quarry are situated only in the to-be-extracted commodity. Hence, the direction of mining is oriented downwards and fully coincides with the vertical advance rate of the mine.

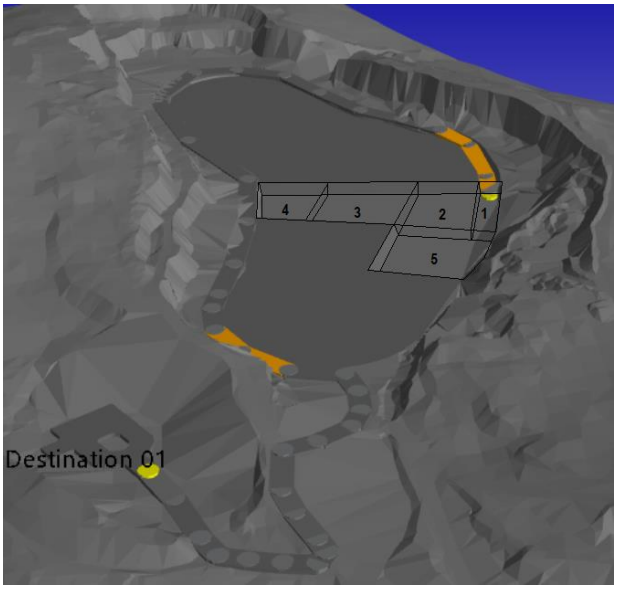


Fig. 1. Scheduled panels for blasting and mining

More information on the volume and mass of each panel can be found in Table 1.

Table 1. *Scheduled panels for blasting and mining for 1 year*

Blast panel №	Bank volume, m³	Mass, t
1	8,582.90	23,173.82
2	24,843.83	67,078.33
3	26,647.85	71,949.18
4	25,783.19	69,614.60
5	32,682.93	88,243.91
TOTAL	118,540.70	320,059.84

The specific properties of the material mined, related to the simulation model and the mining operation, can be seen in Table 2.

Table 2. *Parameters of the handled material*

Parameter	Value
Bank density, t/m³	2.64
Bulk density, t/m³	1.80
Swell factor	1.47
Fill factor (struck)	0.80

The specifications of the mining equipment used for this case study, as well as their relative costs, are presented in Table 3.

Table 3. *Equipment specifications and assumed cost factors*

Parameter	Excavator	Trucks
Engine power, kW	147	194
Bucket capacity, m³	2.00	-
Payload, t	-	22.68
Max energy consumption, l/h	11.96	15.79
Idle fuel consumption, l/h	23.92	7.89

Results

For this particular case study, three scenarios have been considered – using 2, 3 or 4 trucks for the joint work with a

single excavator. Their respective results are shown in Tables 4, 5 and 6. The main parameters of interest are Fuel costs, Fuel consumption, Working operational efficiency, Operational efficiency, and Overall efficiency regarding the use of the shift's time, similar to a previous case study (Aleksandrova, 2007). The assumed diesel price is 1.30 EUR/l.

Table 4. *Simulation results for Scenario 1 (utilisation of 2 trucks)*

	Truck 01	Truck 02	Truck 03	Truck 04	Loader 01
Fuel Cost, (K EUR)	12.88	12.88	-	-	49.43
	75.18				
Fuel Consumed, (10^3 l)	9. 90	9.90	-	-	38.02
	57.83				
Working operational efficiency	0.98	0.99	-	-	0.79
Operational shift efficiency	0.87	0.87	-	-	0.87
Overall shift efficiency	0.86	0.86	-	-	0.69
Work shifts	251				

As can be observed, this scenario ensures that the annual target can be completed within 251 shifts (days), which exceeds the scheduled days for the year. This would mean that certain holidays or days from the weekend should also be mobilised for operational work. Furthermore, the presence of days with unfavourable weather conditions may also hinder meeting the target rate of the pit if this scenario is picked. Additionally, although the overall efficiency of the trucks is superb, the excavator remains idle at some points, which leads to the consideration of the scenario with 3 trucks (Table 5).

Table 5. *Simulation results for Scenario 2 (utilisation of 3 trucks)*

	Truck 01	Truck 02	Truck 03	Truck 04	Loader 01
Fuel Cost, (K EUR)	12.15	12.13	12.15	-	45.68
	82.11				
Fuel Consumed, (10^3 l)	9. 34	9.33	9.34	-	35.14
	63.16				
Working operational efficiency	0.77	0.77	0.76	-	0.92
Operational shift efficiency	0.87	0.87	0.88	-	0.87
Overall shift efficiency	0.67	0. 67	0.66	-	0.80
Work shifts	217				

In this scenario, the annual target can be reached in 216 shifts (days), which is more favourable in terms of unscheduled loss of shifts. However, the overall shift efficiency for the trucks is lower, which can be considered an average level of efficiency. In contrast, the overall efficiency of the excavator has improved from 0.69 to 0.80, i. e. from average to good (Koprev and Aleksandrova, 2022).

For the purpose of seeing how a fourth truck would affect the system, the third scenario was simulated. Its results are shown in Table 6. It shows that the overall efficiency of the loader does not improve, while at the same time, the overall efficiency of the trucks has decreased, leading to the accumulation of more fuel consumption and fuel costs. Additionally, the required number of shifts for meeting the annual output rate of the pit is 216 shifts once more. Hence, it has not improved, as utilising 4 trucks converges to the highest possible output rate for the current equipment and shift schedule.

Table 6. *Simulation results for Scenario 3 (utilisation of 4 trucks)*

	Truck 01	Truck 02	Truck 03	Truck 04	Loader 01
Fuel Cost, (K EUR)	12.96	12.95	12.96	13.11	45.67
	97.65				
Fuel Consumed, (10^3 l)	9.97	9.96	9.97	10.09	35.13
	75.12				
Working operational efficiency	0.58	0.58	0.58	0.58	0.92
Operational shift efficiency	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Overall shift efficiency	0.50	0.50	0.51	0.51	0.80
Work shifts	217				

A graphic representation of the results obtained from the simulation can be seen in Fig. 2 for the efficiency of the loader in the three scenarios and in Fig. 3 for the efficiency of the trucks.

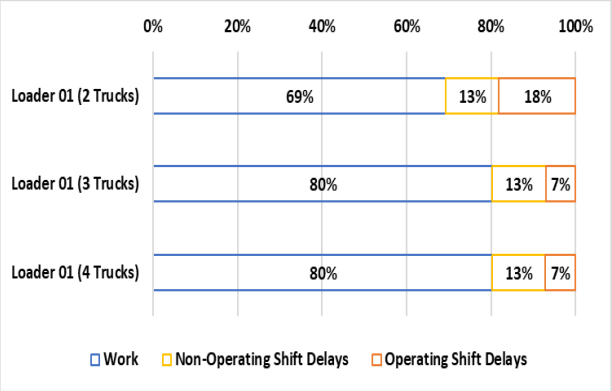


Fig. 3. Loader overall efficiency in the considered scenarios

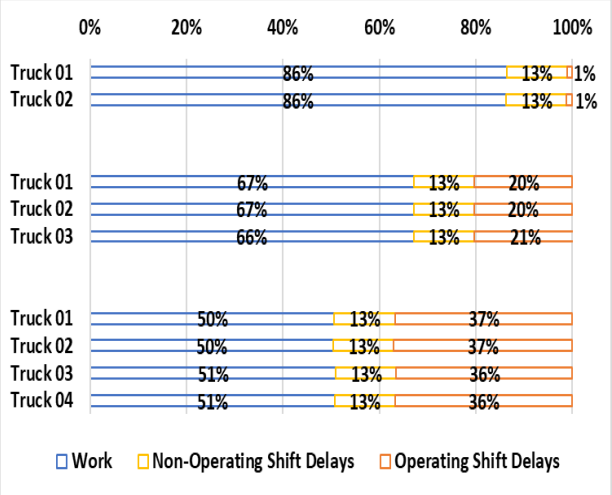


Fig. 4. Truck overall efficiency in the considered scenarios

A visual representation of the results, related to fuel consumption and the number of shifts required for completing the task is shown in Fig. 5.

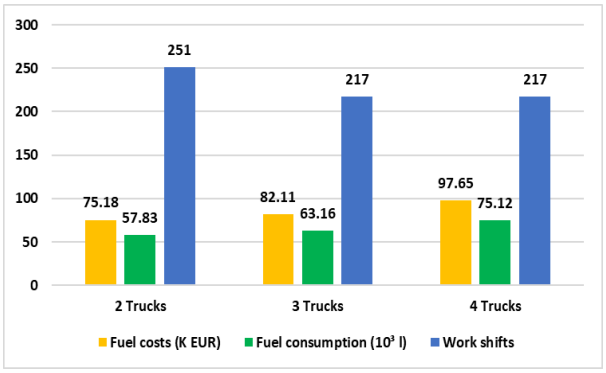


Fig. 5. Simulation results for the three considered scenarios

All fuel-related parameters increase with the adoption of more trucks for the task. The choice of which scenario to implement remains between the use of 2 trucks or 3 trucks, as Scenario 1 is more cost-effective and environmentally friendly, while at the same time, it is inefficient. In contrast, Scenario 2 is more efficient but less cost-effective and less environmentally friendly.

An interesting approach to solving this dilemma is by the adoption of a linear programming problem, based on both scenarios. The relative costs for the extracted material in the scenario with two trucks is 0.2349 EUR/t, while in the case with three trucks it is 0.2565 EUR/t. The average shift output in the first case is Q_1 = 1275.14 t/shift. In the second scenario, it is Q_2 = 1474.93 t/shift. Hence, the optimisation problem can be formulated as:

$$N_1 Q_1 c_1 + N_2 Q_2 c_2 \rightarrow min \quad (1)$$

subject to:

$N_1 + N_2 \leq 235$, (the total number of shifts should not exceed the scheduled number of shifts),
$N_1 Q_1 + N_2 Q_2 = 320\,059.84$ (the scheduled annual pit output should be reached by the hybrid schedule),
where:
N_1 – optimal number of shifts for utilising 2 trucks;
N_2 – optimal number of shifts for utilising 3 trucks;
Q_1 – average shift output when working with 2 trucks, t/shift;
Q_2 – average shift output when working with 3 trucks, t/shift;
c_1 – average costs per 1 t of material when working with 2 trucks, EUR/t;
c_2 – average costs per 1 t of material when working with 3 trucks, EUR/t.

The number of shifts is assumed to be a real number to see where the optimal solution lies by considering the fraction of the shift's time. The obtained solution to this problem is N_1 = 132.9 and N_2 = 102.1, leading to an estimate of 78.43 K EUR for fuel costs and 60,323 l of diesel fuel consumption. Hence, a better choice for using the mining equipment is the use of two trucks for 133 shifts and three trucks for 102 shifts. This way, a minimal amount of costs and a minimal environmental impact in terms of CO_2 emissions are guaranteed, compared to other alternatives. At the same time, this solution is technologically feasible as it respects all considered operational constraints and considers unscheduled losses of shifts. As the quarry has additional trucks in reserves, this solution can also be regarded as practical.

For future improvement of the estimate in the current case study, random unscheduled shifts due to unfavourable weather conditions and random breakdowns can also be implemented in this analysis for a more realistic view of the problem. It should also be pointed out that the best domain of use for *HAULSIM* is for short-term planning; longer-term plans need to be constantly validated as the project progresses in time. Nonetheless, *HAULSIM* provides a superb way of validating a planning concept.

Conclusions

In the realm of mining operations, simulation models have emerged as a pivotal force in revolutionising the traditional approaches of open pit and quarry planning. By transcending the limitations of deterministic models, simulations offer a more realistic representation of mining environments, enabling comprehensive scenario analysis and optimisation. The use of simulation methodologies, such as Monte Carlo, Discrete Element System (DES), etc. empowers mine planners with a holistic understanding of work processes, equipment dynamics, and potential bottlenecks. The application of specialised software like *HAULSIM* exemplifies the shift towards data-driven decision-making, leveraging real-time inputs and 3D modelling to accurately depict mining sites. *HAULSIM*'s algorithms enable the optimisation of critical variables, fostering efficient transportation strategies, reduced CO_2 emissions, and operational costs. The presented case study demonstrates the practical utility of simulation models, showcasing the intricate interplay of trucks and excavators in a mining context. Through rigorous analysis, the study highlights optimal scenarios for equipment utilisation, minimising costs and environmental impact, while ensuring operational feasibility. Additionally, the considered scenarios were combined in a hybrid scenario, which adopts the positive sides of both alternatives. The result is a schedule configuration which is difficult to acquire when relying solely on conventional analytical models, used for pit design and planning. As the mining industry continues to evolve, simulation models will have a pivotal role, reshaping industry practices, and offering a pathway to more sustainable, efficient, and informed decisions.

References

Aleksandrova, E. 2007. Otsenka na efektivnostta na savmestnata rabota na bager i avtosamosval. - *Geologiya i mineralni resursi, br.7*, ISSN - 1310-2265 (in Bulgarian).

Czaplicki, J. M. 2008. *Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations.* CRC Press, London. https://doi.org/10.1201/9780203881248

Grimm, V., S. F. Railsback. 2005. *Individual-based Modeling and Ecology*. Princeton University Press. ISBN 978-0-691-09666-7.

Koprev, I. *Matematičesko modelirane v otkritoto razrabotvane na polezni izkopaemi*. Izdatelstvo “Avangard Prima”, ISBN 978-619-160-954-3 (in Bulgarian).

Koprev, I., E. Aleksandrova. 2022. *Otkrit dobiv na polezni izkopaemi*. Izdatelska kashta “Sv. Ivan Rilski”, Sofia, ISBN 978-954-353-459-3, (in Bulgarian).

Kroese, D. P., T. Taimre, Z. I. Botev. 2011. *Handbook of Monte Carlo Methods*, Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley and Sons, DOI: 10.1002/9781118014967

https://rpmglobal.com/product/haulsim/ (Last accessed on 28th April 2023)

STRESSES AROUND A HORIZONTAL CIRCULAR OPENING PASSING THROUGH TWO ISOTROPIC LAYERS

Violeta Trifonova-Genova, Gergana Tonkova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia, E-mail: violeta.trifonova@yahoo.com, gtonkova@mgu.bg

ABSTRACT: The article examines the question of determining the stresses in a layered rock mass around a horizontal circular opening. The rock mass consists of homogeneous isotropic layers. The boundary planes between them are steeply inclined relative to the axis of the opening. Moreover, they are parallel to the horizontal axis of its cross-section. The influence of the stresses due to pushing the opening extends into the cubic domain. The specified class of tasks is solved with the complex potential theory and an approach from the mechanics of layered media.

The two layers in the rock mass are replaced by an equivalent layer. The expressions for its physical and technical characteristics and for the stresses on the excavation boundary are given for it. The expressions for the stresses in the layers are derived.

The results are applied to a real rock mass. The physical and technical constants in the equivalent rock mass were calculated. The stresses in both the equivalent rock mass and the two layers were obtained. Three tangential normal stress diagrams for points on the excavation boundary are given. The first diagram shows the stresses in the equivalent rock mass. The stresses in the two layers are shown in the second and third diagrams.

Key words: complex potential theory, mechanics of layered media.

НАПРЕЖЕНИЯ ОКОЛО ХОРИЗОНТАЛНА КРЪГОВА ИЗРАБОТКА, ПРЕМИНАВАЩА ПРЕЗ ДВА ИЗОТРОПНИ ПЛАСТА

Виолета Трифонова-Генова, Гергана Тонкова-

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ: В статията се разглежда въпроса за определяне на напреженията в напластен масив около хоризонтална кръгова изработка. Масивът се състои от хомогенни изотропни пласта. Граничните равнини между тях са стръмно наклонени спрямо оста на изработката. Освен това те са успоредни на хоризонталната ос на нейното напречното сечение. Влиянието на напреженията, дължащи се на прокарването на изработката, се простира в кубична област. Указаният клас задачи се решава с комплексна потенциална теория и подход от механика на напластените среди.

Двата пласта в масива се заменят с еквивалентен пласт. За него са дадени изразите за физическите и техническите му характеристики и за напреженията около отвора. Изведени са изразите за напреженията в пластовете.

Резултатите са приложени за реален масив. Изчислени са физическите и технически константи в еквивалентния масив. Получени са напреженията както в еквивалентния масив, така и в двата пласта. Дадени са три диаграми на тангенциалните нормални напрежения за точки по границата на изкопа от контура на изработката. На първата диаграма са представени напреженията в еквивалентния масив. Напреженията в двата пласта са изобразени на втората и третата диаграми.

Ключови думи: комплексна потенциална теория, механика на напластените среди.

Introduction

Modern horizontal opening often cross inclined strata. Each of these layers has different physical and technical characteristics. This non-uniformity of the medium is accounted for by methods for solving layered linearly deformed media. On the other hand, the stress state around the opening is determined by complex potential theory (Muskhelishvili, 1953; Bulichev, 1982).

Solutions are known for two types of layer placement cases. In the first case, the layers are parallel and thin, and in the second case, they are steep and thick. For the first type of problems, there are solutions in the plane-strained and generalised plane-strained state (Trifonova-Genova, 2012; 2016; 2017). When the medium consists of steep and thick layers with boundary planes that are parallel to the fabrication axis, the authors have proposed solutions in previous works (Trifonova-Genova, 2018a, 2018b; Trifonova-Genova et al., 2022).

The aim of the present work is to expand the described cases of layer placement. Cases will be considered where the boundary planes of the layers are inclined to the axis of fabrication and parallel to the horizontal axis of the cross-section of the hole.

Methods

1. Formulation of the problem

A horizontal circular opening with a radius R has been driven to a great depth H. A part of it passing through isotropic layers given in Figure 1 and Figure 2 is considered. The

influence of the hole extends to the stresses in the array encloses a cube of side equal to $12R$.

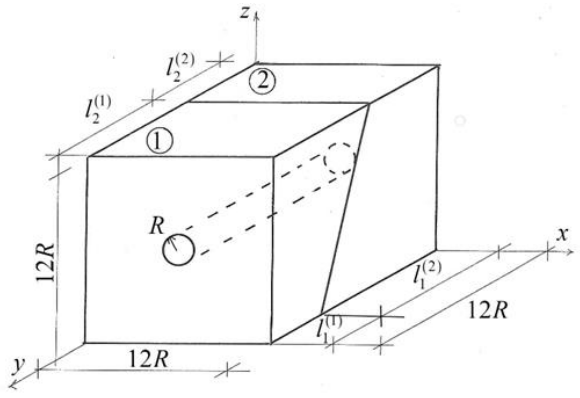


Fig. 1 Opening passing through two layers

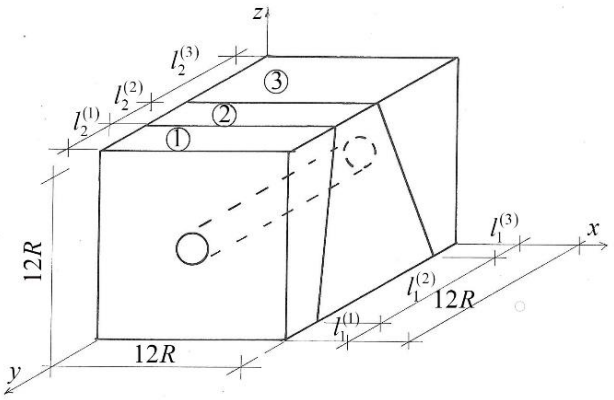


Fig.2 Opening going through three layers

2. Method for determining voltages stresses

The following two-stage approach is used to determine the stresses in each layer.

In the first stage, the isotropic layers are replaced by an equivalent uniform homogeneous isotropic layer. It has the following characteristics (Trifonova-Genova, 1991):

$$E^{(o)} = \frac{\sum_{k=1}^{n} E^{(k)} V_k .}{\sum_{k=1}^{n} V_k}; \quad \mu^{(o)} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \mu^{(k)} V_k E^{(k)}}{\sum_{k=1}^{n} V_k E^{(k)}};$$

$$\gamma^{(o)} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \gamma^{(k)} V_k .}{\sum_{k=1}^{n} V_k}; \qquad k = 1 \div n . \tag{1}$$

Here, the characteristics for layer k are: $\gamma^{(k)}$ is volumetric weight, $E^{(k)}$ is Young's modulus, $\mu^{(k)}$ is Poison's ratio. In the homogeneous isotropic layer, the characteristics are: $\gamma^{(o)}$ is volumetric weight, $E^{(o)}$ is Young's modulus, $\mu^{(o)}$ is Poison's ratio. The total number of layers is n . For figure 1, this number is 2, and for figure 2 it is 3.

In dependencies (1), the volumes of the layers are determined by the following expression:

$$V_k = 72\left[l_1^{(k)} + l_2^{(k)}\right] r^2 ; \; k = 1 \div n . \tag{2}$$

To determine the stresses in the uniform layer, an area around the hole shaped of a square of size $12R$ is used (Fig.3). The vertical load on the calculation scheme is Q , and $\lambda^{(o)} Q$ is the horizontal load. The stresses in the medium are plotted in a polar coordinates system ($Or\theta$). An angle θ is measured from axis to axis z to axis x . The radius vector of a point from the field is r .

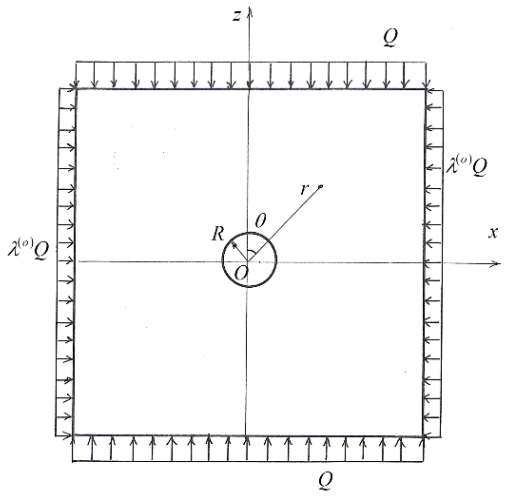


Fig.3 Calculation scheme

In the second stage, the stresses in each layer of two conditions are determined. The first condition describes the balance of forces, and the second equalises the relative deformations of the contact between the two layers. For a rock mass consisting of two layers, the conditions are (Trifonova-Genova, 2012):

$$\begin{aligned}
&\sigma_r^{(1)} V_1 + \sigma_r^{(2)} V_2 = b_1 ; \\
&\sigma_\theta^{(1)} V_1 + \sigma_\theta^{(2)} V_2 = b_2 ; \\
&a_{11}^{(2)} \sigma_r^{(2)} - a_{11}^{(1)} \sigma_r^{(1)} + a_{12}^{(2)} \sigma_\theta^{(2)} - a_{12}^{(1)} \sigma_\theta^{(1)} = b_3 ; \\
&a_{12}^{(2)} \sigma_r^{(2)} - a_{12}^{(1)} \sigma_r^{(1)} + a_{11}^{(2)} \sigma_\theta^{(2)} - a_{11}^{(1)} \sigma_\theta^{(1)} = b_3 ,
\end{aligned} \tag{3}$$

where:

$$b_1 = \sigma_r^o V \; ; b_2 = \sigma_\theta^o V \; ; \; b_3 = a_{13}^{(1)} \sigma_z^{(1)} - a_{13}^{(2)} \sigma_z^{(2)} .$$

Here, $\sigma_r^{(m)}$, $\sigma_\theta^{(m)}$, and $\sigma_z^{(m)}$ are the radial, tangential normal stresses and the stresses along the axis of production in layer m , but σ_r^o and σ_θ^o are the radial and tangential normal stresses in an isotropic generalised medium.

The deformation along the axis of opening is zero, from where

$$\sigma_z^{(m)} = -\frac{a_{13}^{(m)}}{a_{33}^{(m)}}\left[\sigma_r^{(m)} + \sigma_\theta^{(m)}\right];\ \rightarrow m = 1,2\,. \qquad (4)$$

Substitute (4) into (3) and obtain:

$$\begin{aligned}
&\sigma_r^{(1)}V_1 + \sigma_r^{(2)}V_2 = \sigma_r^o V\ ; \qquad (5)\\
&\sigma_\theta^{(1)}V_1 + \sigma_\theta^{(2)}V_2 = \sigma_\theta^o V\\
&e_2\sigma_r^{(2)} - e_1\sigma_r^{(1)} + e_4\sigma_\theta^{(2)} - e_3\sigma_\theta^{(1)} = 0\,;\\
&e_4\sigma_r^{(2)} - e_3\sigma_r^{(1)} + e_2\sigma_\theta^{(2)} - e_1\sigma_\theta^{(1)} = 0\,.
\end{aligned}$$

The following notations are adopted in these expressions:

$$e_k = a_{11}^{(m)} - \frac{\left[a_{13}^{(m)}\right]^2}{a_{33}^{(m)}};\ e_{k+2} = a_{12}^{(m)} - \frac{\left[a_{13}^{(m)}\right]^2}{a_{33}^{(m)}}\,. \qquad (6)$$

For an isotropic medium, the deformation coefficients in the above expressions are:

$$a_{13}^{(m)} = a_{12}^{(m)} = \frac{\mu^{(m)}}{E^{(m)}};\ a_{11}^{(m)} = a_{33}^{(m)} = \frac{1}{E^{(m)}}\,. \qquad (7)$$

The stresses in the equivalent generalised isotropic medium in expressions (3) and (5) have the form given in (Muskhelishvili, 1953; Bulichev, 1982; Parachkevov, 1969):

$$\begin{aligned}
&\sigma_\theta^o = -Q\left(\sigma_{\theta,1} - \sigma_{\theta,2}\cos 2\theta\right); \qquad (8)\\
&\sigma_r^o = -Q\left(\sigma_{r,1} + \sigma_{r,2}\cos 2\theta\right),
\end{aligned}$$

where:

$$\begin{aligned}
&\sigma_{r,1} = \lambda_1\left(1 - s^2\right);\ \sigma_{r,2} = \lambda_2\left(1 + 3s^4 - 4s^2\right);\\
&\sigma_{\theta,1} = \lambda_1\left(1 + s^2\right);\ \sigma_{\theta,2} = \lambda_2\left(1 + 3s^2\right);\\
&s = \frac{R}{r};\quad \lambda_1 = \frac{1+\lambda^{(o)}}{2};\quad \lambda_2 = \frac{1-\lambda^{(o)}}{2};\quad Q = \gamma^{(o)}H\ ;\\
&\lambda^{(o)} = \frac{\mu^{(o)}}{1-\mu^{(o)}}\,.
\end{aligned}$$

The solution of system (5) is performed by the Gaussian method (Petrova-Deneva et al., 1977). Thus, the stresses at a point in the rock mass are obtained. For practice, the stresses along the hole contour are of interest. Since the radial and tangential stresses are zero, system (5) takes the form:

$$\begin{aligned}
&\sigma_\theta^{(1)}V_1 + \sigma_\theta^{(2)}V_2 = \sigma_\theta^o V\ ; \qquad (9)\\
&e_2\sigma_\theta^{(2)} - e_1\sigma_\theta^{(1)} = 0\,.
\end{aligned}$$

From the solution of (9), the stresses in the two layers are obtained:

$$\sigma_\theta^{(1)} = \frac{e_2 V}{\Delta}\sigma_\theta^{(o)};\ \sigma_\theta^{(2)} = \frac{e_1 V}{\Delta}\sigma_\theta^{(o)};$$

$$\Delta = V_1 e_2 + V_2 e_1\,. \qquad (10)$$

The tangential normal stresses in the generalised isotropic medium are obtained from (8) at $r = R$ and have the form:

$$\sigma_\theta^o = -Q\left(\sigma_{\theta,1} - \sigma_{\theta,2}\cos 2\theta\right). \qquad (11)$$

where:

$$\sigma_{\theta,1} = 2\lambda_1\,;\ \sigma_{\theta,2} = 4\lambda_2\,.$$

3. Numerical example

A horizontal circular opening with radius $R = 1{,}5m$ is considered. It is driven at a depth of $H = 300\,m$ and crosses two thin isotropic layers (Fig.1). The Young's modulus, Poison's ratio, and the bulk weights in the layers are given in Table 1. The sizes and volumes of the layers are given in Table 2. The characteristics of the equivalent uniform isotropic layer are obtained from equation (1). The results are shown in the last row of Table 1.

Table 1. *Characteristics of strata and homogeneous medium*

k	$E^{(k)}$	$\mu^{(k)}$	$\gamma^{(k)}$
multiplier	10^3		10^{-2}
Dimension	MPa		MN/m^3
1	0.148	0.15	0.28
2	0.595	0.237	0.25
o	0.416	0.202	0.262

Table 2. *Sizes and volumes of layers*

i	l_1	l_2	V_i
Dimension	m	m	m^3
1	3.6	5.0	1393.2
2	12.0	5.0	2754.0
$V \rightarrow$			5832.0

The normal tangential stresses in the uniform medium are obtained according to (11) for seven points of the first quadrant. This diagram is symmetrical about the vertical and horizontal axis of the circular section. The stresses in two layers $\sigma_\theta^{(1)}$ and $\sigma_\theta^{(2)}$ are determined according to (10). The results are referred to the stress in the undisturbed medium Q and are given in the third, fourth and fifth columns of Table 3.

Table 3. *Normal tangential stresses in the layers and in the equivalent uniform medium*

n	$\theta[\circ]$	$\sigma_\theta^{(o)}/Q$	$\sigma_\theta^{(1)}/Q$	$\sigma_\theta^{(2)}/Q$
1	0	-0.131	-0.045	-0.189
2	15	0.059	0.02	0.085
3	30	0.579	0.2	0.832
4	45	1.290	0.445	1.853
5	60	2.0	0.69	2.873
6	75	2.520	0.869	3.620
7	90	2.710	0.935	3.894

The normal tangential stress diagrams around the hole are plotted in Figure 4. Number 1 denotes the stress diagram in the uniform isotropic medium, numbers 2 and 3 – the stress diagrams in layer 1 and layer 2.

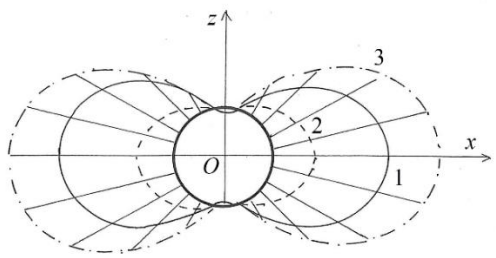


Fig.4 Diagrams of normal tangential stresses for the uniform medium and for layers 1 and 2

From the graphs obtained, the maximum difference between the stresses in the layers and in the uniform medium can be analysed. For layer 1, this difference is 65.4% smaller and for layer 2 – 30.4% larger. It can be seen from the table and figure that the stresses in layer 2 are greater than those in layer 1. This is related to the larger value of the modulus of linear deformation in the second layer. The ratio of the modules of linear deformation of the layers is 4.16.

4. Key findings

The obtained analytical expressions for the stresses in each layer are applied:

a) when the inclination of the boundary plane relative to the axis of the horizontal construction is greater than half a right angle;

b) when the ratio of the linear strain moduli is greater than 2.

Conclusion

The following guidelines for future work are established from the research done:

1. The approach for determining the stresses in an array consisting of two layers can be generalised for more layers.

2. The solution for the described class of problems can be applied to transversely isotropic layers.

References

Bulichev, N. S. 1982. *Mehanika podzemnih sooruzhenii*. Moskva, Nedra, 282p. (in Russian).

Muskhelishvili, N. I. 1953. *Some basic problems of the mathematical Theory of Elasticity*. Gromingen: Nordhoft, 706 p.

Parachkevov, R. 1969. Mehanika na skalite, I., “Tehnika”, S., 268s. (in Bulgarian).

Petrova-Deneva, A., V. Dimova-Nacheva, N. Stoyanov. 1977. Vissha matematika – chast 5. D. I. “Tehnika”, Sofia, 299p. (in Bulgarian).

Trifonova-Genova, V. 1991. Izchislyavane na mnogosloen krepezh na vertikalna shahta v naplasten masiv chrez MKE, *Godishnik na MGU*, tom. XXXVII, sv. II: Minno stroitelstvo i geomehanika (in Bulgarian with French abstract).

Trifonova-Genova, V. 2012. Napregnato sastoyanie v naplasten masiv okolo krugla izrabotka, Sofia: I. K. “Sv. Ivan Rilski”, 132p. (in Bulgarian).

Trifonova-Genova, V. 2016. Edin podhod za opredelyane na naprezheniyata v naplasten masiv okolo izrabotka, *Proceedings of the VII International Geomechanics Conference,* Varna, Bulgaria*,* 27.06-01.07, 246-251 (in Bulgarian with English abstract).

Trifonova-Genova, V. 2017. Analytical expression for stresses in a steeply layered rock mass around a circular opening, *Journal of Mining and Geological Science*s, Vol. 60, Part II, 59-62.

Trifonova-Genova, V. 2018a. Varhu opredelyaneto na naprejeniyata v stramnonaplasten masiv okolo horizontalna izrabotka s kragovo naprechno sechenie, *Proceedings of the VIII International Geomechanics Conference, Varna, Bulgaria*, 02-06.07., 59-64 (in Bulgarian with English abstract).

Trifonova-Genova, V. 2018b. Analytical expression for stresses in stratified and steeply rock mass around an opening in the shape of an ellipse, *Journal of Mining and Geological Sciences,* Vol. 61, Part II, 115-118.

Trifonova-Genova, V., G. Tonkova. 2022. Stress around circular opening excavation in layered and sliding rock mass, *Annual of the University of Mining and geology “St. Iv, Rilski” - Sofia*, Vol. 65, Section II: Mining and Mineral Processing, 46-50.

MATERIAL COMPOSITION OF MIXED TYPE SULPHIDE-OXIDE ORES FROM A PORPHYRY-COPPER DEPOSIT

Teodora Yankova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: teodora.qnkova@mgu.bg

ABSTRACT. Laboratory test work was carried out with the aim of evaluating the enrichment of sample of mixed sulphide-oxide ore and obtaining high-quality concentrates. The research performed includes full chemical analysis, phase analysis for determining the forms of the presence of Cu in the ore, X-ray diffraction analysis, mineralogical studies of polished sections from ores samples and polished briquettes, prepared from class 2.00-0 mm of the ore, studied through a polarising microscope in reflected light. The mineral and chemical composition of the studied sulphide-oxide ore determines the application of collective-selective flotation for the enrichment of the ore, intended at obtaining high-quality copper and pyrite concentrates.

Key words: mixed sulphide-oxide ore, porphyry-copper deposit.

ВЕЩЕСТВЕН СЪСТАВ НА СМЕСЕН ТИП СУЛФИДНО-ОКСИДНИ РУДИ ОТ МЕДНОПОРФИРНО НАХОДИЩЕ

Теодора Янкова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Проведени са изследвания за изучаване на минералния и химичен състав на смесен тип сулфидно-оксидна руда от меднопорфирно находище, с оглед определяне на нейната обогатимост и получаването на висококачествени концентрати. Извършените изследвания включват пълен химичен анализ, фазов анализ за определяне формите на присъствие на медта в рудата, дифрактометричен рентгеноструктурен анализ, минераложки изследвания в отразена светлина на микроскопски препарати от късови образци и препарати-брикети от класа 2.00 – 0 mm на рудата. Минералният и химичен състав на изследваната сулфидно-оксидна руда обуславя прилагането на колективно-селективна флотация за обогатяване на рудата с цел получаването на висококачествени медни и пиритни концентрати.

Ключови думи: смесен тип сулфидно-оксидна руда, меднопорфирно находище.

Въведение

Медта е един от най-широко използваните метали, с жизнено важно значение за икономиката и развитието на всяка държава. Глобалната тенденция за засилено потребление на метала е свързана и с прехода към зелена икономика, използването на възобновяема енергия – производство на слънчеви панели, вятърни генератори, в геотермални централи, електрически превозни средства и др. Основен източник на метала представляват меднопорфирните находища, от които се извършва около 75% от световния добив на мед, като се получават и други съпътстващи метали – Mo, Au, Ag. В редица случаи от меднопорфирните руди като странични продукти се добиват също Re, SE, Te, PGE и други ценни компоненти (Sillitoe, 2010; John and Taylor, 2016). Меднопорфирните находища се характеризират с бедна прожилково-впръслечна сулфидна минерализация, с ниско съдържание на метали в първичните сулфидни руди – Cu (0.2 – 1.5%), Mo (<0.01 – 0.3%), Au (< 0.01 g/t). Експлоатацията им, обаче, е икономически най-ефективна в случай на голям обем от рудни запаси, добив извършван по открит способ и присъствие на редица ценни, съпътстващи метали (Dilles and John, 2021).

Според Григорова (2020) разнородният характер на скалните разновидности значително усложнява минно-добивния процес като създава трудности главно с раздробяването на минната маса. За изучаване характеристиките на експлоатационното минно поле и детайлното картиране на скалните разновидности е подходящо да се използват неинвазивни геофизични методики, базиращи се на разликата във физичните свойства на рудните минерали с различен състав и вместващите ги скали.

В меднопорфирните находища, често в резултат на супергенни процеси, се формира вторична вертикална зоналност, образуват се окислителна зона и зона на вторично обогатяване над първичното сулфидно орудяване (Богданов, 1987). По този начин, в някои от находищата се обособяват три типа руди – окисни, вторично сулфидни и първични сулфидни руди с постепенни преходи между тях. Тези три типа руди имат различен минерален състав и флотационни характеристики.

Изучаването на веществения състав на рудите, за които се търсят възможности за ефективни, еколого-съобразни и евтини технологични схеми на обогатяване, е от изключителна важност за изследователите и минерално-суровинната индустрия, със значителен ефект върху

икономиката на всяка „минна“ държава (Bodurova et al. 2011).

В настоящата работа се привеждат данни от проведените изследвания за изучаване веществения (минерален и химичен) състав на смесен тип сулфидно-оксидна руда от меднопорфирно находище с оглед определяне на нейната обогатимост и получаването на висококачествен меден концентрат.

Методи и материали

За целта на извършените изследвания е подготвена техноложка проба с тегло около 330 kg, съставена от сондажни ядки от сондажите, с които е проучвано находището и са обособени зоните с развитие на смесен тип сулфидно-оксидна руда. От техноложката проба предварително са отделени късови образци, от които са изготвени препарати (аншлифи) за микроскопско изучаване. Техноложката проба е подложена на трошене по класическата тристадийна схема на трошене с челюстна, валцова и роторна трошачки, с последващо контролно пресяване със сита с големина на отворите 5 и 2.5 mm. След хомогенизиране и квартоване на получения материал е отделена средна проба с тегло 5 kg, която е използвана за извършване на различен вид изследвания.

За определяне веществения (химичен и минерален) състав на смесения тип сулфидно-оксидна руда са проведени следните изследвания: пълен химичен анализ; фазов анализ за определяне формите на присъствие на медта в рудата (разтворима във вода Cu, оксидна свободна и свързана Cu, Cu във вторични и първични сулфиди); дифрактометричен рентгеноструктурен анализ; минераложки изследвания в отразена светлина под микроскоп на полирани препарати, изготвени от късови образци и препарати-брикети от класа 2.0–0 mm на рудата.

Подготовката на техноложката проба за анализи и минераложките изследвания са извършени в лабораториите на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, а химичните изследвания са проведени в лабораториите на Евротест-Контрол, ЕАД

Резултати и дискусия

Химичен анализ на сулфидно-оксидна руда

Данните от проведения химичен анализ на смесена сулфидно-оксидна руда от техноложката проба, са представени в таблица 1.

Таблица 1. *Химичен анализ на сулфидно-оксидна руда от техноложката проба*

Компо-ненти	Съдържа-ние (%)	Компо-ненти	Съдържа-ние (%)
Cu	0.554	Fe_2O_3	2.80
Mo	0.0029	CaO	0.89
Zn	0.0051	MgO	0.95
Pb	0.0005	Na_2O	2.35
As	0.0003	K_2O	3.55
Sb	< 0.0005	C	0.02
S	1.27	Ag	< 1g/t
SiO_2	75.75	Au	< 0.05 g/t
Al_2O_3	11.78	ЗПН	3.16

Получените резултати показват, че изследваната руда се характеризира със сравнително високо съдържание на Cu – 0.554%. Установява се съдържание на Mo - 0.0029%, Au - < 0.05 g/t и Ag - < 1g/t. Повишените концентрации на компонентите SiO_2, Al_2O_3, K_2O, Na_2O и др. са свързани с нерудните фази, съпътстващи рудната минерализация в анализираната проба.

Фазов анализ на сулфидно-оксидна руда, техноложка проба

Данните от проведения фазов анализ (табл. 2) показват, че преобладаващата част от медта в рудата е под формата на първични медни сулфидни минерали (55.40%) и на вторични сулфиди (23.74%) и в по-малка степен във вид на оксидна свободна мед (19.78%). Установява се наличие на сравнително незначително количество (0.90%) свързана оксидна мед. Получените резултати потвърждават обстоятелството, че изследваната руда е от смесен тип – сулфидно-оксидна.

Таблица 2. *Фазово разпределение на медта в сулфидно-оксидна руда от техноложката проба*

Форма на съединението	Съдържание (%)	Разпределение (%)
Cu, разтворима във вода	0.001	0.18
Оксидна Cu, свободна	0.110	19.78
Оксидна Cu, свързана	0.005	0.90
Cu във вторични сулфиди	0.132	23.74
Cu в първични сулфиди	0.308	55.40
Обща мед	0.556	100.00

Рентгеноструктурен анализ на сулфидно-оксидна руда, техноложка проба

Данните от извършения дифрактометричен рентгеноструктурен анализ за определяне на минералния състав на рудата, показват наличие на около 3 % рудни минерали, представени от халкопирит (1%), тенантит (1%) и тенорит (1%). В количествено отношение (97%) преобладават нерудните фази – скалообразуващи минерали във вместващите скали и съпътстващи орудяването гангови минерали. Кварцът е застъпен в най-голямо количество (43%), следван от мусковит (14%), фелдшпати – албит (13%) и микроклин (11%), хлорит – клинохлор (8%) и пироксен – диопсид (5%). В незначително количество са застъпени карбонати – калцит (1%) и доломит (1%).

Микроскопски изследвания в отразена светлина

Микроскопски изследвания в отразена светлина на образци от сулфидно-оксидна руда, техноложка проба.

Макроскопски в рудните образци се наблюдават кварц-сулфидни прожилки с дебелина до 1-2 mm и дребни впръслеци от сулфидна и оксидна минерализация, сред късовете от вместваща интрузивна скала от диоритов тип. В изследваните микроскопски препарати количественото

съдържание на рудните минерали е около 30%. Главните рудни минерали са представени от пирит и халкопирит с преобладаване на пирита, по-рядко се срещат мушкетовит, магнетит, спекуларит и в незначително количество присъстват молибденит, борнит, пиротин. Кварцът е основният неруден минерал, предшестващ и съпътстващ сулфидната минерализация.

Пиритът е преобладаващият руден минерал. В препаратите пиритът се наблюдава в кварц-сулфидни жилки и в самостоятелни пиритови прожилки с дебелина от 0.5 до 2 mm, в дребни гнезда и впръслеци сред вместващата скала. Пиритът често е напукан и неоднороден, с включения от кварц, магнетит и по-рядко от финоиглест спекуларит. В пирита присъстват също и включения от халкопирит ± пиротин и борнит. На места в пиритовите прожилки по пукнатини е отложен халкопирит, а по периферията на някои от прожилките се наблюдават мушкетовитови агрегати. Пиритът сред вместващата скала е по-дребнозърнест и се среща под формата на самостоятелни гнездовидни агрегати и впръслеци, както и съвместно с халкопирит, който го окантява и кородира.

Халкопирит. Халкопиритът е представен в по-ограничено количество, в сравнение с пирита. Образува пирит-халкопиритови прожилки и по-рядко самостоятелни, фини халкопиритови прожилки и гнездовидни агрегати, асоцииращи с пирит. Сред вместващата скала се установяват по-дребни гнездовидни халкопиритови агрегати, на места прорастнали с мушкетовит.

Мушкетовит (магнетитови псевдоморфози по хематит-спекуларит). В изследваните препарати са наблюдавани дългопризматични индивиди и удължени агрегати от мушкетовит, с дължина до 0.5-1 mm, съдържащи реликти от хематит. Мушкетовитови индивиди и агрегати се срещат по периферията на кварц-сулфидни прожилки и по-рядко в основната маса на вместващата скала.

Магнетит. Магнетитът се наблюдава под формата на впръслеци и гнездовидни агрегати сред основната маса на вместващата скала и като много дребни включения главно в пирит, по-рядко в халкопирит. Сред магнетитовите включения се наблюдават отсмесвания от илменит и рутил. Минералът е засегнат в различна степен от променителни процеси (мартитизация).

Спекуларит. Спекуларитът се среща рядко. Установява се под формата на дългопризматични и иглести включения сред пирит в кварц-сулфидните прожилки. Много по-рядко образува самостоятелни впръслеци в основната маса на вместващата скала.

Молибденит. В изследваните препарати е застъпен в незначително количество. Молибденитът образува дребни агрегати от субмикроскопични дългопризматични индивиди и люспици сред кварц, както и много дребни люспести и радиалнолъчести агрегати, отложени по периферията на халкопирит и пирит в кварц-пирит-халкопиритовите прожилки. Единични молибденитови люспици се срещат сред вместващата скала.

Рутил. Рутилът е акцесорен минерал във вместващата скала, сред която присъства във вид на дребни агрегати и идиоморфни индивиди, често в асоциация с магнетит.

Борнит се установява много рядко, в единични случаи, като вторичен продукт, образуван по първичен халкопирит. Минералът кородира и окантява халкопирит.

Структурата на рудните минерали в наблюдаваните микроскопски препарати е идиоморфнозърнеста – за пирит, магнетит, спекуларит, молибденит; алотриоморфнозърнеста – за халкопирит; корозионна – за мушкетовит и борнит.

Микроскопски изследвания в отразена светлина на фракция 2.00 – 0 mm от сулфидно-оксидна руда, технологжка проба.

В изследваните микроскопски препарати-брикети присъстват фрагменти от вместващата скала и кварц, на места с впръслеци от първични сулфиди (пирит и халкопирит), по-рядко с включения от вторични сулфиди (халкоцит и ковелин), свободни сулфидни частици, както и техни срастъци с кварц, свободни частици от нерудни фази – главно кварц и много по-рядко глинести минерали и единични агрегати от малахит. Главните рудни минерали са представени от халкопирит и пирит, с преобладаване на халкопирита. Като второстепенни фази в по-незначително количество се наблюдават вторични медни сулфиди – халкоцит и ковелин. Като спорадични, много слабо разпространени минерали се срещат малахит, магнетит, мушкетовит, молибденит, титан-съдържащи фази – рутил, титанит и вторични титанови продукти. Кварцът е главният неруден минерал, съпътстващ орудяването.

Халкопирит. Халкопиритът се наблюдава предимно в самостоятелна форма и много по-рядко в асоциация с пирит и магнетит. Минералът образува впръслеци сред вместващата скала и сред кварц, фини включения сред пирит и свободни частици (фиг. 1a). Халкопиритовите впръслеци сред вместващата скала са алотриоморфни и в повечето случаи имат фини размери, големина под 100 μm. Дребни халкопиритови зърна, с размери достигащи от над 200 до около 700 μm се наблюдават в основна маса от кварц, често разположени по микропукнатини, в междузърновите пространства или в кухинки сред кварца. В препаратите се срещат единични срастъци на халкопирита с пирит и с магнетит, с големина около 150 μm. На места по периферията на халкопиритовите индивиди и агрегати е развит кант от вторични медни сулфиди (предимно халкоцит и по-малко ковелин), образуващи също и фини прожилки сред минерала (фиг. 1c). Срещат се отделни частици от вторични сулфиди с реликти от съхранен първичен халкопирит, както и частици с изцяло заместен халкопирит. В препаратите се наблюдават свободни халкопиритови частици, чиято големина достига до 300-350 μm, а в редки случаи и над 700 μm (фиг. 1a). Преобладаващата форма на присъствие на халкопирита е във вид на включения сред кварц, следвана от свободни частици и по-рядко във вид на срастъци с кварц.

Пиритът се среща предимно самостоятелно, много рядко в асоциация с халкопирит и в единични случаи - с магнетит. Наблюдава се под формата на впръслеци сред вместващата скала и сред кварц, както и във вид на свободни частици (фиг. 1b). Пиритът е ксеноморфен, често с фини овални или елипсовидни включения от халкопирит, фини включения от магнетит, кварцови зърна и др. Изометрични, заоблени пиритови индивиди с по-големи размери се срещат в основна маса от кварц, докато впръслеците сред вместващата скала имат по-малки размери. Наблюдавани са единични пирит-халкопиритови и пирит-магнетитови агрегати. Установено е единично пиритово зърно с венечна структура, с кант от халкоцит, образуван вероятно по първичен халкопирит. В основната маса от вместващата скала се среща пирит с корозионна

структура, около който са развити първични титанови оксиди или вторични титанови продукти. Свободните пиритови частици, присъстващи в препаратите имат размери, вариращи от под 50 до около 300 µm, в единични случаи достигащи до над 600 µm.

Вторични медни сулфиди (халкоцит и ковелин). Халкоцитът и ковелинът са застъпени в сравнително неголямо количество и обикновено се наблюдават заедно в общи агрегати, в които преобладаващата фаза е халкоцит, а ковелинът е слабо застъпен. Минералите образуват кант по периферията на халкопирит и фини прожилки сред него (фиг. 1c). Ковелинът най-често се установява под формата на пламъковидни образувания в канта, съставен от халкоцит. Срещат се и отделни самостоятелни халкоцит-ковелинови агрегати, във вид на впръслеци сред вместващата скала, сред кварц или като самостоятелни, свободни частици. Големината на тези агрегати варира и достига до над 100 µm.

Малахит. Малахитът се установява под формата на отделни частици от сферолитови агрегати и във вид на фини прожилки сред нерудна основна маса.

Магнетит. Магнетитът образува впръслеци сред вместващата скала и фини включения сред пирит. В единични случаи се наблюдават по-големи магнетитови агрегати в асоциация с пирит и халкопирит. Много рядко се срещат нееднородни магнетитови зърна с ламеларен строеж, с отсмесвания от илменит и включения от кварц (фиг. 1d).

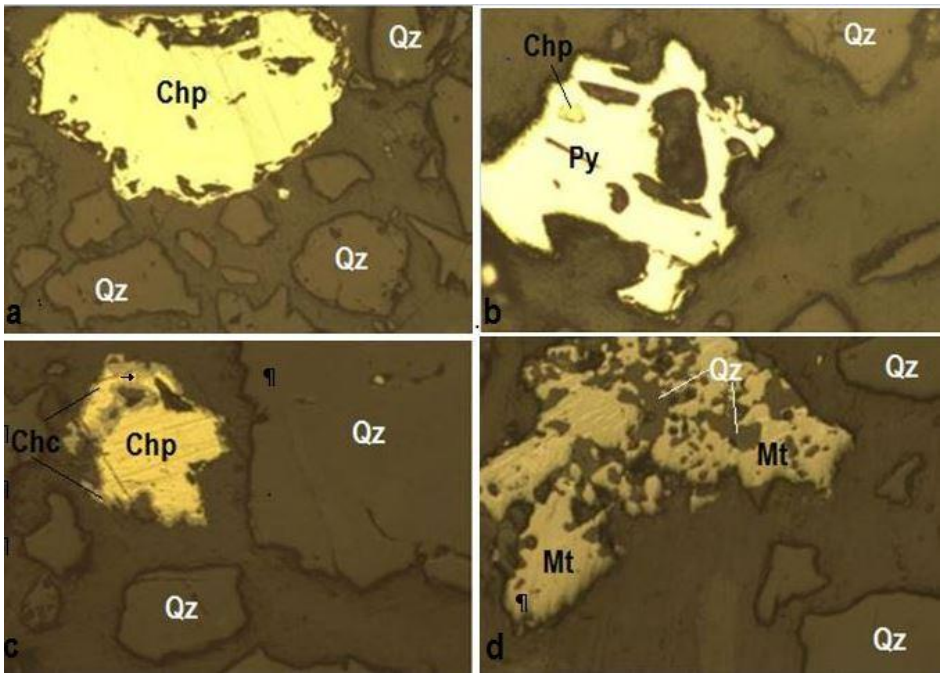
Мушкетовит (магнетитови псевдоморфози по хематит – спекуларит). В препаратите е наблюдавана единична мушкетовитова частица от удължени индивиди и агрегати с наследена морфология на първичния спекуларит.

Молибденит. Молибденитът се среща много рядко в изследваните препарати, под формата на люспести агрегати с големина до около 200 µm в кухини сред кварц.

Ti-съдържащи фази.

Рутил и **титанит** присъстват като акцесорни минерали във вместващата скала, като включения сред кварц и на места в асоциация с пирит и халкопирит. Вторични титанови променителни продукти се установяват в някои случаи около сулфидните впръслеци сред биотитизирани или хлоритизирани участъци от вместващата скала.

В изследваната руда от технолжката проба халкопиритът е основният руден минерал, носител на мед. В по-малка степен носители на мед са вторичните медни сулфиди – халкоцит и ковелин и медният хидрокарбонат малахит, който е по-слабо застъпен.



Фиг. 1. Микрофотографии на препарати-брикети от смесен тип сулфидно-оксидна руда, техноложка проба от меднопорфирно находище. Отразена светлина, N //, размер на видното поле 840 µm – a; 425 µm – b, c и d; a) Свободна частица от халкопирит (chp). Около нея – фрагменти от кварц (qz); b) Пирит (py), с фини включения от халкопирит (chp) и нерудни фази; c) Вторични медни сулфиди (предимно халкоцит - chc), развити във вид на кант по периферията на първичен халкопирит (chp); d) Нееднороден магнетит (mt) с ламеларен строеж и множество включения от кварц (qz).

Заключение

Резултатите от проведените изследвания на смесен тип сулфидно-оксидна руда, техноложка проба от меднопорфирно находище, дават основание за следните изводи:

- ❖ Анализираната рудна проба се характеризира с относително високо съдържание на мед – 0.554 %.
- ❖ Фазовият анализ показва следното разпределение на медта в минералите:
  - 55.40 % от медта е представена от първични медни сулфиди.
  - Медта под формата на вторични сулфиди е 23.74 %;
  - 19.78 % от медта е под формата на т.н. оксидна свободна мед;

- Първичната сулфидната мед е представена от халкопирит. Халкопиритът се среща както в самостоятелна форма, така и по-рядко във вид на срастъци с пирит и с магнетит. Минералът образува и впръслеци сред вместващите скали.
- Вторичната сулфидната мед е представена главно от халкоцит и ковелин и в незначителна степен от борнит. Халкоцитът и ковелинът се срещат съвместно във вид на кант, развит по периферията на халкопирита и фини прожилки сред него, както и под формата на самостоятелни частици.
- Оксидната свободна мед е представена предимно от малахит, който присъства самостоятелно под формата на отделни агрегати.

❖ Съдържанието на молибден в рудата е много ниско – 0.0029%. Носител на молибдена е минералът молибденит. Молибденитът се установява по-рядко, главно под формата на много дребни люспести агрегати сред кварц.

Минералният и химичен състав на изследваната сулфидно-оксидна руда обуславя прилагането на колективно-селективна флотация за обогатяване на рудата с цел получаването на висококачествени медни и пиритни концентрати.

Литература

Богданов, Б. 1987. *Медните находища в България*. Техника, 388 с.

Григорова, М., 2020. Геофизични методи при решаване на инженерно-геоложки задачи свързани с повишаване ефективността в условията на открит рудник „Хан Крум“, Сп. Геология и минерални ресурси, 6-7/2020, стр. 3-9, ISSN: 1310-2265.

Янкова, Т., Т. Ангелов, И. Нишков. 2021. Изследвания върху веществения състав и физико-механичните свойства на меднопорфирна руда. - *Год. МГУ „Св. Иван Рилски”, 64*, 103-108.

Bodurova R., I. Grigorova, I. Nishkov. 2011. Bulgarian mineral raw materials review. *In: Proc. of VI Symposium Recycling Technologies and Sustainable Development, Soko Banja, Serbia*, pp. 63-68.

Dilles, J. H., D. A. John, 2021. Porphyry and Epithermal Mineral Deposits. - In: *Encyclopedia of Geology (Second Edition),* 847 - 866.

John, D. A., R. D. Taylor. 2016. By-products of porphyry-copper and molybdenum deposits: Chapter 7. - In: *Rare earth and critical elements in ore deposits, v. 18* (Eds. Verplanck, P. L., M. W. Hitzman), 137-164.

Sillitoe, R. H. 2010. Porphyry-copper systems. - *Economic Geology, 105*, 3-41.

SULPHIDE ORE BENEFICIATION TO OBTAIN MOLYBDENUM CONCENTRATE – TECHNOLOGICAL INVESTIGATIONS

Teodora Yankova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: teodora.qnkova@mgu.bg

ABSTRACT. This paper presents and analyses the technological investigations carried out for the beneficiation of primary sulphide ore from a porphyry-copper deposit aimed at obtaining molybdenum concentrate. In previous works, the chemical, mineral, and particle size composition, as well as sulphide copper ore grindability were studied. Phase analysis for determining the forms of copper presence has been performed. Selective-bulk flotation flowsheet was developed, including three cycles: bulk flotation, copper-pyrite selection, and pyrite flotation. The optimal technological parameters for each flotation cycle have been experimentally determined. It was found that molybdenum is represented by molybdenite, mostly associated with chalcopyrite and less frequently with pyrite. Experiments were conducted with the copper-molybdenum concentrate from the technological sample laboratory to determine the optimum values of the main factors, which have a significant effect on molybdenum flotation. In conclusion, the results obtained have been summarised and analysed.

Key words: beneficiation, primary sulphide ore, molybdenum concentrate.

ТЕХНОЛОГИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ПО ОБОГАТИМОСТ НА СУЛФИДНА РУДА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА МОЛИБДЕНОВ КОНЦЕНТРАТ

Теодора Янкова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Настоящата разработка представя и анализира проведените техноложки изследвания за обогатяване на първична сулфидна руда от меднопорфирно находище с цел получаване на молибденов концентрат. При предишни изследвания са изучени и установени химичният, минерален и зърнометричен състав, както и смилаемостта на сулфидната медна руда. Определени са формите на присъствие на медта в рудата чрез фазов анализ. Разработена е схема на колективно-селективна флотация на рудата, включваща три цикъла: колективна флотация, медно-пиритна селекция и пиритна флотация, като експериментално са определени оптималните технологични показатели за всеки отделен флотационен цикъл. Установено беше, че молибденът е представен от молибденит, асоцииращ предимно с халкопирит и по-рядко с пирит. Проведени бяха лабораторни експерименти с медно-молибденовия концентрат от техноложката проба, за да бъдат определени оптималните стойности на основните фактори, които оказват съществено влияние върху молибденовата флотация. В заключение получените резултати са обобщени и анализирани.

Ключови думи: обогатяване, първична сулфидна руда, молибденов концентрат.

Въведение

Минералът молибденит, на който се дължи над 90% от световния добив на молибден, обикновено асоциира със сулфидните минерали на други метали, главно на медта. Съдържанието на молибден в рудите варира от 0.01 до 0.5%, като в медно-молибденовите сулфидни руди е 0.01-0.05% и достига до 0.12-0.5% в молибденовите сулфидни руди (Нишков, 2010).

Благодарение на специфичните свойства на молибдена (инертен по отношение на азота, въглеродния диоксид и др., устойчив на сярна, солна и флуороводородна киселина, алкални разтвори и течни алкални метали, магнезий, живак, бисмут и др.), молибденът намира широко приложение в различни области: в черната металургия, като легираща добавка за производството на стомана, чугун и специфични сплави; в химическата промишленост за производство на химикали, катализатори, инхибитори на корозия, пигменти, керамика, наноматериали, бои и покрития, като добавка за намаляване димоотделянето при изгаряне на различни материали (PVC, кабели, строителни материали и др.), за производството на торове и др.; в електротехниката за производство на електронни лампи, нагревателни елементи за лабораторни и промишлени пещи с температура 1700^{0}C, електрически контакти (за работа в тежки условия) и др.; в приборо- ракето-, самолетостроене и др. (Ковачева и др. 2010).

Сулфидните молибденови руди са по-малко разпространени, но поради големите им запаси и факта, че в тях съдържанието на молибден е в пъти повече от това в медно-молибденовите руди, имат важно значение (Ковачева, 2010). Производството на молибден от тези руди е основна дейност и най-често общите производствени разходи се поемат изцяло от получавания молибденов концентрат, за разлика от преработването на медно-молибденовите руди (Ковачева, 2010).

С разрастването на стоманодобивната, нефтената и газова промишлености, както и поради необходимостта от

устойчиви на корозия сплави, основни потребители на молибден, богатите на молибден руди се изчерпват. Търсенето на молибденови руди е сложен процес поради специфичните условия на тяхното образуване и залягане. Молибденовите руди са изключително неблагоприятни за пряко геолого-гефизично търсене и проучване. С известен успех е възможно прилагане на електротомографията – метод, базиран на изучаването на геоелектричния разрез на изследвания район, като неговата геоложка ефективност се обуславя от диференциацията на средата по специфично електрично съпротивление (Григорова, 2020). Това налага усилията на изследователите да бъдат насочени към изследване на възможностите за пълноценно извличане на молибден от бедни молибденсъдържащи руди.

Находищата на полезни изкопаеми, разработвани през последните години, като цяло се характеризират с относително ниско съдържание на полезни компоненти (Bodurova et al. 2011), поради което изследователите активно насочват усилия към разработването на технологии за обогатяване на бедни руди.

В лабораториите на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини”, МГУ „Св. Иван Рилски” е извършена подготовката на представителна сулфидна рудна проба и технологични изследвания за обогатимост. Целта на настоящата разработка е да представи проведените технологични изследвания за изучаване на възможностите за получаване на молибденов концентрат от представителна рудна проба от меднопорфирно находище.

За определяне веществения състав на първичната сулфидна руда от меднопорфирно находище предварително бяха извършени следните анализи: пълен химичен анализ и рентгеноструктурен дифрактометричен анализ на материал от техноложка проба, микроскопски наблюдения в отразена светлина на препарати от меднопорфирната руда и фазов анализ, за определяне формите на присъствие на медта в рудата.

Извършен е зърнометричен анализ при различна продължителност на смилане на изходната руда за изучаване на нейната смилаемост и е определена степента на разкриване на рудните минерали в различните класи на смляната руда.

Определено е разпределението на полезните компоненти (мед и молибден), по класи на рудата, смляна до 65% класа - 0.080 mm (Янкова, Григорова, 2022).

Проведени са техноложки изследвания за обогатяване на първичната сулфидна медна руда. Разработена е схема на колективно-селективна флотация на рудата, включваща три цикъла: колективна флотация, медно-пиритна селекция и пиритна флотация, като експериментално са определени оптималните технологични показатели за всеки отделен флотационен цикъл.

Резултатите от проведените техноложки изследвания показват, че разработената колективно-селективна схема на флотация, с получаване на меден и пиритен концентрат е ефективна за рудата от анализираната техноложка проба.

Получени са следните продукти и показатели: меден концентрат със съдържание на 21.3% Cu, 25% S, 0.33% Mo, при извличане съответно на Cu – 88.17%, на S – 26.8% и на Mo – 73.4%; пиритен концентрат със съдържание на 50.2% S и извличане на обща S – 66.5% (Янкова, Григорова, 2022).

Установено беше, че молибденът е представен от молибденит, асоциращ предимно с халкопирит и по-рядко с пирит. Наблюдава се в много дребни люспести слабо огънати индивиди, неравномерно впръснати в скалата или малки струпвания в гнезда заедно с кварц.

Апаратура, материали и методика

За определяне режима и показателите на молибденовата флотация с установените оптимални стойности на параметрите са извършени схемни опити със следните реагенти десорбенти и депресори на медните минерали и пирита: натриев сулфид, натриев хидросулфид и смес от двата сулфида 1:1.

При техноложките изследвания е използвана следната апаратура: топкова мелница за смилане на 1 kg руда с полезен обем 7 l, топкова мелница за досмилане, механични флотационни машини с обем на камерите 3 и 6 l, механична флотационна лабораторна машина с обем на камерите 500, 750, 1000, 1500 и 3000 ml, механични самоаериращи се флотационни лабораторни машини с обем на камерите от 60 до 330 ml.

Използвани бяха следните реагенти:

- натриев хидросулфид: 10 % разтвор;
- натриев сулфид: 10 % разтвор;
- смес от натриев хидросулфид и натриев сулфид: 10 % разтвор;
- водно стъкло: 1 % разтвор;
- керосин: 0.1 % емулсия;
- реагент събиратели – смес от изобутилов и изоамилов ксантогенат 1:1 + Hostaflot – 0,1 % разтвор;
- реагент пенообразувател – OrePrep X-133 – 0.1 % разтвор.

Резултати и дискусия

Проведени са лабораторни тестове за определяне на разпределението на полезните компоненти (мед, сяра и молибден), по класи на рудата, смляна до 65 % класа „-0.080 mm”. Проведени са микроскопски изследвания за определяне степента на разкриване (либерализация) на минералите халкопирит, пирит, молибденит и нерудните минерали в смляна руда до 65 % класа „-0.080 mm”.

Анализът на получените данни от ситовия и минераложки анализ на смляна руда до 65% клас „– 0.08 mm” показват следното:

- Медта основно се съсредоточава в класа „- 0.080 mm”, сярата – в класа „-0.20 + 0.025 mm”, докато молибденът е разпределен относително равномерно под 0.200 mm;
- Може да се приеме, че P65 – 0.080 mm е оптимална степен на смилане за сулфидната руда. Халкопиритът почти напълно (90 %) се разкрива при едрина на класа „- 0.125 mm”. Същото се отнася и за пирита. Молибденитът са разкрива напълно при едрина на зърната под 0.080 mm. Поради това се налага досмилане при медно-молибденовата селекция. Срастъците на сулфидите в класовете + 0.080 mm са предимно фини.

Определяне влиянието на основните фактори и оптималните условия на основна молибденова флотация

В съответствие с приетата методика за изследване бяха проведени серии лабораторни експерименти върху медно-молибденовия концентрат от техноложката проба, за определяне оптималните стойности на основните фактори, оказващи съществено влияние върху показателите на молибденовата флотация.

Беше определено влиянието на следните фактори в основна молибденова флотация:

- време за кондициониране с депресора за медните минерали и пирита – натриев хидросулфид;
- разход на водно стъкло в основна молибденова флотация;
- разход на керосин в основна молибденова флотация;
- плътност на пулпа;
- продължителност на основна молибденова флотация.

Опитите бяха проведени по схема, състояща се от основна молибденова флотация и две пречистни операции на концентрата. Въз основа на получените резултати могат да се направят следните изводи:

1. Когато за депресор на медните минерали и пирита се използва натриев хидросулфид, оптималното време за кондициониране на колективния медно-молибденов концентрат с депресора е 10 min.

2. Оптималният разход на водно стъкло в основна молибденова флотация е 500 g/t медно-молибденов концентрат.

3. Оптималният разход на събирателя за молибденита – керосин е 400 g/t медно-молибденов концентрат.

4. Оптималната плътност на пулпа в основна молибденова флотация е 25 - 30 % твърдо. При по-ниска плътност значително се понижава извличането на молибдена.

5. Флотацията на молибдена протича със задоволителна скорост. Необходимото време на основна молибденова флотация е 10 min.

Определяне на технологичните показатели на медно-молибденава селективна флотация

За определяне показателите на медно-молибденовата флотация бяха извършени схематични опити с пречистни операции до получаване на краен молибденов концентрат. Проведени бяха схемни опити с използване в качеството на депресор на медните минерали и пирита на натриев сулфид, натриев хидросулфид и смес от двата сулфида (1:1). Селекцията бе провеждана в „студен пулп“ – без предварителната му топлинна обработка.

Получените резултати показват, че независимо от вида на прилагания депресор за медните минерали и пирита, селекцията на медно-молибденовия концентрат протича при относително ниска ефективност. По изследваните схеми и режими на селекция от рудите на други порфирни находища се получават молибденови концентрати, съдържащи над 40 % молибден (Merazchiev, Troshanova, Vladov, 2008). От изследваната руда най-високи показатели са получени когато за депресор на медните минерали и пирита се използва смес от натриев сулфид и натриев хидросулфид в съотношение 1:1. В получения молибденов концентрат се съдържат 32% молибден, като извличането му в открит цикъл от колективния концентрат е 64%, а от руда – 46.7%.

Когато в процеса на медно-молибденовата селекция депресорите натриев сулфид и натриев хидросулфид се използват самостоятелно се получават по-ниско качествени молибденови концентрати – съответно 19.8 % при депресор натриев хидросулфид и 21,6 % - при депресия с натриев сулфид. Постигнатото извличане на Mo от колективен концентрат в открит цикъл с депресор натриев хидросулфид е 69.1 %, а от руда – то е 50 %. По-ниско извличане на молибден е получено когато за депресор е ползван натриев сулфид. Тогава извличането на молибдена от колективен концентрат е 62.2 %, а от руда – 45.4 %.

За изучаване веществения състав на крайните продукти от медно-молибденовата селекция са проведени химични и зърнометрични анализи. Химичният анализ на молибденовия концентрат показва значително съдържание на въглерод в него – 35 %. Наличие на въглерод бе установено в състава на рудна техноложка проба № 2, от която е получен медно-молибденовият концентрат, върху който са извършени настоящите изследвания. В рудата съдържанието на въглерод бе 0.1 %, а в медно-молибденовия концентрат – 0.42 %. Тъй като въглеродните частици притежават еднаква хидрофобност с молибденита, то в условията на селекцията те се извличат заедно в молибденовия концентрат.

Въз основа на химическия анализ е изчислен следният състав на минералите в 32 процентовия молибденов концентрат: молибденит – 53.3 %, халкопирит – 5.3 %, пирит – 2.5 %, нерудни минерали 10.9 % и 38% въглеродни продукти.

От зърнометричния анализ на общата проба от молибденовите концентрати е видно, че примесите от нерудни минерали и въглеродни продукти са съсредоточени в едрите им класи (+0.08 mm).

Загубите на молибден в отпадъка от медно-молибденовата селекция са съсредоточени главно във финитe класи – под 0.08 mm.

Заключение

Получените резултати показват, че селекцията на медно-молибденовия концентрат протича при относително ниска ефективност. По изследваните схеми и режими на селекция от рудите на други порфирни находища се получават молибденови концентрати, съдържащи над 40 % молибден. От изследваната технологична рудна проба най-високи показатели са получени когато за депресор на медните минерали и пирита се използва смес от натриев сулфид и натриев хидросулфид в съотношение 1:1. В получения молибденов концентрат се съдържат 32 % молибден, като извличането му в открит цикъл от колективния концентрат е 64%, а от руда – 46.7%.

Резултати от технологичните флотационни изследвания показват, че при обогатяване на рудната проба не би могло да се получи флотационен молибденов концентрат, който да представлява търговски продукт. Основната причина за това се дължи на специфичния веществен състав на сулфидната руда. Рудата съдържа въглерод, предимно с органичен произход, който достига в медно-молибденовия концентрат над 0.4 %.

Въглеводородните продукти са природно силно хидрофобни и при медно-молибденовата селективна флотация се извличат заедно с молибденита в молибденовия концентрат и го замърсяват, като вредни примеси.

Литература

Григорова, М., 2020. Геофизични методи при решаване на инженерно-геоложки задачи свързани с повишаване ефективността в условията на открит рудник „Хан Крум“, *Сп. Геология и минерални ресурси*, 6-7/2020, стр. 3-9, ISSN: 1310-2265.

Ковачева, В., В. Велев, И. Нишков, Т. Колева. 2009. Молибденът – метал с удивителни свойства и широко приложение, *Сп. Минно дело и геология*, 8-9/2009, стр. 39-42, ISSN: 0861-5713.

Нишков, И., *Аспекти при оптимизиране ефективността на флотационния процес*, Изд. Ритт, Силистра, 2010, ISBN 978-954-759-263-6.

Янкова, Т., И. Григорова, 2022. Разработване на технология за обогатяване на първични сулфидни руди, *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“*, 65/2022, ISSN 2738-8808 (print), стр. 55 – 60.

Bodurova R., I. Grigorova, I. Nishkov. 2011. Bulgarian mineral raw materials review. *In: Proc. of VI Symposium Recycling Technologies and Sustainable Development*, Soko Banja, Serbia, pp. 63-68.

Merazchiev, G., N. Troshanova, I. Vladov, 2008. Enhancement of the technological effectiveness of the selective copper – molybdenum flotation in inert gas medium (nitrogen), *In: Proc. of 24th International Mineral Processing Congress*, September, 2008, Beijing, China, 1205-1209.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF A MIXED-TYPE SULPHIDE-OXIDE ORE FROM A PORPHYRY-COPPER DEPOSIT

Teodora Yankova, Irena Grigorova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: teodora.qnkova@mgu.bg

ABSTRACT. Porphyry-copper deposits have significant economic importance as the primary source of copper. Laboratory studies were performed to determine the grindability of a mixed type of sulphide-oxide ore from a porphyry-copper deposit by a particle size analysis carried out at different grinding time (5, 7, 10, 13, 17, 22 min) of the ore feed. The liberation degree of the ore minerals in the different fractions of the milled ore has been determined by microscopic studies. The distribution of component Cu by fractions of the ore, ground to 65% of the 0.080 mm class was determined. A laboratory Bond test was performed, and the Bond Work Index was determined. The results of the conducted research show that the studied mixed sulphide-oxide ore is characterised by relatively easy grindability.

Key words*:* physico-mechanical properties, mixed type sulphide-oxide ore.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА НА СМЕСЕН ТИП СУЛФИДНО-ОКСИДНА РУДА ОТ МЕДНОПОРФИРНО НАХОДИЩЕ

Теодора Янкова, Ирена Григорова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Меднопорфирните находища имат важно икономическо значение като основен източник на метала мед. Проведени са лабораторни изследвания за изучаване смилаемостта на смесен тип сулфидно-оксидна руда от меднопорфирно находище, като е извършен зърнометричен анализ при различна продължителност на смилане (5, 7, 10, 13, 17, 22 min) на изходната руда. Степента на разкриване на рудните минерали в различните класи на смляната руда е определена с помощта на микроскопски изследвания. Определено е разпределението на Cu по класи на рудата, смляна до 65% класа 0.080 mm. Проведен е лабораторен тест на Бонд и е изчислен индексът на работата на Бонд. Резултатите от извършените изследвания показват, че изучаваната смесена сулфидно-оксидна руда се характеризира с относително лесна смилаемост.

Ключови думи: физико-механични свойства, смесен тип сулфидно-оксидна руда.

Въведение

Меднопорфирните находища имат важно икономическо значение като основен източник на метала мед в глобален мащаб. От тези находища се извършва 3/4 от световния добив на мед, като освен това се получават и други ценни метали – Mo, Au, Ag (Sillitoe, 2010; John and Taylor, 2016). Меднопорфирните находища съдържат бедни руди, с ниско съдържание на мед, но експлоатацията им е най-ефективна, поради наличието на голямо количество рудни запаси, открит способ за добив и получаването на странични продукти от ценни, съпътстващи метали, на места с по-голям икономически потенциал от доминиращия метал мед (Dilles and John, 2021).

С цел оптимизация на производствения процес, ключов елемент са предварителните проучвания и подготовката на рудата. Според Grigorova et al. (2020) включването на всяка налична предварителна информация за изследваното находище може значително да подобри качеството на продукцията. Подробната предварителна информация за изследвания тип руда е важна за качеството и прецизирането на производствения процес (Grigorova and Koprev, 2020).

В някои случаи в меднопорфирните находища се наблюдава вторична вертикална зоналност, като резултат от супергенни процеси. Над първичните сулфидни руди, разположени в дълбочина, се образуват зона на вторично сулфидно обогатяване и окислителна зона (Богданов, 1987). Трите типа руди – първични сулфидни, вторични сулфидни и оксидни руди, имат различен минерален състав и съответно различни физико-химични и флотационни характеристики.

В настоящата работа са отразени резултатите от извършените лабораторни изследвания за изучаване на физико-механичните свойства на смесен тип сулфидно-оксидна руда от меднопорфирно находище с цел разработване на ефективни технологии за получаване на меден концентрат с високи технологични показатели. Минералният и химичен състав на сулфидно-оксидната руда, както и формите на присъствие на медта в рудата, са определени предварително в началния етап на провежданите изследвания (Янкова, 2023).

Методи и материали

Лабораторните изследвания са извършени за изучаване на смилаемостта на смесения тип сулфидно-оксидна руда

и за определяне степента на разкриване (либерализация) на медните минерали, пирита и нерудните фази. Определен е енергийният индекс на Бонд. Всички изследвания са извършени върху материал от техноложка проба, съставена от сондажни ядки, с наличие на смесен тип руди от сондажите, с които е проучено меднопорфирното находище.

Зърнометричният анализ на изходната руда е извършен с лабораторна вибрационна ситова машина Analysete 3 с набор от лабораторни сита със следните размери на отворите на пресевните повърхности: 2.5 mm, 1.25 mm, 0.500 mm, 0.250 mm, 0.125 mm и 0.080 mm. Проведени са тестове за установяване на зависимостта между продължителността на смилане и едрината на смления продукт. Опитите са извършени при продължителност на смилане 5, 7, 10, 13, 17 и 22 min.

Проведени са тестове за определяне разпределението на компонентите мед и сяра по класи на рудата, смляна до 65 % класа „-0.080 mm”, както и микроскопски изследвания за определяне степента на разкриване на медните минерали, пирит и нерудни фази, във фракциите на същата руда, смляна до 65 % класа „-0.080 mm”.

За определяне индекса на работата на Бонд е използвана стандартна Bond мелница с размери D x L = 305x305 mm; обем на мелницата 22.3 dm^3; облицовка от гладка стомана; скорост на въртене 70 min^{-1} (85% $n_{кр.}$); мелеща среда - стоманени сфери с обща маса 22.544 kg.

Зърнометрията на мелещата среда е следната: - 43 сфери с d = 38.10 mm; 67 сфери с d = 31.75 mm; 10 сфери с d = 25.40 mm; 71 сфери с d = 19.05 mm; 94 сфери с d = 15.87 mm.

Подготовката на техноложката проба за изследванията и определянето на физико-механичните свойства на смесения тип сулфидно-оксидна руда от меднопорфирно находище са извършени в лабораториите на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, Миннотехнологичен факултет на Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски“.

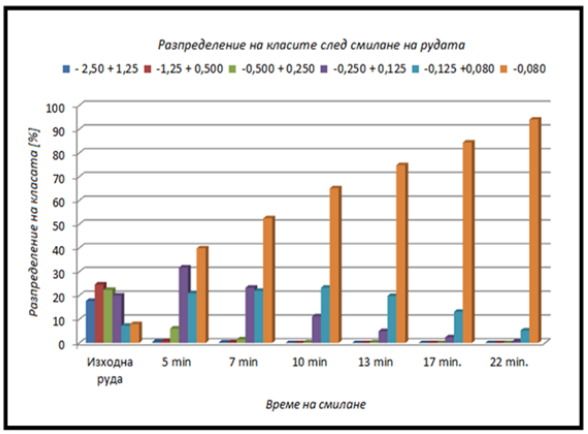
Резултати и дискусия

Изследване смилаемостта на рудата

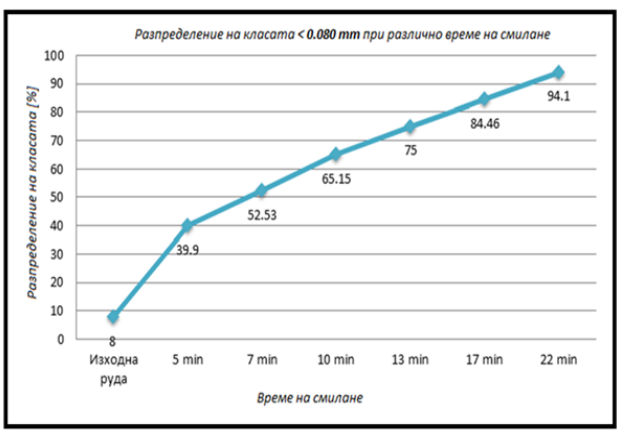
Резултатите от зърнометричния анализ, извършен на изходната сулфидно-оксидна руда и на получения смлян продукт след продължителност на смилане 5, 7, 10, 13, 17 и 22 min са представени в табл. 1 и на фиг. 1 и фиг. 2. Установява се, че необходимата продължителност на смилане на изходната руда за постигането на 65% класа -0.080 mm е 10 минути (фиг. 3).

Таблица 1. *Зърнометричен състав на сулфидно-оксидна руда, техноложка проба от меднопорфирно находище, при различна продължителност на смилане*

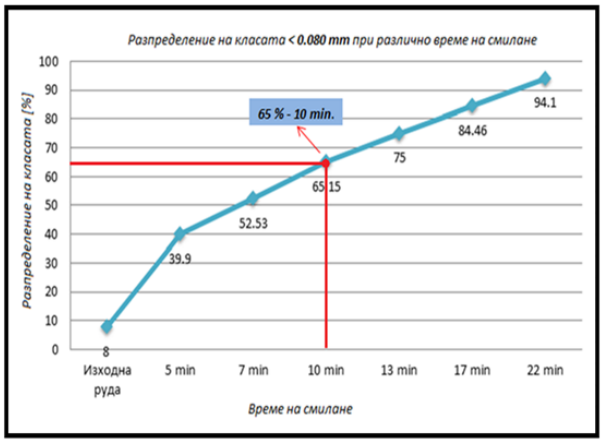
Изходна руда, класи (mm)	Добив, (%)	Време на смилане	Добив, (%)	Време на смилане	Добив, (%)	Време на смилане	Добив, (%)
- 2.50 + 1.250	17.70	5 min	0.55	7 min	0.30	10 min	0
- 1.250 + 0.500	24.66		0.73		0.36		0
- 0.500 + 0.250	22.35		6.10		1.51		0.30
- 0.250 + 0.125	20.02		31.81		23.30		11.22
- 0.125 + 0.080	7.27		20.91		22.00		23.33
- 0.080	8.00		39.90		52.53		65.15
Руда	**100.00**		**100.00**		**100.00**		**100.00**
- 2.50 + 1.250		13 min	0	17 min	0	22 min	0
- 1.250 + 0.500			0		0		0
- 0.500 + 0.25			0.30		0		0
- 0.250 + 0.125			5.00		2.40		0.60
- 0.125 + 0.080			19.81		13.15		5.30
- 0.080			74.89		84.45		94.10
Руда			**100.00**		**100.00**		**100.00**



Фиг. 1. Зърнометричен състав на сулфидно-оксидна руда, при различна продължителност на смилане



Фиг. 2. Разпределение на класа – 0.080 mm, в зависимост от продължителността на смилане



Фиг. 3. Определяне времето на смилане за 65% класа – 0.080 mm

Изследвания за определяне степента на разкриване (либерализация) на медните минерали, пирит и нерудни фази, в зависимост от степента на смилане на рудата.

Проведени са експерименти за определяне разпределението на компонентите Cu и S по класи на рудата, смляна до 65% класа – 0.080 mm и получените резултати са представени в табл. 2.

Извършени са микроскопски изследвания за определяне степента на разкриване (либерализация) на медните минерали, пирита и нерудните фази – съдържание на свободни частици и срастъци, в смляната руда до 65 % класа „-0.080 mm”. Резултатите от минераложкия анализ са показани в табл. 3.

Таблица 2. *Зърнометричен анализ с разпределение на компонентите Cu и S по класи на рудата, смляна до 65% клас - 0.080 mm”*

Класи (mm)	Добив (%)		Съдържание (%)		Разпределение (%)	
	Частен	Сумарен	Cu	S	Cu	S
+0.250	0.30	0.30	0.388	1.42	0.21	0.34
-0.250 + 0.125	11.20	11.50	0.532	1.665	10.73	14.80
-0.125 + 0.08	23.30	34.80	0.687	1.685	28.86	31.16
-0.080 + 0.040	19.35	54.15	0.713	1.657	24.87	25.45
-0.040 + 0.025	11.20	65.35	0.669	1.260	13.50	11.20
-0.025 + 0.010	16.36	81.71	0.461	1.047	13.59	11.65
-0.010	18.29	100.00	0.250	0.372	8.24	5.40
	100.0		0.555	1.26	100.00	100.00

Таблица 3. *Минераложки анализ на смляна сулфидно-оксидна руда до 65% клас – 0.080 mm*

Класи (mm)	Добив (%)	Свободни зърна (%)	Медни минерали
			Характеристика на срастъците
-0.250 +0.125	11.2	~45 - 50	Едри ~10%; ½ ~30%; Фини ~60% с кварц, с пирит.
-0.125+0.080	23.30	65 - 70	Едри ~10-20%; ½ единични; Фини ~75 - 80%.
-0.08 +0.063	7.68	~75	Главно фини включения от медни минерали в кварц.
-0.063 +0.040	11.71	80 - 85	Главно фини включения от медни минерали в кварц.
			Пирит
Класи (mm)	**Добив (%)**	**Свободни зърна (%)**	**Характеристика на срастъците**
-0.250 +0.125	11.2	~75	Най-често се наблюдават включения от пирит в кварц около ½ от зърната. По-редки фини с медни минерали.
-0.125+0.080	23.30	~75	Най-чести са включения от пирит в кварц.
-0.08 +0.063	7.68	~85	Най-чести са включения от пирит в кварц.
-0.063 +0.040	11.71	~85	Най-чести са включения от пирит в кварц
			Нерудни фази
Класи (mm)	**Добив (%)**	**Свободни зърна (%)**	**Характеристика на срастъците**
-0.250 +0.125	11.2	~75 - 80	Главно включения от пирит и медни минерали в кварц.
-0.125+0.080	23.30	~80	Главно включения от пирит и медни минерали в кварц.
-0.08 +0.063	7.68	~85	Главно включения от пирит и медни минерали в кварц.
-0.063 +0.040	11.71	~90	Главно включения от пирит и медни минерали в кварц.

Получените данни дават основание за следните изводи:

- Относително висока степен на разкриване (либерализация) на медните минерали показва класата „-0.063 mm” на рудата. В класата „-0.125+0.080 mm” се срещат значително количество фини срастъци на медните минерали с кварц.
- Рудната проба от смесени сулфидно-оксидни руди се характеризира с относително лесна смилаемост.

Определяне на енергийния индекс на Бонд.

Индексът на работата на Бонд се счита за най-универсалният показател, използван много широко в

практиката, за определяне смилаемостта на руди, индустриални минерални суровини, скали и други материали, в топкови и прътови мелници (Grigorova and Ranchev, 2019; Мочев, 2019). С този показател се определя необходимата енергия за смилането по разчетната класа (фиксирана големина на зърната) на даден материал. Съгласно общоприетата методика (Мочев и Григорова, 2013; 2014; 2015; Мочев, 2019), индексът на работата на Бонд е определен експериментално с тест за смилаемост в лабораторна топкова мелница на Бонд, работеща в затворен цикъл с циркулационен товар 250%. При проведените лабораторни изследвания са извършени 9 цикъла на смилане на изходната сулфидно-оксидна руда, с оглед получаването на достоверни, надеждни резултати.

Основните параметри на проведения тест на Бонд са следните:

Контролно (разчетно) сито - **P_c = 0.100 mm;** Количество на пробата за смилане - **M = 1210 g;** Количество на клас –P_c + 0 в пробата за смилане - **f = 14.5% = 0.145;** Приблизителна маса (изчислена) на подситовия продукт на разчетното сито при *„устойчив цикъл на смилане“* – **C = 345.7 g** с циркулационен товар от 250% .**C = M/3.5 g**

В таблици 4 и 5 е показан зърнометричният състав на изходната сулфидно-оксидна руда, натрошена до – 3.15 mm и на подситовия продукт от последния, девети цикъл на смилане на рудата.

Таблица. 4. *Зърнометрична характеристика на изходния продукт от смесен тип сулфидно-оксидна руда, след натрошаване до – 3.15 mm*

Клас (mm)	Добив (%)	Сумарен добив, (%)	
		+	-
-3.15 + 2.50	8.11	8.11	100.00
-2.50 + 1.60	20.68	28.79	91.89
-1.60 + 0.500	30.16	58.95	71.21
-0.500 + 0.315	8.00	66.95	41.05
-0.315 + 0.250	3.38	70.33	33.05
-0.250 + 0.080	14.31	84.64	29.67
-0.080 + 0.071	5.88	90.52	15.36
-0.071	9.48	100.00	9.48

Таблица 5. *Зърнометрична характеристика на подситовия продукт от последния цикъл на смилане на смесен тип сулфидно-оксидна руда*

Клас (mm)	Добив (%)	Сумарен добив, (%)	
		+	-
-0.100 + 0.080	21.28	21.28	100.00
-0.080 + 0.071	8.63	29.91	78.72
-0.071 + 0.063	6.38	36.29	70.09
-0.063 + 0.056	4.13	40.42	63.71
-0.056	59.58	100.00	59.58

Данните от проведения лабораторен тест, използвани за изчисляване на индекса на работа на Bond (W_i) са следните:

P_c = 100 µm; G = 1.74 g; F_{80} = 1.90 mm; P_{80} = 80 µm

Индексът на работа на Bond е изчислен по формулата:

$$W_i = 1.1 \cdot \frac{44.5}{Pc^{0.23} \cdot G^{0.82} \cdot \left[\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}}\right]},\ kWh/t$$

Резултатът за индекса на работата на Бонд (W_i) за изследваната сулфидно-оксидна руда има стойност **13.6 kWh/t.**

Изчисленият разход на енергия за 1 g новообразувана контролна класа (W_G) е **6.15 . 10^{-3} kWh/g**

Изводи

Получените резултати от проведените изследвания на смилаемостта на смесения тип сулфидно-оксидна руда, показват относително висока степен на разкриване (либерализация) на медните минерали в класата „-0.063 mm”. Тези данни, както и изчислените стойности на енергийния индекс на работата на Bond (W_i) и на разхода на енергия за 1 грам новообразувана контролна класа (W_G) показват, че изучаваният смесен тип сулфидно-оксидни руди се характеризират с относително лесна смилаемост.

Литература

Богданов, Б. 1987. *Медните находища в България*. Техника, 388 с.

Мочев, Д., И. Григорова. 2013. *Зърнометрична подготовка на суровините*. ИК “Св. Иван Рилски“, 421 с.

Мочев, Д., И. Григорова. 2014. *Практикум по зърнометрична подготовка на суровините*. ИК “Св. Иван Рилски“, 220 с.

Мочев, Д., И. Григорова. 2015. *Въведение в теорията и практиката на рудоподготовка и преработка на минерални суровини*. ИК “Св. Иван Рилски“, 362 с.

Мочев, Д. 2019. *Методи за определяне на технологичните характеристики на минерални суровини*. Печатница Разград- полиграф ООД, 448 с

Янкова, Т., Т. Ангелов, И. Нишков. 2021. Изследвания върху веществения състав и физико-механичните свойства на меднопорфирна руда. - *Год. МГУ „Св. Иван Рилски”, 64*, 103-108.

Янкова, Т. 2023. Веществен състав на смесен тип сулфидно-оксидни руди от меднопорфирно находище. - *Год. МГУ „Св. Иван Рилски”, 66/2023* (под печат).

Dilles, J. H., D. A. John, 2021. Porphyry and Epithermal Mineral Deposits. In: *Encyclopedia of Geology (Second Edition),* 847 - 866.

Grigorova, I., M. Ranchev. 2019. Mineral composition, lead-zinc ores grindability and Bond work index correlation – In: *Proceedings of the XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 19, issue 1.3*, 30 June – 06 July 2019, Bulgaria, pp.869-876

Grigorova, M., Koprev, I., Mining and technical conditions in open pit “Khan Krum” gold mine in Southeastern Bulgaria, XI International Scientific Conference GEOBALCANICA, 12-14 May 2020, Ohrid, North Macedonia, pp. 119-126.

John, D. A., R. D. Taylor. 2016. By-products of porphyry-copper and molybdenum deposits: Chapter 7. In: *Rare earth and critical elements in ore deposits, v. 18 (Eds. Verplanck,* P. L., M. *W. Hitzman),* 137-164

Sillitoe, R. H. 2010. Porphyry-copper systems. - *Economic Geology, 105*, 3-41

СЕКЦИЯ

ДОБИВ НА ЕНЕРГИЙНИ СУРОВИНИ

SECTION

EXTRACTION OF ENERGY RESOURCES

POSSIBILITIES FOR THE USE OF HYDROGEN IN THE NATURAL GAS DISTRIBUTION NETWORKS IN THE GREEN ENERGY SEGMENT

Martin Boyadjiev, Olga Stefanova Vlaykova, Teodora Hristova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: martinb@mgu.bg; o.vlaykova@mgu.bg; teodora@mgu.bg

ABSTRACT. The article describes the possibilities for the transport of hydrogen in gas networks mixed with natural gas. Options are described for hydrogen production using alternative energy to meet the Green Deal criteria. The specifics of the transport and distribution gas pipelines in Bulgaria are examined. According to their technical parameters, with the aim of high safety, a scheme of mixing hydrogen with natural gas is proposed. Based on the materials of the pipelines and the technical means of management and maintenance, the permissible concentrations of hydrogen are given. To achieve the possibility of a simplified assessment of the influence of hydrogen, a SWOT analysis was made regarding its impact on gas distribution and transport systems.

Key words: hydrogen, natural gas, green energy, networks, SWOT analysis.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВОДОРОД В ГАЗОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИТЕ МРЕЖИ В СЕГМЕНТА ЗЕЛЕНА ЕНЕРГИЯ

Мартин Бояджиев, Олга Стефанова Влайкова, Теодора Христова
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията се разглежда възможността за транспортиране на водород в газоразпределителните мрежи. Описани са варианти за производството на водород с използване на алтернативни енергии за спазване на критериите за зелена сделка. Разгледани са спецификите на транспортните и разпределителните газопроводи в България. Според техни технически параметри с цел висока безопасност е предложена схема на смесването на водорода с природен газ. На база на материалите на тръбопроводите и техническите средства за управление и поддръжка, са дадени допустимите концентрации на водород. За постигане на възможност за улеснена оценка на влиянието на водорода е направен SWOT анализ по отношение на въздействието му върху газоразпределителните и транспортни системи.

Ключови думи: водород, природен газ, зелена енергия, мрежи, SWOT анализ.

Introduction

In the European economy, a key factor is the implementation of the ambitious goals of the European Green Pact (“The European Green Deal,” 2019) for an energy transition to climate neutrality by 2050 through the decarbonisation of the economy. By 2030, CO_2 emissions in the EU must be reduced by at least 55% (Metalova, n. d.). Very shortly, similar requirements are expected to be enshrined in Bulgarian legislation, given the fact that the Bulgarian society, as part of the European family, is a party to the so-called Green Deal.

As a result of these global changes, many countries have started actions to decarbonise their energy. On a global scale, the share of renewable energy sources (RES) is growing (Alhorr et al., 2014; Mitkov et al., 2022). This process is long with a requirement for the development of new technologies and devices, respectively their digitisation, which makes it financially intensive (Basu et al., 2023). After successfully implementing technologies for the production of electricity and heat from solar, wind, and water sources (Georgiev and Lakov, 2011; Karadjov, 2021), the trend to replace natural gas with hydrogen fuel are imposed. This leads to the entry of technologies for the use of hydrogen. Generated by electrolysis using green energy (photovoltaics, wind generators, etc.), it is injected in different concentrations into the gas supply network. The concentration can vary widely between 5 and 50% depending on the system into which it is injected (*Implementing the repower EU action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets*, 2022).

In this regard, the possibility of using the existing gas supply networks in combination with hydrogen generated by renewable energy sources is on the agenda (“How pink hydrogen could add to the nuclear renaissance,” n.d.).

In support of the introduction of hydrogen technologies is their presence as an energy measure for decarbonisation alongside the recycling of raw materials and materials, the application of zero-waste technologies, smart technologies, clean food, affordable education, and clean, affordable and secure energy (Ejdys and Szpilko, 2022). Statistically speaking, from all types of measures, the share of research to achieve improvement of the energy efficiency of gas supply networks by using hydrogen generated by using the already listed RES and its application in the existing constructed network infrastructure

is currently increasing (Gondal et al., 2018; *The European Green Deal*, 2019). In addition, the convergence of different ecological energy sources in search of the synergistic effect of their joint work exists. Globally, the European Union requires not only the use of hydrogen in gas supply networks but also the digital tracking of flows not only of gas, but of all resources from the utility sector (“Directive 2009/73/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in natural gas and repealing Directive 2003/55/EC,” 2009). Open projects and programs convince the public of the safety and reliability of the technology, helping to achieve the criteria of sustainable development (“European Hydrogen Safety Panel”). This leads to an increase in the share of hydrogen use in gas supply networks in many European countries through the construction of mixed hydrogen-gas supply systems.

That is why the purpose of the article is to investigate the possibilities of applying hydrogen in pipelines in Bulgaria, clearly describing their advantages, disadvantages, threats, and prospects using the SWOT analysis method.

Specifics of mixed hydrogen-gas supply systems

The application of hydrogen in networks is technically carried out through the creation of "mixed systems". They aim to improve or replace existing gas supply systems with ones using a mixture of hydrogen and natural gas. Therefore, hydrogen can feed the existing gas supply networks, in different concentrations, so that a substantial reconstruction of the networks leading to significant resources is not required.

The efficiency of the functioning of the systems depends on the correct synergistic influence of the different energy sources according to the requirements of the standard, environmental conditions, and economic and infrastructural factors.

For a real assessment of the effectiveness of this technical solution, an adequate analysis of a working network on the territory of all European countries is necessary through digital measurement and tracking of the main parameters. The aim is to examine the benefits and efficiency for consumers and suppliers when changing the share of hydrogen in the networks. This will lead to the reduction of the consumption of fossil energy resources and the negative impact on nature, by the criteria for sustainable development of the European Union (“European Hydrogen Safety Panel”).

A major problem in achieving this goal is convincing consumers and a large proportion of small suppliers in the benefits of this investment. A SWOT analysis can show the strengths of implementing hydrogen in gas supply and gas transport networks, while also pointing out the dangers. In addition, society must be aware of the development opportunities and threats in the construction of mixed hydrogen-gas supply systems. The reason is that the injection of hydrogen is related to the study of its possibilities for use in urban distribution networks at a low risk to the population. To achieve the set goals, the gas-dynamic changes resulting from changes in the flow rate and pressure of the fluid due to an increase in the concentration of hydrogen in the network were analysed according to its characteristics. Based on this research, a SWOT analysis is presented.

State of the gas distribution and gas transport system in Bulgaria

The distribution systems in Bulgaria, as well as the networks, are subdivided according to the Ordinance on the device and safe operation of the transmission and distribution gas pipelines, and the facilities, installations, and appliances for natural gas according to their pressure into high, medium and low pressure (PMSN№171/16.07.2004, n.d.). At the same time, the material from which they are built can be steel, high-density polyethylene, copper and/or steel for internal installations, or another material, according to the requirements of the regulation, which are strictly specific to the transport of natural gas (Karadjov, 2022).

The systems also contain adapters, valve units, gas regulating and measuring stations, filters, pressure regulators and temperature and pressure correctors, solenoid valves, measuring devices, compensators, casings, and candles. These are complex facilities, the indicators of which need to be registered and controlled using a CAD system of the main parameters - pressure, flow rate, and temperature. All this is to ensure the security and safety of the system and third parties.

The study of hydrogen deployment methods has many specifics, such as properties of hydrogen, method of injection into the network, concentrations, and others, which is also part of the central topic of this article. The focus of these studies brings us to five aspects: gas transport; storage; type of distribution system; application to the end user; measurement and regulation (Ekhtiari et al., 2022). For safety, it needs to know the permitted amount of injected hydrogen in the system, and it is necessary to determine the permissible concentrations and the "neuralgic" points that are sensitive to this, i.e. the most vulnerable places. Limits on hydrogen levels vary widely by legislation, with up to 17% hydrogen content in natural gas being a feasible target without changes to existing technologies (Clegg and Mancarella, 2016). Briefly, for the sake of clarity, the following categories of factors reflecting the behavior of changing hydrogen concentration can be distinguished: material of the equipment and pipelines, their functions, method of injection, and the type of equipment at the end users.

Types of material

Steel pipes. It is known that hydrogen is lighter than air and the molecule has a small size, therefore it causes high diffusion not only in the gas distribution but also in the pipe walls based on the pressure variation due to the transient gas flow (Hafsi et al., 2018). This, in turn, leads to the ageing of the material, an increase in the brittleness of the steel, and the risk of leaks in the network. Such materials are the steel elements of the type API X52 and API X80, which are mainly used for the transportation of natural gas. They have low tensile plasticity, and the cracks grow at temperatures that are also characteristic of Bulgaria (Khwaja and Paul, 2022). Before using hydrogen in pipelines, a compatibility and corrosion resistance test should be performed because of the danger of overpressure and hydrogen corrosion. A suitable material to explore is nitrided steel or the use of higher-grade steel pipes, which would also increase safe working conditions, and reduce accidents and the possibility of leaks (Hristova, 2017).

Plastic pipes. Regarding the ageing parameter of high-density polyethylene, as well as PVC for some countries, larger

amounts of hydrogen could be injected, namely over 15% to 50%, for domestic 20%, given the corrosion resistance of the material (Ekhtiari et al., 2022). The reason is that these thermoplastic plastics have a higher ductility than metals. Unfortunately, there is an increased mobility of hydrogen, which is also the reason for the increased permeability of the pipe walls made of these materials. Permeability per day is reported, which depends on the pressure, but the difference between the amounts of methane and hydrogen is significant:

- Methane: 1.1 liters/km/day,
- Hydrogen: 2.3 liters/km/day (Melaina et al., 2013).

In the same study, the durability of these materials was reported to be increased compared to metallic ones, and their values are shown in Table 1. Therefore, it is imperative to study their compatibility with hydrogen in the transfer after a careful economic and technical analysis of the losses in the system from the point of view of its diffusivity compared to the high pressure polyethylene brands.

Table 1. *Percentage of a blend of H2G for different materials pipes*.

St pipes Up to 10-20% presence of H2 in the system, manufacturers recommend up to 7%.	**PEHD 100** Up to 35-50% presence of H2 in the system, manufacturers recommend up to 30%
Cu Up to 10% presence of H2 in the system, up to 7% is recommended	**PEHD 80** Up to 40% presence of H2 in the system, up to 10% is recommended

Types of network

Transportation systems. The transportation system includes components such as pipelines, gas turbines, compressors, compressor stations, etc. Their characteristics mainly depend on the material from which they are made, and for pipes it is steel. When tested in hydrogen mixed gases, they show the ability to work with up to 30% hydrogen-natural gas (H2G) mixture, while any increase in these amounts above these levels or at levels of 50% lead to critical corrosion activity towards the system components (Ekhtiari et al., 2022).

Turbines and compressor stations operate with a 10-20% H2G mix. However, manufacturers recommend lower hydrogen concentrations in the order of 1 to 5%, or of 5% to 7% at most (Ekhtiari et al., 2022). Major turbine manufacturers such as General Electric recommend H2G of up to 5%, while Siemens mandates 15%, and Mitsubishi Hitachi Powers report the highly efficient operation of their turbines of up to 30% (“How pink hydrogen could add to the nuclear renaissance,” n.d.).

In compressor systems, up to 20% concentration of hydrogen in the composition of natural gas does not negatively affect the system, but requires a degree of suitability in terms of the materials used and the ability of hydrogen to migrate. Therefore, lower concentrations in the order of 7-10% are recommended (Ekhtiari et al., 2022).

In general, the transport system in which mixtures between injected hydrogen and natural gas will be used requires material replacement and the use of alloyed and nitrided steels for the resistance of the material when working with the hydrogen-containing mixture (Melaina et al., 2013).

An important factor is the calorific value of the mixture, as that of hydrogen-natural gas is lower than that of natural gas. This parameter leads to the need for adjustments, regarding the appliances at the end customers. (ibid).

It was found that density changes significantly above 20% H2G. The lower density affects the flow rate by increasing it and with it the pressure. The delivery of larger quantities is necessary to satisfy the required flow rates of consumers, which is directly related to the ability of pipes and appliances to withstand the new pressures (Gondal, 2019; Gondal et al., 2018).

Gas distribution and supply networks

Gas distribution and supply networks made of high-density polyethylene do not show activity about the concentration of hydrogen in the H2G mix and there is no major corrosion hazard. Rather, in networks, the risk is of diffusion, migration, and leakage of gas into the atmosphere (Gondal, 2019; Gondal et al., 2018). Therefore, the implementation of systems to detect hydrogen leakage and create explosive conditions is of great importance, and it is necessary.

Table 2 shows the effect of hydrogen on the various elements of the system at different percentages of hydrogen in the systems (Ekhtiari et al., 2022; Gondal, 2019; Topolski et al., 2022).

Table 2. *Impact of H_2 in NG on the elements of gas supply systems*

Element	Percentage content H2	Need for action
Pipelines stee PE	0-20 % 31-50 %	unaffected Suitability adjustments
Gas compressors in transmission pipelines	10%	Suitability adjustments
Turbines	5-7% 10-20%	unaffected Suitability settings
Compressor stations low	0-7% 7.5-10%	unaffected Suitability adjustments
Boilers	0-7% 7-25%	unaffected Suitability settings
Gas burners sensors	0-7% 7-48% 10%	unaffected Suitability settings

Hydrogen injection methods

The injection is carried out by a group of hydrogen bottles in a system, the quantity being controlled by a computer system recording the flow parameters. The system in Fig.1. contains solenoid valves, taps, flowmeters, manometers, and regulators.

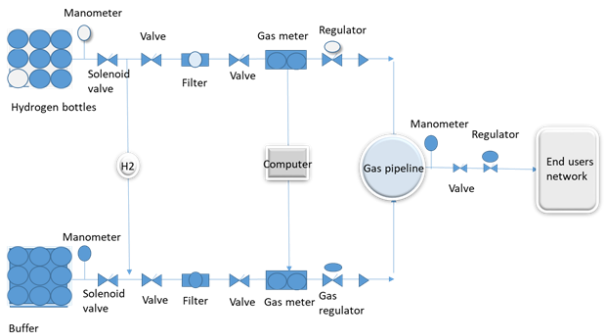


Fig. 1. Figure of hydrogen injection in the system

Another type of possible system is connected as shown in Fig.2 using RES to generate energy for hydrogen hydrolysis.

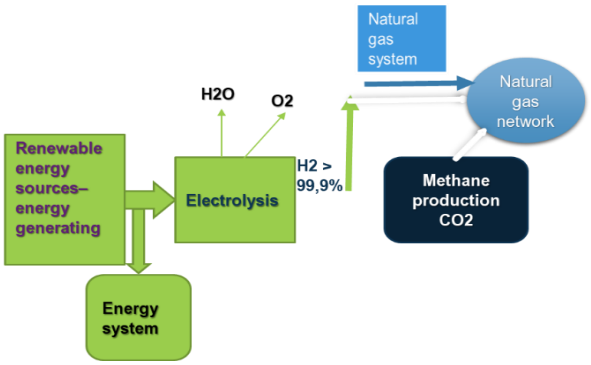


Fig. 2. Scheme of hydrogen generation and injection into the natural gas system, using RES to generate energy for hydrogen hydrolysis

The advantages of the first scheme are the possibility of stockpiling when increased supplies are needed, and the disadvantage is a risk in supplies, storage, and trouble-free operation with a requirement for technical supervision and storage. In the second scheme, there is no need for a warehouse, but there is no possibility of producing extraordinary quantities except in the presence of another installation. A detailed study of the injection capabilities and schemes will be the team's next study.

Devices at the end users

The devices at the end customers are also sensitive to the effects of hydrogen on the metal parts as they corrode, become brittle, and breakable. Their material must be compatible with the characteristics of the gas, iron, and specific conditions.

In terms of appliances, the Wobbe index is of utmost importance. This index shows the heating capacity of gases and their interchangeability. It is expressed as the calorific value of the fuel divided by the square root of its specific gravity. The Wobbe Index (WI) or Wobbe number is an indicator of the interchangeability of fuel gases such as natural gas, liquefied petroleum gas (LPG), and town gas and is often specified in the specifications of gas supply and transport services. The higher the index, the more calorific the gas and the greater the heat-generating capacity. Values of 48-58 MJ/nm^3 indicate the calorific value of natural gas, which defines it as having a high calorific value. For gases less rich in methane, the value is lower and is between 41-47 MJ/nm^3 (Gondal et al., 2018).

Table 3 shows the dependence of the WI index on the hydrogen content in the mixture (Gondal, 2019; Topolski et al., 2022).

Table 3 *Calorific value ratio in relation to the Wobbe index and the presence of hydrogen in the mixture*

	Wobbe IndexMJ/nm3	
H2 %	Low callorific value gas	High callorific value gas
0	48	58
10	47	57
20	46	56
30	45	51
40	44	50
50	43	49
60	42	48
70	41	46
80	40	45

Fig. 3 shows how the parameters of the Wobbe index change about the presence of hydrogen in natural gas at a concentration of 60%. The dependence then changes with increases (Zhao et al., 2019), but these values are not the subject of the present analysis.

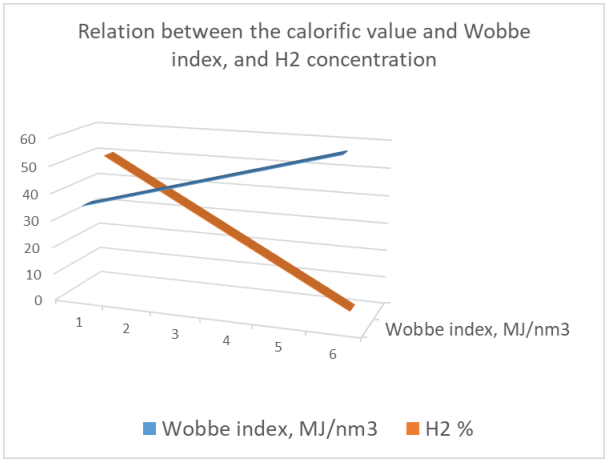


Fig. 3. Wobbe index in relation to the presence of hydrogen

The presence of hydrogen in the system decreases the Wobbe index as its concentration increases. The presence of hydrogen, depending on the percentage content, also determines the calorific value levels, as they move inversely proportional to the injected amounts of hydrogen in percentages compared to the natural gas in the system.

Regarding the natural gas flame, many authors claim that a 5% increase in flame speed and a rise in flame height are observed when hydrogen is introduced into the mixture up to 20%. For turbulent regimes in turbines, the authors claim that with a larger increase in speed of about 20%, the flame speed is also increased (Topolski et al., 2022).

SWOT analysis

Despite all the evidence for the perspective of hydrogen injection in transport and distribution systems, there are known technical parameters that show increased flame, permeability, and reduced calorific value. This leads to a certain amount of mistrust among consumers. Since a regulatory framework is in place and large companies have developed solutions and grant financial means, a method of convincing the public is needed. For this purpose, the presentation of this innovative idea using the SWOT analysis method is suitable in Table 4. It gives a clear idea of the advantages and disadvantages, development trends and opportunities, as well as expected threats.

The concrete explanation of the processes in the introduction of new technologies is a starting point for public approval and support, referring not only to consumers, but also to a large part of the business, i.e. future investors. Therefore, SWOT is presented regarding the interaction of pipe materials with hydrogen in the mixture of mixed hydrogen-natural gas systems and the resulting deployment opportunities. (Gürel, 2017; Sammut-Bonnici and Galea, 2015).

Undescribed matters and issues in the work are pressure variation as the H2G mix varies with pipe diameter, maintainability, the usability of cathodic protection, injection methods, and others, which will be future work of the team.

Table 4. *SWOT analysis*

	Internal factors	
System	**Strong points**	**Weak points**
Gas distribution, polyethylenes	Achieving decarbonisation; They have no activity towards hydrogen; Tolerate high concentration; Availability of patents and technically competent personnel; Good partnerships with local, regional, and national organisations; Improved customer service; High-quality information; Systematic control;	Hydrogen release; Reduced calorific value and low Wobbe index; High diffusion; Possible accidents; Lack of trained service personnel
Transport systems, Steel	Achieving decarbonisation; Persistent behaviour at the indicated concentrations; Increased diffusion; Production available; Investment and technical experience; Availability of patents and technically competent personnel; Systematic control	Reduced resistance to high concentrations; Corrosion; Accidents; Cracking of the steel; Lack of trained service personnel; The reduced caloric content and low Wobbe index;

	External factors	
Systems	**Possibilities**	**Threats**
Gas distribution and transport	Digitalisation; High traceability of parameters; Ability to analyze; Predictability of behavior; Changing technological parameters; The rapid development of technological opportunities in the field; Creation of a monitoring system; Availability of European programs for the introduction of hydrogen; The price per unit of energy is expected to decrease; Investment experience; Opportunity for scientists and businesses to participate in common projects;	Accidents; Increased funding; Need for staff training; Need for digital surveillance; Monitoring the regulatory base and its change; Lack of trust Increased flow rate requirement;

Conclusions

To reduce the carbon footprint, achieve increased efficiency, and meet the criteria for sustainable development, it is possible to use hydrogen in natural gas systems. The available regulatory framework, financial interest, and solutions from the major companies have been established. Despite some inconveniences in the application of hydrogen, such as increased diffusion and slightly reduced calorific value, there is indisputable evidence of its effectiveness and a major role in reducing the carbon footprint.

The complex technical parameters in presenting this innovation comprehensibly are overcome by a SWOT analysis, in which not only the advantages are explained, but also the risks and development opportunities and threats in the application of hydrogen. Such an analysis was made based on the types of networks, materials, facilities, and devices inherent in their operation. The clear, accurate, and categorical presentation of the latter is a factor in convincing the public of the benefits, as well as an opportunity to prepare a comparative analysis with other proposals. The presented SWOT analysis uses parameters, such as material resistance, corrosion resistance, permeability, flow rate, calorific value, safety, leakage losses, and the Wobbe index.

The comments and conclusions made are not final and definitive, because they can be enriched and developed as the number of applications of this technology increases.

Acknowledgements. The authors thank Project NI SEVE contract MON Do1-160/28.08.18, for the support in projects for the use of hydrogen technologies.

References

Alhorr, Y., E. Eliskandarani, E. Elsarrag. 2014. Approaches to reducing carbon dioxide emissions in the built environment: Low carbon cities. - *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3, 167–178.

Basu, P., P. Deb, A. Singh. 2023. Blockchain and the carbon credit ecosystem: sustainable management of the supply chain. - *Journal of Business Strategy* ahead-of-print. https://doi.org/10.1108/JBS-09-2022-0157

Clegg, S., P. Mancarella. 2016. Storing renewables in the gas network: modelling of power-to-gas seasonal storage flexibility in low-carbon power systems. - *IET Generation, Transmission & Distribution*, 10, 566–575. https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.0439

Directive 2009/73/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in natural gas and repealing Directive 2003/55/EC, 2009.

Ejdys, J., D. Szpilko. 2022. European Green Deal — research directions. A systematic literature review. - *EiS,* 81, 8–38. https://doi.org/10.34659/eis.2022.81.2.455

Ekhtiari, A., D. Flynn, E. Syron. 2022. Green Hydrogen Blends with Natural Gas and Its Impact on the Gas Network. - *Hydrogen* 3, 402–417. https://doi.org/10.3390/ hydrogen3040025

European Hydrogen Safety Panel [WWW Document], n.d.,URL https://www.clean-hydrogen.europa.eu/get-involved/european-hydrogen-safety-panel-0_en (accessed 22nd April 2023).

Georgiev, L., N. Lakov. 2011. *Analiz na vazmozhnostite za proizvodstvo na elektricheska energia ot razlichni energiyni iztochnitsi.* Presented at the IX NPK, FNTS, Sofia, Bulgaria, 135–141.ISSN1314-8931

Gondal, I. A. 2019. Hydrogen integration in power-to-gas networks. - *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 1803–1815. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.164

Gondal, I. A., S. A. Masood, R. Khan. 2018. Green hydrogen production potential for developing a hydrogen economy in Pakistan. - *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, 6011–6039. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.113

Gürel, E. 2017. SWOT ANALYSIS: A THEORETICAL REVIEW. - *jisr,* 10, 994–1006. https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1832

Hafsi, Z., M. Mishra, S. Elaoud. 2018. Hydrogen embrittlement of steel pipelines during transients. - *Procedia Structural Integrity*, 13, 210–217. https://doi.org/10.1016/ j.prostr.2018.12.035

How pink hydrogen could add to the nuclear renaissance [WWW Document], n.d. Spectra. URL https://spectra.mhi.com/how-pink-hydrogen-could-add-to-the-nuclear-renaissance (accessed 21st April 2023).

Hristova, T. 2017. Measures for restricting corrosion of a motor drive subjected to atmospheric corrosion in the plant for wastewater treatment. - *Quality-Access to Success*, 18(SI), 202–207.

Implementing the repower EU action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets, 2022. . EUROPEAN COMMISSION, Brussels.

Karadjov, M. 2022. Design, construction, maintenance, and service of domestic hybrid systems using natural gas. - *Mining and Geology*, 9, 42–46.

Karadjov, M. 2021. Problems, opportunities and solutions for the gas supply of households in Bulgaria. - *Min. and Geo. Sci*., 2, 33–36.

Khwaja, S. A., S. Paul. 2022. Inspection of Coated Hydrogen Transportation Pipelines. - *Applied Sciences*, 12, 9503. https://doi.org/10.3390/app12199503

Melaina, M., O. Antonia, M. Penev. 2013. Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues (Technical Report). NREL/TP-5600-51995.

Metalova, D. Upravlenieto na otpadatsite v ES i u nas - politika i finansovi instrumenti, (in Bulgarian), https://www.cmfnd.org

Mitkov, V., L. Georgiev, N. Lakov. 2022. *Production of electrical and thermal energy from natural gas*. Presented at the BULCAMK, pp. 87–91.

PMS №171/16.07.2004, n.d. Ordinance on the construction and safe operation of transmission and distribution gas pipelines and natural gas facilities, installations and appliances Ordinance on the construction and safe operation of transmission and distribution gas pipelines and natural gas facilities, installations and appliances [WWW Document]. https://ekspertis.bg/ document/view/law/118026/49958/ (accessed 21st April 2023).

Sammut-Bonnici, T., D. Galea. 2015. SWOT Analysis, in: Cooper, C.L. (Ed.), *Wiley Encyclopedia of Management*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp. 1–8. https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom120103

The European Green Deal, 2019.

Topolski, K., E. Reznicek, B. K. Erdener, et al. 2022. Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Infrastructure: Review of the State of Technology (No. NREL/TP-5400-81704). National Renewable Energy Laboratory.

Zhao, Y., V. McDonell, S. Samuelsen. 2019. Influence of hydrogen addition to pipeline natural gas on the combustion performance of a cooktop burner. - *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 12239–12253. https://doi.org/ 10.1016/j.ijhydene.2019.03.100

PROSPECTS AND OPPORTUNITIES FOR INCREASING THE CAPACITY FOR NATURAL GAS STORAGE IN UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES IN THE REPUBLIC OF BULGARIA

Lachezar Georgiev, Veselin Mitkov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: lachezar.georgiev@mgu.bg; veselin.mitkov@mgu.bg

ABSTRACT. The article analyses the prospects and opportunities for establishing an underground gas hub on the territory of the Republic of Bulgaria in order to increase natural gas storage capacity. This is related to the well-developed gas transmission pipeline network, the numerous entry points for gas supplies to Bulgaria, and its transit to other countries. A summary classification of underground gas storage facilities is presented, depending on their place of creation. The basic principles for the construction of underground gas storage facilities in depleted hydrocarbon deposits, aquifers, and impermeable rocks are discussed. The distribution of underground gas storage in the European Union is analysed and prospective sites for underground gas storage are recommended.

Key words: natural gas, underground gas storage facility, gas hub

ПЕРСПЕКТИВИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА КАПАЦИТЕТА ЗА СЪХРАНЯВАНЕ НА ПРИРОДЕН ГАЗ В ПОДЗЕМНИ ГАЗОХРАНИЛИЩА В РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Лъчезар Георгиев, Веселин Митков

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В доклада са анализирани перспективите и възможностите за създаване на подземен газов хъб на територията на Република България с цел повишаване на капацитета за съхраняване на природен газ. Това е свързано с добре развитата газопреносна мрежа, изградените множество входни точки за доставки на газ за България и неговото транзитиране за други държави. Представена е обобщена класификация на подземните газохранилища в зависимост от мястото на тяхното създаване. Разгледани са основните принципи за изграждане на подземни газови хранилища в изтощени залежи на въглеводороди, водоносни хоризонти и в непроницаеми скали. Анализирано е разпределението на подземните газохранилища в Европейския съюз и са предложени перспективни обекти за създаване на подземни газохранилища.

Ключови думи: природен газ , подземно газохранилище , газов хъб

Introduction

The establishment of an underground gas hub on the territory of the Republic of Bulgaria in order to increase natural gas storage capacity is an activity of strategic importance, which is related to ensuring the continuity of transportation and consumption of natural gas. This is related to compensating the seasonal irregularity in gas consumption, providing a strategic reserve of natural gas in case of supply disruptions, as well as to reserve the established gas transit system. The recent development of gas infrastructure in the region, including the Southern Gas Corridor projects, the implemented interconnections, and the available cross-border gas projects, justify the need to increase gas storage capacity. For this purpose, it is necessary to study and analyse the possibilities for the construction of an underground gas hub on the territory of the Republic of Bulgaria consisting of underground gas storage facilities.

Summary classification of underground gas storage facilities

A gas storage facility is a natural or artificially created technological complex in which natural gas is stored (Gerov, 2019).

Basically, gas reservoirs are classified according to their purpose and depending on the place of their creation (Gerov, 2019; Nikolov, 1993). According to the purpose, gas reservoirs are divided into:

- basic - to cover the seasonal (for several months) irregularity of gas consumption. They are characterised by relatively stabilised production regimes in the production period;
- peak - to ensure short-term (for several days) irregularity of gas consumption. They are characterised by significant variations of the daily productivity in the period of extraction;
- emergency - to form an emergency stock of gas used only in predetermined cases;

- strategic - used to secure a long-term supply of natural gas used in certain cases;
- complex - to ensure seasonal irregularity in gas consumption and to form an emergency or strategic gas reserve.

Depending on the place of establishment, gas storage facilities are divided into:

- underground gas storage in aquifers;
- underground gas reservoirs in depleted gas fields;
- gas condensate and oil reservoirs;
- underground gas reservoirs in rock salt.

Each type of storage is characterised by certain filtration, capacity parameters (porosity, permeability, m.h) and economic indicators (capital cost, operating cost, revenue, profit, internal rate of return, net present value, etc.), which determine the techno-economic efficiency (Mitev, 2006) of the establishment and operation of the reservoir. Most existing natural gas storage facilities are located in depleted natural gas or oil fields that are near consumption centers. Converting a field from a working field to a gas reservoir takes advantage of existing wells, gathering systems, and pipelines. Figure 1 shows the different types of underground gas storage.

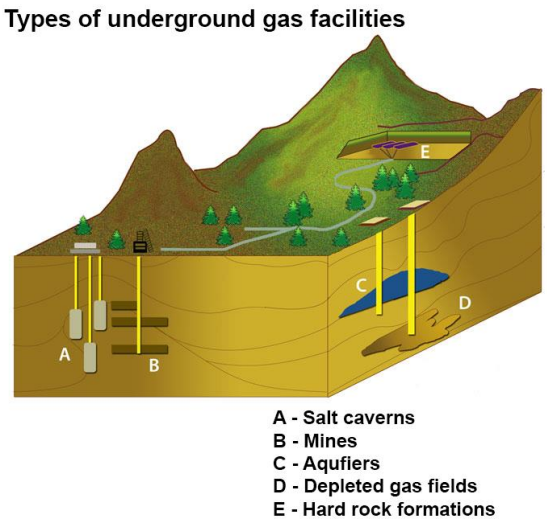


Fig. 1. Types of underground gas storage

The main parameters characterising the performance of underground storage facilities are: cycle, storage capacity (active and buffer gas volume, total volume), maximum storage throughput (when storage is full), minimum reservoir productivity (at the end of the production period), minimum and maximum formation and wellhead pressures, the quantity of production, monitoring, and control wells, and the required compressor station capacity to pump the gas.

Principles for the construction of underground gas storage facilities

The principles for the construction of underground gas storage include:

- Stage of design - design documents are drawn up (technological design for the creation of an underground gas storage facility and annual work projects);
- Multi-variant design - good established petroleum practice has proven that a process design for the creation of an underground gas storage facility should be multi-variant with different process parameters.

The steps in the construction of the Underground Gas Storage Facility are in the following sequence:

- Creation of a concept for an underground gas storage facility;
- Carrying out geological and exploratory work to investigate and analyse the possibility of creating gas reservoirs and expanding the existing ones;
- Technological design of underground gas storage;
- Environmental impact assessment and compatibility assessment;
- Technical design.

When creating a concept for creating an underground gas reservoir, it is appropriate to use neural networks (Boyadzhiev, 2023).

Distribution of underground gas storage in Europe

There are 27 Member Countries in the European Union and 19 of them have underground gas storage facilities. Europe's gas reservoirs are in aquifers, in depleted oil or gas deposits, in rock formations, or in salt formations. The total number of all underground gas storage facilities in the European Union is 160. Of these, 22 are in aquifers, 82 are in depleted oil or gas deposits, 2 are in rock formations, and 54 are in salt caverns. The country with the largest number of underground gas storage facilities is Germany with 60 UGS, while countries such as Belgium, Bulgaria, Greece, and Portugal have only 1 underground gas storage facility in operation. The data are shown in Table 1. Data on the amount of active gas in the Under Ground Gas Facilities of EU Member Countries are shown in Table 2.

Table 1. Number and type of UGS per EU Member Country

Country	Aquifer	Depleted deposit	Rock formations	Salt formations	TOTAL
Austria	-	9	-		9
Belgium	1	-	-	-	1
Bulgaria	-	1	-	-	1
Croatia	-	2	-	-	2
Czech Republic	1	7	1	-	9
Denmark	1	-	-	1	2
France	11	2	-	4	17
Germany	6	10	-	44	60
Greece	-	1	-	-	1
Hungary	-	5	-	-	5
Italy	-	21	-	-	21
Latvia	1	-	-	-	1
Netherlands	-	4	-	1	5
Poland	-	7	-	3	10
Portugal	-	-	-	1	1
Romania	-	7	-	-	7
Slovakia	-	3	-	-	3
Spain	1	3	-	-	4
Sweden	-	-	1	-	1
European Union	22	82	2	54	160

Table 2. Active gas volumes of UGFs of EU Member Countries

Country	Active gas volume, [bill. m^3]
Austria	9,942
Belgium	0,921
Bulgaria	0,500
Croatia	0,564
Czech Republic	1,585
Denmark	1,070
France	11,474
Germany	32,349
Greece	0,395
Hungary	7,127
Italy	5,174
Latvia	2,477
Netherlands	14,872
Poland	4,048
Portugal	0,406
Romania	4,643
Slovakia	4,817
Spain	3,505
Sweden	0,092

There are 6 countries that are not members of the European Union but are on the territory of the continent, they have a total of 36 underground gas reservoirs distributed as follows - 5 are in aquifers, 17 are in depleted oil or gas deposits, 0 are in rock formations, and 14 are in salt workings. Ukraine has the highest number with 13 underground gas reservoirs and Serbia with 1 UGS. The data are shown in Table 3.

Table 3. Number and type of UGS of non-EU countries

Country	Aquifer	Depleted deposit	Rock formations	Salt formations	TOTAL
United Kingdom	-	2	-	10	12
Belarus	1	1	-	1	3
Russian Federation (European part)	2	-	-	1	3
Serbia	-	1	-	-	1
Turkey	-	2	-	2	4
Ukraine	2	11	-	-	13
non-EU	5	17	-	14	36

The total number of underground gas storage facilities in operation on the European continent is 196.

Characteristics of the established national gas transmission and transit network in the Republic of Bulgaria

The total length of the gas transmission system of *Bulgartransgaz EAD* in the Republic of Bulgaria is 3276 km. Along these pipelines, which are the National (blue) and Transit (red) pipelines shown in Figure 2, there are 11 compressor stations, with the compressors at the Ihtiman CS and Petrich CS being two-stage centrifugal compressors, and the compressors at the Chiren UGS being reciprocating compressors (www.bulgartransgaz.bg). The gas transmission system has 240 domestic exit points, 2 entry points from upstream facilities, 1 connection point to storage facilities, 8 cross-border entry-exit points, and 1 in-country interconnection point.

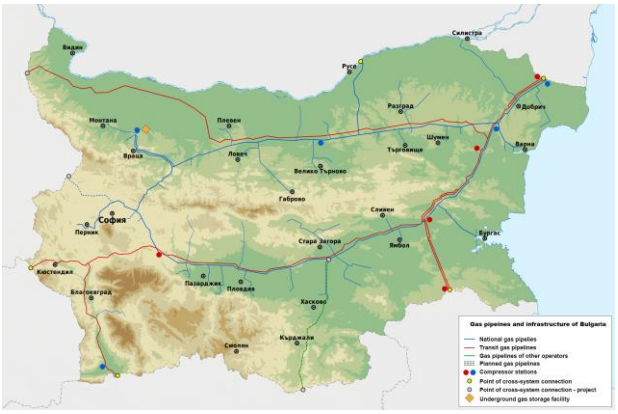


Fig. 2. Gas transmission network of the Republic of Bulgaria

The entry-exit points of the constructed national and transit gas transmission network are:

• **Negru Voda 1/Kardam** - Entry-exit point of interconnection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *STNG TRANSGAZSA*, Romania, with a pipeline diameter of DN 1200 and throughput capacity of 2.3 bill.m³/y

• **Negru Voda 2,3/Kardam** - Entry point of interconnection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *STNG TRANSGAZ SA*, Romania, with a pipeline diameter of DN 1200 and throughput capacity of 7.0 bill.m³/y

• **Kulata/Sidirokastro** - Entry-exit point of interconnection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *DESFA SA*, Greece, with a pipeline diameter of DN 700 and throughput capacity of 1.7 bill.m³/y

• **Ruse/Gyurgevo** - Entry-exit point of interconnection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *STNG TRANSGAZ SA*, Romania, with a pipeline diameter of DN 500 and throughput capacity 0.13 bill.m³/y

• **Strandja/Malkochlar** - Starting point of connection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *BOTAS*, Turkey, with a pipeline diameter of DN 1000 and throughput capacity of 4.3 bill.m³/y

• **Kyustendil/Zhidilovo** - Starting point of connection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *NOMAGAS*, North Macedonia, with a pipeline diameter of DN 500 and flow capacity of 0.56 bill.m³/y

• **Strandja 2/Malkochlar** - Entry point of connection between the networks of Bulgartransgaz EAD and TAGTAS, Turkey, with pipeline diameter DN 1000 and flow capacity 12.1 bill.m³/y

• **Kireevo/Zaichar** - entry-exit point of connection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *GASTRANS*, Serbia, with a pipeline diameter of DN 1200 and throughput capacity of 9.3 bill.m³/y

• **Stara Zagora** - Entry-exit point of connection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *ICGB*, Interconnector Greece - Bulgaria (ICGB new reverse gas interconnection between the gas transmission systems of Bulgaria and Greece). The length of the pipeline is 182 km, of which 151 km is on Bulgarian territory, with a pipeline diameter of DN 800. The capacity of the pipeline is up to 3 bill.m³/y with the possibility of increase up to 5 bill.m³/y by building a compressor station. The project has been successfully implemented by the

joint investment company *IGB AD* with shareholders *BEH EAD* (50%) and the Greek *IGI Poseidon* investment company (50%).

• **Kalotina/Dimitrovgrad** - Entry-exit point of connection between the networks of *Bulgartransgaz EAD* and *SRBIJAGAS*, Serbia, with a pipeline diameter of DN 1200.

Prospective sites for expansion and establishment of new underground gas storage facilities

Expansion of the Chiren Underground Gas Storage

The Chiren underground gas storage facility was established in 1974. It was created in a depleted gas condensate field. The reservoir is carbonate, composed of fractured and cavernous limestones, dolomites, and low-porosity sandstones. The average open capacity is 1.7% and the fracture capacity is 0.1%. From the hydro-gas-dynamic studies of the wells, a permeability of 3 to 130 mD was determined (Gerov, 2019). The mode of operation of the reservoir is water-intensive. 42 wells have been drilled on the Chiren gas-bearing structure. During the period of exploitation of the Chiren gas condensate field and subsequently during the periods of exploitation of the Chiren underground gas reservoir, the drilled wells were used for different purposes. Depending on the current condition and purpose, the drilling stock is divided into the following groups: exploitation-pressure wells - 24, piezometric/observation wells - 17, special-purpose wells – 1, and liquidated wells - 4.

A compressor station with a total installed power output of 10 MW and other technological facilities necessary to ensure the injection, production, and quality of the stored gas have been built at the Chiren underground gas storage facility.

The maximum daily production rate from all wells is 3.82 mln.m³/d (when the storage is completely filled), and the minimum daily flow rate for all wells is 0.5 mln. m³/d (at the end of the production period). The maximum daily injection flow is 3.2 mln.m³/d, and the minimum daily flow rate at injection is 0.5 mln. m³/d. Currently the active gas volume is 550 mln. m³.

A project to expand the Chiren underground gas storage facility is underway. The project foresees a phased increase in the capacity of Bulgaria's only gas storage facility to achieve higher volumes of stored gas and higher average daily production and injection rates (www.bulgartransgaz.bg). The project will increase the active gas volume to 1 bill.m³ and an increase in the maximum daily flow rate when producing from all wells to 10 mln.m³/d, as well as an increase in the maximum daily flow rate when injecting to 3.8 mln.m³/d. For this purpose, the formation pressure will be gradually increased to 150 bar. The expansion will be accomplished by drilling 10 new production/injection wells and 3 new observation wells, as well as constructing the necessary surface facilities (flowlines, individual separators, compressor station upgrades) and infrastructure.

For the implementation of the storage extension, the following exploration activities have been successfully carried out, both in terms of volume and quality: Geomechanical simulation of the Chiren reservoir, land gas analysis on the Chiren structure area, and 3D seismic surveys on the Chiren structure area.

Sites for new underground gas storage facilities

The Galata gas field

The possibility of transforming the Galata gas field into an underground gas storage facility should be considered in the context of a clarified concept of the need for new gas storage facilities. This concept should be developed on the basis of a decision on which of the following tasks is a priority:

- compensation of seasonal irregularities in gas consumption (seasonal gas storage);
- full or partial provision for a certain period of time of the gas consumption in case of emergency situations in the gas transmission system or in other exceptional circumstances (emergency gas storage);
- provision of a strategic reserve (back-up gas storage);
- redundancy of the gas transit system (redundant storage).

An underground gas reservoir, with the existing characteristics and infrastructure, can only be built if there is convincing evidence of favorable geological, technical, technological, and economic conditions. Otherwise, the investment risk is significant.

In case of unfavorable geological, technical, technological, and economic preconditions for the establishment of underground storage of natural gas, it is appropriate to investigate and analyse the possibility of underground storage of CO_2.

The Balgarevo gas field

Due to its location, the Balgarevo gas field is 60 km away from the main gas pipeline, which is a suitable factor for its transformation into an underground gas facility. The gas regime of the field (Gerov, Georgiev, 2007), the shallow depth, and isolation of the reservoir allow the use of the field as a gas reservoir after 3D seismic surveys and data processing, as well as processing of data from the hydro-gas-dynamic surveys conducted in the wells. The existing well stock is obsolete and new production wells need to be drilled and new surface equipment constructed. The bottom hole zone of new wells must be filtered to limit the export of mechanical impurities from the formation and the possibility of operating wells with a depression greater than 0.15 MPa. If the Balgarevo field is transformed into a UGSF, it is necessary to construct a 60 km-long transmission pipeline diversion.

The total storage capacity is set at 160 mln.m³ gas, of which 80 mln.m³ is the active storage volume and 80 mln.m³ is the buffer storage volume. The estimated maximum daily extraction flow is 0.83 mln.m³/d and the minimum daily flow is 0.5 mln.m³/d.

The Mirovo and the Monastery salt deposits

Prospects for natural gas storage exist in the salt bodies associated with the Mirovo salt field.

The Manastir salt field is strategically located 5 km from the gas main pipeline. At this stage, there is insufficient geological and geophysical information available on the deposit. The average insoluble residue in salt is 18.2 %. The estimated capacity of the salt chamber is 162 mln.m³, where the active volume is 114 mln.m³ and the buffer volume is 48 mln.m³. The estimated maximum daily extraction is 3.29 mln.m³/d, and the maximum daily injection flow is 4 mln.m³/d. The maximum wellhead pressure in the pumping cycle is 10.7 MPa, and the

minimum wellhead pressure is 3.12 MPa. Three stages of compression are required to compress the gas.

The Gorsko Slivovo aquifer structure

The Gorsko Slivovo aquifer structure represents an aquifer complex, attached to the carbonate overlays of the malm-valanzhina (Zaneva and Hristov, 2019).

The estimated cumulative storage capacity is estimated at 650 mln.m^3 gas, of which 300 mln.m^3 is the active gas volume in the storage facility and 350 mln.m^3 is the buffer gas volume. The expected maximum daily extraction is 10 mln.m^3/d.

Conclusion

The analysis identified the prospects and opportunities for establishing an underground gas hub on the territory of the Republic of Bulgaria in order to increase the natural gas storage capacity by expanding the existing Chiren underground gas reservoir and developing a concept for exploration of the considered depleted gas fields, aquifer structure, and salt deposits.

The establishment of an underground gas hub on the territory of the Republic of Bulgaria is of strategic importance, which is related to ensuring the continuity of transportation and consumption of natural gas.

The establishment of new underground gas storage facilities, from the commencement of exploration activities to their entry into regular operation, can be carried out over a period of 5 years if funding is secured.

References

Boyadjiev, M. 2023. *Neural networks in the gas industry*. "Print Factor”, Sofia (in Bulgarian).

Gerov, L., L. Georgiev. 2007. Analysis of methods for determining the regime of gas reservoirs in the initial stage of development, *Yearbook of the Mining and Geological University "St. Ivan Rilski", Sofia Vol.50*, St. I, Geology and Geophysics, 2007, pp 153-157.

Gerov, L. 2019. *Natural gas production and storage*. UMG "St. Ivan Rilski", Sofia, 297 pp. (in Bulgarian).

Karadjov, M. 2021. Problems, opportunities and solutions for household gas supply in Bulgaria. *Mining and Geology –, issue 2*, pp. 33-36 (in Bulgarian).

Mitev, V. 2006. Indicators for evaluation of investment projects for the extraction of mineral raw materials. *Sp. "Mining and Geology", no. 5*, 2006, pp. 22-23. ISBN 0861-5713 (in Bulgarian).

Nikolov, G. 1993. *Transport and storage of oil and gas.* UMG "St. Ivan Rilski", Sofia (in Bulgarian).

Popov, A., E. Kishkin, R. Ivanov, L. Gerov, G. Nikolov.. 1995. *Bugarias role in the supply of natural gas to the Balkan countries.* Balkan Black Gas Association, pp 14-16.

Zaneva, E., N. Hristov. 2019. Geological conditions for the construction of an artificial gas accumulation "Gorsko Slivovo" in Northern Bulgaria. *Mining and Geology, issue 3*, pp. 42-49 (in Bulgarian).

PROSPECTS AND OPPORTUNITIES FOR INCREASING THE EFFICACY AND SAFETY OF DOMESTIC NATURAL GAS INSTALLATIONS BY USING NEW UP-TO-DATE GAS PIPES AND FITTINGS

Mario Karadjov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: mario.karadjov@mgu.bg

ABSTRACT: The article analyses the prospects and opportunities for using new up-to-date gas fittings and pipes for domestic natural gas, which are produced from cross-linked polyethylene/overlapped welded aluminum/cross-linked polyethylene – for short called PEX-AL-GAS.
These pipes are well known in all over the world. They have been used for a long time for building domestic natural gas installations in Europe, Australia, North and South America. The use of PEX-AL-GAS is analysed: it leads to decreasing the domestic gas installation price, the time for building installations is down, and their efficacy and safety increase. The regulatory possibilities for and obstacles to the introduction of this material are discussed. The necessary administrative measures and regulatory changes for the widespread use of PEX-AL-GAS on the territory of the Republic of Bulgaria are proposed, which will accelerate domestic gasification. The result will be a further improvement in the well-being of the population and a significant reduction in the carbon emissions generated.

Key words: natural gas, government regulations, standards, gas pipelines and fittings

ПЕРСПЕКТИВИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА И НАДЕЖДНОСТТА НА БИТОВИТЕ ГАЗОВИ ИНСТАЛАЦИИ ЗА ПРИРОДЕН ГАЗ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА НОВИ СЪВРЕМЕННИ ГАЗОВИ ТРЪБИ И ФИТИНГИ

Марио Караджов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията са анализирани перспективите и възможностите за използване на нови и съвременни фитинги и тръби за битови газопроводни инсталации за природен газ, произведени от омрежен полиетилен с висока плътност и алуминиева вложка, с техническо наименование PEX-AL-GAS. Тези тръби са добре познати в световен мащаб. От години се използват за изграждане на битови газопроводни инсталации в Европа, Австралия, Северна и Южна Америка. Анализирано е използването на PEX-AL-GAS, което види до понижаване на цената на битовите газови инсталации, съкращава времето за изграждането им и значително повишава тяхната ефективност и безопасност. Разгледани са нормативните възможности и пречки за въвеждането на този материал. Предложени са необходимите административни мерки и нормативни промени за широкото използване на PEX-AL-GAS на територията на Р България, което ще ускори битовата газификация. Резултатът ще бъде повишаване на благосъстоянието на населението и значително понижаване на генерираните въглеродни емисии.

Ключови думи: природен газ, нормативна уредба, стандарти, газопроводни тръби и фитинги

INTRODUCTION

The activities to ensure the possibility of using natural gas for household needs on the territory of the Republic of Bulgaria are united by the widespread civil use - the word "Gasification".

For the realisation of gasification of a household, it is necessary to meet several requirements:

The first and main thing is to have a built-in urban gas distribution network to which the respective household can join in order to receive natural gas (there is also a way to supply natural gas by high pressure bottle installations, which is not a subject of this material).

In a number of countries with developed gasification, when natural gas started to be used, the gas pipes were produced from cast iron. Subsequently, they were replaced by steel pipes.

The use of steel pipes is associated with a number of difficulties, the main being the expensive and laborious welding and control process, and corrosion protection. For this reason, new materials for the production of gas pipes are sought.

As a result of this, nearly 20-25 years ago, gas pipes of PEHD 80 high-density polyethylene were manufactured, with a maximum working pressure of 4 barg. At the same time, the gasification process began in several Bulgarian cities.

Delayed domestic gasification (construction of urban gas distribution networks (GDN) in Bulgaria actually gave a wonderful opportunity to Bulgarian gas distribution companies – to use the most modern materials and technologies. The use of the new PEHD80 allows fast, secure, and efficient construction of GDN.

The construction of gas pipeline diversions to new households (consumers) is also easily and safely executed. At the same time, in countries with developed domestic gasification

(e.g. Italy), a larger part of GDN is realised with steel pipes with a large diameter and low operating pressure, which generally makes it more expensive to build, maintain, and include new users.

After PEHD80, PEHD100 was created, which allows the construction of gas pipelines up to Pmax = 10 barg. As a result and thanks to the use of high-density polyethylene pipes, which do not need corrosion protection, and their connection is performed quickly and securely by automated devices, over 5500 km of GDN have been built in over 35 towns in Bulgaria in the past 20 years only.

Today, no one is asking what type of pipe to use when you need to build a pipeline with working pressures up to 10 barg – the logical choice is PEHD. But the beginning of gasification was marked by the usual distrust and resistance from the institutions against the use of these new materials. Why? Because technology is usually ahead of lawmakers.

In Bulgaria, in addition, there is no specialised institution (such as DVGW in Germany) that ~~is~~ constantly works to synchronise technologies with regulations, in this case specifically in the field of gasification.

Despite the above mentioned obstacles and as a result of the adoption of the Energy Act at the end of 2003, in the accompanying secondary legislation, and in particular in "ORDINANCE on the Structure and Safe Operation of Transmission and Distribution Gas Pipelines and Facilities, Installations and Appliances for Natural Gas" and "ORDINANCE No 6 of 25.11.2004 on Technical Rules and Regulations for Design, Construction and Use of Sites and Facilities for Transmission, Storage, Distribution and Supply of Natural Gas", high density polyethylene pipes and fittings were listed as one of the options for materials for the construction of GDN.

Thanks to the foresight of the experts in the working group creating these regulations, so that it does not have to be constantly updated when creating new materials for the manufacture of pipes and fittings for natural gas, in the part what pipes and fittings are permissible in the construction of gas installations, it is written: "Gas pipelines of gas installations can be made of seamless or electro-welded steel pipes, copper pipes, high-density polyethylene pipes … and other pipes, specified for natural gas" and "The building gas installation /BGI/ shall be designed in compliance with the requirements of BDS EN 1775." Annex D of this standard deals with copper press joints and the PEX AL GAS system.

Possibilities for using PEX-AL-GAS high-density cross-linked polyethylene pipes

The choice of material for gasification construction is a multifactorial task that can be easily solved by applying criteria such as price, compatibility with cathodic protection, safety, chemical activity, durability, and others (Hristova, 2013).

The second condition for a household to be gasified is for the owner to invest the necessary amount of financial resources in his gasification investment project, which includes design, construction, and commissioning.

Currently, copper pipes are mainly used for the construction of internal gas systems (for domestic needs) in Bulgaria. These pipes and fittings are the most expensive possible material.

The implementation of gas installations with copper pipes is an expensive process, but it is also associated with the need to use highly qualified and responsible personnel. What we mean is that the process of joining the copper pipes is "brazing" with a solid solder by using a gas-oxygen high-temperature burner. The dangers, on the one hand, are from the use of explosive gases (oxygen and propane-bute), and on the other hand is the need for accurate and precise execution of the soldered joints by the staff to ensure durability and tightness of the gas installations. Unfortunately, the executive staff basically ignores the danger of working with explosive gases and the required safety measures are not observed. The main problem is the failure of the executive staff to comply with the technology of preliminary preparation of joints for brazing, as a result of which the soldered joints are compromised and exposed to the risk of cold cracks and gas release. In combination with the method of installation of copper pipes, namely tightly covered with putty, they become stationary and subject to the movement of the building, which also contributes to plastic deformations.

The latter, combined with a non-technologically executed brazed joint, is a prerequisite for future gas leakages.

Another dangerous approach is the use of a cold-press non-detachable copper compounds in hidden installations (under plaster or putty).

And the last but not least, the high cost of labor for the performance of soldered copper joints disadvantage is yet another disadvantage.

In order to avoid the shortcomings described in the construction of building gas installations with copper pipes and fittings, leading companies, such as *HENCO*, *VALSIR*, *REHAU* and others, have been producing high-density cross-linked polyethylene pipes with an aluminum insert for natural gas, designated as PEX AL GAS, for more than ten years.

Features of the PEX AL GAS system:

The PEX AL GAS system consists of multilayer cross-linked polyethylene pipes with an aluminum layer and brass press fittings. They are intended for use in installations for natural gas, propane-butane, and naphtha and other petroleum products. The PEX AL GAS system of multilayer polyethylene combines the positive characteristics of typical crosslinked polyethylene and those of aluminium.

Crosslinked high-density polyethylene HDPE, PE-X (a, b, c, d) guarantees excellent mechanical, physical, and chemical properties. The butt welded aluminum layer provides mechanical strength that provides flexibility and malleability to the pipe. Together, these characteristics of polyethylene and aluminum provide quick and simple operations when installing the system.

As a final result, the obtained product is composed of different composite layers connected to each other, allowing the achievement of excellent characteristics that can not be achieved with a pipe made of only one type of material.

The PEX AL GAS system is manufactured in accordance with the European norm BDS EN ISO 21003 [4] and the international standard for the production of multilayer system ISO 17484-1. Its reliability and quality are guaranteed by constant meticulous inspection of the production by various authorised bodies in accordance with BDS EN ISO 21003-1, (Fig. 1):

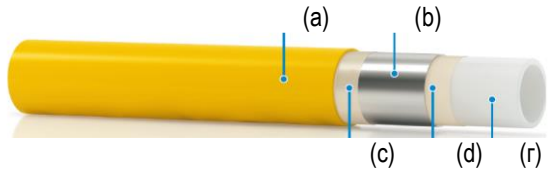


Fig. 1. Structure of a PEX Al GAS pipe

(a) outer layer – made of crosslinked polyethylene HDPE, PE-X... and acts as a mechanical, electrical, and chemical protection for the aluminum layer, protecting it from impact, scratching, and the electrochemical effects of water, cement, and other substances present in the soil;

(b) inner layer - it is made of aluminum alloy, butt welded along the length of the pipe providing a barrier to penetration of oxygen, gas, and light, providing the pipe with excellent mechanical strength and flexibility;

(c) bonding layers - they are made of strong glue, which provides excellent bonding of the layer of aluminum with the outer and inner layers;

(d) inner layer – made of crosslinked polyethylene high density HDPE, PE-X..., characterised by an extremely smooth surface that minimises pressure losses.

Working pressure: up to 500 mbar
Maximum working pressure: 5 bar;
Application: natural gas;
Operating pressure for gas installations: up to 500 mbar;
Temperature range of the fluid: - 60°C to + 100°C;
Softening temperature: +130°C;
Color: yellow RAL 1023;
Roughness: 0,007 mm;
Temperature expansion: 0,026 mm/mK;
Temperature conductivity: 0.42 ÷ 0.52 W/mK

Characteristics of the protective corrugated pipe for the PEX AL GAS system – (Fig.2):

Provides protection from UV rays;
Combustible material that slows down combustion;
Provides crush protection.

Fig. 2. Protective corrugated pipe

Section of a press fitting for the PEX AL GAS system (Fig.3):

Fig. 3. Section of a press fitting for the PEX AL GAS system

The PEX AL GAS system is the result of many years of experience in the production and use of multilayer pipes and the ability to use them in installations for combustible gases in buildings.

The fittings are manufactured from a special brass alloy with built-in rubber gas seals. The rubber gasket (O-rings) themselves are yellow type HNBR according to BDS EN 682. The pressing joint is made of AISI 304 stainless steel, fixed to the body of the fitting. It has two or four holes to control the press joint.

The end of each fitting, which enters the pipe, is covered with a teflon layer, which guarantees easy installation and non-dismantling of the joint. To increase the security of the joint, there are also metal cuts, which, when pressed additionally, provide mechanical and hermetic strength.

The pressed fittings of the PEX AL GAS system are non-detachable, durable, and with spatial strength connecting elements. The press fittings of the PEX AL GAS system for gas installations are marked on both sides with yellow color.

Installation of the PEX AL GAS system

For the installation of the PEX AL GAS system, each manufacturer provides installation instructions according to the BDS EN 1775 standard. Only original press fittings with an original HNBR sealing ring corresponding to the pipe – from one manufacturer – should be used.

Fixing of pipes

Gas pipelines must not be attached to other pipelines or used to carry other pipelines.

Gas pipelines should be fastened to the building structure with non-combustible fasteners – for example, metal clamps – and ordinary dowels – those can also be plastic.

Gas pipelines filled with PEX AL GAS pipes and fittings can be mounted:

i) In ventilation channels (Fig.4 - a and b):

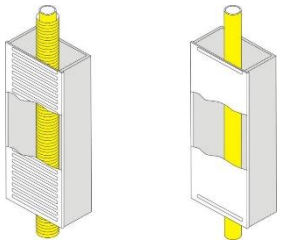


Fig. 4. PEX AL GAS pipes and fittings mounted:
a) outdoors (b) indoors

ii) In plaster (Fig.5) and/or putty (Fig.6) without cavity.

Thus, with gas gaps, the gas is safely taken out at both ends of the gas installation.

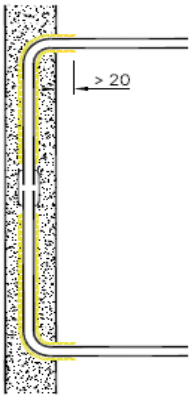


Fig. 5. PEX AL GAS pipes and fittings mounted in plaster

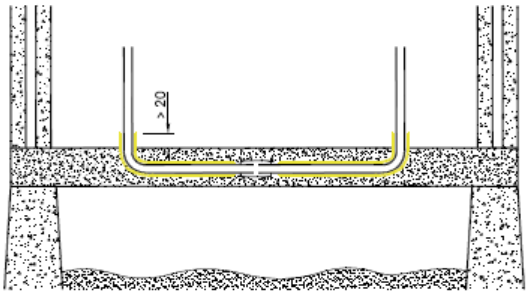


Fig. 6. PEX AL GAS pipes and fittings mounted in putty

iii) Underground installation (Fig.7)

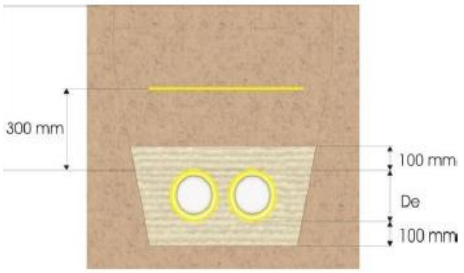


Fig. 7. Underground installation of PEX Al GAS pipes

iv) Installation in a channel (Fig.8)

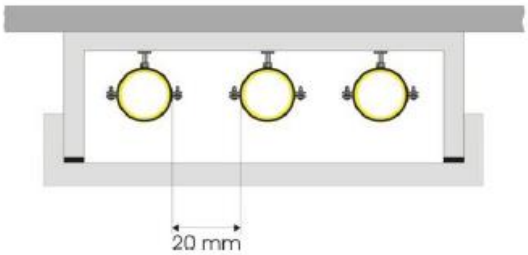


Fig. 8. Installation of PEX Al GAS pipes in a channel

Sample scheme for the construction of a domestic gas installation /DGI/ (Fig.9):

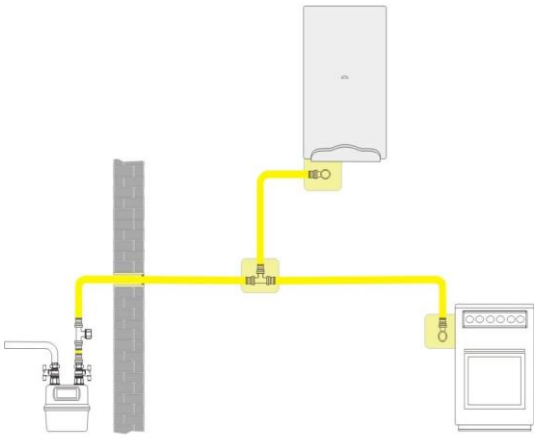


Fig.9. The PEX AL GAS pipe is necessarily laid in a corrugated pipe, which is brought out into protective boxes installed in the places with fittings

Outlet for gas appliance (Fig.10 - a, b):

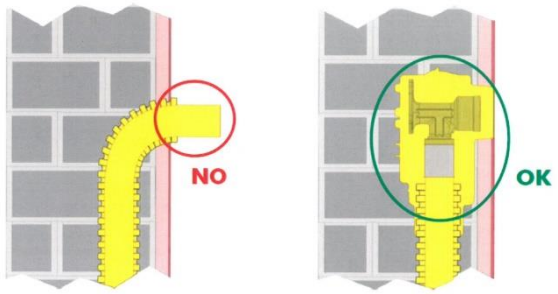


Fig. 10. a) incorrect b) correct

It is forbidden to open an installation by PEX AL GAS in a room with gas appliances.

The outlets for gas appliances are installed indoors in a box built into the wall.

Press tools and pressing profiles (jaws).

The press system has different press tools with the corresponding pressing profiles, most widely used in the market.

The plumbers can use press tools, which they possess. It is important to use pipes and fittings which are from the same manufacturer.The systems of press tools have press automation and equal pressing effort, guaranteeing quality connections.

Before the pressing process is completed, it is not possible to open the press jaws and remove the fitting.This ensures that pressing is always finished and that the pressed connection is of high quality. Some companies also offer tools for the control of pressed joints, (Fig. 11):

Fig.11. A tool for the control of pressed joints

Strength and density testing of gas pipelines of DGI, performed with PEX AL GAS system

After the construction of building gas installations, performed with a PEX AL GAS system, brass plugs are installed on all terminals and the mechanical strength of the pipeline is carefully checked.

Gas appliances, regulating, and safety fittings shall not be included in the test.

The strength and density test shall be carried out with air or inert gas in accordance with the requirements of the Ordinance on the Structure and Safe Operation of Transmission and Distribution Pipelines, Facilities, Installations and Appliances for Natural Gas.

The strength test pressure is recommended to be 5 bar;

The test pressure of density is equal to the operating pressure of the gas installation.

Advantages of the PEX AL GAS system from HDPE multilayer cross-linked polyethylene pipes, PE-X… with aluminum layer

The characteristics of the PEXAL GAS system make this product extremely reliable and easy to install;

The PEX AL GAS system has a guaranteed life expectancy of 50 years. Its mechanical characteristics are such that at room temperature, the tube ruptures at pressures above 100 bar;

The exceptional smoothness of the inner surface of the pipe minimises pressure losses.

Crosslinked polyethylene is extremely resistant to the abrasive action of fluids, so this system is not affected by the abrasive action of the gas and possible contaminants in it;

The PEX AL GAS system is extremely resistant to the corrosion action of the environment in which it is laid. For this reason, no additional measures need to be taken for its passive or active corrosion protection;

Flexibility and resistance of shape – the combination of cross-linked polyethylene and aluminum layer guarantees excellent bending properties. In addition, once bent, the tube retains its shape. For this reason, it does not need many fastening brackets, which significantly cheapens the cost of installation. Due to these qualities, this system is most reliable for use in earthquake areas;

The thermal expansion of the pipe is 8 times less than the other polyethylene pipes and approaches that of metal pipes;

The weight of PE XAL GAS pipes is 1/3 of the weight of copper pipes and 1/10 of the weight of metal pipes at the same DN;

Crosslinked polyethylene is three times more elastic than copper pipes and absorbs vibration;

The butt welded aluminum layer serves as an oxygen and light barrier, which is the cause of corrosion in other polyethylene pipes;

The tools used to build the PEX AL GAS system are standard, making it easy to install and operate. Reduced to zero errors or non-compliance with technology by the executive staff;

The system has fittings for the transition from a PEX AL GAS pipe to a copper pipe (Fig.12.), for cases where local norms require open gas pipelines to be performed only with metal pipes.

Fig.12. Fitting for transition from PEX AL GAS to copper pipe

Conclusion

So far, despite the statutory prerequisites for trouble-free use of the PEX AL GAS system in Bulgaria, for unclear reasons, its use has been tacitly stopped.

Unlike Bulgaria, where the implementation of new technologies is extremely difficult due to the lack of responsible institutions and streamlined norms, in a number of developed countries, such as Italy, Austria, Germany, Ukraine, China, South America, and others, this issue has long been resolved by the adoption of ISO 17484 and, on its basis, the issuance of local instructions for installation and operation.

A serious reference for the security and reliability of this system is the fact that all gas installations in the buildings of the artificial island PALM JUMEIRAH – DUBAI are built with *HENCO* PEX GAS.

Recommendation: It is necessary for the gas specialists in the industry in Bulgaria to unite and, together with the State Technical Supervision, to decide on the use of the PEX AL GAS system in building gas installations in compliance with the current regulatory requirements and prescriptions of the manufacturers.

The implementation of the PEX AL GAS system will provide the following opportunities for domestic gasification in Bulgaria:

- will ensure greater reliability and security of the built and commissioned gas building systems;
- will decrease the price of building gas installations, which will provide a larger range of the population with the opportunity to use ecological fuel natural gas (Boyadjiev and Georgiev, 2020);

The implementation of the previous two main advantages of the PEX AL GAS system will provide a significant reduction in carbon emissions generated by households.

References

BDS EN 1775 - Gas supply - Gas pipework for buildings - Maximum operating pressure less than or equal to 5 bar - Functional recommendations -Bulgarian Institute for Standardization (BIS);

BDS EN 61386 - Conduit systems for cable management – BIS;

BDS EN 682 - Elastomeric seals - Materials requirements for seals used in pipes and fittings carrying gas and hydrocarbon fluids – BIS;

BDS EN ISO 21003-1- Multilayer piping systems for installations in hot and cold water buildings. Part 1: General Specifications – BIS;

ISO 17484-1 - Plastics piping systems — Multilayer pipe systems for indoor gas installations with a maximum operating pressure up to and including 5 bar (500 kPa) — Part 1: Specifications for systems – BIS;

Boyadjiev M., L. Georgiev. 2020. *Running of gas infrastructure.* University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria, 180 p. ISBN 978-954-353-428-9. (in Bulgarian);

Hristova, T. Advantages and disadvantages of known insulations Criteria for selection of the insulation. A classification for the selection of insulation in accordance to the criteria and risk assessment for occurrence of corrosion, *Annual of University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia*, *Part III, 2013, issue 56*, p.128-132, ISSN 1312-1820.

ORDINANCE № 6 of 25.11.2004 on Technical Rules and Regulations for Design, Construction and Use of Sites and Facilities for Transmission, Storage, Distribution and Supply of Natural Gas;

ORDINANCE on the Structure and Safe Operation of Transmission and Distribution Gas Pipelines and Facilities, Installations and Appliances for Natural Gas;

Technical guide HENCO PEX GAS – www.henco.be

Technical instruction VALSIR PEXAL GAS – www.valsir.it

Bulgarian Energy Sector Act - prom. SG. 107/9 Dec 2003.

RESEARCH AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE POWER COEFFICIENT OF NEW TYPE MIXING DEVICE "KS - 3.1 PM"

Evgeni Kraychev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: evgeni.kraychev@mgu.bg

ABSTRACT. In this publication, serves the purpose of presenting the performance characteristics for power consumption in emulsion stirring for a new mixing device tentatively named "KS - 3.1 PM". The name comes from the design, which consists of a planetary mechanism with three gears mounted in an aluminum housing, from which bushings are welded, on which three energy-saving mixers are mounted. Thus, the rotary motion from the DC motor is multiplied, because we have motion around its own axis and along a ring gear. The power factor $K_N \leq 1.5$, for the working range of Reynolds is ($Re_б \geq 87\,000 \div 175\,000$), which meets the requirement $3.3.V_P \leq 4.5$ m/s and refers to the category of energy-saving mixers.

Key words: mixing device, energy-saving, planetary mechanism, emulsion.

ИЗСЛЕДВАНЕ И ОПИТНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА МОЩНОСТТА НА НОВ ТИП РАЗБЪРКВАЩО УСТРОЙСТВО „КС – 3.1 ПМ“

Евгени Крайчев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В настоящата публикация са представени получените резултати относно работните характеристики за консумираната мощност при разбъркване на емулсии за едно ново разбъркващо устройство, условно наречено „КС - 3.1 ПМ“. Наименованието идва от конструкцията, която се състои от планетарен механизъм с три зъбни предавки, монтирани в алуминиев корпус, от които са заварени втулки, на които са монтирани три енергоспестяващи бъркачки. Така въртеливото движение от правотоковия двигател се мултиплицира, защото имаме движение около собствена ос и по зъбен венец. Коефициентът на мощността $K_N \leq 1,5$, за работен диапазон на Рейнолдс е ($R_{еб} \geq 87\,000 \div 175\,000$), което отговаря на изискването $3,3.V_П \leq 4,5$ m/s и се отнася към категорията на енергоспестяващите бъркачки.

Ключови думи: разбъркващо устройство, енергоспестяване, планетарен механизъм, емулсия.

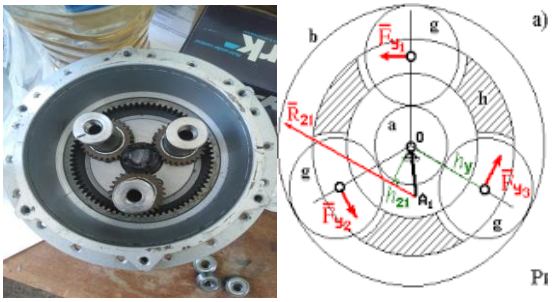
Въведение

Разбъркването е основен хидро-динамичен процес, който в повечето случаи е съчетан с топло- и масообменни процеси, осъществяващи се в реактори с механични бъркачки. С оглед на непрекъснатото повишаване на цената на електроенергията, особено значение придобива проблемът за намаляване на производствените разходи, респективно времето за хомогенизиране на системи газ-течност-твърда фаза. В почти всички производства от фармацевтичната, химическата, хранително-вкусовата и особено в биотехнологичната промишленост, ефективността на разбъркването и ниски производствени разходи са основни критерии за цената и качеството на крайния продукт. Бъркачките на новото разбъркващо устройство са подобрени модификации на наши предишни енергоспестяващи лопаткови и турбинни видове. Флуидът се атакува с „режещ ръб“, в резултат на което има диспергиране на газови мехури, което води до увеличаване на масообменната повърхност. Освен това бъркачките се въртят едновременно около оста си и по външния зъбен венец в алуминиевия корпус, като по този начин се наслагват радиални, аксиални и тангенциални компоненти на скоростта на разбъркване.

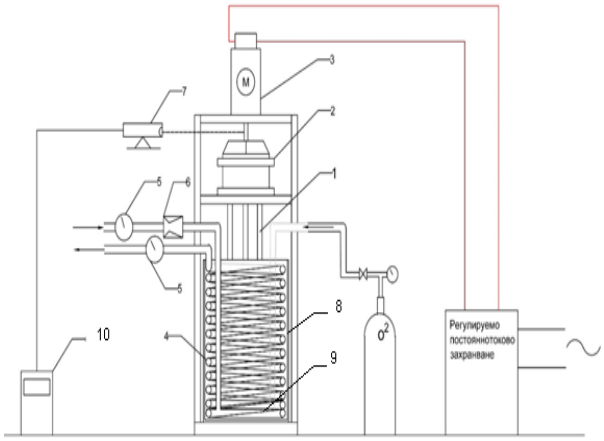
1. Схема на опитната постановка

Експерименталните изследвания са проведени на лабораторен полупромишлен реактор (8) с обем V_R=14,3 dm^3, изработен от плексиглас за по-добра визуализация на процесите. В него стандартно са монтирани 4 броя отражателни прегради (отбойници) и хоризонтално навита медна серпентина с дължина ($L_{серп.}$= 7,94 m). Преградите служат за избягване на ефекта на „фунията“ (завихряне на течността), а серпентината (4), в която тече топлоносител, служи за интензифициране на топлообмена и времето за разбъркване. На дъното на реактора е монтиран барботьор (9), служещ за насищане на средата с подходящ за целта инертен газ (кислород).

На фиг.1 е показан планетарния редуктор и схема на движението му. На фиг. 2, 3 и 4 са дадени снимки и схеми на основните възли от опитния стенд.



Фиг. 1. Планетарен редуктор и схема на движението му



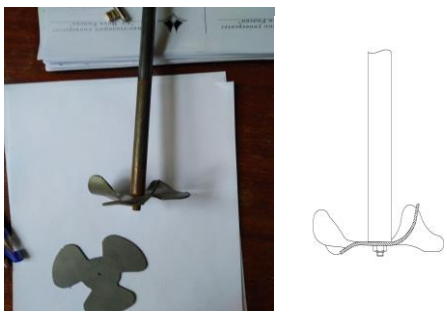
Фиг. 2. Схема на опитната инсталация
1 – енергоспестяващи бъркачки – 3 броя, 2 – планетарен редуктор, 3 – правотоков ел. двигател, 4 – медна серпентина, 5 – манометрични термометри, 6 – дигитален дебитомер, 7 – инфрачервен безконтактен оборотомер, 8 – реактор от плексиглас, 9 – барбутиращо устройство, 10 – записващо устройство

Фиг. 3. Снимка на опитната инсталация

Основният вал е зацепен към планетарен редуктор, от които излизат три работни органи. Честота на въртене на основния вал, респективно на трите бъркачки се регулира от автотрансформатор, а показанията се контролират от потенциометри съответно с волт- и амперметър, чрез калибровъчни криви.

Фиг. 4. Снимка на реактор 8 преди да влезе в работен режим

Монтирани са и чувствителни манометрични термометри (5) на входа и изхода на системата, както и дигитален дебитомер, отчитащ дебита в реално време. По този начин се съкращава времето за разбъркване, защото при една и съща мощност работят три бъркачки вместо една. Така се пести енергия при енергоемки процеси, които в някои случаи надхвърлят 200 часа в работен режим. Конструирана, изработена и охарактеризирана е нова конструкция на енергоспестяваща бъркачка, наречена КС 3.1ПМ (Крайчев, серия 3 в 1, планетарен механизъм), която атакува течността с режещ ръб и минимално съпротивление. На трите вала (фиг. 1), монтирани към планетарния механизъм чрез болтови сглобки, могат да се поставят различен тип бъркачки със съответните геометрични характеристики. По този начин може да се направи сравнителен анализ на хидродинамиката на процеса разбъркване. Различните модификации на разбъркващите органи дават различни резултати при еднакви работни характеристики, както на реактора, така и на допълните възли към него.



Фиг.5. Геометрия на разбъркващия орган

Лопатките прехвърлят течността, като движението е в радиална, аксиална и тангенциална посока. Другите видове бъркачки, като Елерон 1, Двоен импелер (Крайчев и Йорданов, 2003) и „Нарцис” (Крайчев, Йорданов и Попова, 2004), са изследвани в наши предишни трудове, но са модифицирани и подобрени откъм геометрични

размери и радиуси на закръгление с цел постигане на по-малко съпротивление, респективно по-малка мощност на разбъркване. Направени са и експериментални изследвания с най-масово използваните бъркачки, като шест лопаткова турбина „Ръштън“ и различни видове импелерни и пропелерни разбъркващи устройства с цел да се направи сравнителен анализ на величините, обуславящи ефективността на разбъркване. Резултатите показват по-добри мощностни характеристики при еднакви работни условия и критерий на Рейнолдс, който е безразмерна величина и показва характера на процеса, тъй като представлява скорост на флуида умножен по характерен размер и отнесен към кинематичен вискозитет. Този критерий определя вида на течението на флуида т.е. ламинарен, преходен или турболентен режим.

2. Представяне на резултатите

Първоначално е отчетена собствената мощност на празен ход при различни обороти n=200÷1000 min^{-1}, без устройството да бъде потопено в течна фаза. Така се отчита „нетната“ мощност на разбъркване на двете системи за вода и етилен гликол за три вида бъркачки. Изчислена е разликата между брутна мощност и собствената консумирана мощност на разбъркване (загуби от зъбни предавки и триене в лагерите). Видно е, че кривите на мощността на новото устройство са по-полегати, респективно използва се по-малко ел. енергия, тъй като работят едновременно три работни органа, на които са монтирани новата серия енергоспестяващи бъркачки. За интензифициране на топло- и масообмена, в медната серпентина тече топлоносител гореща вода с входна температура 78 °C и изходна 55 °C.

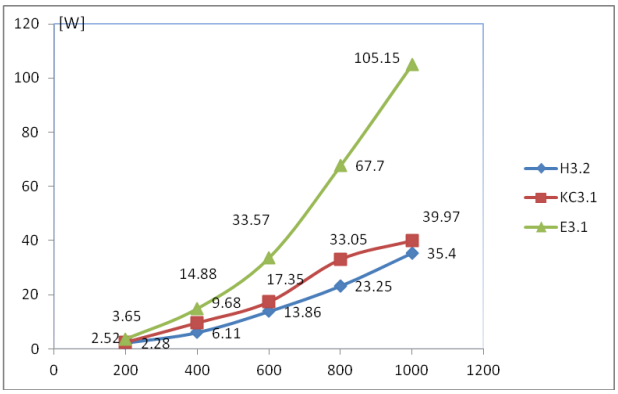
В таблици 1 и 2 са сравнени брутната и нетна мощност на разбъркване на вода и етилен-гликол за три серии буркачки. Оборотите на разбъркване варират от 200 до 1000 за минута. Във втората колона е изчислена мощността на празен ход, а в останалите колони са представени резултатите за трите серии бъркачки с различни флуиди.

Таблица 1. *Сравнение на брутната и нетна мощност на разбъркване за вода за 3 серии бъркачки*

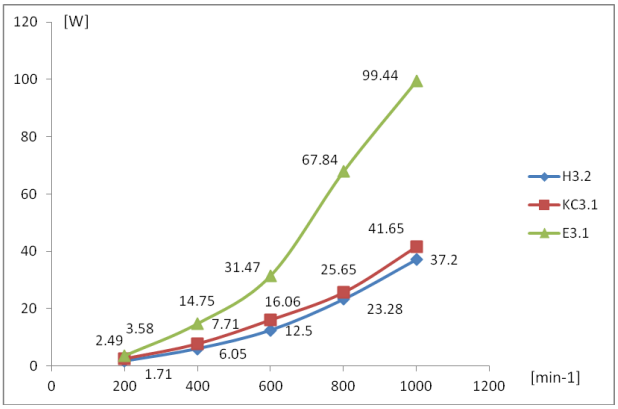
обороти	Мощност пр. ход	*Мощност на разбъркване бруто*		
Min^{-1}	[W]	*H 3.1*	*KC 3.1*	*Елер.3.1*
200	23,65	25,93	26,17	27,3
400	24,77	30,88	34,45	39,65
600	25,86	39,72	43,21	59,43
800	33,42	56,67	68,47	99,12
1000	62,67	98,07	102,6	167,82
обороти	**Мощност пр. ход**	***Мощност на разбъркване нето***		
Min^{-1}	[W]	*H 3.1*	*KC 3.1*	*Елер.3.1*
200	23,65	2,28	2,52	3,65
400	24,77	6,11	9,68	14,88
600	25,86	13,86	17,35	33,57
800	33,42	23,25	33,05	67,7
1000	62,67	35,4	39,97	105,15

Таблица 2. *Сравнение на брутната и нетна мощност на разбъркване за етилен гликол за 3 серии бъркачки*

Обороти	Мощност пр. ход	*Мощност на разбъркване бруто*		
Min^{-1}	[W]	*H 3.1*	*KC 3.1*	*Елер.3.1*
200	23,65	25,36	26,14	27,25
400	24,77	30,82	32,48	39,52
600	25,86	38,36	41,92	57,33
800	33,42	56,7	59,07	101,26
1000	62,67	99,87	104,32	162,11
Обороти	**Мощност пр. ход**	***Мощност на разбъркване нето***		
Min^{-1}	[W]	*H 3.1*	*KC 3.1*	*Елер.3.1*
200	23,65	1,71	2,49	3,58
400	24,77	6,05	7,71	14,75
600	25,86	12,5	16,06	31,47
800	33,42	23,28	25,65	67,84
1000	62,67	37,2	41,65	99,44



Фиг. 4. Графика на зависимостта на мощността на бъркачките от честотата на въртене за вода (данните са от таблица 1)



Фиг. 5. Графика на зависимостта на мощността на бъркачките от честотата на въртене за етилен гликол (данните са от таблица 2)

От графиките се вижда, че мощността на новите разбъркващи устройства е значително по-малка от познатия Елерон 3.1 при еднакви обороти на въртене, както и еднакви работни условия.

3. Заключение

Конструирана, изработена и охарактеризирана е нова конструкция на енергоспестяваща бъркачка, наречена КС 3.1 ПМ. Изследван и описан е коефициентът на мощността за две серии модифицирани бъркачки в лабораторен реактор с хоризонтално навита медна серпентина. Стойностите за K_N могат да се използват в практиката при изчисляване на теоретичната мощност за разбъркване съгласно уравнение:

$$P = K_N.\rho.n^3.d_b^5, W \quad (1)$$

Литература

Еленков, Д. 1962. *Процеси и апарати в химическата промишленост*, изд. Техника, София.

Дечева, С., И. Хинков, М. Кършева, С. Дянков. 2013. Моделиране на хидродинамиката в цилиндрични съдове с разбъркване, *Хранителна наука, техника и технологии, Пловдив 18-19.10. 2013.*

Крайчев, С. 2000. *Нови енергоспестяващи механични бъркачки за химическото, хранително-вкусовото и биотехнологично производство*. Хабилитационен труд, София.

Крайчев, Е., В. Йорданов 2003 *Топлообмен при разбъркване в течна среда в лабораторен реактор с нов тип аксиален импелер*, ЕМФ ТУ-София.

Крайчев, Е., В. Йорданов, И. Попова. 2004. *Опитно определяне коефициента на мощността на нов тип механично разбъкващо устройство-аксиален импелер*, ЕМФ ТУ-София.

Стренк, Ф. 1975. *Перемешивание и апараты с мешалками*, Химия, Ленинград.

Mann R. 1983. *Gas – Liquid Contracting in Mixing Vessels*, Rudby, London

VDI – Waermeatlas (2002) 9 te Auflage.

FEASIBILITY ANALYSIS OF HYDROGEN PRODUCTION FROM SEAWATER

Yuli Radev, Martin Boyadzhiev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: yuli.radev@mgu.bg; martinb@mgu.bg

ABSTRACT. As the population grows and industrial production expands, energy demand and the use of fossil fuels as a source of energy increase. This leads to the release of greenhouse gases (GHG) and increased air pollution. That is why more and more countries are looking for alternatives to fossil fuels for energy production. The use of hydrogen as an energy carrier is one of the most promising options for replacing fossil fuels in electricity production. Therefore, it is extremely important to study cost-effective ways to produce hydrogen.

Key words: feasibility analysis, hydrogen, seawater.

ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ПРОИЗВОДСТВОТО НА ВОДОРОД ОТ МОРСКА ВОДА

Юли Радев, Мартин Бояджиев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. С разрастването на населението и разширяването на индустриалното производство се увеличават енергийното търсене и потребление на изкопаемите горива като източник на енергия. Това води до освобождаване на парникови газове (GHG) и повишено замърсяване на въздуха. Ето защо все повече страни търсят алтернативи на изкопаемите горива за производството на енергия. Използването на водород като енергиен носител е една от най-перспективните възможности за замяна на изкопаемите горива в производството на електроенергия. Затова е изключително важно да се разработи методология за технико-икономическа оценка на производството на водород.

Ключови думи: технико-икономически анализ, водород, морска вода.

Въведение

Целта на настоящия доклад е чрез сравнителен анализ на вече извършени емпирични изследвания да се изведе методология за проектиране на оптимална, от гледна точка на производствените разходи, система за производство на водород от морска вода, която да е приложима за условията на България и Черно море. Изчисленията са направени на базата на електролизатор с мембрана за обмен на протони (PEM), чийто входящ дебит е 300 L/h. Изискването е на входа на електролизатора морската вода да е с проводимост в диапазона от 0,1÷1 μS/cm. Разходите за производство на водород в тази система се оценяват на 2,90 €/kg H_2. Методологията дава възможност да се определи най-добрият сценарий за производство на електроенергия при използването на възобновяеми ресурси, такива като фотоволтаични (PV) устройства, вятърни турбини, както и електроенергия от мрежата, в зависимост от местоположението на изследвания обект.

В направените изчисления се допуска, че съществува кабел от мрежата до офшорната локация на обекта, затова се изключват разходите за кабели и разпределителна инфраструктура. Важна роля в методологията имат оптималните модели на микромрежите и разпределението на енергийните ресурси, които се извеждат при зададени финансови показатели - номинална дисконтова норма, норма на инфлация, продължителност на оперативния живот на проекта и данък CO_2.

Разрастването на населението и разширяването на индустриалното производство са причина за непрекъснато нарастващото потребление на енергия. Изгарянето на изкопаеми горива в процеса на производство на енергия, обаче, освобождава парникови газове и увеличава замърсяването на въздуха. Концентрацията на CO_2 в атмосферата нараства непрекъснато, като периодът на разпад на това химично съединение е над 1000 години. Това е основната причина, поради която учени и правителства полагат все повече усилия за намаляването на нивата на CO_2 в атмосферата. Едно от най-дискутираните решения за ограничаване на повишаващата се концентрация на CO_2 в атмосферата, а по този начин и за намаляване на ефекта на глобалното затопляне, е замяната на изкопаемите горива с алтернативни енергийни източници.

Водородът, който е с една от най-високите специфични енергии (142 MJ/kg), е обещаваща алтернатива на изкопаемите горива. Той може да се произвежда от електролиза на вода, като се използва електричество от възобновяеми енергийни източници, което води до най-ниския CO_2 отпечатък в световен мащаб (Bansal S. et al, 2020). Водата е ресурс в изобилие, който покрива приблизително 71% от повърхността на Земята. По-голямата част от този ресурс все пак е солена вода в

океаните и моретата. Съвременните технологии за електролиза не могат да използват директно морската вода. Те се нуждаят от пречистена вода с ниска проводимост (Meier K., 2014). От своя страна използването на питейната вода за електролиза води до конфликт на интереси, имайки предвид, че тя е с висока себестойност и е дефицитен ресурс в много географски области, най-вече в Близкия изток и Африка. Така обезсоляването на водата е важен фактор както за производството на водород от морска вода с електролизатори, така и за осигуряването на достъп до питейна вода.

На този етап Северно море е най-подходящото място за производство на енергия от възобновяеми източници в Европа. Това го прави едновременно източник на възобновяема енергия и източник на вода за производство на водород с електролизатори. Ето защо опитът в Северно море е добра референтна база за извеждане на методология и събиране на всички необходими данни за технико-икономически анализ на възможностите за „офшорно“ производство на водород в България от водите на Черно море.

По-конкретно, нашето внимание е насочено към платформата Q13a, която е първият офшорен проект за зелен водород и е обект на множество изследвания (Peters R., et al, 2020). Предвид факта, че данни за разходите на отделните компоненти на пречиствателните системи не са налични в свободно достъпната литература, са използвани основно данни, представени в доклада „Технико-икономическа оценка на производствата на водород от морска вода” (Bansal S. et al, 2020). Лихвените и инфлационните норми са заимствани от доклада „Оптимизиране на разходите за разпределение електропроизводство в Северно море“ (Bøe V., 2017), както и от Годишните справочници на Националния статистически институт на България (NSI, 2022).

Преглед на извършените изследвания и използваните програмни продукти

Перспективи

Водородът е най-лекият, най-елементарният и най-разпространен елемент в природата. Той съществува както във водата, така и в органичните съединения. Специфичната енергия на водорода, 142 MJ/kg, е повече от три пъти по-голяма от тази на бензина, а отработените газове от изгарянето на водород се състоят главно от чиста вода. Освен това водородът е добра конкурентна възможност за дългосрочно съхранение на енергия.

Има много причини, поради които водородът трябва да бъде изучаван като енергиен носител на бъдещето. Сред тях са по-малката зависимост от изкопаеми горива, по-малките емисии на парникови газове, както и перспективата за енергия с нулеви емисии чрез използването на възобновяеми ресурси (Dawood F. et al, 2020).

За производството на водород могат да се използват различни първични енергийни източници, в това число изкопаеми горива, геотермална, слънчева, вятърна и приливна енергия.

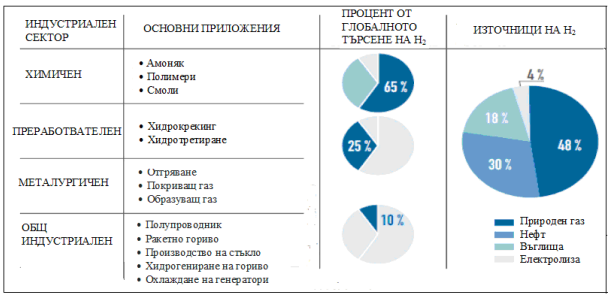
Водородът може да бъде произведен от вода с помощта на различни технологии, като електролиза, соноелектролиза, сонолиза, радиолиза, термолиза, термохимичен цикъл и фотохимични процеси. При електролиза водата се разделя на кислород и водород с помощта на електричество.

Производствените разходи и ефективността на производството на водород зависи преди всичко от източника на енергия и метода на производство. Емпиричните изследвания показват, че разходите за производство, съхранение и транспорт на водорода са по-високи от тези в алтернативните технологии (Jonathan S., 2021). Например, разходите за доставка на течен водород са 5÷7 пъти по-високи, отколкото на ВПГ (втечнен природен газ) (Barnard M., 2021). В таблица 1 са изброени различните методи за производство на водород със съответните нива на себестойност и ефективност.

Таблица 1 *Производство и разходи на водород*

Метод	Разходи за водород (€/kg)	Ефективност, (%)	Източник на данните
Реформиране на природен газ	<1,69	70-80	Собствени
Газификация на въглища	3,38	50-60	[6]
Соларен термохимичен водород	5,08	35	[6]
Електролиза	8,46	60	[6]
Газификация на биомаса	2,81	69	Собствени

Трябва да се има предвид, че мащабът на производството на водород варира при различните методи. На настоящия етап паровият реформинг на природен газ е най-комерсиалният и широкомащабен производствен метод. Фигура 1 представя световното производство, търсенето и източниците на водород (IRENA, 2018). Както е показано на фигурата, най-големите източници за производство на водород са съответно природен газ, нефт, въглища и електролиза на водата. Електролизата на водата е с най-малкия относителен дял (4%) в производството на водород в глобален мащаб.



Фигура 1. Глобално търсене и производство на водород от различни източници, (IRENA, 2018, с. 14).

Водата е най-евтиният и разпространен ресурс за производството на водород. Голямото предизвикателство за производството на водород от вода е нивото на чистота на морската вода, използвана в електролизата. Това означава, че преди производството на водород с електролиза трябва да се извърши процес на обработка или обезсоляване на водата.

Електролиза

Използвайки електричество, т. нар. водни електролизатори разделят водата на кислород (анод) и водород

(катод). Когато се използва зелено електричество (възобновяеми източници), те са с най-ниските емисии на парникови газове. Произведеният водород е с висока степен на чистота и затова няма нужда от допълнителна обработка след производството.

Ефективността на производството на електроенергия, а от тук и разходите за производство на водород, варират при различните енергийни източници. Все пак географското местоположение остава най-важният фактор за производството на енергия от възобновяеми източници. Водородът е перспективна алтернатива на изкопаемите горива като енергиен носител, но разходите за производство и съхранение все още са прекалено високи (Gallandat N. et al, 2017).

Класифицирането на електролизаторите се извършва според вида на използвания електролит и обменените аниони (Dokhani, S. et al, 2022). На тази основа се разграничават четири вида електролизатори:

I. Воден електролизатор с протонообменна мембрана (PEMWE);

II. Електролизатор за алкална вода (AWE);

III. Воден електролизатор с анионообменна мембрана (AEMWE);

IV. Електролизна клетка с твърд оксид (SOEC).

Методология за технико-икономически анализ на производството на водород

Програмни продукти

Предложената методология използва два програмни продукта:

- **WAVE** е подходящ за моделиране, симулация и анализ на системата за пречистване на морска вода. Всички компоненти на процеса на пречистване на водата може да се получат от портфолиото на DuPont Water Solutions на технологиите за пречистване на вода (Latulippe David R., 2019).

- **HOMER** е подходящ за моделиране на хибридни възобновяеми енергийни системи. Тази програма може да се използва за симулиране и моделиране на икономически анализ на микро системи в различни сценарии (Woznicki M., 2020).

За извършването на цялостния технико-икономически анализ с двете програми е необходимо: (1) Да се опише и проектира (като успоредно с това се събира необходимата информация) процесът на обезсоляване с програмата WAVE; (2) Да се изчислят количеството енергия и разходите за производство на вода с проводимост в диапазона от 0,1÷1 μS/cm; (3) Да се определи оптималната (хибридна) централа за производството на енергия с програмата HOMER Pro.

Процес на обезсоляване

Обезсоляването на морската вода включва отвеждане на водата до системата за ултра филтриране (UF), мембраната за процес на обратна осмоза (RO) и преминаване през процес на йонообмен (IX). Отчитайки използваните елементи на системите за пречистване на морска вода в програмите WAVE и DUPONT, както и изискванията за захранващия ресурс на електролизатора, се съставят различни комбинации от елементи на системата, всяка една от които представлява отделен казус.

Отчитайки солеността на морската вода и изискванията за захранващия ресурс на електролизатора за производството на водород в Европа се използват три варианта на UF модула (SPF-2660, SFP-2860, SFP-2880), два варианта за RO системата (SW30-2540, SW30-4040) и два варианта за IX смесено легло (AMBERPACK, Internal regeneration) (Barnard M., 2021). Освен това RO процесът може да се извърши с един или два прехода, което дава допълнителни възможности за проектния дизайн на системата. От изчисленията на всички възможни комбинации от трите елемента на системите - UF, RO и IX, изъвршени с помощта на програмата WAVE, се извеждат три ключови показателя на процеса на обезсоляване: (1) Общи специфични разходи за водата: общата цена за производство на 1 m^3 захранващ ресурс за електролиза; (2) Общи разходи за химическа обработка и ютилизация: общите разходи за промивни химични материали за мембраните и разходите за отвеждане на отпадъчните води; (3) Обща енергия: общата енергия, използвана от цялата система за един ден.

Таблица 2 показва трите показателя на двете оптимални комбинации - с единичен и двоен RO преход. Двете комбинации са не само с най-ниските разходи за производство на захранващ ресурс и разходи за химическа обработка и ютилизация, но и са с най-ниски оперативни разходи. Освен това и в двата случая се изискват еднакви съоръжения, което потвърждава, че проекта на системата е оптимален.

Таблица 2. *Показатели на оптималните комбинации за обезсоляване на морската вода*

Комбинация	Общи разходи за вода (€/m^3)	Общи разходи за химическа обработка и ютилизация (€/год.)	Общо енергия (KWh/ден)
RO с един преход	0,907	7,48	89,06
RO с двоен преход	0,926	7,80	65,12

Таблица 3 илюстрира двете оптимални комбинации от трите елемента на системите за обезсоляване.

Таблица 3. *Оптимални елементи на системите за обезсоляване*

Комбинация	UF модули	RO системи	IX варианти
RO с един преход	UF (SPF-2660)	RO (SW30-4040)	IX (AMBERPACK)
RO с двоен преход	UF (SPF-2660)	RO (SW30-4040) и BW30-2540	IX (AMBERPACK)

Общата енергия за производството на водород се получава като към енергията на оптималната комбинация на системата за пречистване на водата се добави енергията на електролизатора. На тази основа и след анализ на източниците на енергия и свързаните с тях разходи с програмата HOMER Pro се избира оптималната хибридна централа за производство на енергия.

Оптимизиране на микро системи и разпределение на енергийните ресурси

Процедурата за оптимизиране на микропроизводството и разпределението на енергийните ресурси, извършена с

програмата HOMER, включва следните стъпки: (1) Определя се местоположението на обекта на изследването (мястото на производство) и се систематизират всички необходими данни за възобновяемите ресурси; (2) Определят се компонентите на (хибридната) електроцентрала и свързаните с тях разходи (разходите се заимстват от емпиричните резултати в други изследвания). (3) Определят се финансовите показатели – лихвен процент, инфлация, разходи за въглеродни емисии; (4) Определят се различни сценарии за най-добрия дизайн на (хибридната) електроцентрала за производство на водород от морска вода; (5) Определят се нормализираната цена на енергията (LCOE) за всеки сценарий.

Едно от най-важните предимства на програмата HOMER е връзката й с базата данни на НАСА за Повърхностна метеорология и слънчева енергия (SSE), от която може да се получат данни по места. Множеството SSE данни за Q13a, която е първата офшорна платформа за производство на водород от морска вода с локации: ширина 52011'28.032“N и дължина 408'10.259“E, включва данни за метеорологията на земната повърхност, слънчевата енергия, средните месечни температури на въздуха, както и средната месечна скорост на вятъра за последните 10 години.

Последната стъпка от процедурата за оптимизиране е свързана с някои специфични аспекти на икономическия анализ на инвестиционните проекти в енергийния сектор, намерили място в програмата HOMER Pro.

Икономически аспекти

Икономическият анализ и сравнението на различните сценарии в HOMER се извършват на основата на нормализираната цена на енергията (LCOE) и нетните осъвременени разходи (NPC).

Нетни осъвременени разходи (NPC) са функция на оперативния живот, лихвения процент, годината, в която се извършват, и нетната стойност на капиталовите и оперативни разходи. NPC на всеки компонент на хибридната централа се изчислява със следното уравнение (Bøe V., 2017):

$$C_{NPC,co} = \sum_{t=0}^{T} \frac{X_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

В това уравнение t е годината, в която се извършват разходите, T е продължителността на оперативния живот на проекта, r е лихвеният процент, а X_t е паричният поток в година t.

Нормализираната цена на енергията (LCOE) е средната цена на енергията, която се осигурява от системата. Нормализираната цена на енергията (LCOE) се представя като:

$$LCOE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (2)$$

Следвайки (2), за да определим *LCOE*, трябва да изчислим годишните разходи на системата, $C_{ann,tot}$, количеството първоначален товар, E_{prim}, количеството на отложеното натоварване, E_{def}, и количество електроенергия, продадено на мрежата, $E_{grid;\ sales}$.

Годишните разходи на системата се определят директно от фактора за възстановяване на капитала (*CRF*) и общите нетни осъвременени разходи на системата:

$$C_{ann,tot} = C_{NPC,co} \times CRF(i,T) \quad (3)$$

Общите нетни осъвременени разходи на системата са сумата от *NPC* на всички компоненти:

$$C_{NPC,sys} = \sum_{n=1}^{N} CNP,co \quad (4)$$

Факторът за възстановяване на капитала (*CRF*) е функция на оперативния живот и лихвения процент и представлява съотношение на постоянното анюитетно плащане спрямо осъвременената стойност на всички анюитетни плащания за даден период от време. Ако означим лихвеният процент с *i,* коефициентът за възстановяване на капитала се изчислява по следния начин:

$$CRF(i,N) = \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1} \quad (5)$$

Лихвеният процент, инфлацията и оперативният живот на проекта в настоящето изследване са както следва: 5,5%; 2% и 25 години (Mitev, 2014, 2017).

За изчисляване на разходите за въглеродните емисии първо трябва да се определи количеството CO2, генерирано от електроцентралата. Ще приемем, че средно за Европа количеството CO_2 за 1 kWh от мрежата е 531 gr. Имайки предвид, че общата енергия, необходима за целия процес, е 1010 KW (електролизатор и обезсоляване), количеството емисии CO_2 от мрежата за една година са:

$$CO_2 \text{ емисии за година} = 1010(kWh) \times 8760(hr) \times 531.00\left(g/kWh\right)$$

$$= 4,698,075,60\ g.$$

Сценарии

В емпиричните изследвания се анализират различни варианти на централи, като за всеки един от тях се изчисляват разходите за закупуване и цената за обратна продажба на електричеството. Най-често предлаганите сценарии са следните: (1) Само мрежа; (2) Мрежа и фотоволтаична клетка; (3) ФВ клетка и батерия; (4) Мрежа, фотоволтаична клетка и батерия; (5) Мрежа и вятърна турбина; (6) Мрежа, фотоволтаична клетка и вятърна турбина; (7) Мрежа, фотоволтаична клетка, батерия и вятърна турбина; (8) Най-евтините сценарии с новата политика за CO_2 в Европейския съюз.

Сравнителният анализ на резултатите от предходните изследвания показва, че най-добрият вариант за електроенергийните ресурси е сценарият само с налична електропреносна мрежа (Bansal S. et al, 2020; Bøe V., 2017). С други думи, на този етап най-икономично би било цялата енергия за производство на водород на платформата да се осигури от наземната мрежа. Затова, в настоящето изследване изчисленията са направени за сценария „само мрежа“.

Необходимата електроенергия в този сценарий е постоянна за всички дни от годината и е 1,01 MW/h. Т.нар. „случайна променливост“, която е характерна за програмата HOMER, дава възможност да се отчитат дневните или почасови промени на събраните данни. Важният компонент на системата в този казус е мрежата, затова тя трябва да намери място в софтуера. За изследването е приета цената на електроенергията от мрежата и цената за обратна продажба за България, които са съответно 0,058 €/kWh и 0,10 €/kWh. Следвайки изчисленията на Dokhani at all (2022) средната енергия, необходима на системата, е 24 240 kWh/d без пикове. Макар да не участват в нашите изчисления, в програмата HOMER на всички финансови показатели, в т.ч. данъка върху емисиите от CO_2, се задават съответните стойности.

В Таблица 4 са илюстрирани нашите изчисления на оптималните резултати за сценария „само мрежа“.

Таблица 4. *Оптимални резултати за сценария „само мрежа“*

LCOE (€)	NPC (€)	Оперативни разходи (€/год.)	Закупена енергия (KWh/год.)	Произведен CO_2 (kg/год.)
0,088	12,943,800	778,593	8847600	4,698,076

Както се вижда от таблицата, нормализираната цена на енергията LCOE, която е съотношение на оперативните разходи и закупената енергия за една година, е 0,088 евро. Годишните оперативни разходи са получени от нетните осъвременени разходи на системата, 12,9 млн. евро, при фактор за възстановяване на капитала (CRF), 0,06, реален лихвен процент 3,43%, и оперативен живот 25 години. Според предварителните изчисления с новите данъци за CO_2, които ще влязат в сила в ЕС от 2027 г., цената LCOE най-вероятно ще се увеличи до 0,142 евро.

За останалите седем сценария необходимата енергия е същата, както при сценария „само мрежа“. От достъпа на HOMER до онлайн данните на НАСА може да се получи информация за глобалната хоризонтална радиация на слънцето, температура на въздуха и скоростта на вятъра на 50 m над повърхността на Земята.

И така, след като се определят най-ниските разходи за производство на захранващ ресурс за електролизата, с помощта на HOMER се изчислява най-ниската нормализирана цена на енергията за производството на водород от морска вода. Последната стъпка в методологията е определянето на общите разходи за производство на водород.

Тя се предприема, след като се определи общото количество енергия, което е сума от електричеството, необходимо за производството на захранващия ресурс, и електричеството, необходимо за работа на електролизатора. Последното зависи преди всичко от оперативния капацитет на електролизатора.

Отчитайки работните характеристики на избрания електролизатор, количеството водород, произведен за един час, е 22,125 kg. За анализирания период от 25 години ще приемем, че цената на енергията за производството на 22,125 kg водород е 0,058 евро на час. Тези разходи се добавят към разходите за материалите за пречистване на водата.

Резултати и коментари

Разходите за производство на водород се определят за двете оптимални системи за обезсоляване на морската вода - с единичен и двоен RO преход. Изчисленията са извършени на базата на вече получени резултати в таблица 2.

За определянето на разходите е използван най-обикновеният подход, в който не се вземат предвид данък CO_2, инфлацията и понякога дори оперативния живот на проекта. Целта е да се измери цялата енергия, която се консумира от системата, и да се определят разходите за производството на тази енергия. След това към тези разходи се добавят общите разходи за химическа обработка и ютилизация на 1 kg водород.

В таблица 5 са обобщени резултатите от направените изчисления. С 1 и 2 са означени двете оптимални системи за обезсоляване на морската вода - с единичен и двоен RO преход. Общите разходи за електричество за час (58,58 €) се получават като необходимата енергия (1010 kW/hr) се умножи по цената на електричеството (0,058 €/kW/hr). Общите разходи за производство на 1 kg водород са 2,9 €/kg и се получават като към разходите за електричество за 1 kg H_2 се добавят разходите за химическа обработка и ютилизация. Прави впечатление, че разходите за процеса на обезсоляване са по-малко от 1% от общите разходи за производство на водород, затова може да се пренебрегнат.

Въпреки че изчисленията са предварителни и на базата на сравнителен анализ, може да се направи извода, че производството на водород от електролиза е по-чисто и по-икономично от другите технологии за производството на водород. Този метод дава не само по-ниски разходи за производство на водород, но и по-нисък процент на въглеродни емисии. С усъвършенстването на производството на електролизатори се очаква необходимото количество електричество за производството на водород постоянно да намалява. Така, използването на метода ще се превърне във водещата и най-чиста технология за производство на водород.

Таблица 5. *Разходи за производство на водород*

№	Общо разходи за химическа обработка и ютилизация (€/hr)	Производство на водород (kg/hr)	Цена на електричество (€/kW/hr)	Необходима енергия за целия процес (KW/hr)	Общо разходи за електричество (€)	Разходи за електричество за 1 kg H_2 (€//hr))	Разходи за обезсоляване (€/kg)	Общо разходи (€/kg)
1	0,2493	22,125	0,058	1010	58,58	2,6477	0,024	2,90
2	0,2600	22,125	0,058	1010	58,58	2,6477	0,025	2,91

Обобщаващ коментар

Настоящият доклад има за цел да представи методология за технико-икономически анализ на производството на водород от морската вода, която да е приложима за България и Черно море. Основа на методологията е производството на пречистена вода/захранващ ресурс за електролизатора, която е с проводимост между 0,1 и 1 1 μS/cm. От различните комбинации за пречистване на морската вода е направен оптимален избор на две системи на RO процеса – с единичен и с двоен преход. След това се пристъпва към определянето на разходите за производството на вода за 1 kg H_2. Енергията, необходима за електролизата, се добавя към общата енергия, необходима на системата за пречистване на водата. Допускайки, че съществуват кабели от електрическата мрежа до морето, се изчисляват разходите за производството на 1 kg H_2. Нашите изчисления на сценария „само мрежа“ показват, че разходите за производството на 1 kg H_2 от водите на Черно море в България са 2,9 евро. Разходите за обезсоляването на водата за 1 kg водород са относително ниски, затова се пренебрегнат. Количеството енергия, необходима за обезсоляването, е 1% от енергията за целия процес.

С така представената методология може да се проучат възможностите за генериране на възобновяема електроенергия от хибридни електроцентрали, състоящи се от различни компоненти (PV, вятърна турбина и мрежа). В тези изчисления задължително трябва да участват номиналната норма на дисконтиране, процентът на инфлацията, оперативният живот на проекта и данък CO_2.

Лесно може да прогнозира, че сценарият „само мрежа“ ще остане с най-ниската нормализирана цена на енергията и с най-ниски разходи за производството на водород, дори когато в изчисленията се добави данъкът върху емисиите на CO_2 в ЕС от мрежата. Предварителните разчети показват, че разходите за производството на 1 kg H_2 ще нараснат от 2,9 евро на 4,22 евро.

Макар че при отчитането на данъците трябва да се вземе предвид факта, че след 2027 г. данъка за емисии на CO_2 в ЕС ще нарасне от сегашните 55,79 евро/тон CO_2 до 205,637 евро/тон CO2. Нашите очаквания са, че с новите данъци разходите за производство на водород ще достигне 6,37 евро/kg H_2, а нормализираната цена на енергията 0,142 евро.

Първата зелена водородна платформа в Северно море е добра референтна база за подобни изчисления, най-вече заради възможностите на програмния продукт HOMER Pro, който позволяват местоположението на изследвания обект да се измества в други локации. Така или иначе, тъй като електричеството от мрежата е с най-ниския LCOE, на този етап възобновяемите ресурси на изследваното място не оказват влияние върху разходите за производство на водород.

Литература

Bansal, S., Y. Zong, S. You, L. Mihet-Popa, J. Xiao. 2020. Technical and economic analysis of one-stop charging stations for battery and fuel cell EV with renewable energy sources. *Energies*; 13(11):2855,https://doi.org/10.3390/en13112855.

Barnard, M. 2021. Shipping liquid hydrogen would cost 5-7x LNG costs per unit of energy. Denver: *Energy Central*. https://energycentral.com/c/pip/shipping-liquid-hydrogenwould-cost-5-7x-lng-costs-unit-energy.

Bøe, V. 2017. Cost optimization of distributed power generation in southern Norway, with focus on renewable hybrid system configurations. M.Sc thesis. Norway: Norwegian University of Life Sciences; p. 84.

Dawood Furat, Martin Anda, Shafiullah GM. 2020. Hydrogen production for energy: an overview. *Int J Hydrogen Energy* ;45(Issue 7):3847e69. ISSN 0360-3199. https://doi.org /10.1016/j.ijhydene.2019.12.059.ISSN 0360-3199.

Dokhani, S., M. Assadi, B. G. Pollet. 2022. Techno-economic assessment of hydrogen production from seawater. Int. J. Hydrogen Energy, *International Journal of Hydrogen Energy 48 (26),* 9592-9608, pp. 1-18.

Gallandat, N., K. Romanowicz, A. Züttel. 2017. An analytical model for the electrolyser performance derived from materials parameters. *J Power Energy Eng*. https://doi.org/ 10.4236/jpee.2017.510003.

IRENA. Hydrogen from renewable power. Abu Dhabi: The International Renewable Energy Agency; 2018, ISBN 978-92-9260-077-8, p. 14.

Jonathan Scafidi MW. A quantitative assessment of the hydrogen storage capacity of the UK continental shelf. *Int J Hydrogen Energy 2021:1e11.* https://doi.org/10.1016/ j.ijhydene.2020.12.106.

Latulippe David R. 2019. Industrial separations processes, introduction to the WAVE design software. Latulippe: LaRue& Latulippe.

Meier, K. 2014. Hydrogen production with sea water electrolysis using Norwegian offshore wind energy potentials. *Int JEnergy Environ Eng* ;5:104. https://doi.org/10.1007/ s40095-014-0104-6.

Peters Rene. 2020. Vaessen Jacqueline, Meer Rene van der. Offshore hydrogen production in the North Sea enables far offshore wind development. *In: Paper presented at the offshore technology conference*. https://doi.org/10.4043/30698-MS.

Wang, S., A. Lu, C. J. Zhong. 2021. Hydrogen production from water electrolysis: role of catalysts. *Nano Converg*; 8:4. https://doi.org/10.1186/s40580-021-00254-x.

Woznicki, M. 2020. Far off-shore wind energy-based hydrogen production: Technological. *J Phys*. https://doi.org/ 10.1088/1742-6596/1669/1/012004.

Mitev, V., 2014. *Innovation and Investment Management*, Avangard Prima, p. 159 (in Bulgarian)

Mitev, V. 2017. Analysis of the production, consumption and prices of crude oil, *Jornal of mining and geological sciences*, Vol. 60, Part IV, Humanitarian sciences and Economics, pp.11-16.

National Statistical Institute, 2022, https://www.nsi.bg/bg. (in Bulgarian)

DETERMINING THE PARAMETERS OF THE COMBUSTION PROCESS OF A MIXTURE OF NATURAL GAS AND HYDROGEN

Lachezar Hristov, Martin Boyadzhiev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: lachezar.hr@gmail.com; martinb@mgu.bg

ABSTRACT. The article defines the parameters of a mixture of natural gas and hydrogen. An analysis of the change in the parameters characterising the combustion process of a mixture of natural gas and hydrogen was made. At a hydrogen concentration of 5%, 10%, 15%, and 20% in natural gas, the changes in the parameters were determined: super-compressibility coefficient, density, Wobbe number, calorific value, specific heat of combustion. The volume of air required for the combustion of a mixture of natural gas and hydrogen at concentrations from 5% to 20% was calculated. The calculations and analyses made by them are necessary for determining the operation of gas appliances when mixing natural gas with hydrogen.

Key words: natural gas, hydrogen, gas device.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ГОРИВЕН ПРОЦЕС НА СМЕС НА ПРИРОДЕН ГАЗ И ВОДОРОД

Лъчезар Христов, Мартин Бояджиев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията са определени параметрите на смес на природен газ и водород. Направен е анализ на изменението на параметрите, характеризиращи горивния процес на смес на природен газ и водород. При концентрация на водорода 5%, 10%, 15% и 20% в природния газ са определени изменението на параметрите: коефициент на свръхсвиваемост, плътност, число на Воббе, калоричност, специфична топлина на изгаряне. Изчислен е обемът на въздуха, необходим за изгарянето на смес на природен газ и водород при концентрация от 5 до 20%. Направените изчисления и анализи от тях са необходими за определение на работата на газовите уреди при смесване на природен газ с водород.

Ключови думи: природен газ, водород, газови уреди.

Въведение

Инжектирането на водород в газопреносната мрежа и последващото му използване в инсталираните битови уреди (едноконтурен и двуконтурен газов котел, газова печка и конвектори), както и ограничаването на фосилните горива, съдържащи въглерод, е залегнало в енергийната програма на ЕС. Това налага да се определи влиянието на концентрацията на водорода в природния газ върху работата на битовите газови уреди. За определяне ефективността на работата на битовите газови уреди с газоводородната смес е необходимо да се определят изменението на параметрите, характеризиращи горивния процес. Основните параметри на горивния процес са число на Воббе, калоричност, специфична топлина на изгаряне и съдържание на продуктите от процеса на горене. За целта е разработена методика за определяне на параметрите, характеризиращи горивния процес, при съдържание на водород 5,10,15 и 20% в природни газ.

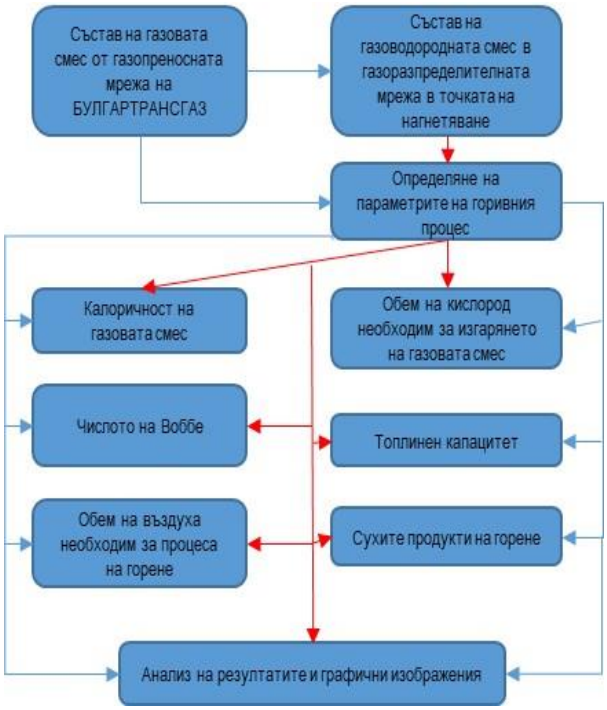
Методика за определяне параметрите на горивния процес.

Методиката за определяне на параметрите на горивния процес на газоводородна смес е представена на (фиг.1) под формата на блок схема.

Съставът на природния газ и получаваната газоводородна смес е представена в (таблица1) .

Таблица 1. *Състав на газа и газоводородната смес*

Метан	Етан	Пропан	Бутан	Въглероден диоксид	Азот	Сероводород	Водород
CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	CO_2	N_2	H_2S	H_2
98,52	0,34	0,13	0,03	0,03	0,93	0,02	0,00
93,594	0,323	0,124	0,029	0,029	0,884	0,019	5,00
88,668	0,306	0,117	0,027	0,027	0,837	0,018	10,00
83,742	0,289	0,111	0,026	0,026	0,791	0,017	15,00
78,816	0,272	0,104	0,024	0,024	0,744	0,016	20,00



Фиг. 1. Блок схема на методиката за определяне на горивния процес на газоводородна смес

За определяне параметрите на горивния процес се използват следните формули (Николов,2007, Занева,2015):

$$H_T = \frac{1}{z}\sum_{i=1}^{i=n} X_i H_{Ti} \quad (1)$$

където: H_T е калоричността на газа, kJ/m³;
z - коефициент на свръхсвиваемост на газа;
X_i - моларна концентрация на i-тия компонент;
H_{Ti} - калоричност на i-тия компонент на газа, kJ/m³

Определя се специфичната топлина на изгаряне (калоричност) на газоводородната смес с горна и долна граница.

Числото на Воббе се определя по следната зависимост:

$$W_в = \frac{H_г}{\sqrt{\rho_{гв}}}, \text{ MJ/m}^3 \quad (2)$$

където, $W_в$ е числото на Воббе, MJ/m³ ;
$H_г$ – горна граница на специфичната топлина на изгаряне;
$\sqrt{\rho_{гв}}$ - е корен квадратен от абсолютната плътност на газовата смес;

$$V_в^o = \frac{100}{21}.V_{O_2}^o, \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad (3)$$

където, $V^o_в$ е обемът въздух, необходим за изгарянето на 1m³ газова смес;
$V_{O_2}^o$ - обем на кислорода, необходим за изгарянето на 1m³;

$$V_{O_2} = (\alpha - 1).V_{O_2}^o, \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad (4)$$

където, V_{O_2} е обемът кислород, необходим за изгарянето на 1m³ газ;
α – коефициент на излишъка на въздуха;

Преизчисление на специфичния топлинен капацитет в KJ/kg.K се извършва по формулата:

$$C_{p(m)} = \frac{C_p}{M}, \text{ KJ/kg.K} \quad (5)$$

където, $C_{p(m)}$ е преизчисление на специфичния топлинен капацитет;
C_p – специфични топлинен капацитет, KJ/kmol.K
M – моларната маса

Определянето на сухите продукти на горене се използват следните формули:
За определяне на CO_2

$$CO_2 = 100.V_{CO_2}/V_D, \% \quad (6)$$

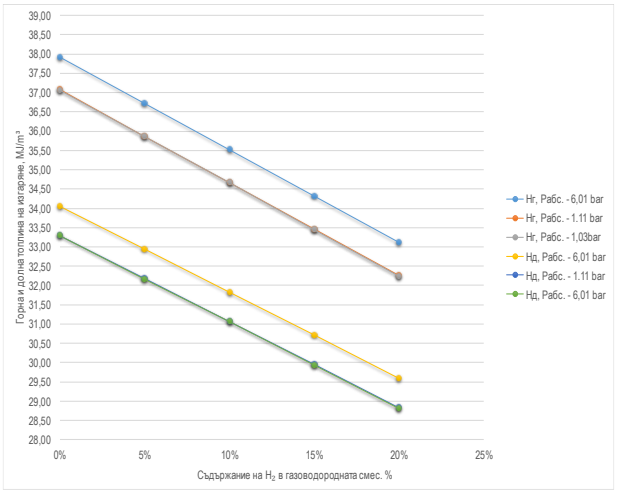
$$O_2 = 100.V_{O_2}/V_D, \% \quad (7)$$

$$N_2 = 100.V_{N_2}/V_D, \% \quad (8)$$

където, V_D е обема на сухите продукти на горене;
V_{CO_2} - обема на въглероден диоксид;
V_{O_2} - обема на кислорода;
V_{N_2} - обема на азота;

Резултати от изчисленията

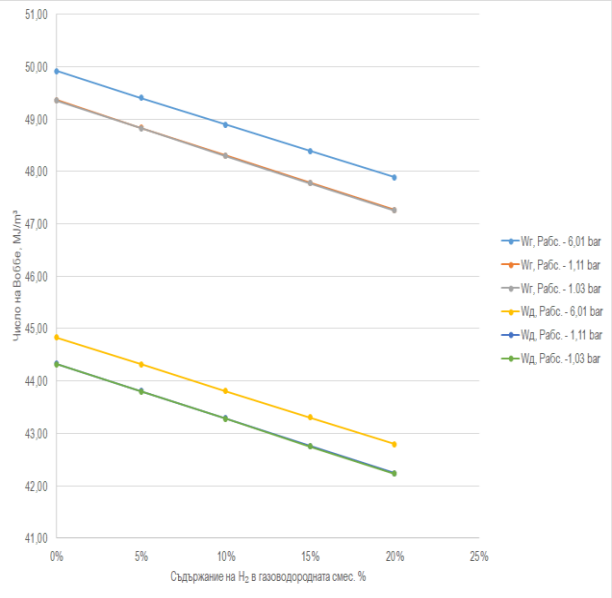
На фиг.2 е показано изменението на специфичната топлина на изгаряне при различно съдържание на водород и абсолютно налягане.



Фиг.2. Специфична топлина на изгаряне (калоричност) на газоводородната смес

От направените изчисления се вижда понижаване на специфичната топлина на изгаряне (калоричност) на горна

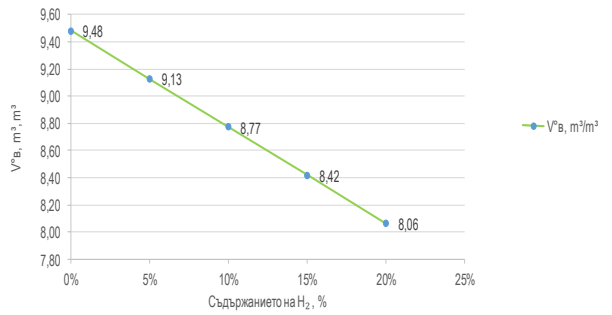
и долна граница при стандартна температура (293,15 ^{0}K) при три варианта на абсолютното налягане (P- 6.01, 1.11 и 1.03 bar). С увеличаване на процентното съдържание на водород от 5 до 20%, специфичната топлина на изгаряне намалява от 35.85 до 32.24 MJ/m^3 при налягане 20 mbar.



Фиг.3. Изменение на числото на Воббе.

От Фиг. 3 се вижда, че с увеличаване на процентното съдържане на водород в газоводородната смес, числото на Воббе намалява от 48,82 до 47,25 MJ/m^3 при горна граница и от 43.79 до 42.23 MJ/m^3 при долна граница. Намалението и при трите разгледани варианта се описва с линейна зависимост.

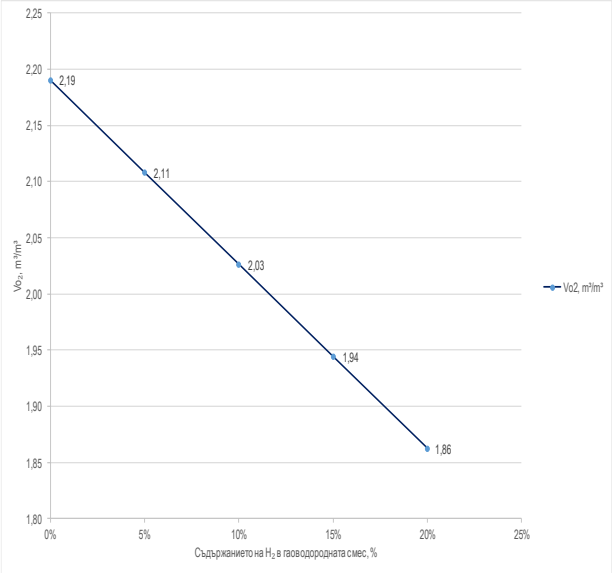
За изгарянето на 1m^3 природен газ е необходимо 9.48 m^3 въздух. При 20% съдържание на водород в газоводородната смес необходимото количество въздух е 8.06 m^3, представено на фиг.4.



Фиг.4. Необходим обем въздух за горене

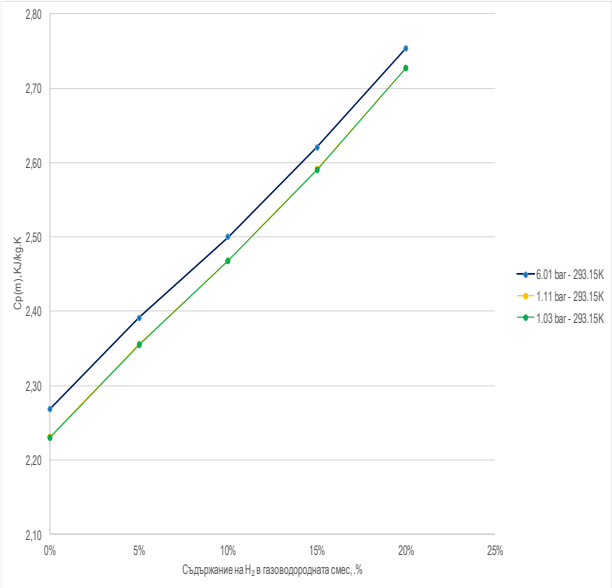
На фиг.5 е показано изменението на необходимото количество кислород за осъществяване на процеса на горене в зависимост от съдържанието на водород в газоводородната смес.

От направените изчисления се установи намаляване на необходимото количество кислород за осъществяване на процеса на горене с увеличаване съдържанието на водород в газоводородната смес.



Фиг.5. Обем кислород за горене

Изменението на специфичния топлинен капацитет на газоводородната смес при различно съдържание на водород е показано на фиг. 6.

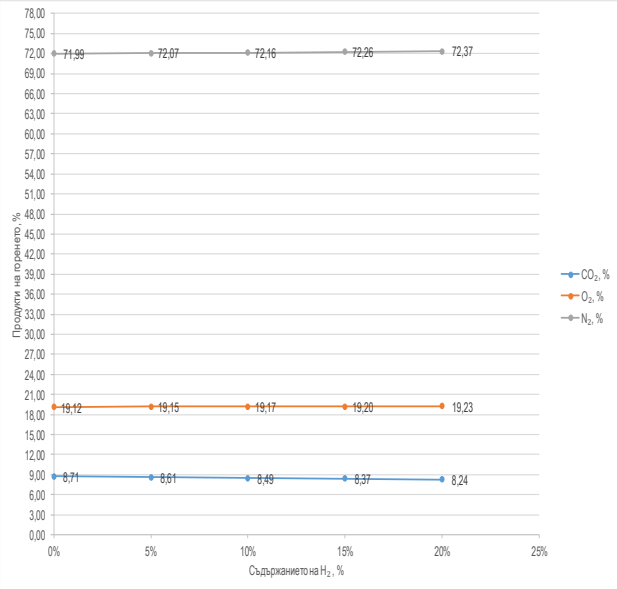


Фиг.6. Изменение на специфичния топлинен капацитет

Увеличаването на специфичния топлинен капацитет на газоводородната смес със съдържание от 5 до 20% водород се описва с линейна зависимост. При съдържание на 20% водород в газоводородната смес специфичния топлинен капацитет е 2.72 KJ/kg.K.

Сухите продукти от горенето (въглероден диоксид, кислород и азот) на газоводородната смес при различно съдържание на водород са показани на фиг.7.

Съдържанието на въглероден диоксид в изгорелите газове с увеличаване на съдържанието на водород въглеродния диоксид намалява.



Фиг.7. Сухи продукти на горене

Заключение

Анализът на получените резултати показва, че при добавянето на водород от 5 до 20% в природния газ, газоводородната смес се характеризира с намаляване на калоричността, числото на Воббе, необходимото количество кислород, въздух и въглероден диоксид. Получените резултати са основа за провеждане на лабораторни експериментални изследвания за определяне на ефективната работа на газови котли с газоводородна смес.

Литература

Георгиев, Л., Н. Лаков. 2011. Анализ на възможностите за производство на електрическа енергия от различни енергийни източници. *Девета научно-практическа сесия* , София 02-03 май, ФНТС, стр.135-141.

Занева, Е., Н. Христов. 2015, *Ръководство за упражнения по Свойства на резервоарните и въглеводородните системи*. ИК МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Караджов, М. 2022. Проектиране, изграждане, поддръжка и сервиз на битови хибридни системи с използване на природен газ. *сп. „Минно дело и геология“*, бр. 9, София, стр. 42-46.

Митков, В., Л. Георгиев, Н. Лаков. 2022, Производство на електрическа и топлинна енергия от природен газ. *Национална научно – Техническа конференция с международно участие „Автоматизация в минната индустрия и металургията“* БУЛКАМК, стр. 87-91

Николов, Г. 2007; *Разпределение и използване на природен газ*, Юкономикс, София. 562 стр.

PRODUCTION OPTIMISATION OF OIL WELLS EQUIPPED WITH SUCKER ROD PUMPS

Pavel Yanev, Lachezar Georgiev, Rumen Kulev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: pavel.yanev@mgu.bg; lachezar.georgiev@mgu.bg

ABSTRACT. The article presents a procedure for production optimisation of brown oil wells produced periodically with sucker rod pumps. A characteristic feature of the methodology presented is that testing is done without interrupting the continuous work of the oil wells and without cut in oil and gas production. A principal procedure for conducting the testing is developed. The results from the test of the periodically produced oil wells are presented. Results are processed and analysed.

Key words: oil production, sucker rod pumps, oil.

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ДОБИВА ОТ НЕФТЕНИ СОНДАЖИ, ОБОРУДВАНИ С ДЪЛБОЧИННИ ЩАНГОВИ ПОМПИ

Павел Янев, Лъчезар Георгиев, Румен Кулев
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията е представена методика за изследване режима на работа на периодично експлоатирани с дълбочинни щангови помпи нефтени сондажи. Характерно за представената методика е това, че изследването се провежда по време на експлоатация на нефтения сондаж, без да се налага прекъсване на добива от нефт и газ. Разработена е принципна програма за провеждане на изследването. Представени са резултати от изследване на периодично експлоатирани с дълбочинни щангови помпи нефтени сондажи. Направена е обработка и анализ на резултатите .

Ключови думи: добив на нефтени сондажи, дълбочинни щангови помпи, нефт

Introduction

During the periodic production of oil wells equipped with sucker rod pumps, it is necessary to optimise the operation of the rod pump lowered into the well. Optimisation is related to the determination of the following technological and technical parameters: pump performance, pump operating mode, pump intake depth, and operating time (Gerov, 1987). For this purpose, it is necessary to develop a methodology for testing the mode of operation of periodically produced oil wells. The effective application of a certain methodology takes into account the specific geological and technical conditions of the respective oil field.

Methodology for a hydrodynamic test of the operating mode of periodically produced sucker rod oil wells.

The developed methodology for testing the mode of operation of periodically operated sucker rod oil wells consists in the following:

- according to a certain scheme, the liquid level is periodically measured during start-up, shutdown and operation of the rod pump installation. The time intervals during which the level measurement is performed take into account the specific geological and technical characteristics of the wells from the oil field;
- with dynamometric measurements, the operation of the pump installation and the sucker rod pump is periodically controlled;
- periodically measure the flow rate of the extracted liquid;
- the gas factor is measured;
- depending on the obtained results, a change in the measurement intervals is possible.

The main advantage of the developed methodology is that the test is carried out during operation of the sucker rod pump installed into the wellbore without having to interrupt the normal operating cycle. After analysing the results and when changing the rod pump installation and the rod pump, it is necessary to evaluate the technical and economic indicators (Mitev, 2006).

On the basis of the developed methodology, the results of a hydrodynamic test of the operating mode of oil well R-1 periodically produced with a sucker rod well pump are presented.

Oil well R-1 operating conditions

Oil well R-1 is produced in the following conditions:

- production casing: 5-1/2" with 7.72 mm wall thickness;
- tubing installed in the wellbore with a diameter of 2-7/8”, a wall thickness of 5.5 mm and a length of 2100 m;

- sucker rod pump with a diameter of 32 mm installed at a depth of 2100 m;
- stroke of the polished rod: 3 m;
- 6 double strokes per minute;
- Beam model – UP12T – 5000 - 10000;
- programmed operating mode;
- periodicity of work: 24 hours followed by 24 hours recovery time (pump off);
- high gas factor varying between 500-700 m^3/m^3;
- low productivity of the formation.

The theoretical productivity of the sucker rod pump, determined under these conditions is 20.8 m^3/d.

Sequence of the conducted hydrodynamic test in oil well R-1

The hydrodynamic test of the well was carried out in two periods, each lasting 24 h. During the first period, the well was producing (the sucker rod pump was working), and during the second period the sucker rod pump was not operating, i.e. the well was in reservoir pressure recovery mode. The total duration of both periods was 48 hours.

During each period, in accordance with the developed research methodology, the following parameters were measured:

- the change of the dynamic level in the annulus of the wellbore during operation of the sucker rod pump;
- the produced amount of liquid (oil emulsion and formation water) during certain time intervals and the total amount of produced liquid ~~is~~ was determined;
- the operation of the sucker rod pump and the installation by conducting dynamometric measurements (taking dynamometer cards);
- the change of the dynamic fluid level in the annulus of the wellbore after stopping the sucker rod pump (reservoir pressure recovery mode).

The fluid level in the wellbore annular space was measured by an Echometer survey (fluid shot). A dynamometer was used to diagnose the condition of the system downhole pump – rod string – tubing string.

The measurement of the fluid flow rate (oil emulsion and formation water) was done by an individual measuring tank.

Results of the conducted hydrodynamic test in oil well R-1 in the first and second period

During the operation of the sucker rod pump, the fluid level in the annulus space of the wellbore was measured every three hours. The amounts of liquid produced (oil emulsion and formation water) were measured every hour. The dynamogram card recording was done three times: when the well was put into operation, when it was stopped, and one intermediate measurement. Prior to the survey, the well was scheduled to run for 24 hours and recover for 24 hours. The data from the conducted hydrodynamic test in oil well R-1 are shown in Table 1.

Table 1. Data from the hydrodynamic study in oil well R-1.

Time	Duration, h	Dynamic level, m	Fluid production m^3	Sum produced fluid, m^3
10:00	0	554	0	0
11:00	1		0,4	0,4
12:00	2		0,3	0,7
13:00	3	1342	0,25	0,95
14:00	4		0,35	1,3
15:00	5		0,4	1,7
16:00	6	1479	0.4	2.1
17:00	7		0.5	2.6
18:00	8		1.1	3.7
19:00	9	1702	0.1	3.8
20:00	10		0.1	3.9
21:00	11		0.1	4
22:00	12	1640	0.3	4.3
01:00	15	1516	0.8	5.1
04:00	18	1954	0.8	5.9
07:00	21	1096	0.4	6.3
10:00	24	2090	0.5	6.8
13:00	27	2000		
16:00	30	1741		
19:00	33	1530		
22:00	36	1520		
01:00	39	1233		
04:00	42	1124		
07:00	45	1330		
10:00	48	1141		

During the test, the well produced in complex conditions. The flow rate of the well during the first study period was fluctuating. The likely reason for this is the presence of free gas in the formation fluid. As the gas rises in the tubing string, it expands, thereby contributing to the liquid being ejected in portions. Due to the fact that the gas occupies a large volume of the space inside the tubing string, no liquid enters until the pump restores the volume of liquid expelled. In the initial period of operation, it was found that fluid began to flow from the well 35 minutes after the installation was put into operation.

The summarised data from the first period of the conducted test are presented in fig. 1.

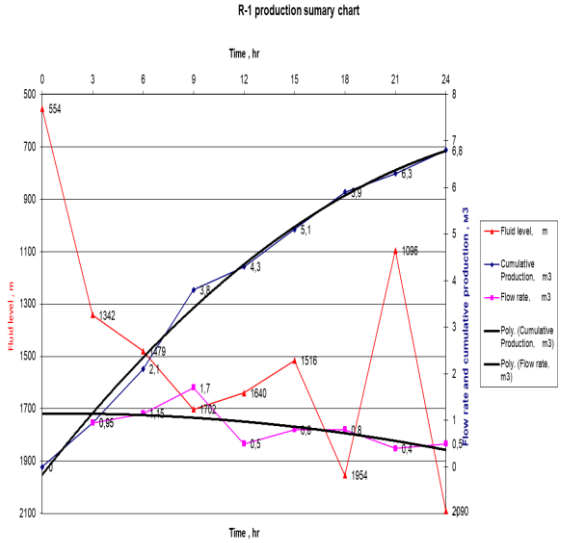


Figure 1. Change in the measured parameters for the first period of the hydrodynamic test.

The summarised data from the first and second period of the conducted test are presented in Fig. 2.

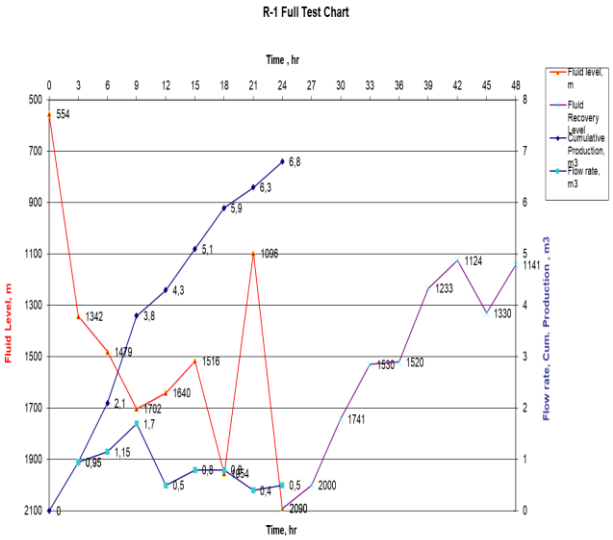


Figure. 2. Change of the measured parameters for both periods of the hydrodynamic test.

After analysing the change of the dynamic level during the operation of the pump, a significant uneven change of the level in the wellbore is visible. Therefore, significant amounts of free gas are being produced from the formation, which is also confirmed by the irregular operation of the sucker rod pump. The uneven change in the dynamic levels makes it impossible to compare the produced quantities with the volume of the tubing – casing annulus, which makes it difficult to determine the flow of fluid from the formation. Analysis of the dynamograms revealed significant amounts of free gas at the pump inlet. The amount of gas produced during the test can be utilised by mobile hybrid gas systems (Karadzhov, 2022).

From the analysis of Fig. 1, it can be seen that during production of the well, the flow rate decreases progressively as the working time increases. The fluid level in the wellbore of 554 m on start-up reaches close to the pump inlet at 2090 m. The volume of the annulus space in this interval (554 -2090 m) is 12.1 m^3, and only 6.8 m^3 have been produced. From the data, it can be concluded that there is a presence of free gas in the liquid column in the annulus. This also means that during the time the well was recovering prior to starting the test, the liquid and the gas were mixed in the annulus and gas bubbles where forming into the wellbore while the gas is given time to rise and expand in the annulus.

Figure 1 clearly shows that the measurements of the liquid level in the wellbore have a "pulsating" character. If we exclude the points from the chart which are significantly increased - at startup, at the twelfth hour, at the fifteenth hour, and at the twenty-first hour - a different chart is built as shown on Fig. 3. From it, it was determined that the production has started from the "real" level, corresponding to 1150 m.

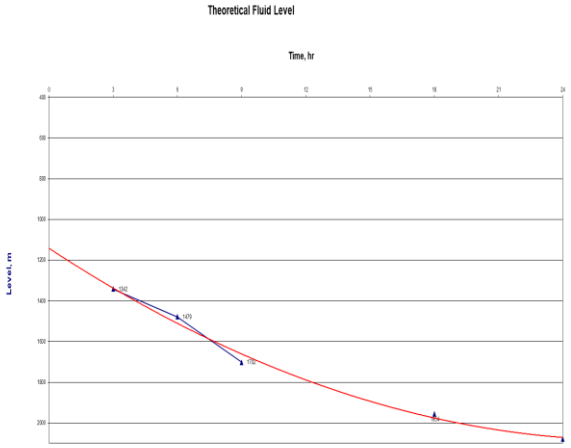


Figure. 3. Theoretical fluid level in the wellbore during production cycle.

Figure. 4 shows the level recovery curve in well R-1. From data on this chart, it is visible that after 24 hours of recovery a level similar to the theoretical level shown in Fig.3 is registered.

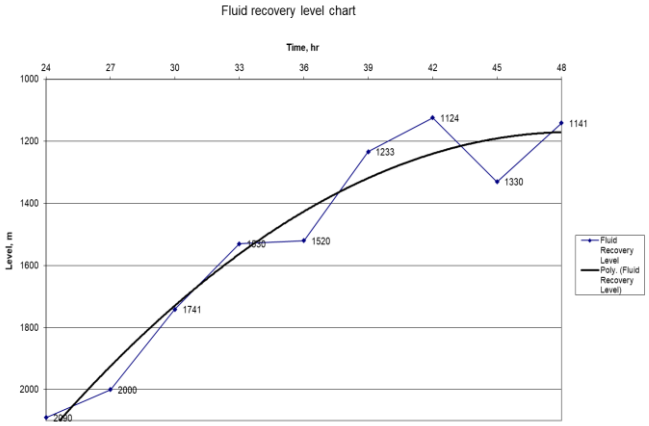


Figure. 4. Curve of fluid level recovery in well R-1.

Conclusion

As a result of the hydrodynamic studies carried out according to the developed methodology in oil well R-1 and the subsequent data processing, the following conclusions can be made regarding the periodic operation of the well:

- The periodic production of well R-1 is carried out under extremely complex downhole conditions: pump intake is at maximum setting depth of 2100 m, a high gas factor, varying in the range of 500-700 m^3/m^3, and low productivity of the formation;

- The technological mode of production of well R-1 used during the test is technologically justified and can be continued;
- It is advisable that an additional test be carried out, shortening the production mode by 6 hours. Probably with 18 hours of work mode and 30 hours of recovery mode, it is possible to improve the working conditions of the downhole pump;
- It is necessary to replace the downhole equipment currently in use for the production of the well. A downhole separator must be installed under the downhole rod pump to prevent the entry of free gas into the pump intake and thus improve the pump output.

References

Gerov, L. 1987. *Development of oil and gas fields,* Technica, Sofia, 272 (in Bulgarian)

Karadjov, M. *Design, construction, maintenance and service of domestic hybrid systems using natural gas*. "Mining and Geology" magazine, no. 9, 2022, Sofia, ISSN 0861 – 5713 (Print), ISSN 2603 – 4549 (Online), pp. 42-46 (in Bulgarian).

Mitev, V. 2006. *Indicators for evaluation of investment projects for the extraction of mineral raw materials.* Sp. "Mining and Geology", no. 5, 2006, pp. 22-23. ISBN 0861-5713 (in Bulgarian).

СЕКЦИЯ

ГЕОЛОГИЯ И ПРОУЧВАНЕ НА МИНЕРАЛНИ И ЕНЕРГИЙНИ РЕСУРСИ

SECTION

GEOLOGY AND EXPLORATION OF MINERAL AND ENERGY RESOURCES

SOME ISSUES WITH THE MONITORING OF UNDERGROUND AND LANDSLIDE SUPPORTING STRUCTURES

Ina Bozhinova-Popova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ina_popova@abv.bg

ABSTRACT. The article discusses elastic structures which are used as reinforcement to balance the landslide or earth pressure. In all cases, the pressure distribution diagram is taken either as similar to the hydrostatic pressure/diagram/, or as a trapezoid, or as a uniformly distributed load. Often, the results of the calculations differ from the actual loading and behaviour of the supporting structures. Some errors may occur, since in practice pressure distribution diagrams are obtained other than those assumed. In this sense, targeted implementation and analysis of monitoring data allow for a comparatively precise definition of the diagrams of the earth pressure on the supporting structures. This conclusion also leads to more rational and economical solutions.

Key words: supporting structures, soil, landslide, earth pressure distribution, monitoring, results.

ОТНОСНО НЯКОИ ПРОБЛЕМИ ПРИ МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНИ И ПРОТИВОСВЛАЧИЩНИ КОНСТРУКЦИИ

Ина Божинова – Попова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

Резюме. В статията се разглеждат еластични конструкции, които се използват като подпорни за уравновесяване на свлачищния или земния натиск. Във всички случаи диаграмата на разпределение на натиска се приема или като подобна на хидростатичния натиск, или като трапец, или като равномерен товар. Често резултатите от изчисленията се различават от действителното натоварване и поведение на подпорните конструкции. Това води до грешки, тъй като на практика се получават диаграми за разпределение на натиска, различни от приетите. В този смисъл целенасочено изпълнение и анализ на данните от мониторинга дават възможност за сравнително точно определение на диаграмите на натиска от почвата върху опорните конструкции. Това води и до по-рационални и икономични решения.

Ключови думи: подпорни конструкции, почви, диаграми на земен натиск, мониторинг, резултати.

Въведение

В статията се разглеждат еластични конструкции, използвани като подпорни, за уравновесяване на свлачищния или земния натиск, който се получава при подсичане на терена или при изпълнението на дълбоки изкопи. Такива са пилотните конструкции, шлицовите, шпунтови стени и стените тип „Берлинска стена“. В масовата практика за сега се използват пилотните конструкции с диаметри на пилотите от 40 до 120 см и шлицови стени с дебелини от 40 до 80 ст. Конструкциите са конзолни, анкерирани или обединени в рамки.

Едни от основните въпроси при оразмеряването на такива конструкции е определяне на натоварването върху тях, получено в резултат на действието на земен или свлачищен натиск. У нас за проектиране на подпорни стени съществуват “Норми за проектиране на подпорни стени -2-03-05“. За проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони съществува Наредба 12/2001 г. Обикновено се приема, че при конзолните стени и пилоти, земният натиск е разпределен по така наречения “хидростатичен закон“, под формата на триъгълник или трапец с голяма основа при дъното на строителния изкоп или при плъзгателната повърхнина за свлачищата. При подпрените конструкции земният натиск се приема разпределен по диаграми, които се определят от вида и мястото на подпирането, деформируемостта на конструкцията, натоварването на повърхността на терена и др. Характерни диаграми на разпределението на активен земен натиск са дадени в съществуващите у нас Норми за проектиране на подпорни стени (Норми за проектиране на подпорни стени, 1986).

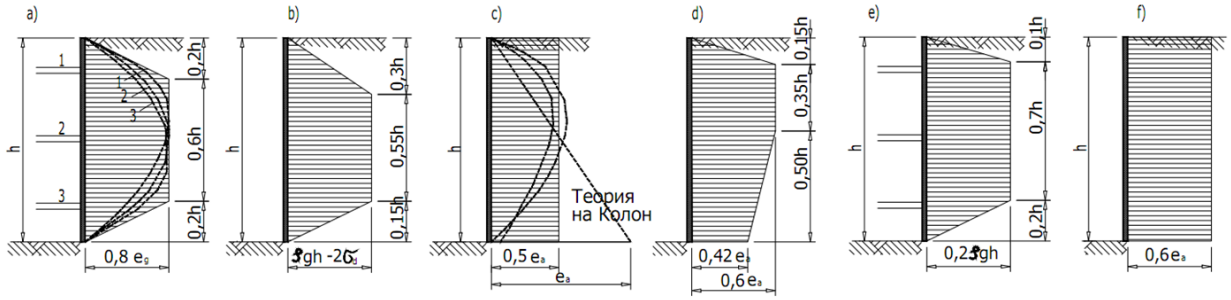
Наличието на множество и разнообразни диаграми дава основание да се приеме, че и досега няма доказано установена методика за определяне на натиска. Това внася условност при статическите изследвания на укрепителните конструкции. За практически нужди се приема, че при конзолните конструкции земният натиск се разпределя по триъгълна диаграма, съгласно хидростатичния закон, т.е. ако резултантната стойност на натиска е Ea и височината на подпрения масив е H, основата на триъгълника е

$$p = 2Ea/H \quad (1)$$

При подпрените конструкции, земният натиск се приема като равномерно разпределен по височина и има интензивност (Шнебели, 1979).

$$q=Ea/H \quad (2)$$

Някои характерни диаграми за разпределение на земния натиск върху подпорни съоръжения, са дадени на фиг.1.



Фиг. 1. Разпределенията на земния натиск в диаграмите са: a. По Terzaghi – Peck - за несвързани почви; b. По Terzaghi – Peck – за свързани почви; c. По Klenner; d. По Leemann; e. По Tschebotarioff; f. По Briske.

При изследване стабилитета на свлачищата, няма регламентиран начин за определяне на диаграмата на разпределение на свлачищния натиск, поради което често се приема, че той е разпределен във формата на триъгълник, както при конзолните стени. Абсолютно неясен е въпросът с пасивното съпротивление на почвата в забитата част на конструкциите, под дъното на строителния изкоп или под свлачищната повърхнина. В някои методи тази част от конструкциите се приема за натоварена с пасивното съпротивление на почвата и това води до погрешни решения. В други методи, подземната част на конструкцията се оразмерява като конструкция във Винклерова среда (Божинов, 1983). Необходимото изискване е земната реакция да не надвишава пасивното съпротивление на почвата.

Важен е и въпросът, доколко верни са определените стойности на земния или свлачищния натиск, тъй като в това се съдържат редица условности. Най-важни са въпросите, свързани с правилното определяне на якостните характеристики на почвите в дадено напрегнато състояние на масива. Въз основа на предварителни изчисления се доказва, че разпределението на земния натиск зависи от много величини, като: вид, якостни и деформационни характеристики на почвите; коравина и начин на подпиране на конструкциите; коравини на подпорите; момент от време, в който се изпълнява подпирането и др.

За илюстрация на влиянието на якостните характеристики на почвите, могат да се посочат два примера. Първо, при изключително слаби почви (почти вода) с почти нулеви якостни характеристики, независимо от вида на подпирането и деформационните характеристики на конструкцията, земният натиск ще има винаги диаграма на триъгълник, подобно на водния натиск. На практика това не се отчита в изчисленията и при подпрени конструкции може да се приеме разпределение на трапец, съобразно вида на подпирането. Това приемане е очевидна грешка. Второ, при много здрави почвени разновидности, трансформация на диаграмата на натиска след подпирането въобще не може да настъпи, поради липса на пластични течения в масива, които да преоформят неговата първоначална диаграма.

Както се вижда, изчисляването на подпорните конструкции съдържа редица условности, които се приемат априори и поради липса на доказателства и достатъчно надеждни методи, се прилагат масово в практиката. Това води или до преразход на материали, или до недостатъчно високи коефициенти на сигурност. В някои случаи могат да се компрометират целите конструкции.

Посочените условности изискват експериментално определяне на земния и/или свлачищния натиск и като стойност, и като диаграма на разпределение. Сравнение на експериментално получените резултати с приетите при изчисленията, дава възможност да се подобри методиката за изчисляване на конструкциите, както това се прави например с измерване и анализ на сляганията на фундаментите на сградите и съоръженията.

За съжаление, опитното определяне на земния натиск в естествени размери е сложно. Необходими са специални датчици за натиск (Grunbau, 1966), които се монтират върху армировката на конструкцията и са разчетени така, че след изливането на бетона, да остават в непосредствен контакт на границата бетон-почва. Този контакт обаче не може да се гарантира.

Друг ефективен, по-съвременен начин за определяне на напрегнатото и деформирано състояние на опорните конструкции (шлицови стени и пилоти), се състои в поставянето на датчици в носещата армировка или в специално поставени стоманени пръчки. По показанията на тези датчици се определят директно огъващите моменти в конструкциите и след диференциране или интегриране се получават останалите величини като: премествания, напречни сили и земен натиск.

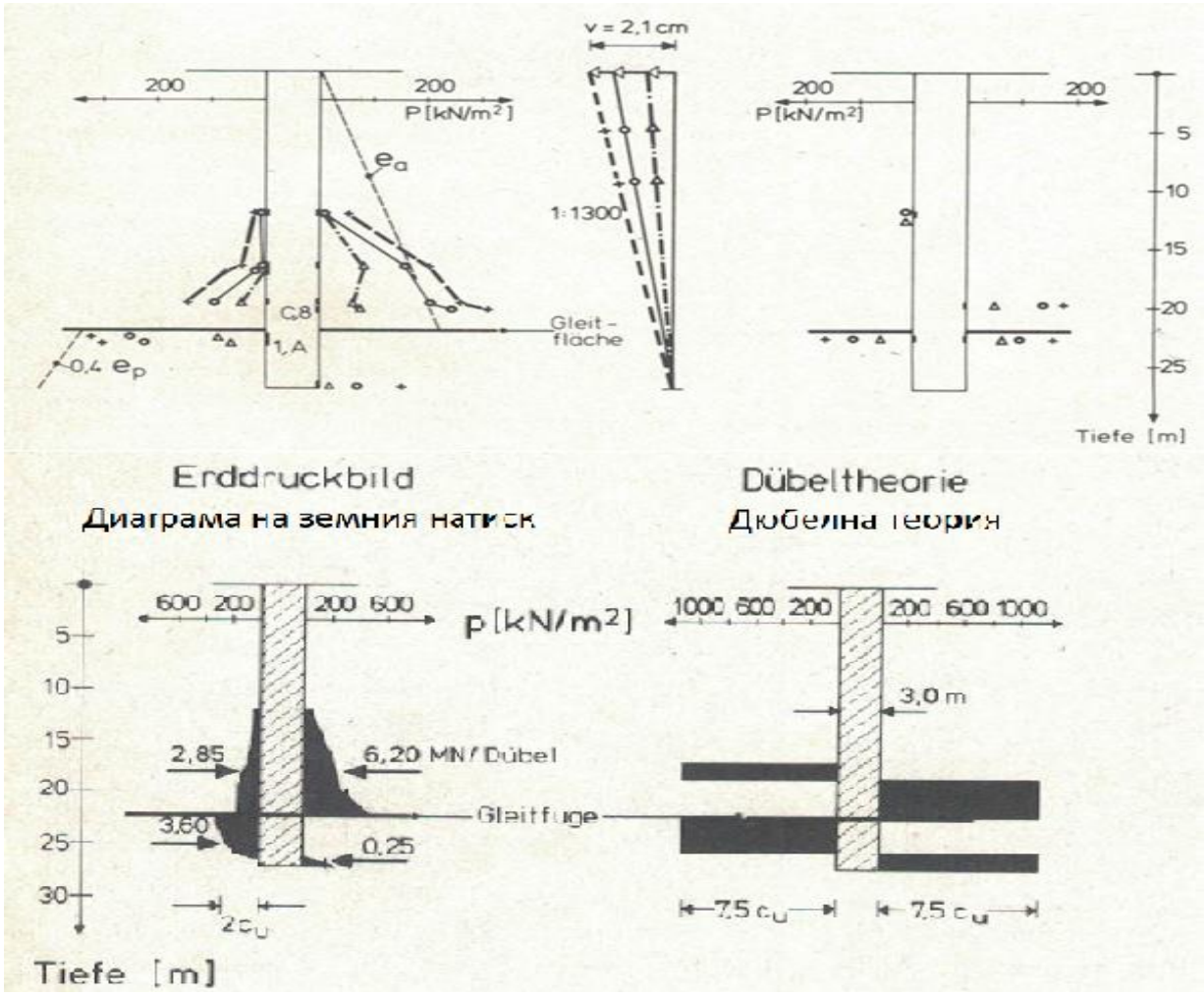
Отделни експерименти, изпълнени в естествени условия, дават основания да се направят заключения, които отдалечават значително получените стойности на земен натиск и напрегнато състояние на ограждащите конструкции от изчислените (Божинов 2022, Grundbau 1966).

Някои от тези резултати бяха докладвани на Конференция, посветена на проф. Балушев (Божинов, 1999-200, 2022) и в общи линии показват, че:

- силите в разпънките на шлицовите стени са 2 до 3 пъти по-ниски от изчислените;
- земният натиск върху шлицовите стени и ограждащите пилоти е също значително по-нисък от изчисления;
- до дълбочина 4,0 метра стените не получават огъвания, което показва, че до тази дълбочина липсва земен натиск, или пък този натиск е толкова малък, че не може да предизвика огъване на стените;
- шлицовите стени работят със забитата си част до дълбочина 4,0 метра;
- ъглите на вътрешно триене, с които следва да се определя земният натиск са 20 - 30 % по-високи в сравнение с дадените в инж. геоложките проучвания.

Същото се отнася и до кохезията (Божинов, 2022). Пясъците, които според инж. геоложките доклади нямат кохезия, всъщност държат вертикални откоси, което може да се обясни само с наличието на кохезия, която в някои случаи може да бъде значителна (Божинов, 2022г.);

- при конструкции, които следва да се подпират с разпънки на повече от едно ниво, долният ред разпънки почти не се натоварва при откопаване на ямата. Явно, това се дължи на високи якости на почвата, поради което в нея не могат да протичат процеси на преразпределение на земния натиск;
- коефициентите на леглото, с които се оразмерява забитата част на ограждащите конструкции, са значително по-високи от приетите в изчисленията, съгласно предписанията в нормативните документи (Божинов, 1999-2001);
- свлачищният натиск е концентриран в долната част на опорните конструкции от сондажни пилоти, както се вижда на (фиг. 2.) (Божинов 2022, Grundbau 1966).



Фиг. 2. На горната схема с пунктир е показано теоретичното разпределение на свлачищния натиск – линията e_a. В долната част на пилота е показано действителното разпределение на натоварването, според измерванията със специални датчици. В долната част на фигурата е показана картината на приетото разпределение на земния натиск и изчислението на носещата способност на пилота по така наречения „дюбелен метод“, който за сега не се практикува у нас. Пилотите са конзолни /неподпряни/ с диаметър 3,0 m.

Всичко това показва, че резултатите от изчисленията се различават значително от действителното натоварване и поведение на подпорните конструкции.

Предвид важността на задачата и очакваните значителни ефекти върху подобряване статиката на подземните конструкции, се предлага един ефективен метод за определяне на тяхното напрегнатото и деформирано състояние, а така също за определяне на земния или свлачищен натиск. Методът се основава на измерванията на инклинациите, вследствие огъване на конструкциите и анализ на резултатите от измерванията. Така например, ако са известни инклинациите (ъглите на завъртане) в определени точки в дълбочина на конструкцията, от резултатите може да се построи гладка крива с определена степен (най- добре алгебричен полином до 8 или 9 степен), като се използва определен метод (например, изравняване по метода на най-малките квадрати).

Получава се крива от вида:

$$\alpha = \alpha(z) \qquad (3)$$

където, $\alpha(z)$ е функцията на изменение на измерените ъгли α в зависимост от дълбочината z на точката.

По-нататък следва да се използват известните зависимости от механиката, за да се получат останалите величини, както следва:

Огъващи моменти:

$$M(z) = - EI\,\alpha'(z) \quad (4)$$

където:

- $\alpha'_{[Z]}$ е първата производна на функцията $\alpha(z)$;
- EI е коравината на опорната конструкция (пилот или шлицова стена), kN.m^2.

Това състояние може да важи само до получаване на огъвания с определен размер, например при стрелка на деформираната част от 1/500 до 1/1000 за елементите, изпълнени от стоманобетон. Ако относителното огъване е по-голямо, се налагат допълнителни итерации за корекция на коравината в зависимост от размера на огъването и отварянето на пукнатини в конструкцията. За оценка на получаване на пукнатини, може да се използва и големината на измерения ъгъл.

Останалите неизвестни се получават по аналогични зависимости, както следва:

$Q_{(Z)} = -EI\alpha''_{[Z]}$ - напречни сили и (5)

$p_{(Z)} = -EI\alpha'''_{[Z]}$ - земна реакция. (6)

По изложения начин определянето на всички необходими величини за частта на конструкциите над и под опорните повърхнини става елементарно, с помощта на прости математически операции.

Допълнителна информация за напрегнатото състояние на подпорните конструкции се получава като на анкерите или разпънките се поставят динамометри, които да определят опорните сили. Този метод е доста по-точен и дава база за сравнение с изчислените стойности на опорните реакции. Изпитванията се допълват и с геодезични измервания на преместванията на конструкциите, измервания с лазер на преместванията в дълбочина на изкопите и др.

Първи стъпки в измерването и обработването на инклинациите на опорни конструкции са направени в периода 1983-1987 г. чрез вграждане на инклинометрични тръби в шлицовите стени при откопаването на участък от Софийския Метрополитен. Динамометри са поставяни и на анкери при укрепванията на някои свлачища, като свлачището при почивния комплекс “Свилоза" до гр. Балчик.

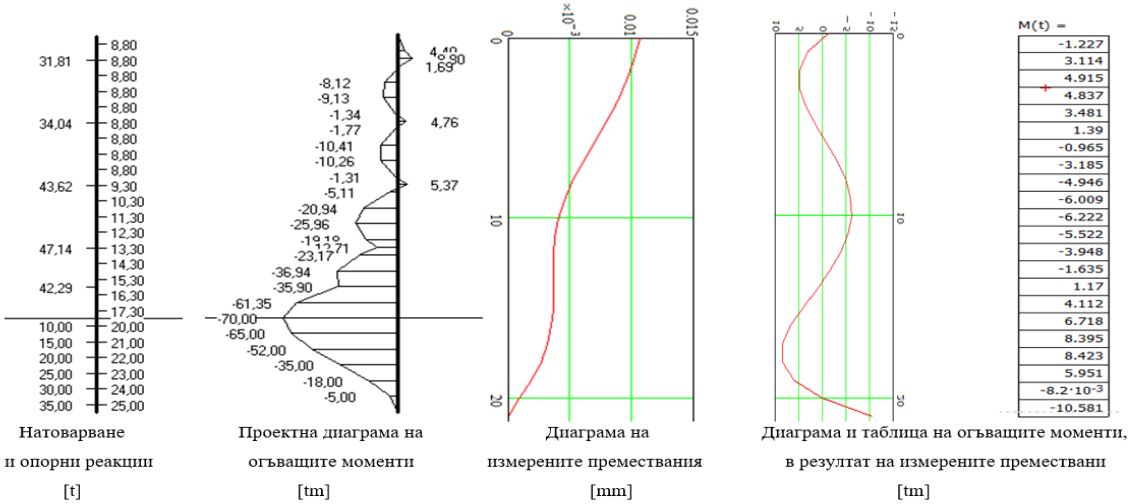
При съвременното строителство, също се правят измервания на инклинациите в ограждащите пилоти и на усилията в анкерите – Mall of Sofia на ъгъла на улиците “Стамболийски" и „Опълченска“, както и на метростанциите при Софийския университет и при Националния стадион „Васил Левски“. Поставени бяха и инклинометрични тръби и бяха направени измервания на инклинациите при откопаването на строителните изкопи на посочените обекти.

Особен интерес представляват измерванията при свлачищата, с които да се определи действителната стойност на свлачищния натиск, диаграмата на неговото разпределение, якостните характеристики на почвите в свлачищните повърхнини, както и действителните коефициенти на сигурност, които на практика могат да се изменят в широк диапазон. При установено преоразмеряване, могат да се направят значителни икономии.

За изпълнението на посочените задачи следва да се създаде и главно да се изпълнява широка програма за мониторинг с измервания, обработване и анализ на посочените величини. Несъмнено, това ще хвърли светлина върху верността на изчисленията и евентуално за получаване па значителни икономии, съпроводени с увеличаване на сигурността на съоръженият.

Заключение

Изпитванията за определяне на напрегнатото и деформирано състояние на опорните конструкции в естествени условия и мащаби дава възможност за определяне па редица параметри на земния натиск, действителното напрегнато състояние на конструкциите и тяхното взаимодействие с околния масив. Данните от измерванията имат важно значение за подобряване и рационализиране на цялостната статическа работа на конструкциите с определен икономически и технологичен ефект. За измерванията е подходящо използване на инклинометри, в комбинации с други методи, като: измерване на усилията в анкерите, геодезически измервания, лазерно определяне на преместванията на конструкциите други начини, регламентирани в специализираната литература. За илюстрация се посочва едно сравнение между теоретични и реално получени от измененията диаграми (фиг. 3.) (Божинов, 2022г.)



Фиг. 3. Изчислени натоварвания и огъващи моменти в шлицовите стени до ул. „Позитано“, гр. София. Измерени премествания и определени огъващи моменти от преместванията на същите стени.

Очевидно ефектът от използване на данните от измерванията показва огромната разлика между проектните и действителните стойности на моментите и силите в опорите.

Литература

Божинов, Б. 1999-2001. Опит при подземното строителство в София. - *Годишник на ВИАС, свитък IV “Геотехника”*, София.

Божинов, Б. 1983. Оразмеряване на укрепителни огради*, сп. “Строителство”, кн. 9,* София.

Божинов, Б. 2022. *Геотехнически обекти. Коментари, изводи и препоръки за проектиране.* Авангард Прима, София.

Венков, В. 1981. *Подпорни стени и съоръжения,* С, Техника.

Наредба 12/2001 за проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони. София

Норми за проектиране на подпорни стени, шифър 2-02-03, 1986. *Бюлетин за строителство и архитектура*, кн. 10.

Санглера, Г., Ж. Косто. 1981. *Механика грунтов,* Москва, Стройиздат.

Шнебели, Ж. 1979*. Шлицови стени,* Изд. “Техника", София.

Wilhelm Ernst V. & Sohn 1965. *Grundbau- Taschenbuch Band I. Grundagen*, Berlin-Munchen.

Deutsche Institut für Normung eV (DIN), 1987 DIN-4085, Beiblat 1. Berlin

Autorenkollektiv, 1980. *U-bahn für München U-Bahn-Linie 8/1 (Eine Dokumentation)*, München.

ENGINEERING GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AND METHODS FOR DRAINING AND CONSTRUCTING BUILDING FOUNDATION NEAR A WATER BASIN

Ina Bozhinova-Popova, Emanuela Malinkova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ina_popova@abv.bg; emanuela.malinkova@mgu.bg

ABSTRACT. The terrain in which the construction is carried out is built of weak soils. The level of ground water reaches the land surface. This requires lowering of the ground water level and constructing the foundation of the building in adverse engineering geological and hydrogeological conditions. Thus, small diameter vertical drains located along the perimeter of the drained area are used. This article presents the calculations for dimensioning small diameter vertical drains. Their flow rate and the corresponding depression curves have been investigated thoroughly. An engineering geological way to overcome the complex construction conditions in relatively weak soil varieties is offered. Due to the low values of soil deformation and strength parameters, the application of pile foundation is planned. The piles are designed and distributed according to the loads from the main construction. In this way, the safety of the building construction is guaranteed with appropriate technology.

Keywords: lowering ground water level, foundation, weak soils, small diameter vertical drains, ground water, pile foundation.

ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ И ХИДРОГЕОЛОЖКИ УСЛОВИЯ И МЕТОДИ ЗА ОТВОДНЯВАНЕ И ФУНДИРАНЕ НА СГРАДА В БЛИЗОСТ ДО ВОДЕН БАСЕЙН

Ина Божинова-Попова, Емануела Малинкова
Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”, София 1700

Резюме. Теренът, в който се изпълнява строителството, е изграден от слаби почви. Нивото на почвените води достига земната повърхност. Това налага понижение на високите води и фундиране на сградата в неблагоприятни инженерногеоложки и хидрогеоложки условия. За водопонижението се използват иглофилтри, разположени по периметъра на отводняваната площ. В статията са представени изчисленията за оразмеряване на иглофилтрите. Изследван е техният дебит и съответните депресионни криви. Посочен е и начин за преодоляване на сложните условия за строителство в сравнително слаби инженерногеоложки почвени разновидности. Поради ниските им деформационни и якостни показатели се предвижда прилагане на пилотно фундиране. Пилотите са оразмерени и разпределени съгласно натоварванията от връхната конструкция. По този начин се осигурява сигурността на изграждането на сградата при подходяща технология.

Ключови думи: водопонижение, фундиране, слаби почви, иглофилтри, подземни води, пилотно фундиране.

Въведение

Крайбрежните райони представляват интерес като удобни и функционални строителни терени. В много случаи обаче те са изградени от слаби водонаситени почви, които създават строителни затруднения, често свързани и със значителни водопонижения. Това налага допълнителни и целенасочени проучвания, които да установят качествата на слабите почви и тяхната пригодност да понесат натоварванията от строителните конструкции, което означава, че трябва да се установят техните якостни и деформационни показатели заедно с филтрационните им свойства. Необходимо е да се установи и наличието на пластове от здрави почви, които могат да послужат като основа за пилотно фундиране. Най-подходящи за целта са изпитванията по така наречените методи „in situ“, каквито са статичните пенетрации, изпитвания чрез SPT- метод, визуални оценки, както и местният опит.

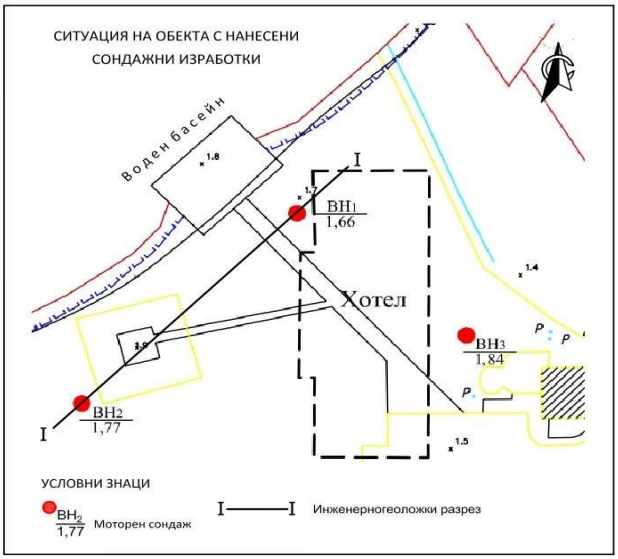
Особен интерес представляват зони, където се очакват силни сеизмични въздействия, както и други видове натоварвания, като например – силни ветрове, понякога със скорост 200 – 300 km/h. Тогава условията за прилагане на плоско фундиране стават още по-неблагоприятни. Тогава се изисква избор на подходяща технология за изпълнение и определяне на носещата способност и изчислителното съпротивление на пилотите при действието на вертикални и хоризонтални сили.

В статията се дава информация за проучване и изпълнение на фундирането на хотел на морски бряг. Строителството на сградата е проектирано и изпълнено при високи нива на почвените води и в слаби почви. Сградата е фундирана на обща фундаментна плоча с пилоти.

Инженерногеоложки и хидрогеоложки условия

Обектът на настоящото проучване се намира в непосредствена близост до воден басейн, като голяма част от проучвания терен е заета от търговски обекти, магазини и заведения за хранене. В геоморфоложко отношение е

разположен върху ниска морска тераса, с полегат бряг, допълнително заздравен чрез натрупване на скални късове. Релефът е равнинен със средна надморска височина 1,80 m. Не е установено наличието на физико-геоложки явления и процеси. В този район скалната подложка е представена от вулкански скали, риолити и базалти и заляга на дълбочина от около 13 m. Почвите непосредствено над скалната подложка са представени от изветрели скални късове с песъчлив или глинест запълнител, които са покрити от песъчливи и глинесто-песъчливи разновидности. Срещат се отделни лещи и прослойки от тини. В резултат на проявяваната вулканска дейност, тектониката на разглеждания район е сложна, а скалите са силно ерозирали. Геоложкият строеж на проучения терен е изследван с три броя моторни сондажи (Фиг.1.).



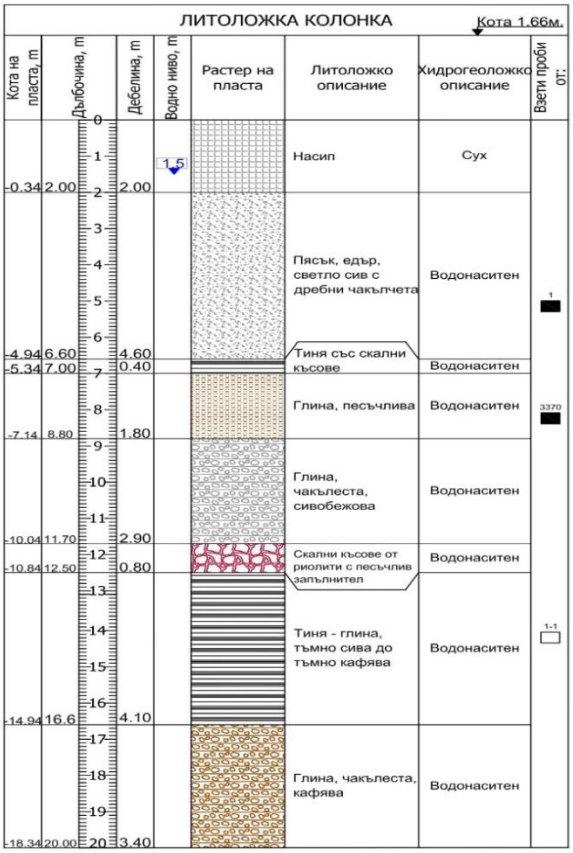
Фиг. 1. Ситуация на обекта

Получените данни от сондирането са обобщени и отразени в литоложката колонка, представена на Фиг. 2.

За установяване на физико-механичните показатели на литоложките разновидности са изследвани лабораторнонарушени земни проби. Извършени са и полеви изследвания по метода „динамична пенетрация“ („SPT-Standart Penetration test”). Обособени са шест инженерногеоложки пласта с различни мощности. В таблица 1 са дадени тези пластове, заедно с представителните стойности на общите им физико-механични, якостни и деформационни характеристики.

Таблица 1. *Съществуващите инженерногеоложки разновидности и обобщени физико-механични показатели*

Литоложка разновидност	Обемна плътност, ρ_n (g/cm^3)	Ъгъл на вътрешно триене φ^0	Кохезия, C, (kPa)	Деформационен модул E (kPa)
1.Насип и почвен слой	1,8	-	-	-
2.Пясък едър и среден	1,5	30,00	5,50	-
3.Глина песъчлива и чакълесто-песъчлива	1,8	22,00	52,30	8105,05
4.Тиня – глина тъмно сива	1,79	12,00	0,00	-
5.Риолити изветрели до отделни скални късове с глинест или песъчлив запълнител	1,96	14,10	51,75	6183
6.Базалти тъмно сивозелени	2,76	-	-	-



Фиг. 2. Литоложка колонка

Районът се характеризира с висока сеизмичност (IX Сеизмична степен по MSK). Съгласно действащите нормативни документи за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони не се допуска пряко фундиране върху пластове 1 (насип и почвен слой) и 4 (тиня). Инженерно-геоложките условия на проучвания терен се класифицират като неблагоприятни в сеизмично отношение, и поради водно ниво по-плитко от 4 m.

Отводняване на строителния изкоп

От инженерногеоложкия разрез, показан на ситуацията, се установява, че до дълбочина 2,0 m залягат насипи, негодни за фундиране. За да се разчита на евентуално съдействие на земната основа под фундаментната плоча при поемането на вертикалните и хоризонтални сили, се изисква отстраняване на насипите и стъпване на фундаментната плоча на пясъчна основа.

Характерна кота на:

- 0,00 = абс. кота 2,60
- терена - -0,94 – абс. кота 1,66
- ниво на подземните води - -2,44 – абс. кота 0,16
- долния край на насипите - -2,94 – абс. кота -0,34
- фундиране - - 3,10 – абс. кота -0,50.

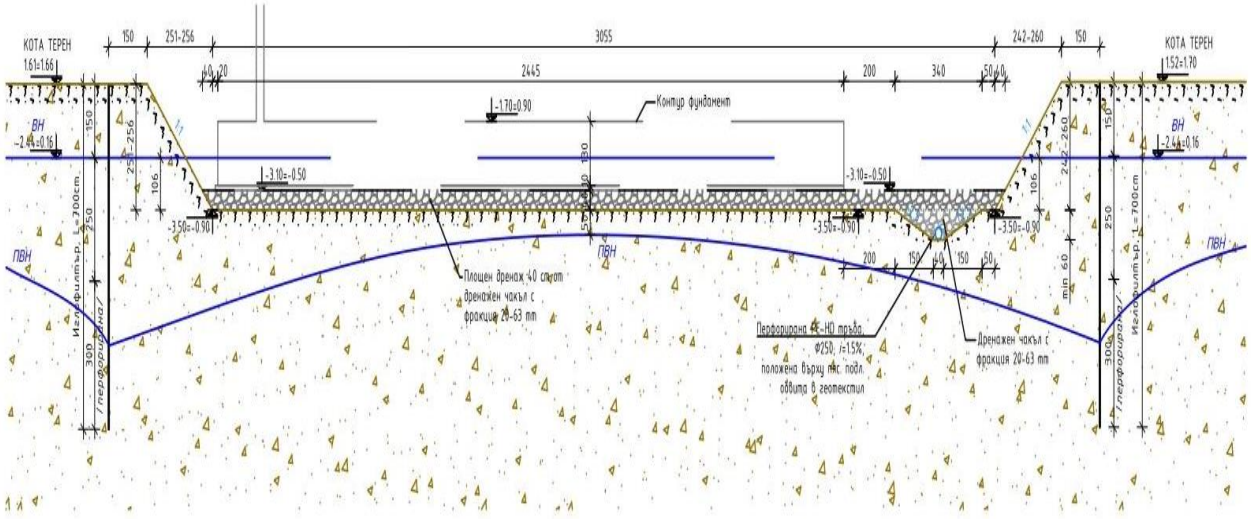
При тези данни, дълбочината на фундиране на сградата е 2,15 m – стъпила в пясъците на дълбочина 16 cm, както е показано на Фиг. 3.

Според правилниците за фундиране, се изисква нивото на подземните води да спадне най-малко на 50 cm под котата на фундиране. При дадените по-горе нива на подземните води и котата на фундиране, се оказва, че е

необходимо водопонижение от 1,20m. Поради наличието на пясъци, може да се очаква засилена дънна филтрация.

Направен е избор за водопонижение чрез иглофилтри, поставени по периметъра на отводняваната площ.

При потопяване на долния край на филтриращата част на иглофилтрите на 5,5 m се получава дължина на филтриращата част 3,0 m (Фиг. 3.).



Фиг. 3. Схема за отводняване

Дълбочина на депресионната линия следва да е S = 3,30 m.

За диаметър на иглофилтърните игли се приема 0,15 m и съответно радиус - 0,075 m.

Радиусът на депресионната крива се определя по формулата на Sichardt (Grundbau, 1966; Абрамов, 1955):

$$R = 3000.S.\sqrt{k} \approx 300\ m \quad (1)$$

Притокът на вода в строителния изкоп се определя по метода на Форхаймер (3.), (Гълъбов, Стоянов, 2005; Зееверт 1982).

Площта на областта, в която се изпълнява водопонижението е A = 668 m^2, от където следва, че приведеният радиус на тази площ е:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \approx 15m \quad (2)$$

Тъй, като изкопът се приема като несъвършен кладенец, под нивото на иглофилтрите остава водопропусклив пласт с дебелина m = 2,5 m, водният приток са определя по формулата:

$$Q = \frac{2.73.k.m.S}{\lg\frac{R+r}{r} + 0{,}2\frac{m}{r}} = 9014m^3/d \quad (3)$$

Съгласно данните от инженерногеоложките проучвания, под фундамента на сградата има едър пясък с дребен чакъл. Пясъкът има ниско съдържание на прахова фракция, без съдържание на глина. Това го прави силно водопропусклив, като средната стойност на коефициента на филтрация е:

к = 80 m/d = 0,000926 m/s = 0,0926 cm/s.

Тази стойност се приема за изчисленията.

За една секунда притокът на вода е

q= 104 l/s= 0,104 m^3/s.

При нареждане на иглофилтрите през 1,5 m, се получават 95 броя игрофилтри. Дебитът на един иглофилтър се получава 1,1 l/s ≈ 0,0011 m^3/s.

За изчерпване на това водно количество са необходими най-малко 4 помпи с дебит по 100 m^3/h, или 2 помпи с дебит по 150 m^3/h.

Необходимото водно количество, което трябва да постъпи в иглофилтъра, се определя по формулата (Минков, 1965):

$$q_{max} = 2.\pi.r.h\sqrt{\frac{k}{15}} \quad (4)$$

където:

r – радиус на иглофилтъра, m;

к – коефициент на филтрация, m/s;

h – дължина на филтриращата част на тръбата, m.

След заместване на величините се получава, че максималното водно количество, което може да се поеме от един иглофилтър е 0,00286 m^3/s = 2,86 l/s. Тази стойност е по-голяма от проектната (1,1 l/s), която е определена от решението за водопонижение на площадката. С това се доказва възможността за водопонижение при получените резултати и ефекта от приложението на иглофилтрите.

Метод за фундиране

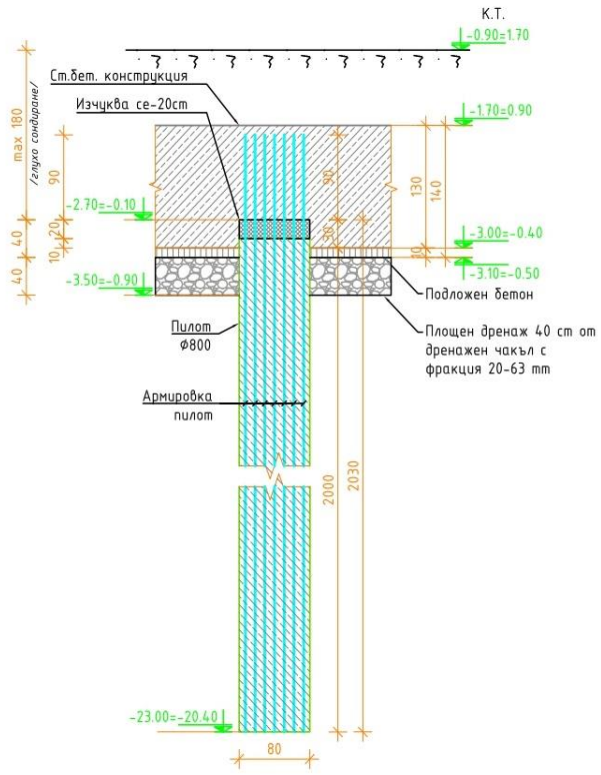
При изчисленията за фундиране на сградата за представителни се приемат данните от ВН-1 (Фиг. 2.). Тъй като почвите, върху които ще се изгражда сградата, не отговарят на условията за плоско фундиране, т.е. сляганията да бъдат в определени граници и устойчивостта да бъде гарантирана с определен коефициент на сигурност, се проектира пилотно фундиране. Стойностите на SPT се използват за определяне на върховото съпротивление на статичен пенетрометър, както и за определяне на върховото съпротивление и околното триене на пилотите. Използвани са корелациионни зависимости, чрез които по данни от SPT са определени якостните и деформационни

характеристики на почвите, както и носещата способност на пилотите (Sanglerat, 1965; Трофименкова, 1969).

Приетото пилотно фундиране е със сондажни пилоти с диаметър 800mm и дължина 20m. Прилага се статистически модел за определяне на носещата способност – **Q** и изчислителното съпротивление – **P** на пилотите, като е използван коефициент на сигурност 1,4 (Sanglerat, 1965).От входните данни са получени следните стойности за пилотите:

Q= 4840 kN и P=3450 kN.

С получените данни за изчислителното натоварване на един пилот се прави разпределение на пилотите под фундаментната плоча, съгласно дадените натоварвания от връхната конструкция. След това разпределение, се прави проверка на действителното натоварване на отделните пилоти. От проверката се установява, че най-натоварените пилоти получават вертикални сили:
N_{max} = 2901,63 kN ,
N_{min} = 196,20 kN (Божинов, Дингозов, 1979).



Фиг. 4. Детайл на пилот

Освен на вертикални сили, пилотите са подложени и на значителни хоризонтални натоварвания, предизвикани от земетръсни и ветрови въздействия. Изчислено е, че всеки пилот ще бъде натоварен с хоризонтална сила от **H=589 kN** (Божинов, Попов, 2016).

Изчисленият максимален огъващ момент за един пилот е **M_{max}=713,14 kNm.** За тази стойност се прави армирането на пилотите.

Предвид сравнително слабите почви непосредствено под фундаментната плоча и високите натоварвания, е приета схемата „запънат пилот“. Детайл на връзката пилот-фундаментна плоча е даден на Фиг. 4.

Заключение

Посочените решения и заключения са използвани при фундирането на реален обект при инженерногеоложки и хидрогеоложки условия, показани в статията. Обектът е реализиран при потвърдени показатели, залегнали в решенията. В случая се третира фундиране при изключително сложни условия в слаби почви, високи нива на подземните води и отводняване при значителен водоприток.

Литература

Абрамов, С. 1955. *Гидрогеологические расчеты вертикальных дренажей при осушении угольных месторождений,* Москва.

Божинов, Б., С. Попов. 2016. *Изчисляване на пилоти, шлицови и шпунтови стени, натоварени с хирозонтални сили и огъващи моменти,* София.

Божинов, Б., Г. Дингозов. 1979. *Пилотно фундиране,* София.

Божинова-Хаапанен, А. 2021. *Деформационни свойства на структурирани глини,* София

Гълъбов, М., Н. Стоянов. 2005. *Динамика на подземните води,* София.

Зееверт, Л. 1982. *Фундиране при трудни условия на земната основа,* София.

Минков, В. 1965. *Фундиране,* София.

Трофименкова, Ю. 1969. *Справочник проэктировщика,* Москва.

Wilhelm Ernst V. & Sohn. 1965. *Grundbau- Taschenbuch Band I. Grundagen*, Berlin-Munchen.

Sanglerat. G. 1965. *Le penetrometre et la rekonnaissance des sols,* Paris.

THE SAND PYRAMIDS NEAR THE VILLAGE OF BANISHTE, THE DISTRICT OF BREZNIK (WESTERN BULGARIA) – AN UNKNOWN BULGARIAN GEOSITE

Boris Valchev, Georgi Angelov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia, Bulgaria; E-mail: b_valchev@mgu.bg

ABSTRACT. On the territory of Western Bulgaria, in the border area between the Sredna Gora and the Moravian-Rhodope tectonic zone, separated by the Tran-Kosharevo fault zone, in the land of the village of Banishte, the district of Breznik, at the foot of the western slope of the Lyubash Mountain, a small ensemble of sand pyramids is exposed, known among the local population as the “Rovinite”. The geosite is formed in the Pleistocene proluvial-delluvial deposits and forms a small strip, 80 m long, 30 m wide, ~~and~~ spreading NW-SE. The pyramids have not been described as a geological phenomenon and are not included in the list of natural landmarks and protected areas of the Ministry of Environment and Water. This article aims to briefly present the geological structure of the area, as well as to make a geoconservation characterisation of the geosite. According to the classification of geological phenomena, the sand pyramids near the village of Banishte fall into the group of sites of aesthetic value (geomorphological class), and according to the original Bulgarian methodology for the assessment of geological phenomena, they are referred to the sites of local importance.

Key words: sand pyramids, the Lyubash Mountain, the village of Banishte, geosite, geoconservation.

ПЯСЪЧНИТЕ ПИРАМИДИ ПРИ С. БАНИЩЕ, БРЕЗНИШКО (ЗАПАДНА БЪЛГАРИЯ) – ЕДИН НЕПОЗНАТ БЪЛГАРСКИ ГЕОТОП

Борис Вълчев, Георги Ангелов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. На територията на Западна България, в граничната област между Средногорската и Моравско-Родопската тектонска зона, разделени от Трънско-Кошаревската разломна зона, в землището на с. Банище, Брезнишко, в подножието на западния склон на Любаш планина, е оформен малък ансамбъл от пясъчни пирамиди, известни сред местното население като „Ровините“. Геотопът е оформен в плейстоценски пролувиално-делувиални наслаги и оформя неголяма ивица с дължина 80 m, ширина 30 m и посока на разпространение СЗ-ЮИ. Пирамидите не са описвани като геоложки феномен и не фигурират в списъка на природните забележителности и защитените местности на Министерството на околната среда и водите. Настоящата статия има за цел да представи накратко геоложкия строеж на района, както и да направи геоконсервационна характеристика на геотопа. Съгласно класификацията на геоложките феномени, пясъчните пирамиди при с. Банище попадат в групата на обектите с естетическа стойност (клас геоморфоложки), а според оригиналната българска методика за оценка на геоложки феномени, те се отнасят към обектите с локално значение.

Ключови думи: пясъчни пирамиди, Любаш планина, с. Банище, геотоп, геоконсервация.

Въведение

Земните (пясъчни) пирамиди са геоложки феномен, който въздейства естетически върху човешките възприятия. Този факт е отчетен при разработването на проекта „Регистър и кадастър на геоложките феномени в Република България“, финансиран от Министерството на околната среда и водите (1999–2003 г.) и изпълнен с водещото участие на експерти от Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“. Под формата на научни досиета в регистъра са включени Мелнишките, Стобските и Кътинските пирамиди[1]. По-късно, в отделни публикации са описани и някои по-слабо известни ансамбли (Valchev et al., 2013; Valchev, Nachev, 2015).

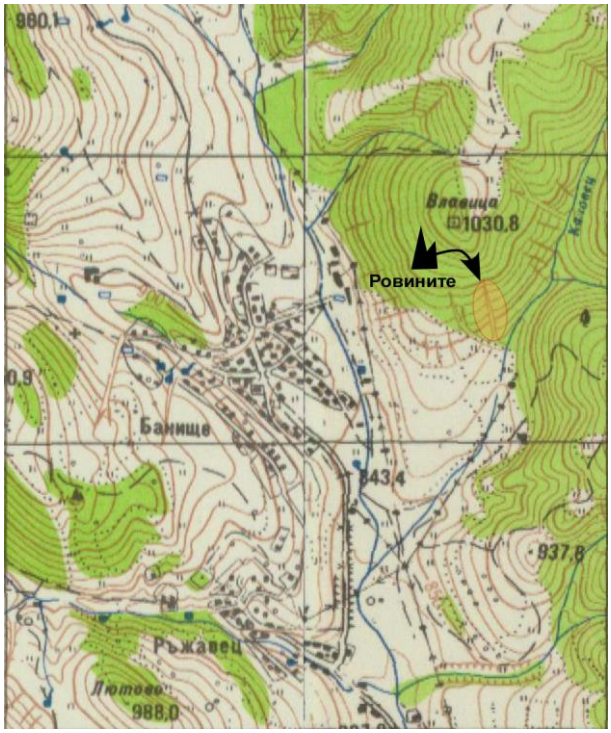
Безспорният фаворит са Мелнишките пирамиди, които спокойно могат да бъдат наредени сред емблемите на българските геоложки феномени непосредствено след Белоградчишките скали и Побитите камъни. Подобно въздействие имат и Стобските пирамиди.

На територията на Западна България, в граничната област между Средногорската и Моравско-Родопската тектонска зона (фиг. 1), в землището на с. Банище, Брезнишко (фиг. 2), е оформен малък ансамбъл от пясъчни пирамиди, известни сред местното население като „Ровините“. Те не са описвани като геоложки феномен и не фигурират в списъка на природните забележителности и защитените местности на Министерството на околната среда и водите.

Настоящата статия има за цел да представи накратко геоложкия строеж на района и геоконсервационната характеристика на геотопа.

[1] Jelev. V., D. Sinnyovsky (Eds). 2003. *Register and Cadastre of the Geological Phenomena of Republic of Bulgaria. 188 files in 5 volumes*. – Ministry of Energy of the Republic of Bulgaria, National Geological Fund, report XV-1232 (In Bulgarian, English, and Russian).

Фиг. 1. Тектонска подялба на територията на България (по Dabovski and Zagorchev, 2009) с местоположението на изследвания район



Фиг. 2. Фрагмент от топографска карта в М 1:25 000 с местоположението на пясъчните пирамиди (Ровините)

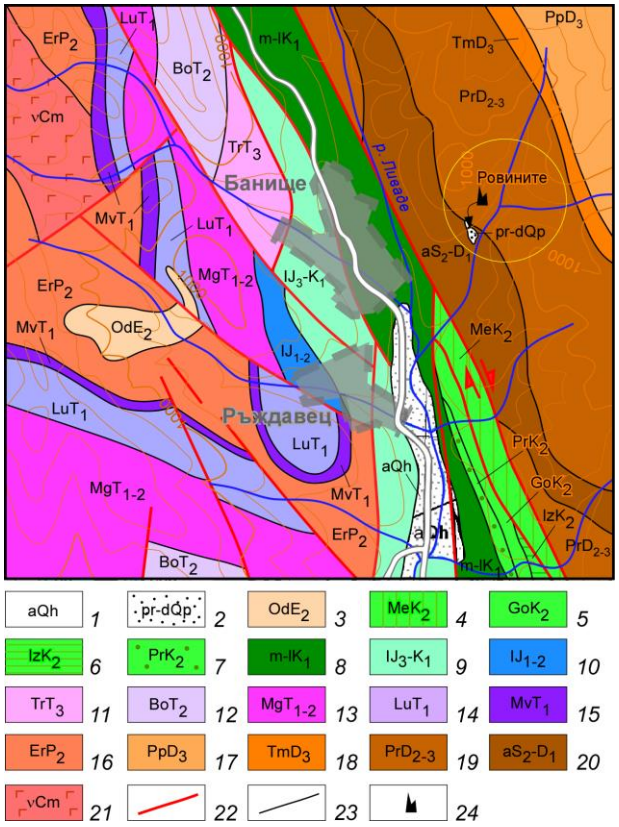
Данни за геоложкия строеж на района

Стратиграфия

В строежа на изследвания район участват палеозойски интрузивни и теригенни скали, триаски, юрски и ранно- и късноредни теригенни, теригенно-карбонатни и карбонатни последователности, еоценски вулканити, както и кватернерни пролувиално-делувиални и алувиални наслаги (фиг. 3)

Палеозойските интрузивни скали включват габра и гранодиорити с камбрийска възраст. Разкриват се в най-северозападната част на изследвания район.

Палеозойските теригенни скали са представени от комплекса на граптолитовите аргилити, Пърчарската, Тумбешката, Пропалнишката и Ерулската свита.



Фиг. 3. Геоложка карта в М 1:50 000 (по Marinova et al., 2010a, с изменения и допълнения) с местоположението на изследвания геотоп

Кватернер: *1* – алувий (Холоцен); *2* – пролувий-делувий (Плейстоцен); Еоцен: *3* – Одранишки плагиориолитов комплекс (Лютес–Бартон); Горна Креда: *4* – Меловска свита (Кониас–най-долен Кампан); *5* – Голешка свита (Кониас–долен Сантон); *6* – Изворска свита (Турон–Кониас); *7* – Парамунска свита (долен–среден Турон); Долна Креда: *8* – мергелно-варовикава задруга (Валанжин–Апт); Горна Юра–Долна Креда: *9* – Нешковска (среден–горен Кимеридж) и Костелска свита (горен Кимеридж–среден Бериас); Юра: *10* – Жаблянска (долен Плийнсбах), Градецка (Тоарс–долен Аален) и Полатенска свита (среден Аален–горен Бат); Триас: *11* – Трънска свита (Карн); *12* – Боснекска свита (Аниз); *13* – Могилска свита (горен Оленек–долен Аниз); *14* – Любашка свита (горен Оленек); *15* – Мърводолска свита (Оленек); Палеозой: *16* – Ерулска свита (Горен Перм); *17* – Пропалнишка свита (горен Фамен); *18* – Тумбешка свита (среден–горен Фамен); *19* – Пърчарска свита (горен Живет–среден Фамен); *20* – комплекс на граптолитовите аргилити (горен Уенлок–долен Лохков); *21* – габра и гранодиорити (Камбрий); *22* – разлом; *23* – литостратиграфска граница; *24* – местоположение на геотоп

Комплексът на граптолитовите аргилити (Marinova et al., 2010b; горен Уенлок–долен Лохков) включва граптолитни черни и ивичести аргилити с незначително присъствие на лидити и варовици и се разкрива като тясна ивица, удължена в посока СЗ-ЮИ източно от долината на р. Ливаде. Долната граница не се наблюдава, а горната с Пърчарската свита е неясна.

Пърчарската свита (Yanev, Spasov, 1985; горен Живет–среден Фамен) е представена от флишка алтернация на пясъчници и алевролити с незакономерно присъствие на тънки прослойки от варовици. Разкрива се като широка ивица, удължена в посока СЗ-ЮИ източно от долината на р. Ливаде. Горната граница е литоложки контакт с Тумбешката свита.

Тумбешката свита (Yanev, Spasov, 1985; среден–горен Фамен) е изградена от лидити и аргилити с прослойки от пясъчници, а *Пропалнишката свита* (Yanev, Spasov, 1985; горен Фамен) е представена от алтернация на пясъчници, алевролити и аргилити. Разполага се с постепенен литоложки преход над Тумбешката свита.

Ерулската свита (Zagorchev, 1994; горен Перм) е изградена от кафяво-червени и червено-виолетови аргилити с преходи към дребнозърнести пясъчници и алевритови аргилити. Разкрива се като тясна ивица с посока СЗ-ЮИ западно от долината на р. Ливаде. Долната и горната граница на свитата имат несъгласен характер.

Триаската система е представена от Петроханската теригенна група и Искърската карбонатна група.

Петроханската теригенна група (Tronkov, 1981; Долен Триас) покрива трансгресивно и несъгласно различни нива на палеозойския разрез. Представена е от *Мърводолската свита* (Zagorčev, 1980; Оленек), изградена от червени и розови кварцови пясъчници и конгломерати, като в горните нива на разреза се наблюдава и незакономерно редуване на алевролити, пясъчници и кварцитоподобни пясъчници. Горната граница е постепенен преход към Любашката свита. Разкрива се под формата на няколко тесни ивици с различна пространствена ориентация западно от с. Банище.

Искърската карбонатна група (Tronkov, 1981; Оленек–Карн) в района е представена от четири свити: Любашка (Tronkov, 1983; горен Оленек), Могилска (Asseretto et al., 1983; горен Оленек–долен Аниз), Боснекска (Tronkov, 1975; Аниз) и Трънска (Tronkov, 1983; Карн). Покрива с бърз литоложки преход Петроханската теригенна група. Разкрива се в западната част на изследвания район.

Любашката свита е изградена от редуващи се тънкопластови алевролити, песъчливи мергели, варовити пясъчници с прослойки от глинести варовици. С постепенен литоложки преход над нея следва *Могилската свита*, която е представена от сиви дебелопластови алохемни до афанитови варовици.

Боснекската свита покрива с постепенен литоложки преход скалите на Могилската. Включва кремавосиви дебелопластови неяснослоести доломити. Горната граница не се разкрива в изследвания район.

Трънската свита е изградена от светлосиви масивни до дебелопластови варовици. Долната граница се разкрива извън района на изследването, а горната има несъгласен характер с юрските седиментни скали.

Юрската система се разкрива под формата на тясна ивица с посока ССЗ-ЮЮИ непосредствено на запад от долината на р. Ливаде и включва Жаблянската (Sapunov et al., 1983; долен Плийнсбах), Градецката (Sapunov, 1969; горен Тоарс–долен Аален) и Полатенската свита (Stephanov, 1966; среден Аален–горен Бат).

Жаблянската свита е изградена от редуващи се аргилити, кварцови и олигомиктови пясъчници и конгломерати. Разполага се трансгресивно и несъгласно върху триаски скали. Горната граница е рязка, трансгресивна с Озировската или Градецката свита.

Градецката свита е представена от олигомиктови средно- до езрозърнести пясъчници и по-рядко от конгломерати. Горната граница представлява бърз литоложки преход към *Полатенската свита*. Последната е изградена от песъчливи, биокластични, отчасти оолитни варовици с изобилие от черупки от брахиоподи и бивалвии. Горната граница е рязка литоложка с Яворецката свита (разкрива се извън изследвания район).

Горноюрско-долнокредният интервал оформя ивица, успоредна на долината на р. Ливаде, разполагайки се западно от нея и е представен от Нешковската (Nikolov, Sapunov, 1970; среден–горен Кимеридж) и Костелската свита (Nikolov, Sapunov, 1970; горен Кимеридж–среден Бериас), съставящи Централнобалканската флишка група (Sapunov, 1976), която представлява една теригенно-карбонатна последователност.

Кредната система се разкрива под формата на тясна ивица по долината на р. Ливаде. Включва една неофициална и четири официални литостратиграфски единици.

Мергелно-варовиковата задруга (Goranov et al., 2002f[2]; Валанжин–Апт) е изградена от сиви, жълтеникави или кремави песъчливи и варовити мергели, а в горните нива се разкриват среднопластови оолитни варовици. Долната граница не се наблюдава, а горната е несъгласна с Парамунската свита.

Парамунската свита (Sinnyovsky et al., 2012; долен–среден Турон) включва кремави, сиво-бежови конгломерати, пясъчници, алевролити, аргилити и варовици, както и редки въглищни прослойки. Горната граница е бърз литоложки преход към скалите на Изворската свита.

Изворската свита (Sinnyovsky et al., 2012; среден Турон–Кониас) е представена от сиви мергели с тънки варовикови пластове. Горната граница представлява рязък литоложки контакт с Голешката свита.

Голешката свита (Sinnyovsky et al., 2012; Кониас–долен Сантон) е изградена от слабоспоени глинести пясъчници и меки сиви песъчливо-глинести мергели. Горната граница е постепенен литоложки преход към Меловската свита.

Меловската свита (Sinnyovsky et al., 2012; Кониас–най-долен Кампан) включва тънкопластово редуване на варовици, песъчливи варовици и мергели с характер на карбонатни турбидити. Горната граница е постепенен преход към Кошаревската свита (извън района на изследването).

Еоценската серия е представена от Одранишкия плагиориолитов комплекс (Лютес–Бартон). Разкрива се като малко петно западно от с. Банище.

Кватернерните наслаги включват плейстоценски пролувиално-делувиални слабо споени седиментни скали и холоценски алувиални седименти.

Пролувиално-делувиалните слабо споени седиментни скали се разкриват непосредствено на изток от с. Банище в неголям дол с посока С-Ю. Представени са от дребно

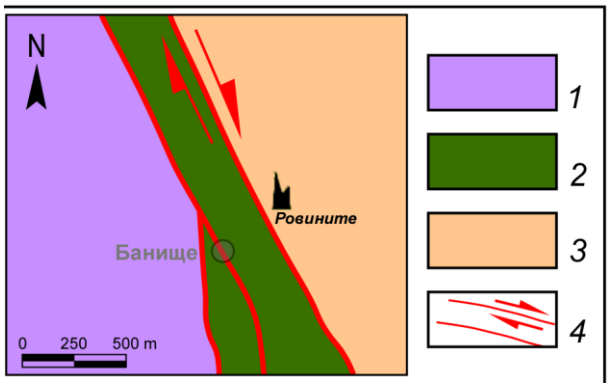
[2] Goranov, E., I. Zagorchev, P. Petrov, K. Zinoviev. 2002f. *Geological Report on the execution of a Geological Task "Geological Mapping at Scale 1:25 000 with Gold Metrology by Secondary Halo of the Kraishte Tectonic Zone conducted in 1999”*. Ministry of Energy, National Geologic Fund, Report IV-483.

късови брекчоконгломерати с жълтеникав глинесто-песъчлив матрикс и едрозърнести пясъчници.

Алувиалните наслаги се разкриват в руслото на р. Ливаде южно от с. Банище. Изградени са от добре сортирани и добре заоблени чакъли и пясъци.

Тектоника

Изследваният район попада в една тектонски усложнена област, включваща Меловската и Любашката единица на Средногорската зона, както и Лужничко-Трънската единица на Струмската надединица, разделени от Трънско-Кошаревската разломна зона. Подложка на геотоп „Ровините“ са скали, участващи в строежа на Любашката единица (фиг. 4).



Фиг. 4. Тектонска схема на изследвания район (по Marinova et al., 2010a) с местоположението на геотоп „Ровините“
Струмска надединица на Моравско-Родопската зона: *1* – Лужничко-Трънска единица; Средногорска зона: *2* – Меловска единица, *3* – Любашка единица, *4* – Трънско-Кошаревска разломна зона

Геоконсервационна характеристика на геотопа

Геотопът се разкрива в овраг с посока ССЗ–ЮЮИ на 1 km ИСИ от центъра на с. Банище (фиг. 5). Представлява ансамбъл от неголеми пясъчни пирамиди в западния склон на Любаш планина в непосредствено съседство с долината на р. Ливаде, оформящ ивица с дължина около 80 m и максимална ширина в централните си части около 40 m. Оформен е в слабоспоени плейстоценски пролувиално-делувиални наслаги, отложени в южното подножие на височината Влавица. Те са изградени от ръбати, несортирани до слабо сортирани чакълни и гравийни късове сред жълтеникав глинесто-песъчлив матрикс (Таблица I*ж*). Късовете са предимно от лидити и варовици, характерни за комплекса на граптолитовите аргилити.

Най-впечатляващите пирамиди са оформени в южната част на ансамбъла (Таблица I*а–в*), където се наблюдават „гребени“, ориентирани предимно от ССЗ на ЮЮИ, с дължина 10–15 m и височина, достигаща до 4 m.

В средната част на ансамбъла се срещат както единични пясъчни пирамиди с кръгло до овално напречно сечение, високи 3–4 m, така и групи от по 3–4 пирамиди с обща основа и височина 2–3 m. Дължината на отделните групи достига до 10 m (Таблица I*г–е, и*).

Впечатляващи единични пирамиди с триъгълно напречно сечение и височина до 4 m са оформени в северната част на ансамбъла (Таблица I*з, к*). В този участък се наблюдават и зараждащи се пирамиди (Таблица I*л*).

В най-северната част на оврага (Таблица I*й*) може да се наблюдава добре оформеният V-образен напречен профил, продукт на дънната ерозия на временните потоци.

Фиг. 5. Сателитна снимка на източната част на землището на с. Банище с местоположението на геотоп „Ровините“

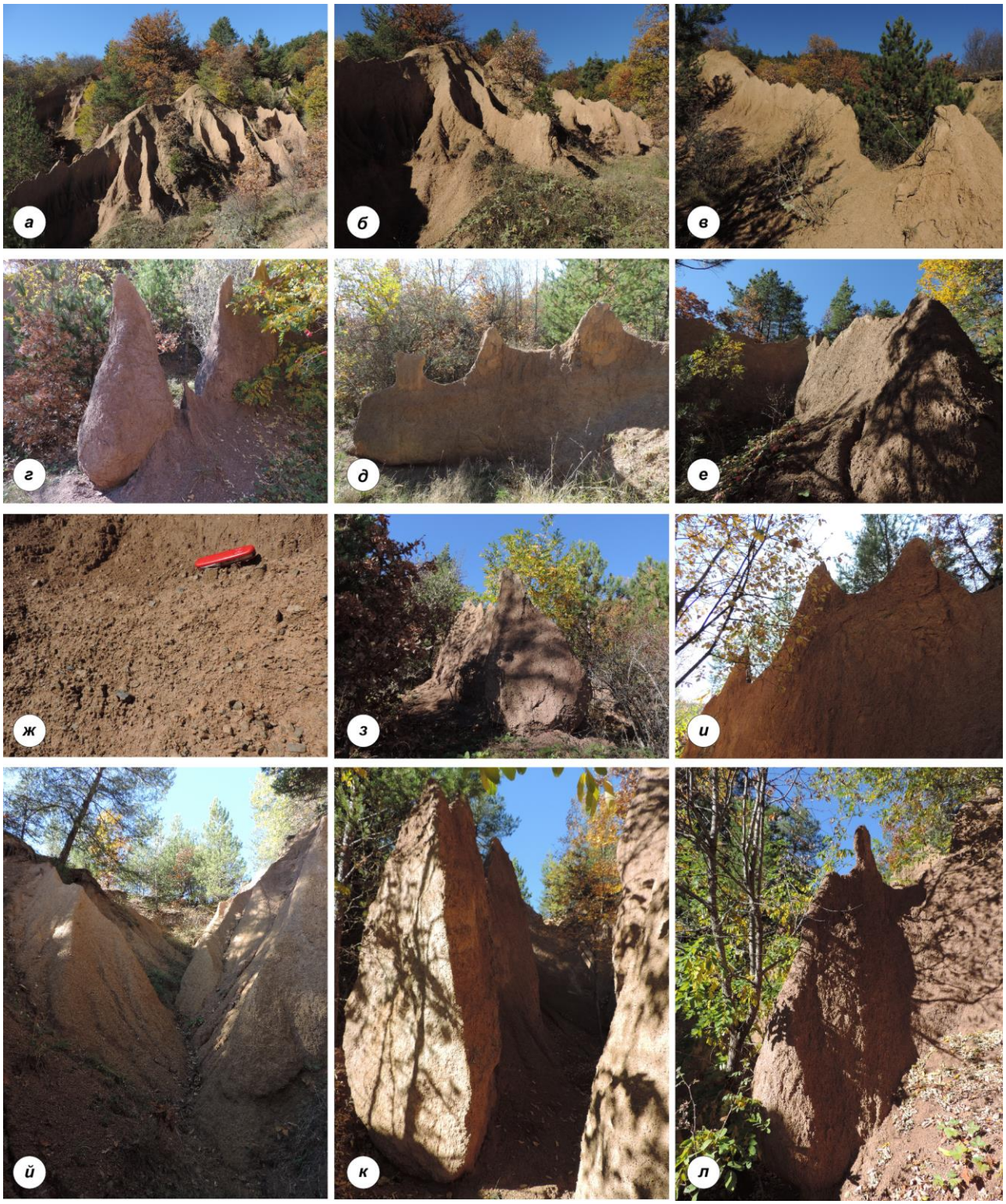
Достъпът до „Ровините“ е лесен – преминава се по макадамов път, започващ източно от асфалтовото шосе на 500 m южно от центъра на с. Банище, след което се върви около 100 m на север-североизток по добре оформена горска пътека. На няколко места по маршрута са разположени указателни табели.

Съгласно класификацията на геоложките феномени, пясъчните пирамиди при с. Банище (геотоп „Ровините“) попадат в групата на обектите с естетическа стойност (клас геоморфоложки), а според оригиналната българска методика за оценка на геоложки феномени (Sinnyovsky et al., 2002), те се отнасят към обектите с локално значение.

Заключение

Като геоложки образувания, пясъчните пирамиди при с. Банище са нетрайни във времето. Независимо от този факт, обаче, те привличат интереса на посетителите. И независимо, че нямат впечатляващото естетическо въздействие на Мелнишките и Стобските пирамиди, те са геотоп, който притежава потенциал за включване в геопътека. Оформени в един тектонски усложнен район, предоставящ значително литоложко, стратиграфско и структурно разнообразие, те са лесно достъпни и за тяхното популяризиране е достатъчно поставянето на няколко табла с геоложка информация, като по този начин, наред с идентичностното си значение (популярни са сред местното население под името Ровините) те биха придобили и образователна стойност. Предвид отдалечеността на с. Банище от индустриални обекти, антропогенното въздействие върху пясъчните пирамиди е сведено до минимум.

Таблица I



***а* – общ изглед на гееотоп „Ровините“ (поглед от юг-югоизток); *б* – „гребени“ от пясъчни пирамиди с посока СЗ-ЮИ и височина 3–4 m в южната част на ансамбъла (поглед от югоизток); *в* – единичен „гребен“ с дължина 10 m и височина 2-3 m в южната част на ансамбъла (поглед от югозапад); *г* – единична пирамида с височина 3 m в средната част на ансамбъла; *д* – три пирамиди с обща основа в средната част на ансамбъла (поглед от североизток); *е* – единичен „гребен“ с дължина 8 m в средната част на ансамбъла (поглед от юг); *ж* – чакълни и гравийни незаоблени и слабо сортирани късове в жълтеникав глинесто-песъчлив матрикс; *з* – четири пирамиди с обща основа и височина 3–4 m в средната част на ансамбъла (поглед от юг); *и* – три пирамиди с обща основа и височина 2–3 m в северната част на ансамбъла (поглед от североизток); *й* – най-северната част на ансамбъла с ясно изразен V-образен напречен профил на долината; *к* – добре оформени пирамиди с височина 4 m в северната част на ансамбъла (поглед от юг); *л* – зараждащи се пирамиди в северната част на ансамбъла (поглед от югоизток)**

Литература

Asseretto, P., D. Tronkov, G. Čatalov. 1983. Mogila Formation (Lower–Middle Triassic) – a new Formation in West Bulgaria. – *Geologica Balc.*, *13*, 6, 25–27 (In Russian with English abstract).

Dabovski, H., I. Zagorchev. 2009. Alpine tectonic subdivision of Bulgaria. – In: Zagorchev, I., H. Dabovski, T. Nikolov (Eds). *Geology of Bulgaria. Part II, Mesozoic Geology*. "Prof. Marin Drinov" Sofia, Publishing House, 30–37 (in Bulgarian with English abstract).

Marinova, R., V. Grozdev, D. Ivanova, D. Sinnyovsky, P. Milovanov, I. Petrov, A. Popov. 2010a. *Geological Map of the Republic of Bulgaria, Scale 1:50 000. K-34-45-B (Tsravena Yabuka), K-34-45-G (Vlasotintse), K-34-46-D (Tran-North), K-34-46-V (Tran-South) Map Sheets*. Sofia, Ministry of Environment and Water, Bulgarian National Geological Survey, Apis 50 Ltd.

Marinova, R., V. Grozdev, D. Ivanova, D. Sinnyovsky, P. Milovanov, I. Petrov, A. Popov. 2010b. *Explanatory Notes to the Geological Map of the Republic of Bulgaria, Scale 1:50 000. K-34-45-B (Tsravena Yabuka), K-34-45-G (Vlasotintse), K-34-46-D (Tran-North), K-34-46-V (Tran-South) Map Sheets*. Sofia, Ministry of Environment and Water, Bulgarian National Geological Survey, Uniscorp Ltd., 85 p.

Nikolov, T., I. Sapunov. 1970. On the regional stratigraphy of the Upper Jurassic and Kower Ctretaceous in the Balkanides. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci*., *23*, 11, 1397–1400 (In Russian with English abstract).

Sapunov, I. 1969. On certain recent stratigraphical problems of the Jurassic system in Bulgaria. – *Bull. Geol. Inst*., *Ser. Stratigr. and Lithol*., 18, 5–20 (In Bulgarian with English abstract).

Sapunov, I. 1976. Ammonite stratigraphy of the Upper Jurassic in Bulgaria. I. Rock and ammonite succession. – *Geologica Balci., 6*, *3*, 17–42.

Sapunov, I., S. Černyavska, P. Tchoumatchenco, V. Shopov. 1983. Stratigraphy of the Lower Jurassic rocks in the Region of Kraište (South-western Bulgaria). – – *Geologica Balc.*, *13*, 4, 3–30 (In Russian with English abstract).

Sinnyovsky, D., R. Marinova, V. Jelev. 2012. Upper Cretaceous lithostratigraphy in the West Srednogorie. Part 1. – *Rev. Bulg. Geol. Soc*., *73*, 1–3, 105–122 (In Bulgarian with English abstract).

Sinnyovsky, D., V. Jelev, M. Antonov, S. Juranov, Z. Iliev, D. Vangelov, G. Ajdanlijski, P. Petrov, H. Vasilev. 2002. A method for estimation of the geological phenomena. – *II Intern. Conf. SGEM, Varna*, 25–33.

Stephanov, J. 1966. The Middle Jurassic ammonite genus *Oecotraustes* Waagen. – *Tr. gèol. Bulg., ser. palèontol.*, *8*, 29–69.

Tronkov, D. 1975. Notes on the Triassic Stratigraphy in the Golo Bardo Mountain. – *Paleontol., Stratigr., and Lithol.*, *1*, 71–84 (In Bulgarian with English abstract).

Tronkov, D. 1981.Stratigraphy of the Triassic System in part of the West Srednogorie (West Bulgaria). – *Geologica Balc.*, *11*, 1, 3–20 (In Bulgarian with English abstract).

Tronkov, D. 1983. Stratigraphic problems of Iskar Carbonate Group (Triassic) in South-west Bulgaria. – *Geologica Balc.*, *13*, 5, 91–100 (In Russian with English abstract).

Valchev, B., G. Nachev, 2015. Geological phenomena in Ponor Mountain (Western Bulgaria). – *Ann. Univ. Mining and Geol*., *58*, part I, Geol. And Geophys., 45–54 (In Bulgarian with English abstract).

Valchev, B. D. Sachkov, K. Karsheva. 2013. Geological phenomena in the Bazovski Part of the Vratsa Mountain. – *Ann. Univ. Mining and Geol*., *56*, part I, Geol. And Geophys., 119–127 (In Bulgarian with English abstract).

Yanev, S., H. Spasov. 1985. Lithostratigraphy of the flysch Devonian between Tran and Temelkovo (Southwest Bulgaria). – *Paleontol. Stratigr., and Lithol*., *21*, 88–97 (In Bulgarian with English abstract).

Zagorčev, I. 1980. Early Alpine deformations in the red beds within the Poletinci-Skrino fault zone. I. Lithostratigraphic features in light of structural studies. – *Geologica Balc.*, *10*, 2, 37–60 (In Russian with English abstract).

Zagorchev, I. 1994. Distribution of the Permian and Lower Triassic red beds in Southwest Bulgaria. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, *55*, 3, 37–53 (In Bulgarian with English abstract).

A SPECIAL CASE OF MECHANICAL INSTABILITY IN THE NORTHERN SLOPE OF THE RILA MOUNTAIN IN SOUTHEAST BULGARIA. DESCRIPTION OF THE PROCESSES AND SOCIAL SIGNIFICANCE

Ivan Dimitrov Ivanov, Dimitar Sachkov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia, Bulgaria; E-mail: ivan.d.ivanov@mgu.bg

ABSTRACT. The Bistritsa River in the Dupnitsa district, Southwest Bulgaria, supplies potable water for 20 settlements. The potable water is diverted from the river in a narrow gorge south of the village of Bistrica. The gorge is situated in fresh gneisses with significant strength and elasticity. Due to the elastic relaxation of the rock mass and tectonic stresses, joints of very unfavorable orientation for the overall stability of the slope have been developed. The general slope is around 35˚ but locally it is much steeper or vertical. On the other hand, the joint friction in the gneisses varies between 23 ˚ in wet conditions and around 29˚ in dry conditions, so this slope is naturally unstable. Toppling, wedge sliding, and sliding on a singular plane all act on this slope simultaneously. A geotechnical solution for the protection of the water catchment installation is urgently needed, yet it may be impossible to protect the facility permanently. Socially acceptable options for accident prevention or mitigation are discussed in short in this paper.

Key words: gneisses, joint friction, toppling, wedge sliding.

СПЕЦИАЛЕН СЛУЧАЙ НА МЕХАНИЧНА НЕСТАБИЛНОСТ В СЕВЕРНИЯ СКЛОН НА РИЛА ПЛАНИНА В ЮГОЗАПАДНА БЪЛГАРИЯ. ОПИСАНИЕ НА ПРОЦЕСИТЕ И СОЦИАЛНА ЗНАЧИМОСТ

Иван Димитров Иванов, Димитър Съчков

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Река Бистрица в региона на Дупница, Югозападна България, снабдява 20 селища с вода за домакински цели. Чистата вода се отклонява от реката в тясно планинско ждрело, южно от село Бистрица. Ждрелото е развито в свежи гнайси със значителна якост и еластичност. Поради еластична релаксация на скалния масив и проява на тектонски напрежения в ждрелото, са развити пукнатини с крайно неблагоприятна ориентация за цялостната стабилност на скалния склон. Генералният наклон на склона е около 35°, но локално е много по-стръмен и на места – вертикален. От друга страна ъгълът на пукнатинно триене в гнайсите варира между 23° в мокро и 29° в сухо състояние така, че този склон е изцяло гравитационно нестабилен. Блоково прекатурване, плъзгане на скални клинове и плъзгане по единични планални повърхности действат едновременно в скалният масив. Конструктивно решение за защита на водозаборното съоръжение е необходимо в кратки срокове, но може да се окаже невъзможно съоръжението да се защити трайно. Социално приемливи решения на този проблем се дискутират накратко в текста.

Ключови думи: гнайси, пукнатинно триене, прекатурване, свличане на скални клинове.

Въведение

В този труд се разглежда естествен планински склон в ждрелото на река Бистрица, който е подложен в зона с комбинация от свлачищни и срутищни процеси със сезонна активизация. При направения теренен оглед се установи, че скалната разновидност, подложена на гравитационно разрушаване е мигматизиран очен гнайс с висок коефициент на еластичност – коефициент на Поасон.

Вследствие на бърза тектонска ексхумация, скалният масив релаксира и в него се развиват усилия на опън (от гравитационното разтоварване), които отварят латентни пукнатини с крайно неблагоприятна ориентация, от гледна точна на гравитационните процеси на движение на масива. В подножието на склона е разположено съоръжение за захващане на питейна вода, което е заплашено от разрушаване.

Тук са разгледани геометричните предпоставки за активизация на масива и е коментирана неговата дългосрочна стабилност. При огледа бе установено, че петрографските свойства на скалните разновидности не играят значима роля за склоновите процеси, като основната им роля е в склонността да поддържат дълги и гладки пукнатини, които определят посоките на движение.

Ждрелото на река Бистрица е дълбоко и тясно, като опасността от движения на скали идва главно от източния борд, а ролята на реката е да изнася обрушения материал, като с това непрекъснато формира пространство за продължаващо обрушаване.

В този анализ се използват следните основни кинематични и геометрични критерии:

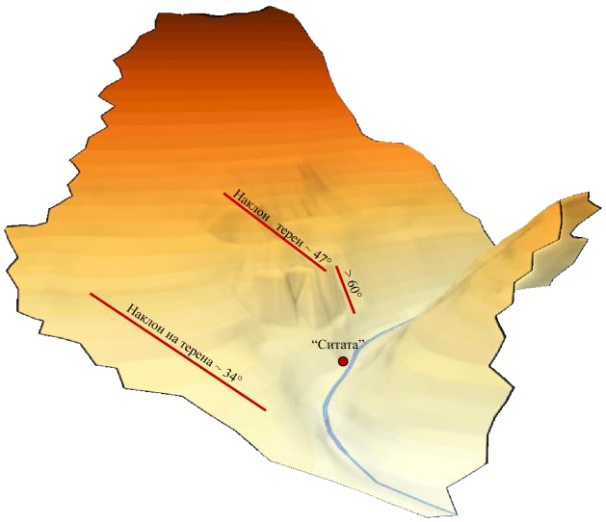
1. Ъгъл на пукнатинно триене за гнайси, който варира след омокрянето на масива.
2. Наклон и ориентация на опасният склон.

3. Ориентация на пукнатините, които разграничават призми или блокове на обрушаване и определят посоките на плъзгане и прекатурване (toppling).

Текстът е илюстриран със стереографски проекции на кинематичните фактори на стабилитета.

Ориентация и наклон на планинския склон

В изследваният участък генерализираната посока на склона е около 170°. Осредненият наклон на склона (в участъците с растителност) по данни от изготвения модел на терена е около 34° (Фиг. 1). За съжаление този ъгъл не може са се приеме актуален при оценката на риска (напр. Kumar et al. 2019) тъй като, поради наличието на полегати потъващи на запад пукнатини се формират естествени стъпала и откоси, в които наклонът се изменя от 47° до над 60°. Наблюдават се дори надвиснали участъци с обратен наклон.



Фиг. 1. Генерален наклон на планинският склон в нестабилния участък над ситовата инсталация на водоприхващането, оценен по изготвения модел на терена. Установеният ъгъл на склона е 34°, но това е генерализиран откос, за съжаление някои части от откоса са по-стръмни.

Също така, поради специфичната ориентация на пукнатините са формирани три големи улея (клинове на обрушаване), като в дъната на улеите наклонът на формираните корита е по-малък, а по ребрата между улеите наклонът на откосите е по-голям като достига до 60°. Едно такова ребро е надвиснало точно над техническите съоръжения за водохващане на питейни води и заплашва да се срути цялото и да разруши както сградата на ситовата инсталация, така и бетонните стени на водозаборните прегради.

Скално-механични процеси на дестабилизация на склона

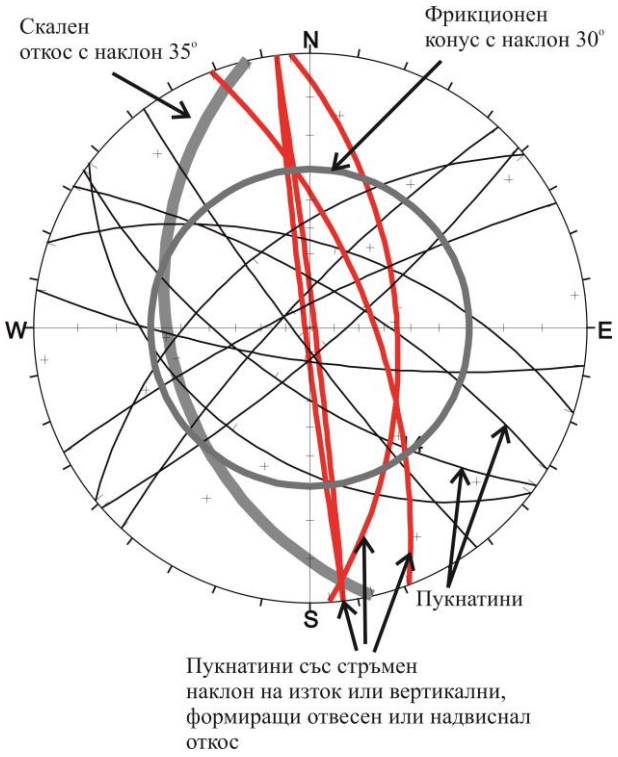
В текста по долу са описани тези процеси на механична дестабилизация, които са установени в изследваният участък и имат отношение към стабилността на откосите.

Формиране на стъпала и вертикални откоси и откоси с обратен наклон в склона

В изследваният участък се установява наличието на дълги гладки пукнатини, които са грубо паралелни на склона. Разграничават се както вертикални, така и стръмно потъващи на изток такива. По тези пукнатини се отлепват скални пластини, които създават отворени пространства и надвисване на части от склона над речната долина.

При наличието на многобройни, стръмно потъващи отворени пукнатини се създават условия за отлепване и прекатурване на скални блокове, което определя срутищен процес.

Вертикалните и надвиснали пукнатини са показани на фигура 2, като пукнатини със стръмен наклон на изток или вертикални формиращи отвесен или надвиснал откос. На същата фигура е показана като плоскост и генерализираната повърхнина на склона (daylighting) (дъга издута на запад) и останалите пукнатини водещи до блокова нестабилност, измерени около водозаборното съоръжение. С кръг около центъра е изобразен фрикционнен конус, отразяващ пределният ъгъл на пукнатинно триене за гнайси в сухо състояние – който е 30°.



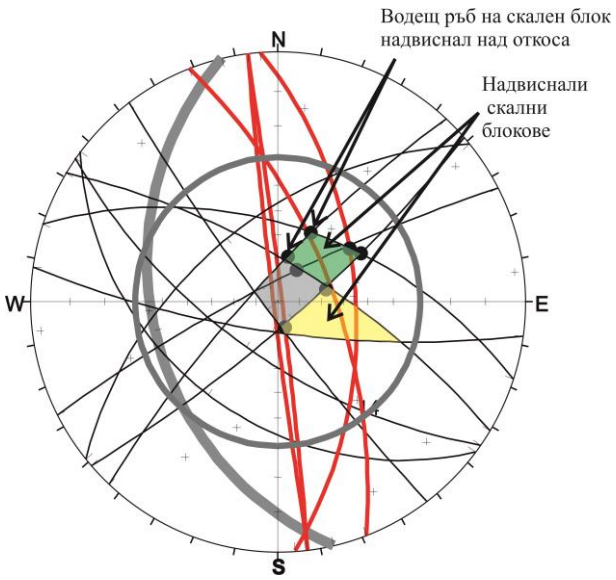
Фиг. 2. Стереограма на основните пукнатини, които водят до нестабилност на обекта. Показан е фрикционен конус с наклон 30° и генерализираната повърхност на склона с идеализиран наклон от 35°.

Пресечниците на пукнатините представляват ръбове на скални блокове. Тези пресечници, определят формата на скалните блокове в стереографска проекция и посоките, по които се случва да се плъзгат, а също и обратният наклон на блоковете, определящ условието за прекатурване на блокове (toppling) (напр. Bray and Goodman, 1981), което е основна предпоставка за развитие на срутищен процес.

Вертикалните и потъващи на изток стръмни пукнатини са с посока почти паралелна на посоката на източния склон на долината, което показва че условия за надвисване на откоса има по целият изследван участък.

Формиране на скални блокове с обратен наклон (срещу склона), водещи до прекатурване на блокове

Наличието на вертикални или стръмно потъващи на изток пукнатини, които са паралелни на склона, създава условия за блокова нестабилност на скалния масив, тъй като ръбовете на блоковете потъват на изток (Фиг. 3). Тези блокове са неравновесни във вертикална плоскост или в надвиснала над откоса плоскост.



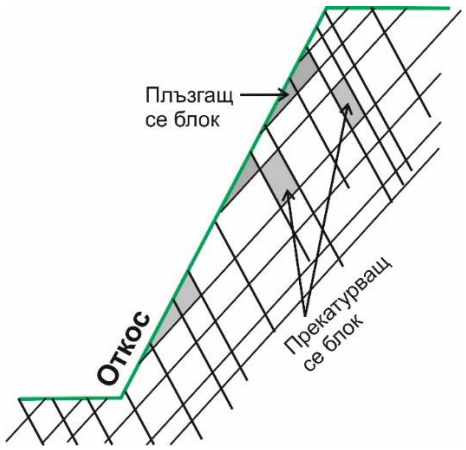
Фиг. 3. Формиране на скални блокове с неуравновесен център на тежестта ограничени от ръбове, потъващи на изток, които надвисват в плоскостите на стръмните пукнатини над склона. Ръбовете на блоковете са показани с точка, а сеченията на блоковете са потъмнени в различен цвят.

Както се вижда от пукнатините, представени на стереограмите от фигура 2 и фигура 3, надвисването на пукнатинните стени достига до около 55-60°. Тоест блоковете буквално висят над долината като при отлепването и им се създават ниши с наклон на свода 40-45° (Фиг. 4), като всяка ниша води до откъсване на блока над нея, което прави процеса на обрушаване перманентен.

Неблагоприятен е и факта, че блоковете са удължени с посока на удължението на изток. Механизмът на освобождаване на блокове е илюстриран на фигура 5.

Тази кинематична ситуация се описва в геотехническата литература (Goodman, 1989, Bray and Goodman, 1981) като „toppling“ – „прекатурване“. При нея се създава непрекъснат поток от скални блокове с различен размер. Размерът на блоковете варира според гъстотата на пукнатините и е от чакълен размер до размери с тегло до няколко метрични тона. По долината на река Бистрица повечето от блоковете са пирамиди с неправилно четириъгълно или триъгълно сечение (Фиг. 4).

Фиг. 4. Ниша, формирана от откъсването на пирамидален блок. Върхът на пирамидата се издига на изток, а основата на пирамидата потъва на запад към реката. Обемът на освободеното пространство е близо 0,5 m^3, което съответства на тегло от порядъка на 1,5 Т. Вижда се гладката повърхност на пукнатината в основата на нишата.



Фиг. 5. Скица, показваща механизма на откъсване на блокове по комбинация от пукнатини, потъващи напречно на склона, паралелно на склона и срещу склона.

Формиране на плъзгане по пукнатинни ръбове – клинове на обрушаване, наклонени по посока на склона

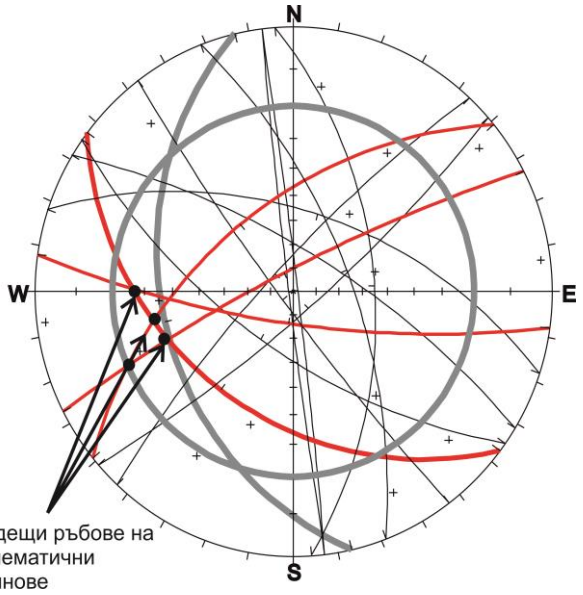
При плъзгането на големи скални клинове (с тегло стотици и хиляди тонове), което е повече или по-малко еквивалентно на свлачище, от най-голямо значение е ъгълът на пукнатинно триене и наличието на празно пространство, по посока на което да се извърши плъзгането. В случая празно пространство, необходимо за плъзгането, се създава от речната ерозия.

От различни литературни източници може да се установи, че ъгълът на пукнатинно триене за гнайси се изменя между 23° за мокри пукнатини и 29° за сухи пукнатини (Barton, 1973; Wine and Lili, 2003, и др.).

В случая с долината на река Бистрица, склонът е цялостно нестабилен в контекста на всички кинематични ситуации, тъй като генералният му наклон от 34-35° е по-голям от ъгъла на пукнатинно триене по пукнатините, развити в този склон.

На горните диаграми (Фиг. 2 и Фиг. 3) е показан оптимистичен вариант на фрикционен конус с ъгъл на пукнатинно триене от 30°, тоест сухо състояние. При фрикционен ъгъл от 30° се установява ясна кинематична нестабилност – клинове по пукнатини, потъващи на запад и на югозапад, тоест към реката.

За да изследваме склонността към формиране на кинематични клинове при неблагоприятни условия на следващата стереограма (Фиг. 6) е показан наклон на фрикционният конус от 25°. Установяват се поне четири реални кинематични клина.



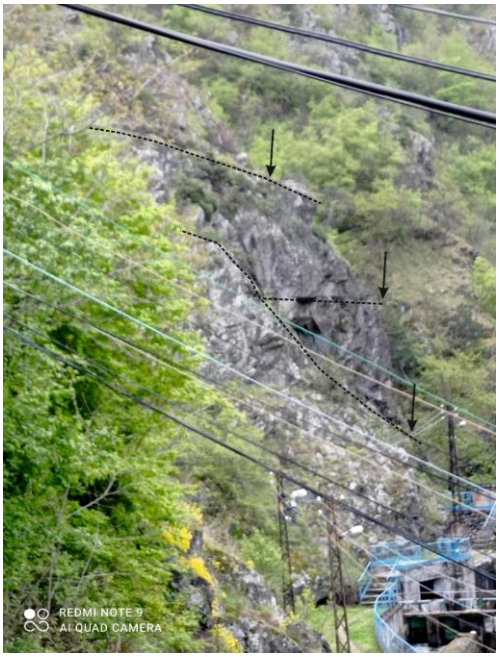
Фиг. 6. Формиране на поне четири кинематични клина, маркирани с черни точки в кинематично нестабилната област на диаграмата между фрикционният конус и плоскостта на откоса.

При огледа на обекта се установи, че в действителност такива кинематични клинове са вече формирани. Тези клинове оформят три дълбоки улея, по които се придвижва блоково обрушен материал. Улеите се проследяват на десетки метри нагоре по склона.

Към момента улеите не съдържат твърде големи блокове, но е задвижено едно от ребрата на улеите (позитивната релефна форма между улеите), което представлява непосредствено задвижен блок с тегло над 10 000 тона. Този блок е освободен в горната си част от субхоризонтални до наклонени по посока на склона пукнатини, така че при обрушаване на принципа на доминото ще задвижи още по-голяма маса над този блок (Фиг. 7).

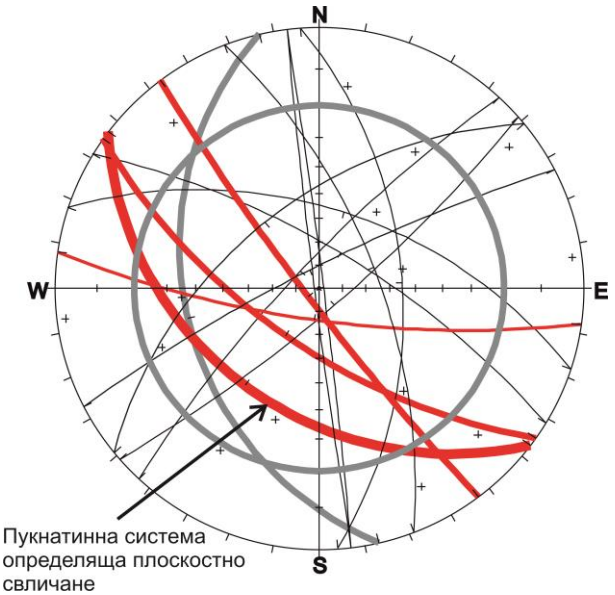
Наличие на обща ос на въртене на пукнатините – условие за формиране на голяма композитна свлачищна повърхнина на плъзгане

Последният анализ в това изследване е възможността да се задвижи голяма свлачищна маса по плоскост, формирана от свързване на неблагоприятно ориентирани пукнатини. Механизмът на това движение се определя от пукнатини, които имат обща посока, която е повече или по-малко паралелна на склона и имат потъване към отвореното пространство на речната долина.



Фиг. 7. Основна стръмна пукнатина, по която се плъзга големият скален блок над ситовата инсталация и полегати пукнатини, които ще доведат до домино-ефект на разрушаване на цялото ребро нагоре по склона.

При анализа се установява една пукнатинна система, потъваща на югозапад, която има подходяща ориентация и няколко добре развити вертикални и потъващи на изток пукнатини (Фиг. 8). Тези пукнатини могат да се подредят в пространството, така че да се формира обща ос на въртене на техните плоскости.



Фиг. 8. Пукнатини, ориентирани по посока на склона, показани с червена дебела линия. Тези пукнатини благоприятстват свличане чрез „плоскостно срязване“ – „plane sliding“.

При свличане по дискутирания механизъм пукнатините се свързват като под действието на опън и срязване се разрушават скалните мостове между тях и се формира обща голяма пукнатина.

Тази пукнатина има стъпаловиден характер (стъпалата имат обща ос на въртене, и е паралелна на посоката на ждрелото), като стълбата слиза по посока на склона.

В действителност този механизъм на скална нестабилност е задвижен от скалното ребро над ситовата инсталация. Пукнатината, по която става основното движение, вече е загладена от срязването (Фиг. 9) и има много малък коефициент на пукнатинно триене.

Пукнатинното триене по никакъв начин не може да задържи скалните блокове над пукнатината, защото наклонът на пукнатините, по които става плъзгането е над 45° (много над фрикционният ъгъл в гнайсите), а локалният наклон на склона над ситовата инсталация варира между 60 и 90°, като се формира празно пространство за движение на запад.

Фиг. 9. Загладена основна плъзгателна повърхнина над ситовата инсталация.

Проблем, свързан с укрепването на нестабилния блок над ситовата инсталация

Блокът, разположен над ситовата инсталация, вече е приведен в движение и катастрофалното му самообрушаване зависи единствено от честотата на валежите, които понижават ъгъла на пукнатинно триене. Може да се приеме, че скалните прагчета и мостове, които го задържат са вече разрушени и загладени и затова обрушването се очаква в съвсем кратък период.

Обрушаването ще бъде катастрофално, тъй като блокът не е цял, а е фрагментиран на големи подблокове от полегати и потъващи към долината пукнатини. При скъсване на долната част на блока, още в същият момент ще се скъсат и скалите, разделени от тези пукнатини, показани на фигура 7, а също и скалите над тях извън обхвата на фотографията. Това ще доведе до непосредствено падане на скална маса с приблизително установено тегло от над 10 000 тона, а в последствие, след активиране на пукнатините нагоре по склона и много по-голяма.

За укрепването на скалният блок се анализират решения, базирани на използване на мрежи и анкери, скална обувка в основата на блока и други такива. Поради стръмният наклон на плъзгателните повърхнини и големият размер на блоковете, всички геотехнически решения са временни и несигурни.

Дори самият процес на дейности по укрепването може да активира процес на неконтролирано свличане.

В действителност склонът не може да се укрепи трайно, като постоянно решение може да се разглежда единствено преместването на водохващащото съоръжение. Преместването е възможно само след осигуряване на значително национално финансиране.

Изводи

В обхвата на изследвания обект се разграничават всички известни типове нестабилност в скални откоси, а именно:

1.Прекатурване на блокове;

2.Свличане по кинематични клинове;

3.Свлачищно свличане по композитна свлачищна повърхнина, изградена от свързани пукнатини.

Въпреки, че тук разглеждаме частен случай на механична нестабилност, картирана в северния склон на Рила планина, такива ситуации се отчитат и на други места в България.

Изграждането на различни технически съоръжения в миналото много често не е било съпроводено с необходимите проучвания. В повечето случаи, въпреки нуждата от детайлни изследвания за даден социално значим обект, е използвана обобщена информация за повечето параметри и е акцентирано само върху най-важния. В разглеждания обект това е било количеството и качеството на водата, която ще бъде експлоатирана, но не и заобикалящата я среда.

В същото време едно по-сериозно изследване би показало, че е нецелесъобразно реализирането на този проект на това място. С по-голям успех инсталациите можеха да бъдат изградени не на десния, а на левия бряг на реката, който очевидно е по-устойчив, а в най-добрия случай по-надолу по течението извън тясното ждрело.

Поради изцяло нестабилният склон, гравитационната сила ще работи винаги и при всички обстоятелства за разрушаването на това съоръжение. Поддръжката на съоръжението ще надхвърли финансовите възможности на местните общности.

Изхождайки от частния случай, за минимизиране на непредвидените разходи и избягване на разнообразни проблеми, свързани и с други инженерни съоръжения смятаме, че:

– в нормативната уредба, следва да се създаде и регулира работата на специална програма за финансиране на постоянно обследване на вече съществуващи, значими стопански обекти в национален мащаб;

– чрез законови промени следва да се засилят изискванията за детайлно изследване на новостроящите

се обекти, което ще даде възможност за спестяване на значителни средства за поддръжка.

Литература

Barton, N., 1973. *Review of a new shear-strength criterion for rock joints.* – Eng. Geol., 7, 287–332.

Goodman, R.E. 1989. *Introduction to Rock Mechanics* – 2nd edition. – Toronto: John Wiley & Sons, 562p.

Kumar S., Nagendran, Mohd Ashraf Mohamad Ismail*, Wen Yan Tung 2019. Integration of UAV photogrammetry and kinematic analysis for rock slope stability assessment. – *Bulletin of the Geological Society of Malaysia, Volume 67*, June 2019, 105–111.

Bray, J.W., R. E. Goodman. 1981. The theory of base friction models. – *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.,* 18 (1981), 453-468, 10.1016/0148-9062(81)90510-6

Wines, D. R., P. A. Lilly4. 2003. Estimates of rock joint shear strength in part of the Fimiston open pit operation in Western Australia. – *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 40*, 929–937

A COMPREHENSIVE PRACTICAL TRAINING IN GEOPHYSICS AND GEOLOGY FOR STUDENTS SUPPLEMENTS THE STUDIES AT THE UNIVERSITY

Atanas Kisyov[1], Christian Tzankov[1], Gergana Georgieva[2]

[1] University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: at.kisyov@gmail.com, ch.tzankov@gmail.com
[2] Sofia University “Sv. Kliment Ohridski”, 1000 Sofia, E-mail: ggeorgieva@phys.uni-sofia.bg

ABSTRACT. In 2019, 2021, and 2022, practical training for students in geophysics and geology was conducted. During the training, the geology of the selected area was shown, and geophysical methods were demonstrated in the study of characteristic geological structures. The measurements were taken by the participating students. In this way, they had the opportunity to get acquainted with the complex geological and geophysical work in the study of a certain area. The training also included presentations to introduce the theory of the methods themselves, as well as a final seminar where the results of the measurements were presented.

Key words: practical training, geophysics.

КОМПЛЕКСНО ПРАКТИЧЕСКО ОБУЧЕНИЕ ПО ГЕОФИЗИКА И ГЕОЛОГИЯ ЗА СТУДЕНТИ ДОПЪЛВАЩО ОБУЧЕНИЕТО В УНИВЕРСИТЕТА

Атанас Кисьов[1], Християн Цанков[1], Гергана Георгиева[2]
[1] Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София
[2] Софийски университет „Св. Климент Охридски“, 1000 София

РЕЗЮМЕ. През 2019, 2021 и 2022 г бяха проведени серия практически обучения за студенти по геофизика и геология. По време на обученията беше показана геологията на избрания район, а геофизични методи бяха демонстрирани при изследването на характерни геоложки структури. Измерванията бяха направени от участващите студенти. По този начин те имаха възможност да се запознаят с комплексната геоложка и геофизична работа при изследването на определен район. В обучението бяха предвидени и презентации, за представяне на теорията на самите методи, както и заключителен семинар, на който бяха представени резултатите от измерванията.

Ключови думи: практическо обучение, геофизика

Introduction

In 2019, 2021, and 2022, practical training for students in geophysics and geology was held. The training was focused at honoured BSc, MSc and PhD students from Sofia University and the University of Mining and Geology and aimed at demonstrating the application of different geophysical and geological methods for near surface investigations. Selected sites situated on the Black Sea coast were selected as representative for an introduction to facies analysis and sedimentary environment interpretation (the Galata formation) and basin development (the Aytos Pass and Cape Mona Petra). A set of geophysical methods (GPR, ERT, magnetics, kappametry, etc.) was used in the selected sited to demonstrate the application of geophysical method for solving geological tasks.

Geological sites

The main part of the practical training was practical work on site and the field trips in eastern Bulgaria and on the Black Sea Coast. The area chosen for the training event in 2019 falls within the boundaries of the Lower Kamchiya Depression (LKD), also known as the Kamchiya sub-basin (Georgiev, 2012), which is located in the coastal part of Central Eastern Bulgaria and extends offshore to the Black Sea. The LKD could most generally be described as a Tertiary basin located to the North of the Balkanides thrust front. The sedimentary fill contains Eocene to Quaternary deposits with thicknesses increasing offshore (Sinclair et al., 1997).

The field trip in 2021 was concerned with the stratigraphy, sedimentology, and structural style of the Cretaceous Paleogene successions cropped out in Northeastern Bulgaria, as well as focusing on key exposures to introduce the students in some field geological and geophysical methods. The geological field methods cover two transects/geotraverses: along the Aytos Pass and the coastal line from cape Emine to the town of Byala to the North including key exposures of the thin-skinned fold-thrust belt of the East Balkan and its foreland/subthrust zone (the Forebalkan). The outcrops provide an example of the lithologies deposited in the different parts of the basin system, facies distribution, sequence boundaries, and style of deformation. The correlation between the outcrops and transects provide an example for the practical

application of the complex geological methods and in combination with the geophysical methods (seismic profiles) to restore the basin evolution. Also, including the complex methodology, the students were involved into the methods of cross-sections balancing and back-stepping.

The field trip in 2022 was focused on the stratigraphy and paleovolcanic features of the South Black Sea coast, as well as on the diverse landforms related to the coastal relief and the interactions between the sea, the land, and the rivers. Several geological routes and localities were visited along the coast of the Strandzha Nature Park (Georgiev et al., 2014), so that the students could observe the characteristic exposures of the Late Cretaceous basin of the Eastern Srednogorie Tectonic Zone, specific structures and interesting landforms including shore platforms, cliffs, stacks, rockfalls, sea caves, sand beaches, dunes, and estuaries.

Geophysical methods

Various geophysical methods (ground-penetrating radar, geomagnetic surveying, electrical resistivity surveying, kappametry, etc.) can be applied successfully for mapping of the near surface geological section. The major advantage of these methods is that they are convenient non-invasive instruments for a relatively rapid and effective determination of the spatial boundaries of geological and hydrogeological units of different rank, as well as zones with different characteristics. One of the aims of the practical training was to demonstrate the application of different geophysical method for solving geological tasks.

During the field measurements on the Galata formation in 2019, electrical resistivity tomography (ERT), the passive and active seismic method, geomagnetic surveying, gravimetric measurements, and a ground penetrating radar (GPR) were demonstrated. All measurements on-site were taken by the attending students (Fig.1).

Fig. 1. Gravimetric measurements on the Romantika beach

Fig. 2 represents a map of all conducted geophysical measurements during the practical training in 2019. To determine the petrophysical properties of the sedimentary structures under study, a complex of measurements was performed, including the determination of the electrical resistivity and magnetic susceptibility characteristics of the different types of sediment. For this purpose, vertical ERT sections were also developed and the physical properties of the individual sediment varieties were determined.

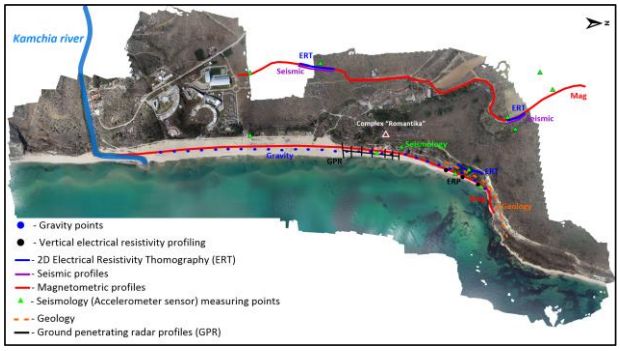


Fig. 2. Map of the conducted geophysical measurements during the practical training in 2019

The main objective of the geophysical methods during the practical trainings in 2021 and 2022 was to estimate the position in depth of faults (Cape Mona Petra), the water layer (the Dyuni beach), and to present the possibility of each method to distinguish between the different outcrops in the studied areas. The combination of detailed lithofacial profiling and 2D mapping of outcrops with extensive detection of textures-indicators is one of the most advanced 3D methods for facial and paleographic modelling, reconstruction, and stratigraphic division of continental successions.

Field measurements in 2021 were carried out on cape Mona Petra (Fig. 3). During the geological trip along the coast, the main fault visible from the sea and on the beach was shown to the students. Then the best position for ERT profiles was estimated and two profiles perpendicular to the main fault were made in the forest of the cape. An active seismic survey (refraction profiling) was also carried out on Cape Mona Petra. The profile was parallel to the ERT profile crossing the fault. The magnetic method was applied onshore over a long profile line measured along the coastline southern from the town of Obzor and crossing cape Mona Petra. In order to gain additional information about the magnetic properties of the represented in the area rocks, we made magnetic susceptibility measurements over samples, outcrops, on the ground, etc. Vertical magnetic susceptibility profiles were conducted on outcrops for stratigraphy purposes. Measurements were made with two KT-10 kappameters.

Fig. 3. Students during ERT measurements on Cape Mona Petra

ERT measurements in 2022 were made in two sites. The first one was the “Malkoto kale” archaeological site where the possibilities of the method in investigating shallow anthropogenic structures were presented to the students. The second site was the Alepu beach. GPR and passive seismic methods were also demonstrated on the Alepu beach.

Results and discussion

Two types of results from the practical trainings can be presented. On the one hand, this is the evaluation of the training from the attendees. And on the other hand, the scientific results for the near-surface structure of the studied areas should be mentioned.

28 students and lecturers from different institutions attended the training in 2019, 10 students attended the practical training in 2021, and 12 students in 2022.

After each practical training, an evaluation form was produced and the participants was given the opportunity to evaluate the training in various aspects including practical work, place of the training, the hotel, and social events. An overall assessment of the event could also be given. The main results from the feedback form from all the years show that the participants were generally very satisfied with the training and especially with the field measurements. Usually, the students in Geology like geophysical measurements best and the students in Geophysics mainly like the geological part of the training. This indicates that the students lack multidisciplinary courses in their study, on the one hand, and practical demonstration of practical application of the theoretical skills they gain in the university, on the other. Here, the comprehensive training fills this gap. This statements is also supported by the answer to the last question in the feedback form: “Would you attend such training again?” Almost all of the participants answered “Yes” and would attend such activity if it ~~is~~ were organised again.

The acquired data from the training in 2019 is far from sufficient for an adequate interpretation of the depositional environments of the sediments of the Galata Formation. The scientific results here include processed data from all geophysical measurements from which a 3D model (Fig. 4.) of the studied area was produced.

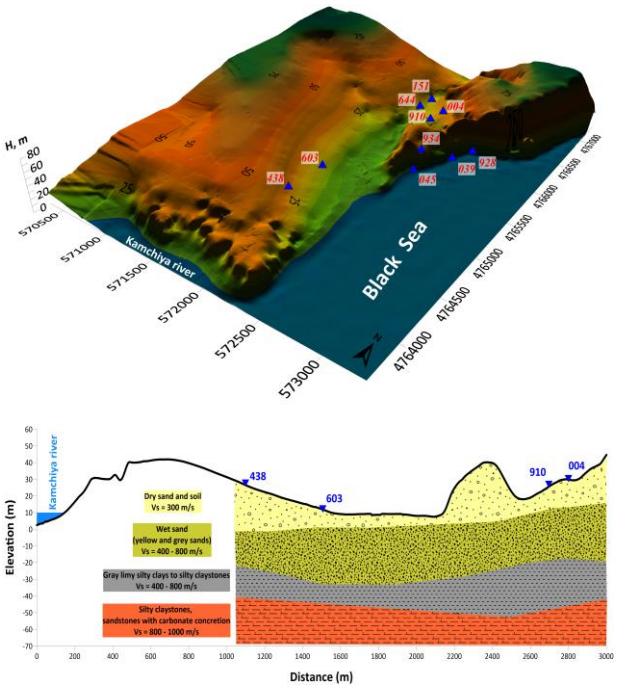


Fig. 4. 3D map representing the position of passive seismic measurements (up) and final interpretation along a profile based on all conducted geophysical measurements

From the obtained 2D geoelectrical, seismological (H/V method), and seismic profiles, three major layers are very well distinguished:

- The first one is characterised by low velocities of seismic waves (about 400 m/s for P waves) and heigh values of electrical resistivity. It consists of unbound dry sands and soil.
- The second layer is with higher P wave velocities (700-900 m/s) and consists of thin, medium, thick- and massive bedded light yellow and grey sands, interbedded with thinbedded dark grey and brown non-calcareous silty clays and silts.
- The third main layer has very low values of electrical resistivity (between 20 and 50 Ωm), and very high P seismic wave velocities (above 2000 m/s). This layer consists of thin-bedded and thick-laminated grey limy and silty clays to claystones, interbedded with laterally continuous and discontinuous thin beds of fine-grained sands and silts. The upper-most section of the pack consists of 15 cm of dark grey to black soft clays. The limy clays display parallel lamination, wavy lamination, flaser bedding, small symmetrical ripple marks, convolute bedding, and concretion structure. The sands and silts are parallel laminated. A marked characteristic of the sediment of the package is the presence of abundant carbonised plant debris of a varying size (from a few cm to more than 20 cm). Casts of thick-shelled marine bivalves were also observed in the clays.

Electrical Resistivity Tomography (ERT) measurements on Cape Mona Petra

Field measurements were carried out on Cape Mona Petra (Fig.5). During the geological trip along the coast the students were shown the main fault visible from the sea and on the beach. Then, the best position for geoelectrical profiles was estimated and two profiles perpendicular to the main fault were made in the forest of the cape (Fig. 3).

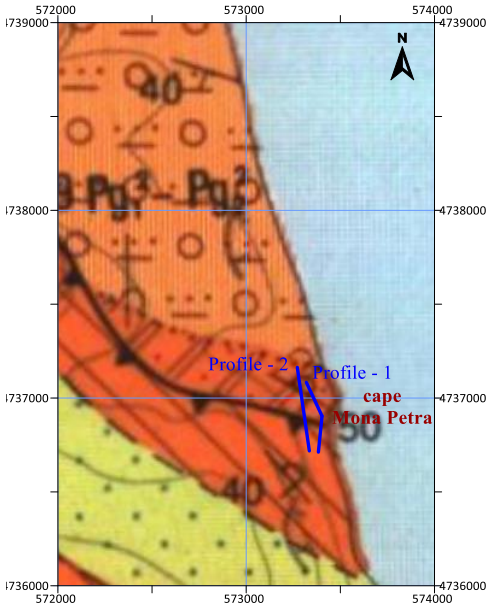


Fig. 5. Position of ERT profiles on Cape Mona Petra.

Electrotomography measurements were performed to locate the fault in our studies. The *Terrameter SAS 1000* equipment and the Wenner-Schlumberger measuring array were used. The lengths of the measured lines were 115 m - 24-electrode, measuring array with a distance of 5 m between the electrodes.

In the obtained electrical resistivity section along surveying lines (Fig.6), two main zones can be clearly distinguished. The first one is located in the southern part of the profile and is characterised by low values of electrical resistivity (4 -10 Ωm). This zone is marked as a fault zone. The second zone is situated in the northern part of the profile and is characterised by higher resistivity values (between 20 and 50 Ωm) and represents Upper Cretaceous succession sediments.

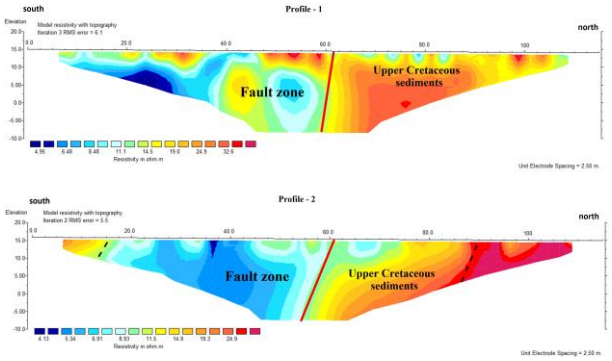


Fig. 6. ERT plots along the profiles on Cape Mona Petra

Conclusions

The trainings included practical exercises, field measurements, geological investigations and evening presentations. A significant part of the training were the field geophysical measurements and geological investigations. Everyone from the attendee had the opportunity to work with the geophysical equipment and to do measurements for a real geological task.

The planned field trips and the practical work are unique possibilities for students and lecturers in Geology and also in Geophysics from both universities to exchange knowledge on a place with a complex structure like Cape Mona Petra. The project and therefore the field work as an annual event will be a very good motivation for students to choose Geology or Geophysics for their career.

Acknowledgements. The practical training was financially supported by *Total Energies*. The authors and all attendees thank the Company.

References

Georgiev, G. 2012. Geology and hydrocarbon systems in the western Black Sea. *Turkish Journal of Earth Sciences 21*, 723-754.

Georgiev, St., E. Balkanska. 2014. *Geological routes along Black Sea Coast of Strandzha Nature Park*. Strandzha Nature Park, Malko Tarnovo, 100 pp (in Bulgarian)

Sinclair, H. D., S. G. Juranov, G. Georgiev, P. Byrne, N. P. Mountney. 1997. The Balkan Thrust Wedge and Foreland Basin of Eastern Bulgaria: Structural and Stratigraphic development. *In: Robinson, A.G. (Ed.), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding regions*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 68, 91-114.

GEOCHEMICAL ASSOCIATIONS IN THE SEDEFCHE ORE DEPOSIT, BULGARIA

Stoyan Klimentov, Kalin Ruskov, Kamen Popov, Ivan Marinov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: klimentov@gorubso.bg

ABSTRACT. The geochemical associations and spatial distribution of chemical elements in the Sedefche deposit are studied. The ore deposit is located in the easternmost part of the Zvezdel-Pcheloyad ore field. The data obtained during the exploration drilling program conducted in the period 2019-2020 by *Gorubso-Kardzhali JSC* was used to determine the spatial correlation between the chemical elements and their geochemical associations. A total of 28 elements were included for the statistical data processing. The results of the factor analysis reveal that the total variation is decomposed on 7 factor axes. The results of the 3D modelling of the factor scores contributes to clarify the geochemical associations and spatial distribution of groups of elements characterised by a certain similarity. The association of ([Ag, Pb, Sb, Au] Cu, As, Cd) from factor 2 represents the distribution of the main ore elements in the deposit. The other associations that follow the morphology of the ore bodies are represented by factor 1 ([Mn, Be, Co, Zn, Fe] Al, Ni, Tl) and factor 3 ([Hg, Tl, Mo, As] S, Au, K, Sb) and probably describe the distribution of the Quartz-sphalerite-galena, the Quartz-arsenopyrite, and the Sulfosalt parageneses.

Key words: Sedefche ore deposit, geochemical associations, 3D modelling, factor analysis.

ГЕОХИМИЧНИ АСОЦИАЦИИ В НАХОДИЩЕ „СЕДЕФЧЕ“, БЪЛГАРИЯ

Стоян Климентов, Калин Русков, Камен Попов, Иван Маринов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Изследвани са геохимичните асоциации и пространственото разпределение на химичните елементи в находище „Седефче“. Находището е разположено в най-източните части на Звездел-Пчелоядското рудно поле. За определяне на пространствената корелация между химичните елементи и техните геохимични асоциации са използвани данни от проучвателното сондиране, извършено в периода 2019-2020 от „Горубсо-Кърджали“ АД. Общо 28 химични елементи са използвани при статистическата обработка на данните. Резултатите от факторния анализ показват, че общата вариация е разложена на 7 факторни оси. Резултатите от 3D моделирането на факторните тегла допринася за определяне на геохимичните асоциации и пространственото разпределение на групите от елементи, характеризиращи се със сходно разпространение. Асоциацията ([Ag, Pb, Sb, Au] Cu, As, Cd) от фактор 2 представя разпространението на основните рудни елементи в находището. Другите асоциации, които следват морфологията на рудните тела, са представени от фактор 1 ([Mn, Be, Co, Zn, Fe] Al, Ni, Tl) и фактор 3 ([Hg, Tl, Mo, As] S, Au, K, Sb) и вероятно отчитат разпространението на кварц-сфалерит-галенит, кварц-арсенопирит и сулфосолната парагенези.

Ключови думи: находище „Седефче", геохимични асоциации, 3D моделиране, факторен анализ.

Introduction

The Sedefche ore deposit is located in the easternmost part of the Zvezdel-Pcheloyad ore field, which is defined by the development of the Zvezdel volcano-plutonic complex (Georgiev, 2012; Popov & Popov, 2022). Specifically, it is situated immediately to the north-northwest of the village of Sedefche. The ore field is part of the Momchilgrad ore sub-region, which coincides spatially with the Momchilgrad depression. The area of the deposit consists of two tectonic complexes, as noted by Georgiev (2012):

The Pre-Tertiary metamorphic complex comprises various metamorphic rocks, including biotite and dual-mica gneiss, amphibolite-biotite gneiss, marble, and kyanite-garnet-biotite schists. Their age is considered to be Pre-Cambrian.

The Tertiary volcanogenic-sedimentary cover is composed of sedimentary, volcano-sedimentary, and volcanic rocks. Limestones and sandy-loam rocks lie above the metamorphic rocks. In some areas, limestone is partially silificated. The volcanic activity during the Oligocene formed acid to intermediate composition lava dykes of rhyolite, dacite, and andesite.

Geological surveys outlined two ore bodies in the deposit: the Northern (central) and the Southern ore body (fig. 1). The Northern (central) ore body is located several hundred meters north of the village of Sedefche and is developed as an elongated strip (400 x 60 m) in an area of intensely hydrothermally altered pyroclastic rocks and andesites, trending in a N-NE direction (Dragiev, 2006). The basement includes marble, amphibolite, alternating chlorite, chlorite-amphibole and quartz-mica schists, and calc schist. Paleogene rocks built carbonaceous-sedimentary-tuffaceous series of Upper Eocene age (organogenic limestone and intermediate tuff, tuffites, and tuff-breccias). The Oligocene tension dyke complex is presented by gabbro-monzonite, andesite-basalt bodies, and rhyolite bodies and dykes covered by Quaternary eluvial-deluvial sediments (Boyanov, 1961).

The "South" ore body is located west of the village of Sedefche and has an elongated N-S shape. The mineralisation

is developed within the silica cap overlying limestones and clay-sandy sediments.

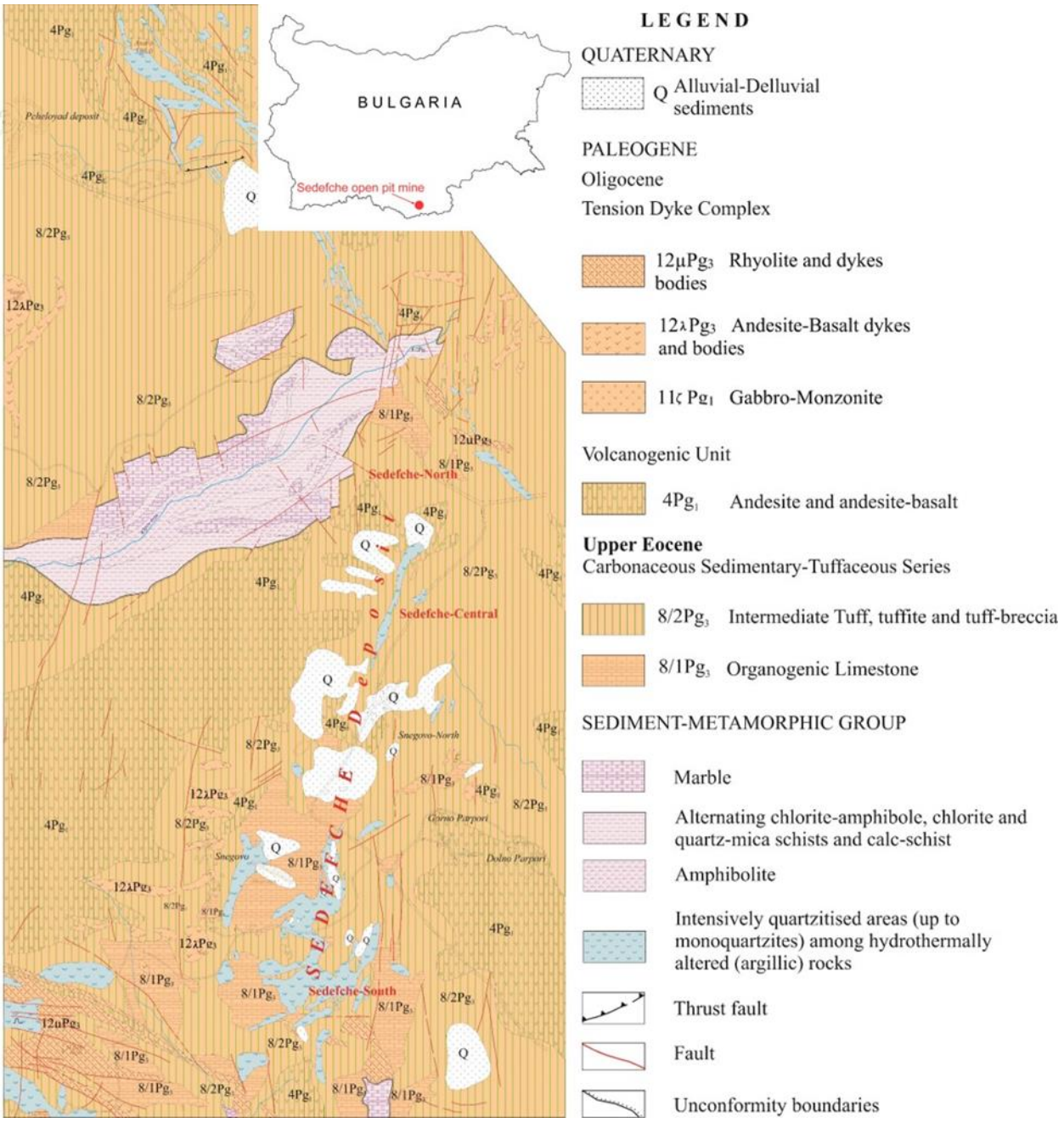


Figure 1 Geological map in scale 1: 50 000 (Cekova, V., 1965)

The ore bodies in the Sedefche deposit have a layer-like, pseudo-conformable shape (Georgiev, 2012). The Sedefche deposit is a typical representative of the low-sulfidation epithermal gold-silver deposit type. There are two broad styles of mineralisation:

Base-metal/low gold-bearing mineralisation containing abundant sulphides (pyrite and marcasite) and gold-silver bearing silica replacement bodies are present, which are partially stratabound and controlled by steep N-S structures that overprint the volcanism.

The first style of mineralisation is closely related to the Zvezdel-Pcheloyad alkalic intrusive complex, which also hosts the Pcheloyad lead zinc deposit. The second style of mineralisation is later and may be related to the younger resurgent rhyolite complex located south of the Sedefche deposit. The gold-bearing mineralisation contains abundant sulphosalts, with much of the gold being refractory.

Lyutov (2019) describes six mineral parageneses, including Quartz-arsenopyrite, Quartz-pyrite, Quartz-sphalerite-galena, Marcasite, Sulfosalts, and Calcite paragenesis.

Materials and methods

The data obtained during the exploration drilling program conducted in the period 2019-2020 by *Gorubso* JSC were used to determine the spatial correlation between the chemical elements and their geochemical associations. A total of 4668

core samples from 84 drill holes were analysed to study the primary geochemical haloes of the Sedefche deposit. The chemical content of the drilling samples was determined by ICP analysis for 33 chemical elements.

A total of 28 elements were included for the statistical data processing (Au, Ag, Pb, Zn, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, S, Sb, Sr, Ti, Tl, V). Some of the analysed elements which are not typical of the ore-forming processes or their contents are below the detection limit of the analysis are excluded from further statistical processing.

The methodology used to evaluate the spatial correlation of elements and the 3D modelling of the factor loadings involves factor analysis (Popov 2002, 2016). The statistical processing methods utilised in this study include preliminary data preparation and univariate statistical analysis, correlation and regression analyses, multivariate statistical analyses such as cluster and factor analysis, and 3D modelling of the resulting geochemical association. A principal component analysis with varimax rotation was performed to evaluate the factors, and statistical processing was conducted using the *Jamovi* software. The results were then processed with the *Leapfrog* 3D modelling software utilising Radial Basis Function (RBF) interpolation to visualise the spatial distribution of invoked geochemical associations.

Results and discussion

The results of the factor analysis for the 28 elements are shown in Table 1, where the total variation is decomposed on 7 factor axes.

Table 1. Factor analysis for determination of the geochemical associations. Only the factor loadings larger than ±0.3 are shown.

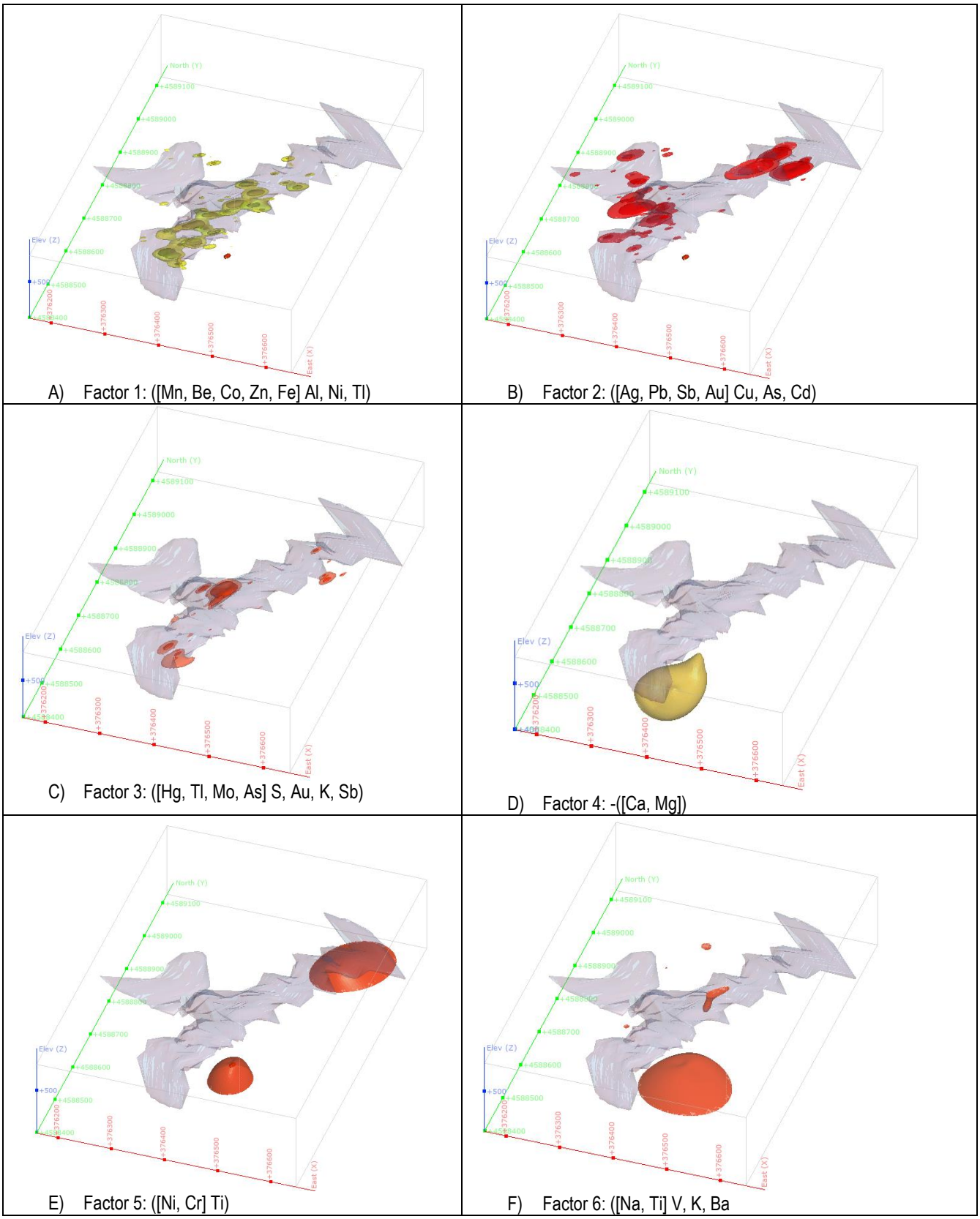
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	Uniqueness
Au		**0.539**	0.319					0.598
Ag		**0.881**						0.214
Pb		**0.841**						0.278
Zn	**0.692**							0.355
Al	0.422			0.463			0.366	0.405
As		0.436	**0.508**					0.483
Ba					-0.313	0.301		0.633
Be	**0.818**							0.286
Ca				**-0.783**				0.275
Cd		0.390						0.710
Co	**0.769**							0.313
Cr					**0.793**			0.277
Cu		0.500						0.738
Fe	**0.680**							0.392
Hg			**0.775**					0.392
K			0.353	0.330		0.420		0.508
Mg				**-0.684**				0.498
Mn	**0.854**							0.214
Mo			**0.672**					0.482
Na						**0.758**		0.387
Ni	0.406				**0.811**			0.172
P				0.330			**0.749**	0.293
S			0.418	0.386		-0.339		0.424
Sb		**0.768**	0.301					0.316
Sr							**0.803**	0.258
Ti					0.390	**0.634**		0.430
Tl	0.370		**0.714**					0.337
V				0.482		0.427	0.394	0.402

Note. 'varimax' rotation was used

The groups of elements with the highest loadings in each factor represent the geochemical associations. Thus, the obtained geochemical associations of elements with similar spatial distribution presented by each factor are as follows:

Factor 1: ([Mn, Be, Co, Zn, Fe] Al, Ni, Tl)
Factor 2: ([Ag, Pb, Sb, Au] Cu, As, Cd)
Factor 3: ([Hg, Tl, Mo, As] S, Au, K, Sb)
Factor 4: -([Ca, Mg]) (Al, V, K, S, P)
Factor 5: ([Ni, Cr] Ti) -(Ba)
Factor 6: ([Na, Ti] V, K, Ba) -(S)
Factor 7: ([Sr, P] V, Al)

Based on the factor analysis, the scores for each sample in the given factor can be calculated (Popov, 2002, 2016). This approach allows to perform further 3D modelling considering that the factor scores represent the spatial relationship between elements (Fig. 1).



A) Factor 1: ([Mn, Be, Co, Zn, Fe] Al, Ni, Tl)

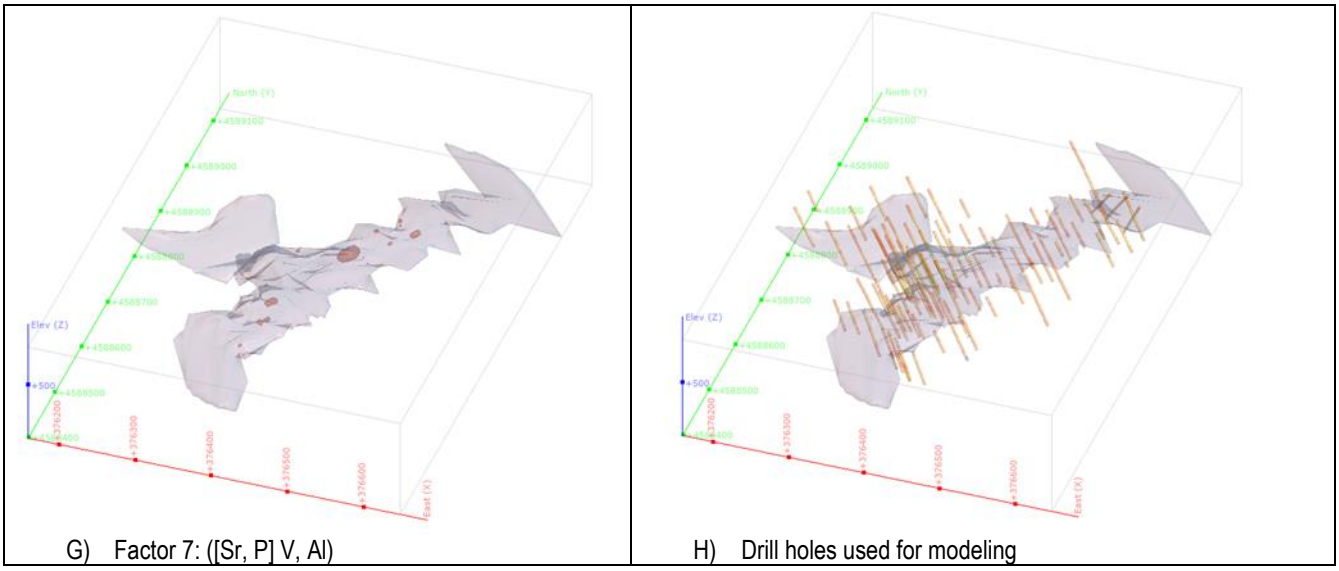
B) Factor 2: ([Ag, Pb, Sb, Au] Cu, As, Cd)

C) Factor 3: ([Hg, Tl, Mo, As] S, Au, K, Sb)

D) Factor 4: -([Ca, Mg])

E) Factor 5: ([Ni, Cr] Ti)

F) Factor 6: ([Na, Ti] V, K, Ba



G) Factor 7: ([Sr, P] V, Al) H) Drill holes used for modeling

Fig. 2 Spatial distributions of the geochemical associations. The isosurfaces are constructed at the threshold values for each factor - the arithmetic mean + standard deviation.

The first factor considers the behaviour of the group of elements Mn, Be, Co, Zn, and Fe. The lower weights of Al, Ni, and Tl mark their tendency to connect to this group. This factor follows the spatial distribution of the main ore zone and the Quartz – pyrite mineral paragenesis.

The second factor represents the distribution of the main ore elements in the Sedefche deposit, which are joined in an association of Ag, Pb, Au, and Sb, as well as Cu, As, and Cd with lower loadings. This factor coincides with the spatial distribution of all ore zones and probably follows the Quartz-sphalerite-galena and the Quartz-arsenopyrite mineral parageneses.

The third factor describes the association with the core of Hg, Tl, Mo, and As, which have a high correlation with each other. The elements Au, K, S, and Sb also join here with lower weights. The development of this group of elements also falls within the limits of the main ore body and the main ore paragenesis, as their distribution is much more fragmented than that of factor 2.

The fourth factor represents the association of Ca and Mg but with negative values. The elements Al, K, P, S, and V have a relatively weak correlation to this factor, which marks their inversely proportional dependence on Ca and Mg.

The fifth factor groups Cr and Ni, as Ti also shows some weak relation to them.

The sixth factor describes the association of B, K, Na, Ti, and V, with S showing some negative correlation here.

The seventh factor has a high correlation with P and Sr and a lower correlation with Al and V.

The results of three-dimensional modelling of the distribution of geochemical associations clearly emphasise the existing zonation in the deposit.

Conclusion

The results of the 3D modelling of the factor scores contribute to clarifying the geochemical associations and spatial distribution of groups of elements characterised by a certain similarity. The association of ([Ag, Pb, Sb, Au] Cu, As, Cd) from factor 2 represents the distribution of the main ore elements in the deposit. The other factors that follow the morphology of the ore bodies are factor 1 and factor 3, and probably follow the distribution of Quartz-sphalerite-galena, Quartz-arsenopyrite, and Sulfosalt parageneses.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to Seequent Limited for providing them with an academic license of the *Leapfrog* Geo software to build 3D geological models and conduct a geostatistical analysis. The mineralogical analyses were partially financed by scientific research project #GPF-247 of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”.

References

Boyanov Iv., B. Mavrudchiev. 1961. Paleogene magmatism in the Eastern Rhodopes. Ann. SDU, 54, 2 (in Bulgarian).

Cekova D., 1965. Report of the geological mapping of the Zvezdel-Galenit-Pcheloyad project in 1962-1964. M 1:5 000. Geofund, Ministry of environment and water (in Bulgarian).

Dragiev, H., B. Dragieva, 2006. “The Zvezdel-Pcheloyad ore region”. The Momchilgrad and Asara prospect area – Geological report of gold-silver ore with calculation reserves and resources as of 01.01.2006 on the Sedefche deposit.

Georgiev. V., 2012. Metallogeny of Eastern Rhodope, academic publishing house “Prof. Marin Drinov”, pp. 262 (in Bulgarian with extended English summary).

Lyutov, G. 2019. Mineral association and development of ore-forming processes in the Sedefche gold-silver deposit. MGU, pp. 66 (in Bulgarian).

Popov, K. 2002. Geochemical association in Radka ore district. – Ann. Univ. Mining and Geol., 45, 1–Geol. and geophys., 57–63.

Popov, K. 2016. 3D Modelling of the geochemical associations in the *Assarel* porphyry-copper deposit (Bulgaria). – C. R. Acad. Bulg. Sci., 69, 9, 1175–1182.

Popov, P., K. Popov. 2022. Metallogeny of Bulgaria. Publ. BMGK Commerce EOOD, Sofia, ISBN 978-619-92104-0-6, pp. 426 (in Bulgarian with extended English summary).

MINERAL-PETROGRAPHIC PARTICULARITY OF CERAMICS FROM THE EARLY IRON AGE, THE KARDZHALI AREA, THE EASTERN RHODOPES TITLE

Kamelia Marinova, Stefka Pristavova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail k.y.marinova@mgu.bg

ABSTRACT. The examined ceramic artifacts were found during archaeological excavations of two closely situated sanctuaries in the Eastern Rhodopes: the sanctuaries of "Rezbartsi" and "Kodza Kaya" from the Early Iron Age (EIA). Artefacts were analysed by optical, chemical, and structural methods. The obtained results show differences in the composition of the natural inclusions in the material used to produce the ceramics from the two sites. The established mineral composition allows it to be referred to as the medium temperature fired ceramics in the range of 550°-800°(850°) C. Different pigments (coal and hematite) were studied in the artifacts found. The differences regarding the composition of the clay used to produce the ceramics in this period of time suggest several sources of raw materials of local nature. The technological characteristics of the ceramics from the two investigated sites are different.

Key words: geoarchaeology, petrology, artefacts, the Eastern Rhodopes.

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФСКИ ОСОБЕНОСТИ НА КЕРАМИКА ОТ РАННО ЖЕЛЯЗНАТА ЕПОХА, КЪРДЖАЛИЙСКО, ИЗТОЧНИ РОДОПИ

Камелия Маринова, Стефка Приставова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

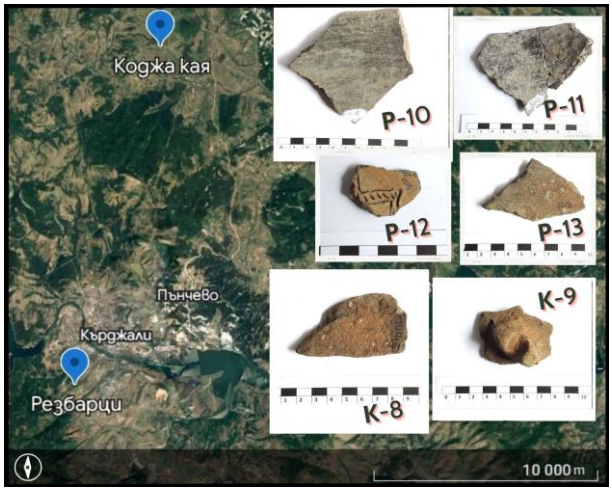
РЕЗЮМЕ. Изследваните керамични фрагменти са открити при археологически разкопки на намиращи се в близост помежду си светилища „Резбарци“ и „Коджа Кая“ от периода на Ранната желязна епоха. Артефактите са анализирани чрез оптични, химични и структурни методи. Получените резултати показват различия в състава на природните включения в материала, използван за направа на керамиката от двата обекта. Установеният минералния състав позволява тя да се отнесе към средно температурната керамиката в интервал 550-800° (850°)С. Изследвани са различни пигменти (въглен и хематит) при изработката на артефактите. Различията, отнасящи се към състава на използваната глина за изработка на керамиката в този период от време, предполагат няколко източника на суровина с местен характер. Технологично керамиката от двата изследвани обекта се различава.

Ключови думи: геоархеология, петрология, артефакти, Източни Родопи.

Въведение

Изследваните керамични артефакти са от два археологически обекта - „Резбарци“ и „Коджа кая“, Източни Родопи**,** принадлежащи към периода на Ранната желязна епоха (РЖЕ) и представляват светилища. Обект „Резбарци“ или местност „Кьорльовата каба“ се намира на около 0,5 km южно от град Кърджали, а „Коджа кая“ – в местност „Коджа кая“ на 700 m източно от центъра на село Ястреб, област Кърджали (фиг. 1). Археологическите обекти са проучвани по време на сондажни разкопки през 1994 и 2013 години, ръководени от екип с ръководител доц. д-р Г. Нехризов (Нехризов, 1995).

В геоложко отношение двете светилища са разположени сред различни по състав, генезис и възраст скални единици. В района на археологически обект „Резбарци“ се разкриват скалите от Източнородопски метаморфен терен, Боровишка и Кърджалийска литотектонски единици. Източнородопският метаморфен терен обхваща метаморфните скали, в които са включени серпентинизирани ултрабазити, еклогити и метагабра.



Фиг. 1. Керамични артефакти от обекти: „Резбарци“ и „Коджа кая“.

Обектът попада в Кърджалийската литотектонска единица, изградена от милонитизирани и диафторизирани

биотитови гнайси, хлоритови шисти, кварцити, дребнозърнести мрамори, метабазити и ултрабазити, засегнати от процесите на наложен в зеленошистен фациес метаморфизъм (фиг. 2). В района се разкриват още палеогенски груботеригенни скали /брекчи, брекчоконгломерати/, пясъчници и кватернерни алувиални наслаги. (Саров и др., 2007).

Фиг. 2. Геоложка карта на района на обект „Резбарци“.

Обект „Коджа кая“ се разполага сред Ястребските шошонити, които са част от Минзухарски вулкански комплекс (фиг. 3), обединяващи шошонити, латити и андезити. В района се разкриват и Палеогенските седименти на Пъдарската и Лисичарска свити, Конгломератно пясъчниковата задруга, Мергелно варовиковата задруга, Органогенни постройки от рифови варовици и кватернерни алувиални наслаги (Йорданов и др., 2008).

Материал и методи за изследване

Предмет на изследване са керамични артефакти (фиг. 1) от РЖЕ, открити при археологически разкопки на обекти „Резбарци“ и „Коджа кая. С цел комплексната характеристика на керамичния материал, е приложена методика на изследване, включваща оптични, химични и структурни методи: определяне на цвета по системата Munsell (Munsell, 2000); оптични изследвания в проходяща светлина (микроскоп Meiji и камера за заснемане Olimpus 5060); рентгенодифракционен метод (XRD – Bruker D2 Phaser, софруер EVA с база данни COD). Всички анализи са проведени в лаборатории към Геолого-проучвателния Факултет на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ - София.

Фиг. 3. Геоложка карта на района на обект „Коджа кая“.

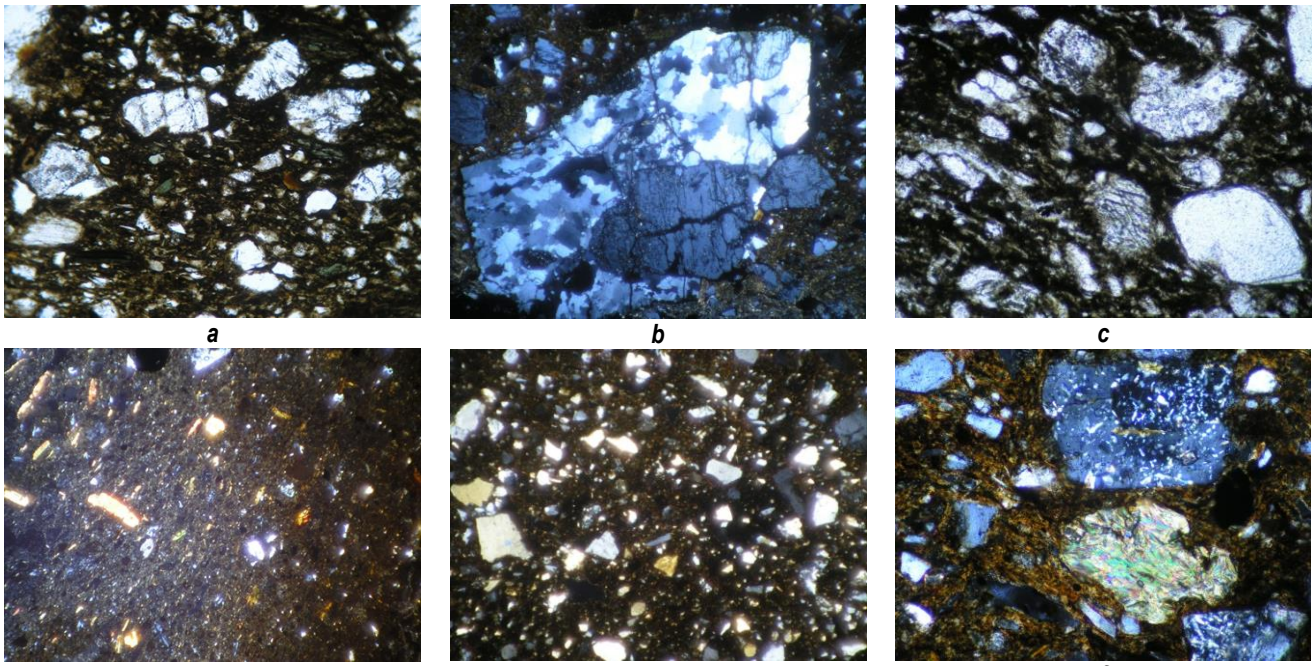
Резултати

Обект „Резбарци“. Макроскопски изследваните артефакти се различават по цветови индекс, определен по системата Munsell в отделните си повърхности (табл. 1), Цветовият диапазон варира от наситено черно през тъмно сиво до червено-сиво и жълто-червено. При третиране на наситено черната лъскава повърхност на керамиката с H_2O_2 се наблюдава бурна реакция, свидетелстваща за органичния ѝ състав. Този пигмент се наблюдава само по външните повърхности на артефактите.

Таблица 1. *Определяне на цвета по системата Munsell.*

№	Обект	Повърхност 1	Повърхност 2
Р-10	Резбарци	7.5 YR 2.5/1 black	7.5 YR 4/1 dark gray
Р-11	Резбарци	5 YR 4/2 dark reddish gray	7.5 YR 4/1 dark gray
Р-12	Резбарци	7.5 YR 4/1 dark gray	5 YR 4/2 dark reddish gray
Р-13	Резбарци	5 YR 5/6 yellowish red	7.5 YR 4/1 dark gray
К-8	Коджа кая	10 YR 3/2 very dark grayish brown	10 YR 5/3 brown
К-9	Коджа кая	7,5 YR 4/3 brown	5 YR 4/3 reddish brown

Изследваните представителни керамичните артефакти от обект „Резбарци“ микроскопски показват сходни характеристики и състав. Изградени са от равномерно разпределени природни включения (скални и минерални фрагменти) и матрикс в съотношение 55/45%. Размерите на природните включения варират в границите от 0.1 до 2,5 mm, като преобладават тези с големина 0.4-1.0 mm.

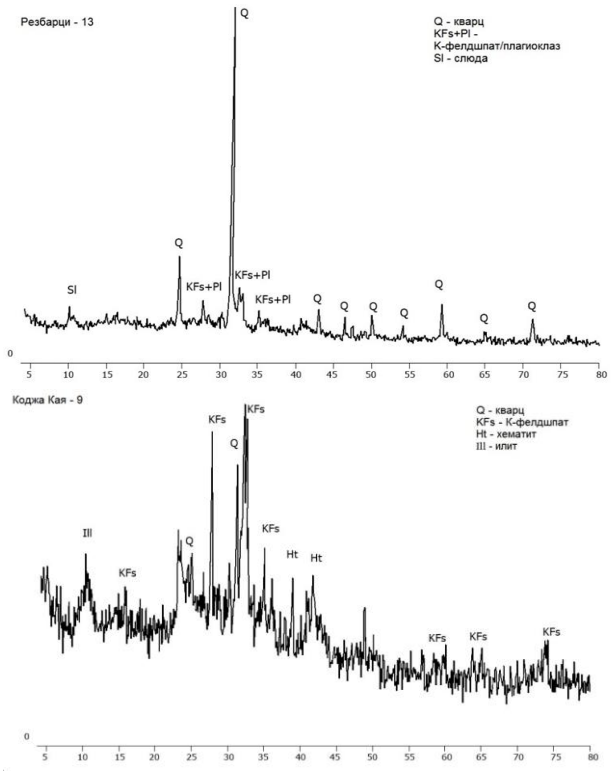


Фиг.4 a) Р-12 - Общ изглед – минерални включения от кварц, фелдшпати (бяло) амфибол (зелено) и биотит (кафяво). PPL, ШВП = 3900 μm; b) Р-12 – Скални включения от гнайси. CPL, ШВП = 3900 μm; c) Р-13 – общ изглед на керамика с включения от амфибол (център), кварц и слюди. PPL, ШВП = 950 μm; d) керамичен артефакт К-9 изработен от много фино „тесто“, богато на слюди. CPL, ШВП = 3900 μm; e) общ изглед от фина керамика К-8 богата на кварцови и фелдшпатови зърна, CPL, ШВП = 3900 μm; f) К-8-14 - скални включения от гранитоид (горе дясно) и слюден шист (долу дясно), CPL, ШВП = 1850 μm

Основната част от тях са със слабо заоблени очертания на зърната. Минералните включения преобладават над скалните. Представени са от кварц – единични и композитни зърна, фелдшпати - плагиоклаз и К-фелдшпат, слюди - биотит и мусковит, зелен амфибол, епидот и рудни минерали (фиг. 4a,c). Скалните късове са по-малобройни спрямо минералните, представени основно от кварцити, променени вулканити и гнайси (фиг. 4b). Матриксът е от слюди с вариращ цвят от светлокафяв до тъмнокафяв на места в периферията черен. При артефакт Р-13 се наблюдава допълнително нанасяне на глина с червеникавокафяв цвят.

Обект „Коджа кая“. Изследваните керамични фрагменти от обект „Коджа кая“ не се различават съществено по цветови индекси (табл.1). Цветът на повърхностите им варира от червено-кафяво, кафяво до сиво-кафяво. Керамичните артефакти от обект „Коджа кая“ са изградени от неравномерно разпределени матрикс и природни включения – около 70/30%. Структурата е разнозърнеста псамитна до алевритна. Преобладават включенията с размери от 0.2 до 1,5 mm с ъгловата до заоблена форма (фиг. 4d). Минералните включения преобладават над скалните, представени са от биотит и в подчинено количество кварц плагиоклаз, единични зърна амфибол, епидот, пироксен и рудни минерали (фиг. 4e). Скалните късове са малобройни, представени от средни по състав вулканити и вулканско стъкло, които се срещат в състава на фрагмент К-8 и слюдени шисти, кварцити и единични късове от гранитоиди и кисели вулкански скали при К-9 (фиг. 4f). Матриксът е от слюди с вариращ цвят от оранжево-кафяво до тъмнокафяво.

Резултатите от направените рентгенови дифрактометрични изследвания на керамичните артефакти от изследваните обекти потвърждават оптично определения минерален състав и регистрират наличието



Фиг. 4. Прахов фазов анализ на керамични артефакти Резбарци: Р-13 и Коджа кая: К-9.

на кварц, К-фелдшпат, хематит и илит за керамиката от „Коджа кая“ и кварц, плагиоклаз, биотит, мусковит при „Резбарци“. Предполагаемата температура на изпичането на изследваната керамика е в границата до 800 (850°) според определените минерални фази (фиг. 4). Горната граница на този температурен диапазон се бележи от

наличието на илит, а долната граница на изпичане на керамиката е в порядъка на 550º С.

Изводи

Получените резултати от изследването показват различия в състава, структурата и начина на изработка на керамичните артефакти от светилищата.

Природните включения – скални късове в материала, използван за направа на керамиката от двата обекта, имат различен произход и отразяват геоложкия строеж на районите, в които се разполагат двете светилища. В състава на керамиката от обект „Резбарци“ участват променени вулканити и гнайси, които можем да свържем със скалите, разкриващи се поречието на река Арда. Установените скални включения в керамиката от „Коджа кая“ са малобройни, представени от средни по състав вулканити и вулканско стъкло, слюдени шисти и гранитоиди, които добре корелират със скалите в района на светилището.

Установеният минерален състав позволява керамиката да се отнесе към средно температурната в интервала 550 до 800° (850)С.

Установени са различни пигменти – въглен и хематит, полагани върху външната повърхност на артефактите.

Различията, отнасящи се към състава на използваната глина в този период от време, предполага няколко източника на суровина с местен характер в близост до светилищата.

Получените резултати от анализа на керамиката от двата обекта допълват изследванията на артефакти от РЖЕ на колектива (Маринова, 2020; Приставова, 2021). Забелязва се известно сходство в състава на артефактите от обект „Коджа кая“ с такива, открити при археологически проучвания на селище „Бисер“ (Маринова, 2022) и светилище „Глухите камъни“ (Marinova, 2018). Също така изследваните артефакти от обект „Резбарци“ се доближават по състав и структура до изследвани вече керамични фрагменти от светилище „Ада тепе“ (Marinova, 2018). Тези резултати биха могли да подпомогнат археологическите проучвания с цел откриване на вероятни връзки между обектите от времето на Ранната желязна епоха.

Благодарности. *Това изследване е подкрепено от Министерството на образованието и науката по Национална програма „Млади учени и постдокторанти - 2“*

Литература

Marinova K., S. Pristavova. 2018. Petrographic investigation of ceramic artifacts the Thracian sanctuaries in the Estern Rhodopes. – *Journal of Mining and Geological sciences, 61, I, Geology and Geophysics*, 23-29.

Marinova. K., 2020. *Mineralogical-petrographic investigation of artifacts from cult sites (Second half of the 2nd millennium BC - 1st millennium BC) in the Eastern Rhodopes, Southern Bulgaria*. – Avtoreferat PhD, Sofia. 44 p. (in Bulgarian)

Marinova K., S. Pristavova. 2022. Ceramic artifacts from the archaeological site “Biser”, Eastern Rhodopes, Bulgaria – new data about composition and manufacturing technology. REVIEW OF THE BULGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY, vol. 83, part 3, 2022, p. 321–324. ISSN 0007-3938 (in Bulgarian with English abstract)

Munsell soil color charts. 2000. Munsell Color, gretagmacbeth.

Nehrizov, G., 1995. Field surveys and drilling in the Eastern Rhodopes - *Archaeological discoveries and excavations in 1994*, Smolyan, 80-81(in Bulgarian)

Pristavova. S. 2021. *Petrography and archaeology*. – BMGK Comers LTD, 141 p, ISBN 9786199134788 (in Bulgarian with English abstract)

Sarov, S., B. Yordanov, V. Valkov, S. Georgiev, D. Kamburov, E. Raeva, V. Grozdev, E. Balkanska, L. Moskovska, G. Dobrev. 2007. *Geological map of the Republic of Bulgaria M 1:50 000, K-35-88-V (Kardzhali)* - Yordanov, B., and H. Hrischev (eds.), Apis 50 Ltd. (in Bulgarian)

Yordanov, B., S. Sarov, S. Georgiev, G. Dobrev, L. Moskovska, V. Grozdev. 2008. *Geological map of the Republic of Bulgaria M 1:50 000, K-35-75-G (Nikolovo)* - Yordanov, B., H. Hrischev and S. Sarov (eds.), Apis 50 Ltd. (in Bulgarian)

HERCYNIAN POST-COLLISIONAL METALLOGENY OF BULGARIA

Kamen Popov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: kpopov@mgu.bg

ABSTRACT. The geology of Bulgaria is determined by the Alpine Balkan Orogenic System, which is developed over on the Neoproterozoic-Hercynian basement. The Hercynian Post-Collisional Complex was formed during Late Carboniferous-Permian and is demonstrated by extensional tectonics. Two magmatic zones are outlined. The first one covers parts of the Stara Planina (Balkan), Fore-Balkan, East Sredna Gora Mountains and the Sveti Iliya Hills, where a subaerial acid volcanic complex intercalated with molasse coal-bearing sediments are developed. The second zone is traced in the Srednogorie, Sakar and Strandzha Mountains, and is represented by the Late Paleozoic Granitoid Complex. The Belogradchik-Vatia and Koprivshtitsa-Hisarya Metallogenic Zones are delimited.
The Belogradchik-Vatia Metallogenic Zone is outlined by the development of Late Paleozoic volcanic rocks. It is represented by vein type small deposits of gold, lead-zinc, and barite, as well as copper, copper-molybdenum ore occurrences. The Belogradchik, Govezhda, and Vatia Ore Fields are distinguished.
The Koprivshtitsa-Hisarya Metallogenic Zone is determined by the Srednogorie Granitoid Complex. Several uranium ore occurrences are found in this zone. Numerous molybdenum and gold ore occurrences and pegmatites are described as well.

Key words: metallogeny, Hercynian Post-Collisional Complex, ore fields.

ХЕРЦИНСКА ПОСТКОЛИЗИОННА МЕТАЛОГЕНИЯ НА БЪЛГАРИЯ

Камен Попов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Геологията на България се определя от Алпийската Балканска орогенна система, която се формира върху неопротерозойско-херцински фундамент. Херцинският постколизионен комплекс се формира през къснокарбонско-пермско време в екстензионни условия, като се очертават две магматични зони. Първата зона обхваща Стара планина, Предбалкана, Източна Средна гора и Светиилийските възвишения, където са развити субаерални кисели вулканити, прослояващи се с моласови въгленосни седименти. Втората зона се следи в планините Средногорие, Сакар и Странджа, където е развит комплекс от палеозойски гранитоиди. Очертават се металогенните зони Белоградчик-Ватия и Копривщица-Хисаря.
Белоградчик-Ватийската металогенна зона се определя от къснопалеозойските вулканити. Тя е представена от малки златоносни, оловно-цинкови и баритови находища, както и медни и молибденови рудопроявления. Очертават се Белоградчишкото, Говежденското и Ватийското рудни полета.
Копривщенско-Хисарската металогенна зона си обособява от Средногорския гранитоиден комплекс. Тук са установени няколко уранови рудопроявления. Освен това са отбелязани редица молибденови и златни рудопроявления и пегматитови прояви.

Ключови думи: металогения, херцински постколизионен комплекс, рудни полета.

The Post-Collisional Stage of the Neoproterozoic-Hercynian Tectonic Epoch was developed through the Late Carboniferous and the Permian, after the intensive Devonian–Early Carboniferous collisional processes. It is characterised by extensional vertical block dislocations and the formation of Post-Collisional “ProtoBalkan” Orogeny (Nachev and Yanev, 1980), which covers most of the area of the Stara Planina (Balkan), the Fore-Balkan, and part of the Sredna Gora Mountains (Fig. 1). Intensive molasse continental sedimentation is realised in the intermountain depressions within the orogeny and in the foothill depression to the north, distinguishing the Late Carboniferous-Permian Post-collisional Molasse Complex. Terrigenous coal-bearing limnic or paralimnic complexes were formed in humid conditions during the Late Carboniferous, and red bed complexes were formed in arid environment through the Permian (Nachev and Yanev, 1980).

Two separate zones of magmatic activity are distinguished during the Post-Collisional Stage and are outlined by the Late Paleozoic volcanic and Srednogorie granitoid complexes (Fig. 1). The Late Paleozoic volcanics (Late Carboniferous-Permian) are wide-spread in the Western and Central Stara Planina (Balkan), the Fore-Balkan, and partly in the Eastern Sredna Gora Mountains and in the Sveti Iliya Hills. This complex is set up by lava sheets, subvolcanic and dike bodies composed of calc-alkaline rocks, represented by andesite to dacite-andesite, quartz porphyry, and dacite. They are formed in subaerial conditions, as the effusive rocks intercalate with the continental molasse sediments (Tenchov and Yanev, 1963; Čunev et al., 1965; Čatalov, 1965; Popov and Tsanova, 1967). A series of ore mineralisations associate with the Late Paleozoic volcanites and determine the Belogradchik-Vatia Metallogenic Zone (Popov and Popov, 2022).

The Srednogorie granitoid complex is traced in the areas of the Srednogorie, Sakar, and Strandzha Mountains. That complex includes a series of granite, granodiorite to quartz diorite, as well as earlier basic to ultrabasic rocks (Dabovski et al., 1972). The absolute age of these plutons is determined by Rb-Sr or U-Pb dating as 342 to 283 Ma (Zagorchev et al., 1989; Machev et al., 2013; Bonev et al., 2019). Numerous ore mineralisations are associated with these granitoids and outline

the Koprivshtitsa-Hisarya Metallogenic Zone (Popov and Popov, 2022).

The molybdenum mineralisation Likuryashki Dol of an unclear genesis and age is noted south-east of the village of Kosti in the Strandzha Mountain area.

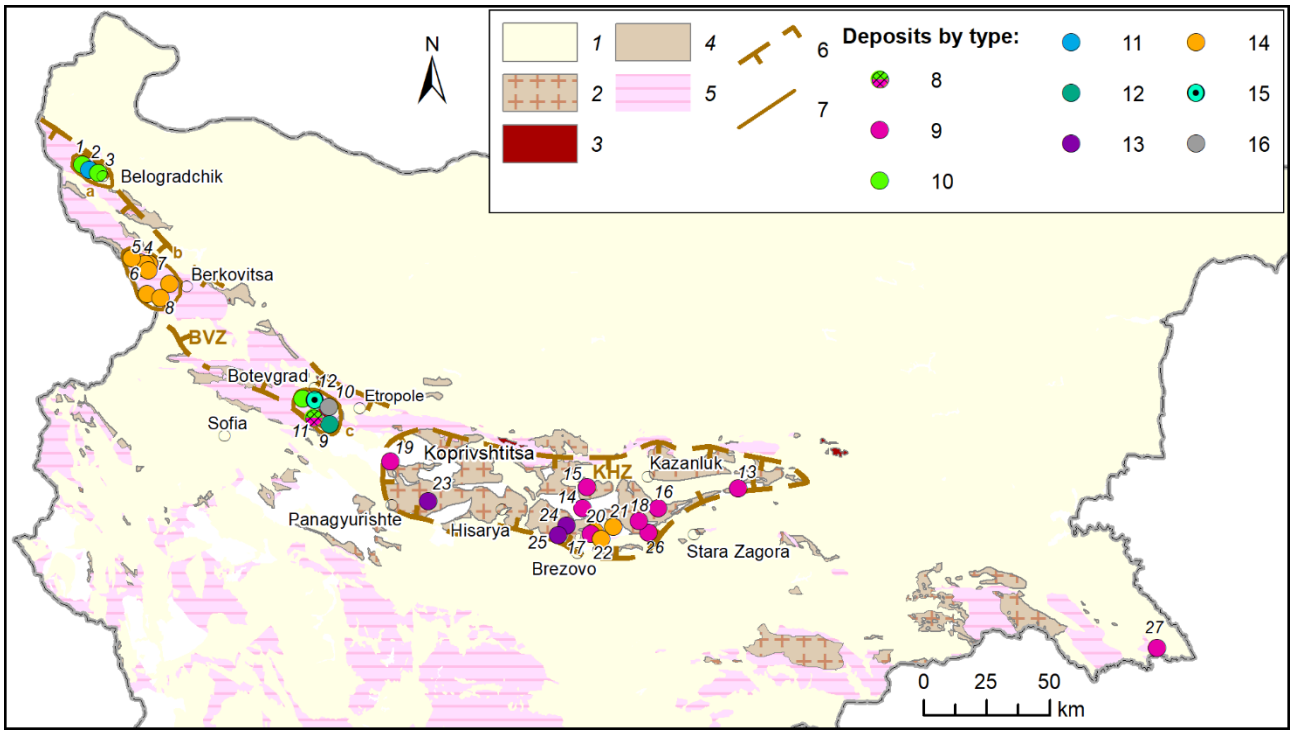


Fig. 1. Metallogenic scheme of the Hercynian Post-Collisional Stage from the Neoproterozoic-Hercynian Tectonic Epoch.
1 – Post-Paleozoic rocks; 2 – Permian Srednogorie granitoid; 3 – Late Carboniferous-Permian volcanic and plutonic rocks; 4 – Late Carboniferous-Permian Post-Collisional Molasse Complex; 5 – Neoproterozoic-Early Carboniferous rocks; 6 – Metallogenic Zone (BVZ – Belogradchik-Vatia Zone, KHZ – Koprivshtitsa-Hisarya Zone); 7 – Ore Field (a – Belogradchik, b – Govezhda, c – Vatiya); *Ore type*: 8 – porphyry copper (molybdenum-bearing); 9 – molybdenum; 10 – copper veins; 11 – lead-zinc; 12 – polymetallic; 13 – uranium, 14 – gold; 15 – gold-polymetallic; 16 – barite.
***Ore deposits and occurrences by number on the map**: 1* – Granichak, *2* – Tumbarite, *3* – Shtastie, *4* – Rusichov Rat, *5* – Rupski Rat, *6* – Kumanov Dol, *7* – Milev Dol, *8* – Srebarna, *9* – Vatiya, *10* – Visok, *11* – Markova Chukla, *12* – Ribni Vir, *13* – Dolno Panicherevo, *14* – Sredna Reka, *15* – Saplamata, *16* – Marashite, *17* – Kuv Dere, *18* – Kazanka, *19* – Rezidentsiyata, *20* – Lisichi Dupki, *21* – Gorno Novo Selo, *22* – Kolyu Marinovo, *23* – Valk, *24* – Sarnegor, *25* – Varben, *26* – Ruda, *27* – Likuryashki Dol.

The Belogradchik-Vatia Metallogenic Zone

The Belogradchik-Vatia Metallogenic Zone is defined by the Late Paleozoic volcanism within the Western Stara Planina Mountain. A series of copper, lead-zinc, gold, and barite small deposits and occurrences are formed in the Western Stara Planina Mountain and are grouped in the Belogradchik, Govezhda, and Vatia Ore Fields.

The Belogradchik Ore Field is to the west of the homonymous town (Fig. 1). The basement comprises Neoproterozoic-Cambrian green shists, Middle Devonian Belogradchik granitic pluton, and Early Carboniferous (?) terrigenous sediments and basic volcanites (Haydutov et al., 1995c). Late Carboniferous and Permian terrigenous coal-bearing sediments and andesite-dacite-rhyodacite volcanics are developed upwards. The Paleozoic rocks are covered by Triassic and Jurassic terrigenous and carbonate sediments. The ore field is characterised by copper and lead-zinc small deposits and numerous ore occurrences, genetically associated to the Permian volcanism. The Shtastie and Granichak copper and Tumbarite lead-zinc ore occurrences are more important (Popov and Popov 2022).

The Shtastie copper ore occurrence is related to Permian albitophyre dikes and dacitic bodies, which are intruded in Devonian-Early Carboniferous Belogradchik granitic pluton and associated dikes. More than 17 small quartz-sulphide ore veins intersect granitoid rocks and Permian dikes. The ore-bearing faults are developed along albitophyre dikes (Fig. 1, 2). The ore mineralisation is represented by chalcopyrite, pyrite, pyrrhotite, arsenopyrite, marcasite. Secondary of importance are galena, sphalerite, siderite, chlorite, sericite, and calcite, and as rare are loellingite, tetrahedrite, molybdenite, schapbachite, native gold, and native bismuth (Dragov, 1971).

The Granichak copper ore occurrence is formed in an area consisting of Early Carboniferous basalt and andesite-basalt and Permian dacite dikes (Fig. 1, 3). These rocks are intersected by fault zone of brecciated or intensively fractured hydrothermally altered rocks, with direction of 130° and dip of 55–80°, length about 800 m and thickness of 20 m, and several lesser structures (Peshev, 1992f). The ore mineralisation of veinlets-disseminated type is concentrated in separate intervals of the zone. It is represented mainly by pyrite and chalcopyrite, lesser magnetite, and pyrrhotite, tetrahedrite, marcasite, hematite, galena, and sphalerite (Dragov, 1971). The non-ore minerals are mainly quartz, calcite, and lesser ankerite, chlorite, sericite, rarely barite, kaolinite, epidote. Oxidation and cementation zones are developed near the surface.

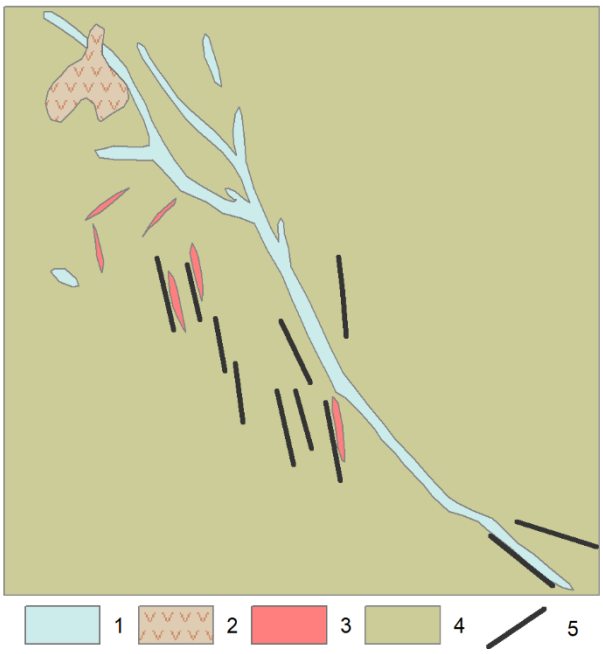


Fig. 2. Geological map of the Shtastie copper ore occurrence (by Dimitrov, 1964fb).
1 – Permian albite porphyry dike; 2 – Permian subvolcanic dacite; 3 – Devonian-Upper Carboniferous diorite porphyrite; 4 – Neoproterozoic-Cambrian greenschist metamorphic rock; 5 – copper ore vein.

Fig. 3. Geological section across the Granichak copper ore occurrence (by Dimitrov, 1964fa).
1 – Neoproterozoic – Cambrian diabase; 2 – brecciated, hydrothermally altered rock; 3 – copper ore vein.

The Tumbarite lead-zinc ore occurrence is situated to the north-west of the town of Belogradchik, where the Early Carboniferous basic volcanites, terrigenous sediments, and Permian dacite are exposed (Fig. 1). Explosive neck breccia and areas of intensive cracking are observed in the dacite rocks. Two ore bodies are formed in the cracked zones and partly in the sediments (Peshev, 1992f). The ore mineralisation is represented by numerous veinlets, impregnations, and nests. The main ore minerals are pyrite, sphalerite, less galena, rarely pyrrhotite, marcasite and chalcopyrite, very rarely – arsenopyrite, tennantite-tetrahedrite, stephanite, scheelite, native gold, etc. (Dragov, 1971).

The Govezhda Ore Field is located to the west of the town of Berkovitsa, in the area of the villages of Govezhda, Kopilovtsi, Dalgi Del, and Diva Slatina (Obretenov, 2007; Popov and Popov, 2022) (Fig. 1, 4). The basement in this area consists of Neoproterozoic-Cambrian green shist metamorphic rocks of the Berkovitsa Group (Haydutov et al., 1995a,b). Early Ordovician low-grade metamorphosed terrigenous sediments of the Dalgidel Group with olistolith of diabase, gabbro-diabase, and gabbro lie upwards in the section. Devonian-Early Carboniferous Stara Planina granodiorite-granitic plutons are intruded in them. Fragments of Permian volcanic structure set up of dacitic lava sheets and dikes are outcropped between the villages of Kopilovtsi and Diva Slatina (Čunev et al., 1965; Obretenov, 2007). The enumerated rocks are covered by Permian terrigenous rocks, as well as by Mesozoic terrigenous and carbonate sediments (fig. 4).

More than 100 quartz-gold-sulphide veins were discovered in the ore field. The postmagmatic processes around the ore-forming faults are present by silicification, chloritisation, sericitisation and pyritisation. The highest concentration of ore veins is observed between the villages of Kopilovtsi, Govezhda, and Diva Slatina (the so-called Central sector) where the Rusichov Rat, Milev Dol, and Kumanov Dol ore deposits were mined. The Rupski Rat (Rupeto) and Zeleni dol ore occurrences are outlined within the same sector. The Stokina Chuka ore occurrence and some other poor quartz-sulphide veins were found to the north, to the village of Kopilovtsi and to the southwest near the village of Dalgi Del. They are pointed out in the geological reports as Kopilovtsi, Diva Slatina, Zeleni dol, Haydushka padina, and Tyutyunarnika ore occurrences. The Yavorov Preslap and Srebarna ore occurrences are developed in the southeastern parts, and the Chereshovitsa ore occurrence – in the east-southeastern part of the ore field (Obretenov and Peev, 1971; Obretenov, 2007).

The ore veins are developed concordantly or discordantly to the bedding in schists, as well as in the brecciated contacts of the dikes (Nikolaev and Tonev, 1962; Obretenov and Peev, 1971; Obretenov, 2007). The veins are of variable thickness, complex morphology, and often with apophyses along the feather joints (Fig. 4). The length of veins varies from several dozen to 650 m, the thickness is from several centimeters to 4-5 m, and the vertical range exceeds 500 m. The ore veins with ESE (115–130°) direction and with SSE (145–155°) direction in some parts predominate. Veins with meridional, NNE (30–40°) or equatorial directions are also observed. This data shows that the strikes of ore veins correspond to the orientations of tectonic faults and of some Carboniferous and Permian dikes. Ore columns are formed in the opened areas of changing of the strike of ore-bearing faults (Obretenov, 2007). The ore veins are displaced by small transversal and diagonal faults. The

development of ore veins along the contacts of dacitic dikes marks the Permian age of ore mineralisations (Dragov, 1971). The arcuate development of ore-bearing structures in the Central section demonstrates the manifestation of Late Paleozoic volcanic complex (Čunev et al., 1965).

The main economic minerals are native gold and electrum, as pyrite and arsenopyrite are widespread. Minor minerals are sphalerite, galena, chalcopyrite, scheelite, native silver, pyrargyrite, stephanite, proustite, polybasite, pyrrhotite, marcasite, cinnabarite, tennantite, bournonite, magnetite, and hematite. The main vein mineral is quartz, as sericite, chlorite, carbonate minerals and some gypsum are also represented. The main ore metal is gold and secondary of importance are silver and rarely lead, copper, zinc, and tungsten (Nikolaev and Tonev, 1962).

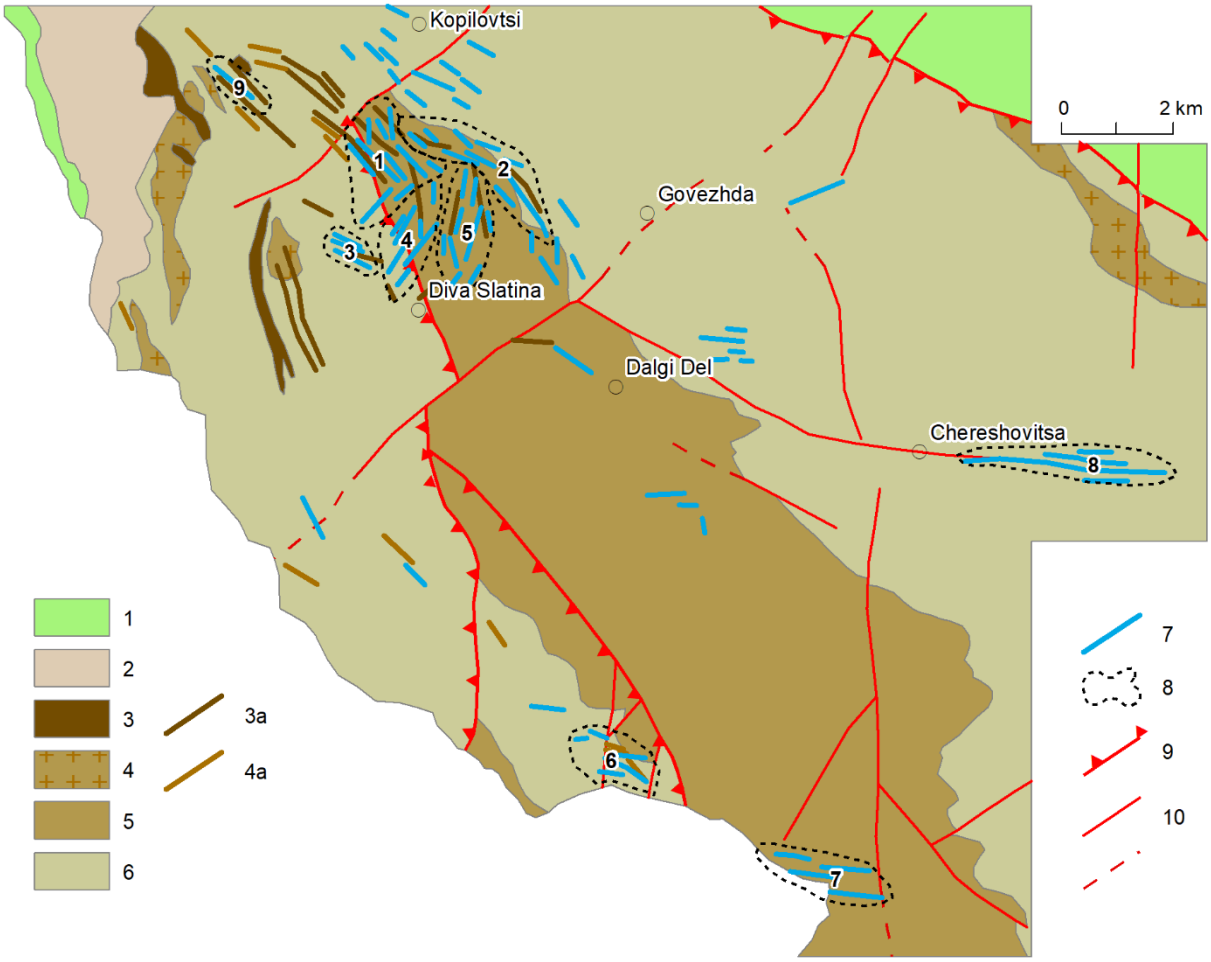


Fig. 4. Geological map of the Govezhda Ore Field (by Haydutov et al., 1995a, 1995b; Obretenov and Peev, 1971)**.**
1 – Mesozoic sediments; 2 – Permian sediments; 3 – Permian dacite and dacitic dike (3a); 4 – Lower Carboniferous granitoid and dike (4a); 5 – Ordovician low-grade metamorphic terrigenous rock (Dalgidel Group); 6 – Riphean-Cambrian greenschist metamorphite (Berkovitsa Group); 7 – quartz-gold ore vein; 8 – outline of the ore deposits and occurrences (*1* – Rupski Rat, *2* – Rusichov Rat, *3* – Zeleni Dol, *4* – Kumanov Dol, *5* – Milev Dol, *6* – Yavorov Preslap, *7* – Srebarna, *8* – Chereshovitsa, *9* – Stokina Chuka); 9 – thrust; 10 – fault.

The Vatia Ore Field is in the Etropole Mountain, around the Arabakonak passage, about 40 km ENE of the city of Sofia and 12-13 km SSE of the town of Botevgrad (Popov and Popov, 2022). The basement is composed of Cambrian(?)-Ordovician felsitic argillite, meta-argillite, meta-aleurolite, aleurolite, quartzite, and quartzite sandstone (Haydutov et al., 1979; Angelov et al., 2010). The ore field is determined by Late Paleozoic Bebresh volcano-plutonic complex (310 Ma) of diorite and quartz diorite, associated with andesitic and andesitic-dacitic lava breccia, lava clast, agglomerate tuff, lapilli tuff, and ash tuff, with rare argillite intercalations (Voutov, 1962; Angelov et al., 2010). Permian conglomerate, breccia conglomerate, sandstone, and aleurolite, as well as Triassic, Jurassic, and Turonian sediments overlay the Bebresh magmatic rocks in some areas. The main NNW Bebresh fault (145–155°) and associated smaller sub-meridional to NNE (0–25°), ENE (50–70°) and subequatorial or ESE (90–120°) faults are observed in the area (Fig. 5) (Kalaidžiev, 1983; Angelov et al., 2010). Obviously, the Bebresh fault controls the magmatic activities and ore forming processes.

The Vatiya ore field is characterised by several small ore deposits, occurrences, and mineral indications, predominantly of vein type, rarely of ore zones or porphyry stockworks (Fig. 5). The copper-lead-zinc ores are most widely developed, like the Vatiya ore deposit and the Tvardomeshnitsa-1, Kapcha-1, 2, 3, Raynovskoto, Zvezdata, and Shaft “G. Dimitrov” ore occurrences. The Drenova Mogila and Visok-2 copper and the Arabakonak-2 lead ore occurrences are also included in this group. The barite mineralisations in the Visok deposit and the Arabakonak-1 (Tvardomeshnitsa-2) and Zvezdata-2 occurrences are economically important. The Ribni Vir gold-lead-zinc and the Markova Chukla molybdenum-bearing

porphyry copper ore occurrences should be noted as well (Kalaidžiev, 1983).

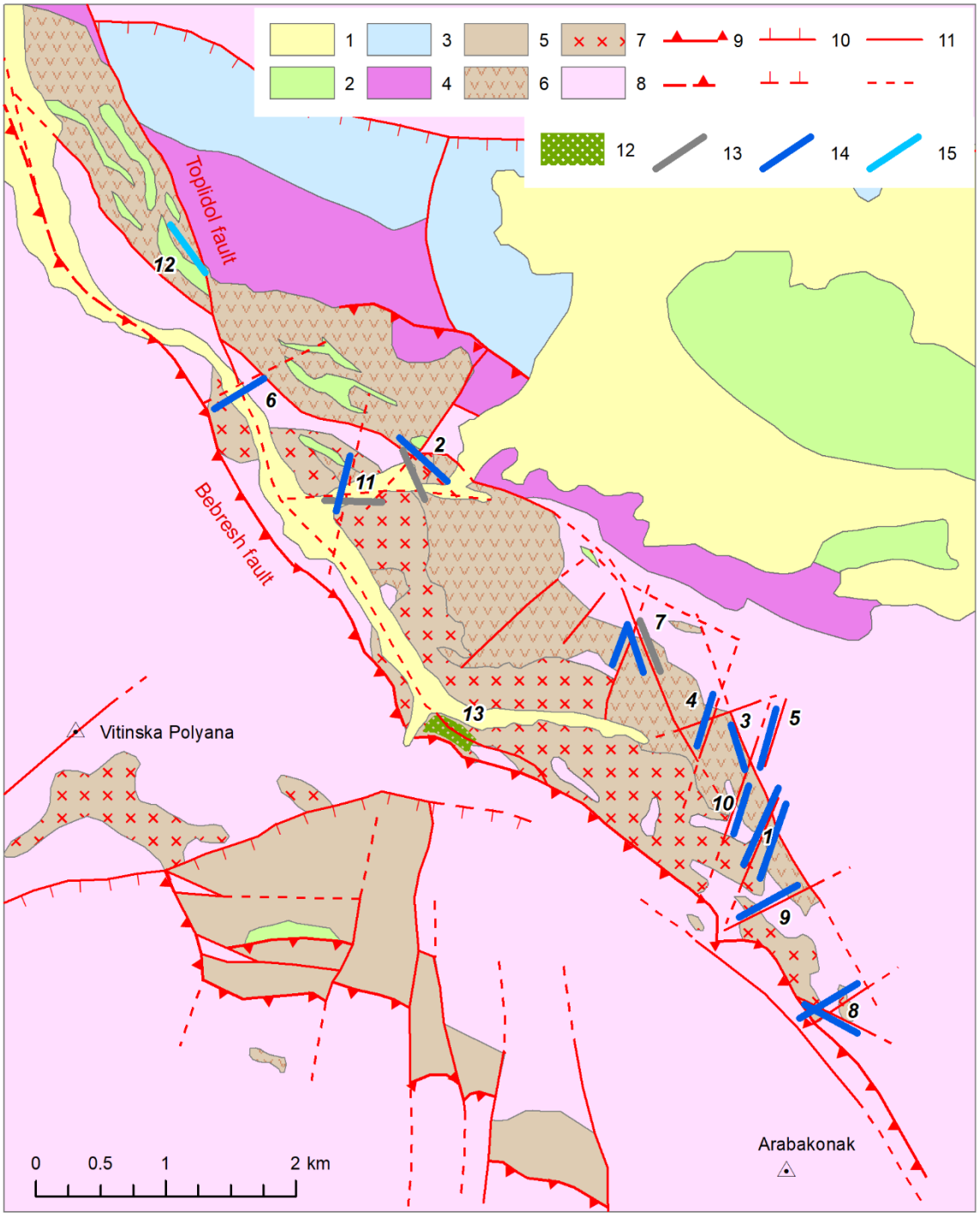


Fig. 5. Geological map of the Vatiya Ore Field (by Kalaidžiev, 1983; Angelov et al., 2010).
1 – Quaternary depositions; 2 – Upper Cretaceous rocks; 3 – Jurassic sediments; 4 – Triassic sediments; 5 – Permian sediments; 6 – Permian volcanics; 7 – Permian Bebresh pluton; 8 – Cambrian and Ordovician sediments; 9 – thrust; 10 – normal slip fault; 11 – fault; *Ore type:* 12 – porphyry copper, molybdenum-bearing; 13 – barite; 14 – polymetallic; 15 – gold-polymetallic.
***Ore deposits and occurrences by number on the map**: 1* – Vatiya, *2* – Tvardomeshnitsa, *3* – Kapcha-1, *4* – Kapcha-2, *5* – Kapcha-3, *6* – Raynovskoto, *7* – Zvezdata, *8* – Drenova Mogila, *9* – Arabakonak-2, *10* – Shahta G. Dimitrov, *11* – Visok, *12* – Ribni Vir, *13* – Markova Chukla.

The Vatiya ore deposit is represented by two NNE ore veins, which intersect the Early Paleozoic rocks and Permian Bebresh pluton (Konstantinov, 1958f; Ushev, 1954f). The ore contains mostly copper and less lead and zinc. The ore mineralisation is represented by pyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite, rarely cobaltite, tennantite, hematite, magnetite, and pyrrhotite. The veins are set up mainly by quartz and less calcite, barite, dolomite, and chlorite (Minčeva-Stefanova, 1959). The other ore veins in the Vatiya, Kapcha-1, 2, 3, Shaft “G. Dimitrov”, Tvardomeshnitsa-1, Zvezdata, and Raynovskoto polymetallic ore occurrences, as well as in the Visok and Drenova Mogila

copper and Arabakonak-2 lead ore occurrences have similar characteristics.

The Visok and Arabakonak-1 (Tvardomeshnitsa-2) barite deposits are represented by veins with strike of 90–120°, thickness of 0.2–0.4 m, and length of 20–120 m. They consist mainly of barite, ankerite, less quartz, and sulphide minerals. The barite vein in Tvardomeshnitsa crosses the polymetallic veins. These deposits were mined during the 20th century.

The Markova Chukla porphyry copper-molybdenum ore occurrence is in small granodiorite porphyrite stockwork and Paleozoic schists. The host rocks are sericitised and quartzitised. The ore minerals are pyrite, chalcopyrite, molybdenite, and lesser sphalerite, martite, mushketovite, rarely galena. Magnetite, quartz-sulphide, quartz-sulphide-carbonate, and carbonate stages of mineralisation are distinguished (Dinchev et al., 1965f).

The Ribni Vir gold-lead-zinc ore occurrence is situated in the northwestern parts of the ore field, where the Late Paleozoic effusive rocks and diorite porphyrite dikes are exposed. Five NNW fault zones are traced here. They are with veinlets-disseminated mineralisation of linear stockwork type. Small quartz-sulphide ore veins with similar mineralisation are developed as well. The ore bodies of lenticular and pipe-like shapes are localised in intersection areas with equatorial or north-northeastern faults. The ore mineralisation is represented by pyrite, sphalerite, galena, chalcopyrite, tennantite-tetrahedrite, arsenopyrite, pyrrhotite, native gold, electrum, and hematite (Kovachev et al., 1998f; Mutafchiev and Miteva, 2001f).

The Vrachesh ore occurrence, located near the homonymous village, can be also included in the Vatiya Ore Field. It is represented by NW quartz-carbonate veins crossing the Paleozoic rocks and containing sulphide gold-lead-zinc-copper mineralisation (the Ozenitsa and Kosachitsa sectors). Equatorial faults with gold-bearing quartz-hematite mineralisations (the Sechkov Dol sector) are traced as well (Mutafchiev and Miteva, 2001f).

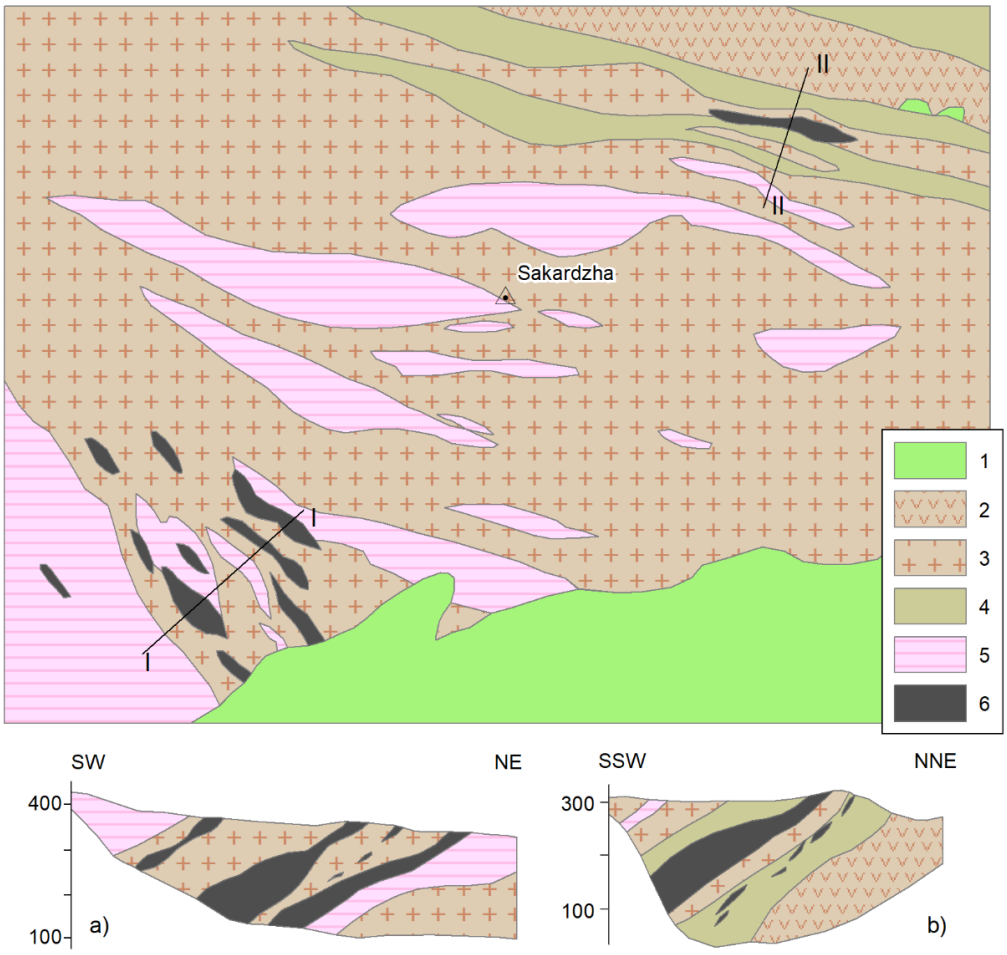


Fig. 6. Geological map of the Dolno Panicherevo molybdenum ore occurrence and sections across the Demirboklu (a) and Kohukdere (b) sites (by Staykov et al., 1968)**.**
1 – Mesozoic sediments; Permian quartz-porphyry tuff; 3 – Permian Srednogorie granitoid; 4 – Neoproterozoic – Cambrian greenschist; 5 – Neoproterozoic high-grade metamorphic rocks; 6 – ore body.

The Koprivshtitsa-Hisarya Metallogenic Zone

The Koprivshtitsa-Hisarya Metallogenic Zone is determined by the Late Paleozoic Srednogorie Granitoid Complex developed within the Srednogorie region (Popov and Popov, 2022). Several granitic plutons intruded in high-grade metamorphic rocks (gneiss, gneiss-schist, amphibolite) are outcropped in the area. They are intersected by diorite-porphyrite dikes and Permian volcanites. These rocks are covered in the periphery by Mesozoic and younger sediments.

The Granitoid Complex determines the development of a series of small ore occurrences of molybdenum, gold, and uranium, without economic importance (Fig. 1). Several small pegmatitic ore deposits and occurrences are observed as well.

The molybdenum ore occurrences have limited distribution in the metallogenic zone, predominantly in the Eastern Sredna Gora Mountain, where the Dolno Panicherevo (Demirboklu and Kohukdere), Sredna Reka, Ruda (Minata, Lozen), Saplamata, Marashite, Kuv Dere, and Kazanka ore occurrences were found. Besides, the Rezidentsiyata ore occurrence is developed in the Western Sredna Gora Mountain (the Panagyurishte area). The molybdenum ore mineralisations are localised in intensively fractured and brecciated zones in the granites (Dolno Panicherevo, Minata, Kazanka, Sredna Reka, Marashite, Kuv Dere) or in the metamorphites (Saplamata, Rezidentsiyata) (Staykov et al., 1968; Slavov and Katev, 1964). Those zones are 50 to 800 m long and 10–15 m thick. The ore mineralisation is developed as numerous small quartz-sulphide veins, veinlets and impregnations and build up narrow linear stockworks (Fig. 6).

The post-magmatic ore forming processes start with auto-metasomatic potassic feldsparisation with some molybdenite. The subsequent greisenisation consists of quartz, cassiterite, fluorite, muscovite, and sericite. They are followed by sericitisation, albitisation, epidotisation, and silicification, which accompany the ore mineralisation represented by pyrite, molybdenite, pyrrhotite, chalcopyrite, and galena. The high content of rhenium in molybdenite of Dolno Panicherevo should be noted. The Triassic sedimentary rocks overlay the mineralised granite (Staykov et al., 1968). The diorite-porphyritic dikes, crossing granite and the Permian quartz-porphyritic tuffs developed in these areas, are also not affected by the ore mineralisations.

The gold ore occurrences associated with the Srednogorie Granitoid Complex are developed in the areas of the towns of Stara Zagora, Kazanlak, and Brezovo. Numerous old mining works of small quartz-gold ore veins are observed (Ignatovski et al., 1994f). These veins can be merged into three ore occurrences: Morozovo (Lisichi Dupki), Gorno Novo Selo, and Kolyu Marinovo. The ore veins cross the granitoids and rarely high-grade metamorphic rocks. The host rocks are affected by quartz-sericitic alterations. The ore mineralisation is characterised by native gold in association with scheelite, pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, galena, native bismuth, lead-bismuth sulfosalts, etc. Apart from the relationships with granite, there is no other reliable data for the age of these veins.

The uranium ore occurrences associated with the Late Paleozoic Srednogorie granitoids are found between the towns of Panagyurishte and Brezovo. They are represented by the Valk (near the town of Strelcha), Sarnegor, Varben (between the towns of Brezovo and Hisarya), and other ore occurrences. The hosting rocks are granodiorite, together with veins and bodies of aplitic granite, aplite, and pegmatite. The ore mineralisation is in faults, usually with east-southeastern directions, often with albitisation of the rocks. The ore mineralisation is developed in the oxidation zone and is represented by autunite and pyrite (Dragomanov et al., 1993f).

Conclusions

Late Carboniferous-Permian Post-Collisional Complexes are developed in the Neoproterozoic-Hercynian basement of the Alpine Balkan Orogenic System. Two magmatic zones with west-northwestern to equatorial directions are observed. The Belogradchik-Vatiya Metallogenic Zone is traced to the northwest and is determined by subaerial acid volcanics, intercalated with molasse coal-bearing sediments. They associate with gold, lead-zinc, and barite deposits, and copper and molybdenum ore occurrences. The Koprivshtitsa-Hisarya Metallogenic Zone is outlined in the Central Bulgaria and is characterised by the Srednogorie Granitoid Complex associated with a series of uranium, molybdenum and gold ore occurrences.

References

Angelov, V., M. Antonov, S. Gerdzhikov, P. Petrov, P. Kiselinov, S. Tanatsiev, V. Valev, S. Pristavova, B. Banushev. 2010. *Explanatory note to the Geological map of the Republic of Bulgaria. Scale 1:50 000, Map sheet Etropole*. SRI “Geology and geophysics” JSC, Univ. Min, Geol. St. “Ivan Rilski”, 83 p (in Bulgarian with an English abstract).

Bonev, N., P. Filipov, R. Raicheva, R. Moritz. 2019. Timing and tectonic significance of Paleozoic magmatism in the Sakar unit of the Sakar-Strandzha Zone, SE Bulgaria. *Int. Geol. Rev. 10.1080.002068 14 2019.1575090,* 1-23.

Čatalov, G. 1965. Jungpaläozoikum in den Sveti-Ilija-Höhen. *Bulletin of the “Strašimir Dimitrov” Institute of Geology, 14*, 107-134, (in Bulgarian with Russian and German abstracts).

Čunev, D., K. Kolčeva, K. Yankulova. 1965. Sur certaines modalités du développement du magmatisme paléozoïque supérieur en Bulgarie du Nord-Ouest. *Rev. Bulg. Geol. Soc. 26*, 3, 349-354 (in Bulgarian with French abstract).

Dabovski, H., I. Zagorčev, M. Ruseva, D. Čunev. 1972. Paleozoic granitoids in Real Sredna Gora Mountain. *Annuarie de la Direction Generale de Geologie*, *16,* 57-92 (in Bulgarian with an English abstract).

Dragov, 1971. Die erzmineralisationen in dem Paläozoikum des West-Balkans. *Bulletin of the Geological Institute, Series Metallic and Non-Metallic Mineral Deposits*, *19-20*, 19-30 (in Bulgarian with Russian and German abstracts).

Haydutov, I., Y. Tenchov, S. Yanev. 1979. Lithostratigraphic subdivision of the Diabase-Phillitoid Complex in the Berkovica Balkan Mountain. *Geologica Balcanica*, *9*, 3, 13-25 (in Bulgarian with an English abstract).

Haydutov, I., S. Yanev, D. Tronkov, T. Nikolov I. Sapunov, P. Tchoumatcenko, Tz. Tzankov, R. Dimitrova, N. Popov. 1995a. *Explanatory note to the Geological Map of Bulgaria on scale 1:100 000, Berkovica map sheet*. CGMR „ Geology and geophysics” AD”, 122 p. (in Bulgarian with an English abstract).

Haydutov, I., S. Yanev, D. Tronkov, D. Tchunev, I. Sapunov, P. Tchoumatcenko, Tz. Tzankov, T. Nikolov R. Dimitrova. 1995b. *Explanatory note to the Geological Map of Bulgaria on scale 1:100 000, Pirot map sheet*. CGMR „ Geology and geophysics” AD, 122 p. (in Bulgarian with an English abstract).

Haydutov I., S. Yanev, D. Tronkov, I. Sapunov, P. Tchoumatcenko, Tz. Tzankov, N. Popov, R. Dimitrova, T. Nikolov, D. Tchunev, L. Filipov. 1995c. *Explanatory note to the Geological Map of Bulgaria on scale 1:100 000, Belogradchik map sheet*. CGMR „ Geology and geophysics” AD, 144 p. (in Bulgarian with an English abstract).

Kalaidžiev, S. 1983. Structural features of Vatia ore field, West Stara Planina. *Rev. Bulg. Geol Soc. 44*, 2, 129-140 (in Bulgarian with an English abstract).

Machev, P., V. Ganev, L. Klain. 2013. New data about the age of granitoid magmatism in Strandzha Mt. (SE Bulgaria). *National Conf. Bulg., Geol. Soc., „Geosciences 2013“*, 39-40.

Minčeva-Stefanova, J. 1959. Beitrag zur Mineralogie und Geochemie der Erzlagerstätte Grube „Vatija“, kreis Botevgrad. *Bulletin de l'Institut de Géologie*, *7*, 1-53 (in Bulgarian with Russian and German abstracts).

Nachev, I., S. Yanev. 1980. *Sedimentary geocomplexes in Bulgaria*. “Nauka i Izkustvo”, 203 p. (in Bulgarian with an English abstract).

Nikolaev, G., I. Tonev. 1962. Géologie de la région du village Kopilovtzi et minéralisation des filons aurifères. *Annuaire de L'institut Minier et Géologique*, *7*, 2, 23-36 (in Bulgarian with Russian and French abstracts).

Obretenov, N. 2007. Gold Deposits „Govezhda”. – *In: „Gold Deposits in Bulgaria”,* Zemya'93, 70-74 (in Bulgarian with an English abstract).

Obretenov, N., I. Peev. 1971. Struktur der golderzlagerstätte „Govežda“. *Annuaire Jubilaire Comité de Géologique, 18*, 349-365 (in Bulgarian with Russian and German abstracts).

Popov, P., K. Popov. 2022. *Metallogeny of Bulgaria (with Metallogenic Map of Bulgaria 1:500 000).* “BMGK Comers” 426 p. (in Bulgarian with extended resume in English).

Popov, P., T. Tsanova. 1967. Petrographic and structural peculiarities in the Young Paleozoic vulcanites in the Sliven Mountain. *Rev. Bul. Geol. Soc., 28*, 3, 243-260 (in Bulgarian with an English abstract).

Slavov, I., K. Katev. 1964. Molybdenite Mineralization in the South-Eastern Strandja. *Rev. Bulg. Geol. Soc., 25*, 2, 109-116 (in Bulgarian with an English abstract).

Staykov, M., V. Ivanova-Panajotova, M. Staykova, K. Katev, H. Emanuilov. 1968. Paleozoic molybdenum mineralization in Sredna Gora anticlinorium. *Jubilee Geological Collection, Geol. Inst. BAS,* 327-338 (in Bulgarian with an English abstract).

Tenchov, Y., S. Yanev. 1963. Stratigraphy and lithology of the Upper Stephanien and Permian near the town of Belogradchik and Kiryaevo village (Nort-West Bulgaria). *Travaux sur la Géologie de Bulgarie, Série Stratigraphie et Tectonique*, *5*, 69-97 (in Bulgarian with Russian and English abstracts).

Voutov, I. 1962. Le caractère pétrographe des roches magmatiques dans la région, située entre la ville D'Étropolé et le village Pravetz. *Annuaire de L'institut Minier et Géologique*, *7*, 2, 127-136 (in Bulgarian with Russian and French abstracts).

Zagorchev, I., P. Lilov, S. Moorbath. 1989. Results of rubidium-strontium and potassium-argon radiogeochronological studies on metamorphic and igneous rocks in South Bulgaria. *Geologica Balcanica*, *19*, 3, 41-54 (in Russian with an English abstract).

National Geofund Reports

Dimitrov, L. 1964fa. *Report on the results of the preliminary and detailed geological exploration works of the "Granichak" deposit – Vidin region, carried out in the period 1959-1963*. National Geofund, I-0582 (in Bulgarian).

Dimitrov, L. 1964fb. *Report on the results of the geological exploration works on the prospecting and preliminary study of the “Shtastie” copper ore occurrence – Vidin region, carried out in 1963-1964*. National Geofund, I-0597 (in Bulgarian).

Dinchev, Y., K. Kraevski, V. Muletarova, P. Radomirov, S. Peshev. 1965f. *Report for the results of the detailed geological mapping in the area Vatia – Ribni Vir in scale 1:5000. Metalometric sampling, drilling and underground mining works in the area of Vatia mine, Botevgrad area, during 1963-1964*. National Geofund, IV-0149 (in Bulgarian).

Dragomanov, L., G. Skenderov, D. Boykov, V. Darakchiev, I. Bedrinov. 1993f. *Explanatory note to the legend of the Metallogenic map of uranium in scale 1:200 000 of Republic of Bulgaria, Plovdiv map sheet*. National Geofund, I-1225 (in Bulgarian).

Ignatovski, P., L. Naftali, S. Kuikin, O. Malinov, V. Mitrova, T. Nenov, N. Katskov, Yu. Hristova. 1994f. *Report on the results of the implementation of geological task: "Search and geological evaluation of the original sources of gold in the area of Sarnena Sredna Gora, Preparation of metallogenic-forecast map in scale 1:25 000 on area of 160 km^2, with specialized routs*. National Geofund, I-1191 (in Bulgarian).

Konstantinov, M. 1958f. *Report on Vatia site – Botevgrad area, during 1951*. National Geofund, I-0403 (in Bulgarian).

Kovachev, V., S. Strashimirov, Z, Vasilev, S. Dobrev, I. Mutafchiev, A. Kupenov, D. Taneva, M. Aronova. 1998f. *Report on the geological research carried out in the Vatia area in 1996*. National Geofund, I-1320 (in Bulgarian).

Mutafchiev, I., V. Miteva. 2001f. *Final report on the results of the performed geological exploration works on the Golyama Eakovitsa license area, Golyama Rakovitsa, Ostra Mogila, Teneva Chukara ore occurrences, Sofia region. Exploration, geological characteristics and evaluation*. National Geofund, I-1387 (in Bulgarian).

Peshev, G. 1992f. *Report on the results of the prospecting and exploratory geological exploration works on the "Granichak" copper deposit and the "Tumbarite" zinc-lead deposit, Mihaylovgrad area, in 1984-1985*. National Geofund, I-1078 (in Bulgarian).

Ushev, A. 1954f. *Report on the results of the detailed geological survey work carried out in 1952 at the Vatia deposit, Botevgrad area*. National Geofund, I-0344 (in Bulgarian).

DEBRIS FLOWS IN THE WATERSHED OF THE BOROVITSA RIVER, THE EASTERN RHODOPES

Radostina Rizova, Valentina Nikolova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mails: r.rizova@mgu.bg; v.nikolova@mgu.bg

ABSTRACT. The territory of the Eastern Rhodopes is defined in the specialised literature as highly affected by debris flows. These events propagate usually in deep erosional forms and can be defined as a rapid movement of highly liquified earth masses, caused by intense rainfall and snowmelt. Despite the built anti-erosion facilities and the mitigation measurements in the Eastern Rhodopes, there are still large areas of deforested and eroded slopes, which are a prerequisite for the propagation of debris flows. Large parts of the slopes in the watershed of the Borovitsa River are such areas. This article analyses small watersheds of the left tributaries of the river, after the Borovitsa Dam. The study is focused on the morphometric parameters of the watersheds and characterisation of the deposits. The presence of loose Paleogene volcanic materials, slope gradients between 15° and 30°, and sparse vegetation define the areas with the occurrence and propagation of debris flows. The results of the morphometric and grain-size analyses provide information on the energy of the flow and allow to delineate the zones of feeding, transport, and accumulation of the material.

Key words: debris flows, morphometric analysis, grain size analysis, the Borovitsa River.

КАЛНО-КАМЕННИ ПОТОЦИ ВЪВ ВОДОСБОРА НА РЕКА БОРОВИЦА, ИЗТОЧНИ РОДОПИ

Радостина Ризова, Валентина Николова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Територията на Източни Родопи е определена в специализираната литература като силно засегната от кално-каменни потоци. Те се проявяват обикновено в дълбоки ерозионни форми и представляват бързо движение на силно оводнени земни маси, предизвикано от интензивни валежи и снеготопене. Въпреки изградените противоерозионни съоръжения и укрепителни дейности, в Източни Родопи все още съществуват значителни площи обезлесени и ерозирани склонове, които са предпоставка за разпространение на кално-каменни потоци. Такива са значителна част от склоновете във водосбора на р. Боровица. В настоящата статия са анализирани малки водосбори на леви притоци на реката, след яз. Боровица. Изследването е фокусирано върху морфометричните параметри на водосборите и характеристика на наслагите. Наличието на неспоени палеогенски вулканити, наклони между 15 и 30° и оскъдна растителност определят територииите с проява на кално-каменни порои. Резултатите от морфометричния и зърнометричния анализи дават информация за енергията на потока и позволяват да се очертаят зоните на подхранване, транспорт и акумулация на материала.

Ключови думи: кално-каменни потоци, морфометричен анализ, зърнометричен анализ, р. Боровица.

Introduction

Debris flow is a fast-moving mass of sediment mixture - loose soils, sand, rock clasts, and water that moves downhill due to gravity. It is a widespread hazardous geological phenomenon in mountainous terrains. The preconditions for debris flow are steep slopes, loose earth materials, and rare vegetation. They occur periodically and are usually induced in gullies and first- or second-order drainage channels (Hungr et al., 2013). Triggering factors of these hazardous events are heavy rainfall or rapid snowmelt. Debris flow hazard is specific to a given terrain which influences the conditions of transport and accumulation. In very steep areas, debris flows can reach high speeds. The speed and volume of the flow make these phenomena very dangerous for people when they affect infrastructure and settlements, and for the ecosystems by affecting the vegetation and possible change in the water and sediment regime of the streams and rivers. This determines the need for a detailed study of the flow parameters, characteristics of the debris deposits, feeding area, and threshold parameters of the triggering factors, which are the subject of many publications (Costa, 1988, Zang et al., 2015, Wang et al., 2017, Gerdjikov et al., 2012, Kenderova et al., 2013, Dotseva et al., 2017, Notti et al., 2021, etc.).

In the current study, two debris prone watersheds, located in the Eastern Rhodopes (southern part of Bulgaria), were analysed. The area is highly prone to debris flows which are conditioned by large deforested slopes, high slope gradients, and weathered volcanic rocks. To minimise hydrogeomorphic risk, significant measures were taken in the past, including afforestation and building concrete check dams. Today, to a large extent, these processes have been controlled or their intensity has decreased. Despite that, the debris hazard still exists in the Eastern Rhodopes due to the cases of intensive rain and the availability of debris flows conditioning factors. Many of the anti-erosion facilities built in the 1960s are

damaged, or check dams are filled with clast material which increases the risk. The main risk in this area is related to the sediment transfer and possible changes in the retention capacity of the dams which increase the flood risk. Planning mitigation measures requires knowledge not only about the triggering factors but also about the type of flows and terrain features. In this relation, the current study was directed to the morphometric properties of the watersheds and debris deposits.

Study area

The study was done for the areas of two small watersheds of left tributaries of the Borovitsa River. The area is located in the Eastern Rhodopes, between the villages of Sokolite and Slepcha (Fig. 1). The relief is low-mountainous to hilly. Generally, the catchment area of the river Borovitsa is wide and with rare vegetation or deforested which is a prerequisite for propagation of debris flows.

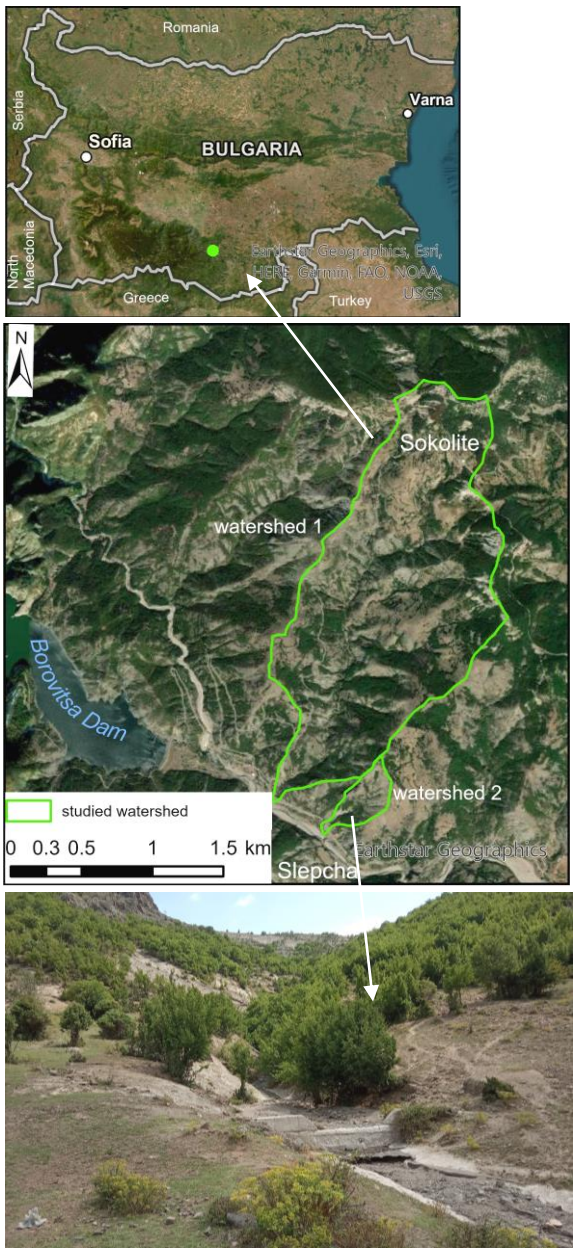


Fig. 1. Location of the study area and view of the watershed 2

The studied watersheds are characterised by temporary streams which activate in case of intensive rain. The area of watershed 1 is 2.84 km^2, and the watershed 2 area is smaller and is a catchment of a gully of 0.17 km^2 in size. A concrete check dam was built in the lower part of the gully to protect the near road. In present days, the check dam is filled with sediments and is not in a good condition. This decreases the retention capacity of the concrete facility and increases the risk of hazardous hydrogeomorphic processes.

Regarding the geology of the studied area, gullies are cut in medium-acid volcanic rocks of the Ribnodolski Volcanic Subcomplex (Jordanov et al., 2008). They are presented by small to medium porphyry latites to andesites, latitic to andesitic lava breccias, and alternation of tuffs and tuffites of Priabonian age. The lava breccias form a series of lava flows and covers, among which thin layers and lenses of lavas and various tuffs and tuffites are found. The upper part of watershed 1 is built by the terrigenous-tuffite formation of the Borovishki Volcanic complex (Paleogene). Generally, the rocks that are discovered on the surface at both watersheds are highly weathered which favours debris flows feeding with clastic materials.

The climate of the area is continental-Mediterranean with the maximum of precipitation in November-December (Rachev and Nikolova, 2008). Alternation of dry periods and periods of intensive rain facilitates the disintegration of earth materials and the occurrence of debris flows.

Materials and Methods

Morphometric and grain-size analyses were carried out to characterise the watersheds and to evaluate the geomorphological conditions for debris flow occurrence and propagation. Main morphometric parameters like watershed area, watershed relief, relief ratio (Schumm, 1956), slope, and Melton ratio (Melton, 1958) were computed on the basis of the ALOS PALSAR digital elevation model (DEM) with 12 m horizontal resolution (ALOS PALSAR, 2009). For the analysis of the impact of topography on the transport power of the streams, a secondary derivative of the slope gradient – stream power index (SPI) was calculated (Chen, Yu, 2011). A description of the computed watershed parameters is given in Table 1.

Samples of sediments were taken from three locations in the gully at watershed 2 – two from the gully bed, before and after the check dam, and one from the gully slope for the purpose of grain size analysis. The analysis was carried out in the Laboratory Geochemistry at the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, according to the Bulgarian State Standard BDS EN ISO 17892-4:2017. The sample statistics were computed using *Gradistat, Version 9.1* (Blott, S., 2020). The grain parameters, commonly used in the interpretation of sedimentary environments, like M (mean size), σ (standard deviation), Sk (skewness), and K (kurtosis) were calculated by the Folk and Ward (1957) method. The interpretation of the results was done taking into consideration the published materials and field research. The results of the grain size analysis are presented in tables and histograms.

Table 1. *Morphometric parameters of the watersheds*

Parameter	Description
Watershed area, km^2	Impacts on the amount of the surface runoff and the time it takes to reach the riverbed
Watershed relief, km	A difference, in kilometers, between the elevation of the highest point in the watershed and the river/stream mouth.
Relief ratio, km	The ratio between the watershed relief and the length of the watershed. The higher the relief ratio, the higher susceptibility to debris flow.
Melton index	The ratio between the watershed relief and the square root of the watershed area. The higher the relief ratio, the higher susceptibility to debris flow.
Slope	Computed as the rate of change of the surface in the horizontal and vertical directions from the center cell to each adjacent cell in the DEM raster. The higher the relief ratio, the higher susceptibility to debris flow.
SPI	SPI = Ln (As * tanβ), As – contributing area, β – slope in degrees.

Results and Discussion

Morphometric indicators

The morphometric analysis of the studied watersheds shows that the area is highly susceptible to debris flows. The high values of relief ratio, Melton ratio, and slope gradient are indicators of that (Table 2).

Table 2. *Morphometric parameters of the studied watersheds*

Morphometric parameter	Watershed 1	Watershed 2
Watershed area, km^2	2.84	0.17
Watershed relief, km	0.56	0.28
Relief ratio, km	0.17	0.40
Melton ratio	0.33	0.80
Slope >15° (in % of the watershed area)	71.4	77.6
SPI	to 12.8	to 5.4

The high values of the relief ratio, and particularly for watershed 2, show high general steepness of the watersheds which is a precondition for rapid movement of loose slope material. Regarding the Melton ratio, many publications determine 0.3 and higher as a threshold value which indicate the debris character of the watersheds. For instance, Jackson et al. (1987) set the value >0.3, Bovis and Jakob (1999) determine Melton ratio >0.53 as an indicator for debris flow area, and according to Wilford et al. (2004) debris flow watersheds have Melton ratio >0.6. Similar results about debris flow prone watersheds are received for other parts of the Rhodopes (Nikolova et al., 2021) and for the Middle Struma watershed (Baltakova et al., 2018). SPI is a relative indicator of the transport power of water flows in a certain watershed and it is not applicable for the comparison of different watersheds, because it depends on the contributing area. Despite the predominant areas with slopes greater than 15° in watershed 2, the SPI is lower due to the smaller area. The spatial distribution of the values of slope gradients and SPI are given in Fig.2.

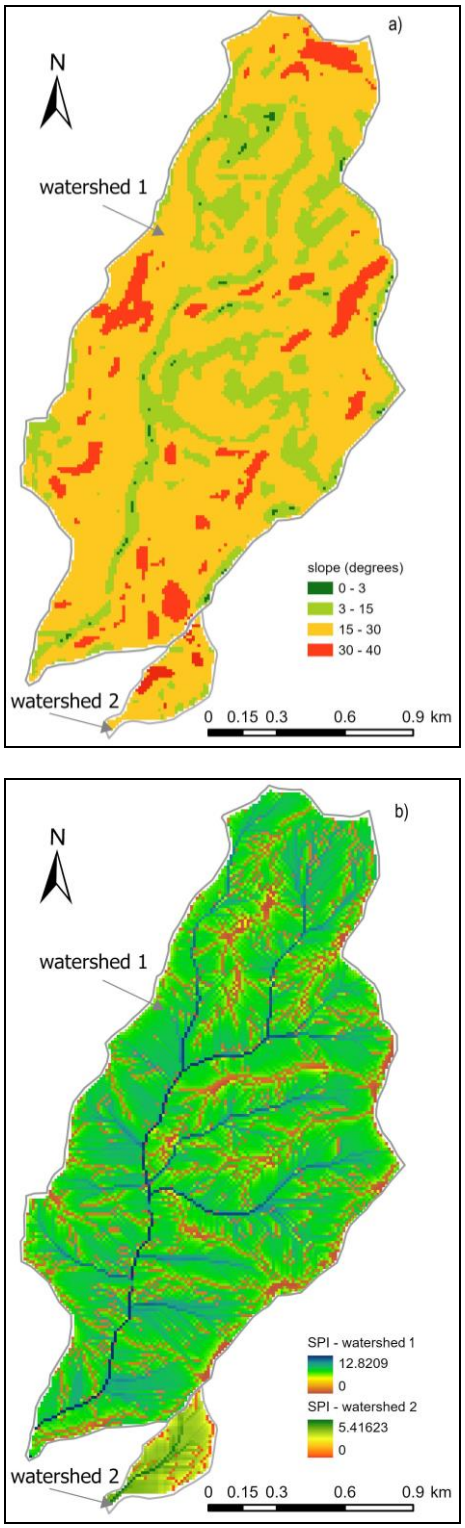


Fig. 2. Spatial distribution of the morphometric parameters: a) slope gradients; b) SPI

Grain size analysis

Three samples taken from the watershed 2 area were analysed as follows:

S1 – left slope of the gully,

S2 – from the gully bed before the check dam,

S3 – from the gully bed after the check dam.

Grain-size statistical parameters (mean, standard deviation, skewness and kurtosis) were calculated based on grain-size distribution curves (Tables 3, 4, and 5).

Sample S1 – gully slope. The sample is trimodal, very poorly sorted. The gravel is the predominant fraction and takes 80.2% of the sample, the sand takes 19.8%. There is no mud fraction. The sediment is determined as coarse gravel, and the textural group is gravel. The grain size distribution is given in Fig. 3

Table 3. *S1 - Statistic parameters (phi) by Folk and Ward (1957)*

Parameter	Logarithmic	Description
Mean	-2,867	Fine Gravel
Sorting	2,029	Very Poorly Sorted
Skewness	0,470	Very Fine Skewed
Kurtosis	0,896	Platykurtic

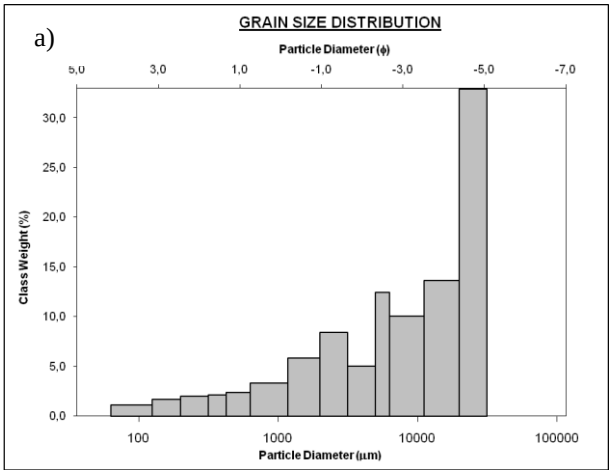


Fig. 3. Sample S1: a) grain size distribution; b) sampling site

Sample S2 – gully bed, before the check dam. The sample is bimodal, poorly sorted. The part of gravel is 60.9% of the sample, the sand takes up 39.1%. There is no mud fraction. The sediment is sandy fine gravel, and the textural group is sandy gravel. A view of the sampling site and the grain size distribution is presented in Fig. 4.

Table 4. *S2 - Statistic parameters (phi) by Folk and Ward (1957)*

Parameter	Logarithmic	Description
Mean	-1,435	Very Fine Gravel
Sorting	1,706	Poorly Sorted
Skewness	0,115	Fine Skewed
Kurtosis	0,967	Mesokurtic

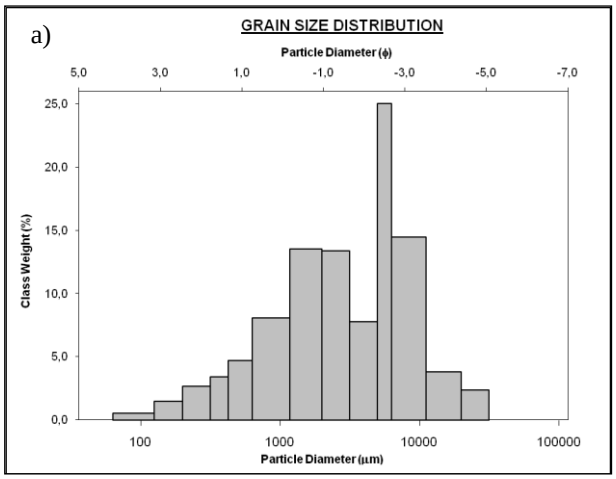


Fig. 4. Sample S2: a) grain size distribution; b) sampling site

Sample S3 – gully bed, after the check dam. The sample is trimodal, very poorly sorted. The gravel takes up 79.4% of the sample, and the part of the sand fraction is 20.6%. There is no mud fraction. The sediment is determined as sandy very coarse gravel, and the textural group is sandy gravel. The grain size distribution and view of the sampling site are given in Fig. 5.

Table 5. *S3 - Statistic parameters (phi) by Folk and Ward (1957)*

Parameter	Logarithmic	Description
Mean	-2,900	Fine Gravel
Sorting	2,294	Very Poorly Sorted
Skewness	0,155	Fine Skewed
Kurtosis	0,884	Platykurtic

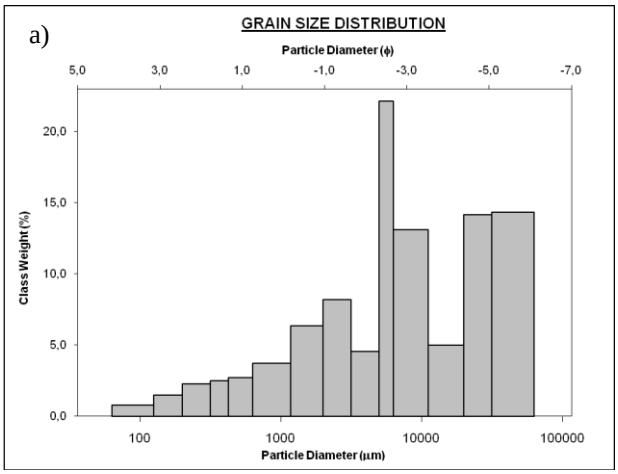


Fig. 5. Sample S3: a) grain size distribution; b) sampling site

Varnes (1978) stated that to be considered a debris flow, the moving material must be loose and capable of "flow", and the particle size must contain a relatively high percentage of coarse fragments (sand-size particles or larger).

According to the values of the statistic parameters of the samples, the following conclusions can be made:

Grain size distribution shows that there are samples with two and three modes. Sample S2, which was taken in the channel, before the check dam, is bimodal, while sample S3, which was taken after the barrage, is trimodal, but both have a main mode around -2,5 φ fraction (fine gravel). The sample, taken from the slope (source area), is trimodal, too, but the main mode is around -4,650 φ fraction (coarse gravel).

The inclusive graphic median (ϕ50) corresponds to the 50 percentile, half of the particles are coarser and the other half are finer. Analysed samples range from -1,522 φ to -3.393 φ. Based on the data, all the samples are fine and very fine-grained.

Mean grain size (M) is indicative of the average size of the grains. In analysed samples, it shows a general predominance of fine gravel in samples S1 and S3, and very fine gravel in sample S2.

Standard deviation (σ) depicts the sorting or uniformity of grains which indicates the prevailing energy conditions at the time of transportation and deposition. The standard deviation of the grain size distribution in the analysed samples is from 1.706 to 2.294, which indicates that all samples are very poorly sorted (S1 and S3) and poorly sorted (S2). That is typical for the debris flows deposition and gives an indication of variable and inconstant current and velocity of the flow.

Graphic skewness (Sk) measures the degree to which a cumulative curve approaches symmetry in terms of the predominance of fine- or coarse–grained fractions. The studied samples are fine skewed (S1 and S3) and very fine skewed (S2).

Graphic kurtosis (K) is a measure of the peak of a curve. Values of kurtosis in the studied sample range from 0.884 to 0.967. Peakedness is mainly dominated by platykurtic behaviour (S1 and S3) which indicates a thinner than normal tail, followed by platykurtic, and mesokurtic behaviour (S2) which corresponds to equal thickness throughout the curve.

Conclusion

The data acquired during the field research, morphometric and laboratory analyses show that in the watershed of the Borovitsa River, debris flows are still active. The occurrence of the debris flows is spontaneous and is triggered by intense rainfall in the areas where weathered and unsoldered materials are available. The petrographic composition of the clasts in the studied area is relatively homogeneous – medium acid lavas, lava breccias, tuffs, tuffites, andesites, and latites but the rocks are highly weathered. The grain size statistics parameters confirm the debris character of the flows and turbulent conditions of transport and deposition. The standard deviation shows very poorly sorted deposits, which is typical for debris flows. The dominant fraction is one of the fine gravel in the source area and after the check dam, and very fine gravel in the debris channel, which is an indicator for not very high energy of the flows. Morphometric parameters of the studied watersheds also confirm the high susceptibility to debris flows.

Acknowledgements. This work has been carried out within the framework of the National Science Program "Environmental Protection and Reduction of Risks of Adverse Events and Natural Disasters", approved by the Resolution of the Council of Ministers № 577/17.08.2018 and supported by the Ministry of Education and Science (MES) of Bulgaria (Agreement № D01-271/09.12.2022)

References

ALOS PALSAR. 2009. ALPSRP158530820-RTC_HI_RES. JAXA/METI Accessed through ASF DAAC.

Baltakova, A., V. Nikolova, R. Kenderova, N. Hristova. 2018. Analysis of debris flows by application of GIS and remote sensing: case study of western foothills of the Pirin Mountain (Bulgaria). In: *DEBRIS FLOWS: disasters, risk, forecast, protection.* Proceedings of the 5th international conference, Tbilisi, Georgia, 1–5 October 2018, pp 22–32

Bovis M. J., M. Jakob. 1999. The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. *Earth Surf Process Landf 24:*1039–1054

Blott, S., 2020. Gradistat, Version 9.1, Kenneth Pye Associates Ltd.

Chen, C.-Y., F.-C. Yu. 2011. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. – Geomorphology, 129, 387–397; https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.002.

Costa, J. E. 1988. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. In V. R. Baker, R. C. Kochel, P. C. Patton (Eds.), *Flood Geomorphology*, pp. 113–122. John Wiley & Sons, New York

Dotseva, Z., I. Gerdjikov, D. Vangelov. 2019. Modern debris flow activity in southern slopes of Rila Mountain, with an example from the area of Cherna Mesta village. *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol. 80, book 3, p. 227–229. National Conference with international participation “GEOSCIENCES 2019”

Folk, R., W. Ward. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, *vol. 27*, 1, 3-26.

Gerdjikov, I., D. Vangelov, I. Glabadanidu. 2012. One underestimated geological hazard: the debris flows, *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol.73, part 1-3, pp 85-104 (in Bulgarian).

Hungr, O., S. Leroueil, L. Picarelli. 2013. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/s10346-013-0436-y.*

Jackson, L. E., R. A. Kostaschuck, G. M. MacDonald. 1987. Identification of debris flow hazard on alluvial fan in the Canadian Rocky Mountains. *Geol. Soc. of Am. Rev. Eng. Geol., 7*, 115–124

Jordanov, B., S. Sarov, S. Georgiev, G. Dobrev, V. Grozdev, D. Kamburov, E. Balkanska, L. Moskovska. 2008. *Geological Map of Republic of Bulgaria, Scale 1:50000* (Map sheet Komuniga). Ministry of Environment and Water, Bulgarian Geological Survey

Kenderova, R., A. Baltakova, G. Ratchev. 2013. Debris Flows in the Middle Struma Valley, Southwest Bulgaria. In D. Lóczy (Ed.), *Geomorphological Impacts of Extreme Weather: Case Studies from Central and Eastern Europe* (pp. 281–297). https://doi.org/10.1007/978-94-007-6301-2_18

Melton, M. A. 1958. Geometric properties of mature drainage basins and their representation in an E4 phase space. *The Journal of Geology*, *66*, no. 1, 35-54.

Nikolova, V., A. Kamburov, R. Rizova. 2021. Morphometric analysis of debris flows basins in the Eastern Rhodopes (Bulgaria) using geospatial technologies. *Natural Hazards, 105*, 159–175; https://doi.org/10.1007/s11069-020-04301-4

Notti, D., D. Giordan, A. Cina, A. Manzino, P. Maschio, I. H. Bendea. 2021. Debris Flow and Rockslide Analysis with Advanced Photogrammetry Techniques Based on High-Resolution RPAS Data. Ponte Formazza Case Study (NW Alps). *Remote Sens., 13,* 1797. https://doi.org/10.3390/rs13091797

Rachev, G., N. Nikolova. 2008. The climate of Bulgaria. Ann. of the University of Sofia “St. Kliment Ohridski”, Faculty of geology and geography, vol. 101 book 2, Geography, p. 17-29. (in Bulgarian)

Schumm, S. A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, *67,* 5, 597–646; https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67 [597:EODSAS]2.0.CO;2

Varnes, D.J. 1978. Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33.

Wang, Y., P. Cui, Z. Wang, S. Liang. 2017. Threshold criterion for debris flow initiation in seasonal gullies, *International Journal of Sediment Research*, Vol. 32, pp 231-239, ISSN 1001-6279, https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.03.003.

Wilford, D. J., M. E. Sakals, J. L. Innes, R. C. Sidle, W. A. Bergerud. 2004. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides, 1:* 61–66, doi 10.1007/s10346-003-0002-0

Zang, W., Q. Wang, J. Chen, H. Li, J. Que, Y. Kong. Grain-Size Analysis of Debris Flow Alluvial Fans in Panxi Area along Jinsha River, China, *Sustainability*, 7, 2015, pp 15219-15242, doi:10.3390/su71115219

RESEARCH ON THERMAL CONDUCTIVITY DEPENDING ON THE PARTICLE SIZE COMPOSITION OF THE INSULATING LAYER

P. Savov[1], R. Pazderov[1], P. Petrov[2]

[1]University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: psavov@mgu.bg; rpazderovov@mgu.bg
[2]“Earth and Man” National Museum, 1421 Sofia; petkopet@abv.bg

ABSTRACT. Issues related to energy saving are becoming increasingly relevant. It has been established that a particularly large amount of energy is lost from poorly insulated buildings. For this reason, intensive work is being done for the development of new strong, cheap, and beautiful thermal insulation coatings. In the presented work, experimental results on heat transfer processes through a layer with different grain size composition are examined and discussed. The rate of heat transfer is determined depending on the degree of filling of the heat-insulating volume and the type of material itself. Since the calculation of the total volume of the air voids, given an arbitrary shape of the filler, is a very difficult analytical task, the authors initially used materials with a spherical shape as the filler for the insulating layer. A distinction is made between the processes of heat transfer in the case of metal and glass spheres - materials with a considerably large difference in their thermal conductivity.

Key words: thermal conductivity, particle size composition, heat transfer.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТОПЛОПРОВОДНОСТТА В ЗАВИСИМОСТ ОТ ЗЪРНОМЕТРИЧНИЯ СЪСТАВ НА ИЗОЛИРАЩИЯ СЛОЙ

П. Савов[1], Р. Паздеров[1], П. Петров[2]
[1]Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София
[2]НМ “Земята и хората”, 1421 София

РЕЗЮМЕ. Проблемите, свързани с икономията на енергия, стават все по-актуални. Установено е, че особено голямо количество енергия се губи от недобре топлинно изолираните сгради. Поради тази причина интензивно се работи в областта на разработка на нови здрави, евтини и красиви термоизолационни покрития. В представената работа са разгледани и дискутирани експериментални резултати по процесите на пренос на топлина през слой с различен зърнометричен състав. Определена е скоростта на топлопренасяне в зависимост от степента на запълване на термоизолиращия обем и от вида на самия материал. Тъй като пресмятането на пълния обем на въздушните кухини при произволна форма на пълнителя е много труднорешима аналитично задача, авторите като начало са използвали материали със сферична форма като пълнител за изолиращия слой. Направено е сравнение между процесите на предаване на топлината при метални и стъклени сфери – материали с голяма разлика в топлопроводимостта.

Ключови думи: топлопроводност, зърнометричен състав, изолиращ слой.

Въведение

Към фасадните системи, панелите за вътрешна облицовка и др., използвани в промишленото и гражданско строителство, се предявяват изисквания както по отношение на декоративните им качества, така и към редица други характеристики като негоримост, устойчивост на влага, звукоизолация, нетоксичност, лесен монтаж и др. Една от най-важните характеристики на тези материали се явява тяхната термоизолираща способност (Фокин, 1973, Frank et al., 2007, Фоменко, 2011).

За постигане на максимална топлоизолация на сградите, се използват както естествени скални материали, така и разнообразни синтетични и композитни плочи, панели и др.

В настоящата разработка се изследва зависимостта на топлопроводността от вида и зърнометричния състав на изолиращия слой, явяващ се запълващ материал и разположен между външна и вътрешна облицовъчна плоча/панел от естествен скален материал - мрамор.

Направен е анализ как абсолютният размер на зърната влияе върху топлопроводността, както и съпоставка за измененията на този параметър в зависимост от вида на използвания материал – стомана и стъкло.

Материали и принципна схема на експерименталната постановка

При експеримента, като запълващ изолационен слой, вместен между две мраморни плочки, са използвани 6 стоманени сфери с различни диаметри (колони от 1 до 6 в таблица 1) и 2 стъклени (колони 1 и 2 в таблица 2), като основните параметри на сферите и въздушната междина са представени в Таблици 1 и 2, където D е диаметърът на сферите; V е обемът на кухините в термоизолираното пространство (определящо се от диаметъра на сферите);

Vs – обемът на сферите; N е броят на сферите с най-плътно еднослойно запълване на работното пространство между мраморните плочи; Air е процентното съдържание на въздуха спрямо общия обем на сферите; Va – абсолютният обем на въздушните междини при дадения вид запълване със сфери.

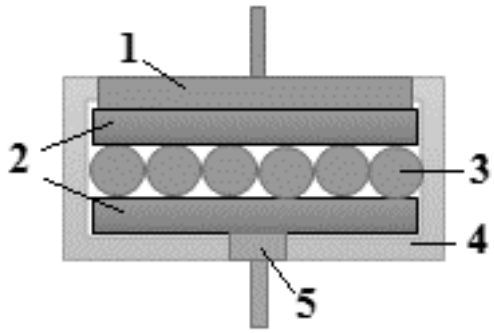
Таблица 1. *Основни параметри на стоманените сфери и въздушната междина*

Параметър	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
D [mm]	12	8	5	4	3	2
V [m^3].10^{-6}	48	32	20	16	12	8
Vs [m^3].10^{-8}	90	27	6,5	3,3	1,4	0,42
N	29	45	84	187	512	1145
Air [%]	44	63	75	61	40	40
Va [m^3].10^{-6}	22	20	14,5	9,7	4,8	3,2

Таблица 2. *Основни параметри на стъклените сфери и въздушната междина*

Параметър	**1**	**2**
D [mm]	11	7
V [m^3].10^{-6}	44	32
Vs [m^3].10^{-8}	69	17
N	35	49
Air [%]	47	25
Va [m^3].10^{-6}	20	8

При експериментите бе извършено нагряване при всеки един размер и вид на запълващия материал, разположен между двете мраморни плочки. Принципната схема на експерименталната постановка е показана на Фиг. 1.

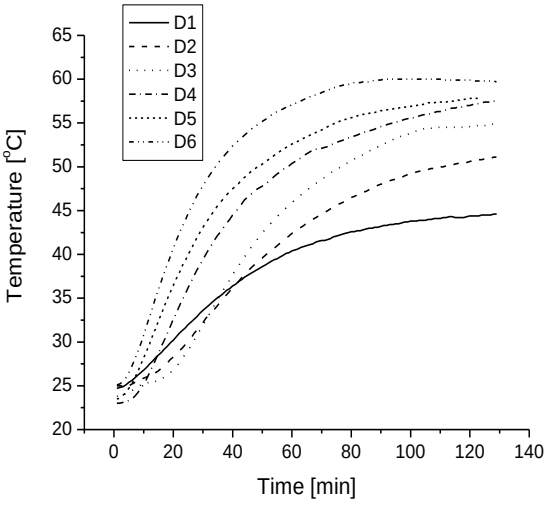


Фиг. 1. Схема на експерименталната постановка за измерване на температуропроводността при запълващ материал от стоманени и стъклени сфери с различен диаметър и облицовка от мраморни плочки.

1 – нагревател;
2 – мраморни плочки 8 x 5 cm и дебелина 3 mm;
3 – стоманени или стъклени сфери;
4 – термоизолиращо покритие;
5 – термодатчик.

Експериментални резултати и дискусия

На фиг. 2 са представени резултатите от измерване на температуропроводимостта между двете мраморни плочи, чието междинно пространство е запълнено с различни по диаметър стоманени сачми. Диаметрите на сачмите са отбелязани в легендата с D1 – D6, като числените стойности са дадени в таблица 1. По абсцисата е нанесено времето в минути, а по ординатата – промяната на температурата с времето.



Фиг. 2. Криви на температуропроводимостта при запълване с различни по диаметър стоманени сачми

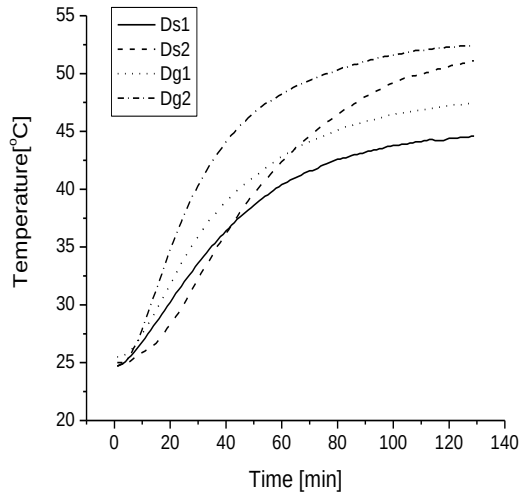
От графиките на фиг. 2 ясно се вижда, че с намаляване на диаметъра на сферите, равновесната температура (когато температурата престане да расте с времето) се постига при все по-високи стойности. Докато при сферите с диаметър от 12 mm имаме равновесна температура от около 42 градуса, то за най-малките сачми (диаметър 2 mm) равновесие се постига при около 60 градуса.

Известно е, че стоманата е сравнително добър проводник на топлина. В случая преносът става основно чрез контактните точки на сферите и плочките. При нарастване на броя на сферите контактната площ се увеличава и това, от своя страна да води до по-добър пренос на топлина и до повишаване на стойността на равновесната температура.

От друга страна, с намаляване на диаметъра на сферите се намалява и абсолютният обем на въздуха в междините. За разлика от стоманата, въздухът е добър термоизолатор и с намаляване на дебелината на изолационния слой се намалява и термоизолацията. Следователно имаме два фактора, които действат кумулативно в процеса за намаляване на термоизолацията при намаляване на диаметъра на сачмите и достигане на по-високи стойности на равновесната температура.

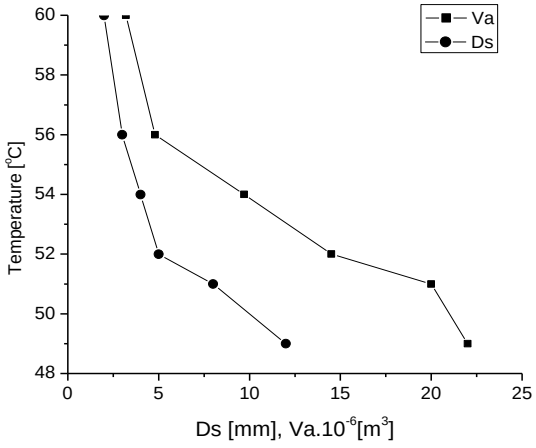
Интересно е да се отбележи, че доминиращо влияние има стойността на дебелината на изолиращия въздушен слой, а не толкова относителният обем на въздуха, запълващ пространството между сферите. Това може да се проследи добре от таблица 1. От нея се вижда и, че относителният обем въздух има максимум при диаметър на сферите 3 mm. Това показва, че за дадената конфигурация – обем на изолиращото пространство и диаметър на сферите, имаме най-рехаво запълване на работния обем от сферите.

На фиг. 3 са представени графиките от резултатите от измерване на температуропроводимостта при стоманени и стъклени сфери, запълващи пространството между мраморните плочки.



Фиг. 3. Криви на температуропроводимостта при запълнение с различни по диаметър стоманени (Ds) и стъклени (Dg) сачми.

Съпоставката на изолационните свойства на стоманените и стъклени сфери, потвърждава добре известния факт, че стъклото има по-добри термоизолационни свойства в сравнение със стоманата. Въпреки това, от фиг. 2 може да се види, че и при двата диаметъра слоевете със стъклените сфери имат по-лоши термоизолационни качества в сравнение с тези със стоманените. Ясно е, че и тук преобладаващ ефект върху термоизолацията има стойността на абсолютния обем въздух, запълващ кухините между сферите. При стъклените сфери той е по-малък (Таблица 2).



Фиг. 4. Криви на зависимостите между диаметъра на стоманените сфери, абсолютния обем въздух между сферите и стойностите на равновесната температура

От фиг. 4 се вижда се, че зависимостта и при двата параметъра (диаметър на сферите и абсолютен обем въздух между сферите) спрямо стойността на равновесната температура е силно нелинейна. Особено силна „чувствителност“ при стойностите на равновесната температура се наблюдава при малките сфери. Едно логично обяснение на наблюдаваното явление е, че в случая играят роля два процеса – от една страна намаляване на въздушната междина, а от друга – увеличаване на контактните точки, чиито брой също нараства силно нелинейно (Таблица 1).

Заключение

От получените експериментални резултати и техния анализ може да се заключи следното:

- С намаляване на диаметъра на сферите, равновесната температура се достига при все по-високи стойности;
- Доминиращо влияние има дебелината на изолиращия въздушен слой, а не толкова относителния обем на въздуха, запълващ пространството между сферите;
- Зависимостта между диаметъра на сферите и стойността на равновесната температура е силно нелинейна. Особено силна нелинейност се наблюдава при малките сфери.

За получаване на по-пълна картина на изследваните процеси и явления на топлопренос е добре да се изследват и многослойни композиции с различни диаметри и състав на частиците, формиращи изолационния слой. Това се предвижда да бъде и основната задачата при едни бъдещи изследвания.

Литература

Ржевский, В. В., Г. Новик. 1984. *Основы физики горных пород*. Москва, Недра, 360 стр.

Фокин, К. 1973. *Строительная теплотехника ограждающих частей зданий*. Стройиздат, М., 289 стр.

Фоменко, Н.2011. *Физика горных пород*. Новочеркаск, 144.

Coletti, Ch., Al. Borghi, R. Cossio, M. Chiara Dalconi, Giorgia Dalla Santa, Luca Peruzzo, Raffaele Sassi, Arianna Vettorello, Antonio Galgaro. 2021. A multi-scale methods comparison to provide granitoid rocks thermal conductivity. *Construction and Building Materials 304 (2021) 2-13.*

Frank I. 2007. *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons. 2007, 1070 p.

POSSIBILITIES OF GEOPHYSICAL METHODS FOR MONITORING AN INTEGRATED MINE WASTE FACILITY

Maya Tomova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: maya.grigorova86@gmail.com

ABSTRACT. Geophysical methods have proved to be non-invasive and very efficient for providing subsurface geological information. Usually preformed along a line, these methods are widely used for different mining, geological and also engineering purposes. No doubt, one of the most applied and popular geophysical technique is electrical resistivity tomography. This method provides a high-resolution earth subsurface image of the electrical resistivity values and is based on the existing contrast in electrical properties of the measured area. Using this approach is appropriate for monitoring of water drainage, because according to resistivity contrast water is greatly distinguished from the surrounded area. This allows geophysical techniques to be used widely in monitoring of mine waste facilities, where water drainage is key issue for the construction and stability of the facility.

Key words: electrotomography, mine waste, drainage.

ВЪЗМОЖНОСТИ НА ГЕОФИЗИЧНИТЕ МЕТОДИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ИНТЕГРИРАНО СЪОРЪЖЕНИЕ ЗА МИННИ ОТПАДЪЦИ

Мая Томова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Геофизичните методи са един от основните способи за събиране на информация за строежа на подповърхностното пространство. Измерванията обикновено се извършват в строга последователност на работа на уредите и по профилни линии. Резултатите често се използват в минното дело, геологията, а все по-често и в инженерните дела. Без съмнение, един от най-често прилаганите способи е от групата на Електросъпротивителните методи и това е неговата най-популярна модификация - Електротомографията. При електротомографията измерените стойности на електричното съпротивление отразяват електричните свойства на средата непосредствено под измервания профил. По такъв начин метода е изключително подходящ за извършване на мониторинг на оводнени среди, които силно контрастират по отношение на електричните си свойства спрямо вместващата ги среда. Това позволява геофизичните методи широко да се прилагат за изследване на хвостохранилища, където дренирането на водата е от ключово значение за стабилността на съоръжението.

Ключови думи: електротомография, минни отдпадъци, дренирane.

Introduction

Geophysical techniques have been traditionally associated with exploration for ore and hydrocarbon deposits. However, they also offer potential for the evaluation of geotechnical parameters associated with mineral deposits or engineering purposes. In practice, mine sites or engineering projects often operates under conditions of high geological uncertainty. According to Tichauer, this turns mine planning into a complex and sometimes inaccurate task, resulting in low productivity and substantial variability in the quantity and quality of the mineral products (Tichauer et al., 2020). In this context, non-invasive monitoring techniques, such as electrical resistivity tomography (ERT), are promising since they provide large-scale subsurface information gathered from investigation on the ground surface and can be used as traditional monitoring tools for observations on mine waste facilities (Dimech et al., 2022).

Traditionally, geophysical methods are used in exploration for identification and delimitation of mineral deposits and have played an important role in reducing geological uncertainty in mining. As Haile and Atsbaha (2014) mentioned, geophysical techniques are routinely used as part of geological investigations to map subsurface geological structures.

Acording to Yankova (2020), a specific feature of technological progress is the significant increase in the volume of material production which results in the growth of consumption of minerals. The large mining and mineral processing volumes also lead to technological waste formation.

Mining waste results from extracting and processing of the mineral resources. It includes materials, such as topsoil overburden, mine waste rock, and waste rock and tailings derived after the extraction of the valuable mineral.

Description of the technology

The modern mining companies are a complex aggregation of interconnected technological objects existing and developing over decades. As a result of the production activity of mining companies, there is an active interaction between production complexes and nature (Grigorova et al., 2013). For many

decades, human society has neglected waste due to the small volumes in the past; but the vast areas now occupied require technological solutions for their processing and disposal (Yankova, 2021). Great amounts of waste are produced as a result of mining and overburden removal, and also during the processing of ore (Nassar et al. 2022). According to Dimitrov and Koprev (2023), proper management and disposal of mine waste is of utmost importance for the mining industry to minimise environmental impact and ensure sustainable development.

In the *Ada Tepe* open pit gold mine, the Integrated Mine Waste Storage Facility (IMWSF) has been designed. The concept of the IMWSF is to place thickened tailings into cells constructed from mine rock. This facility is great to minimise the environmental impact as it needs less surface area to be built than a separate waste dump and tailings storage facility (Eldridge et al. 2011). The disadvantage about such a facility is the operational sequence as it includes many operations. Aleksandrova et al. (2021) suggested the critical path method (CPM) to be used to ensure that the facility would be constructed on schedule. Waste rocks are composed of coarse materials that are highly heterogeneous, especially in terms of particle size distribution, as opposed to tailings, which are more homogeneous (Amos et al., 2015; Vriens et al., 2020). The waste rock in the IMWSF in the *Ada Tepe* gold mine mostly consists of breccia conglomerates with occasional boulders of metamorphic rocks – amphibolites, gneiss, and schists. The rocks provide strength to the facility and also helps for the better drainage of the water.

Geophysical methods respond to the physical properties of the subsurface media (rocks, sediments, water, voids, etc.) and can be used successfully when one area differs sufficiently from another in some physical property.

The aims of an electrical resistivity survey are to measure the resistivity distribution in the subsurface layers by conducting measurements along the ground surface. In resistivity methods, the current is injected through the ground using a pair of electrodes and the resulting distribution of the potential field in the ground is mapped by using another pair of electrodes. Very often, it is employed in engineering geophysics to map bedrock.

The electrical resistivity tomography method is an important geophysical exploration method used to provide a high-resolution earth subsurface image of the electrical resistivity values (Xayavong et al., 2022). Variations in electrical resistivity typically correlate with variations in lithology, water saturation, fluid conductivity, porosity, and permeability, which may be used to map geological structures, fractures, and groundwater.

Understanding the drainage potential of the contaminated cell has a great importance for the rate of mining and overburden removal and also for planning the processing of the ore. For that reason, monitoring of the integrated mine waste storage facility (IMWSF) is very important for optimal planning of the work process of the whole mine.

According to Xu (Xu et al., 2022), geophysical methods and especially the electrical resistivity tomography (ERT) has the advantages of high working efficiency and high detection accuracy, which allow to delineate the boundaries of a highly moisturised area.

Geoelectrical methods have been successful in mapping humid zones inside the tailings facilities and this information is used for mapping zones of attention and risk assessment.

Field measurements and results

Electrical resistivity tomography (ERT) was used to determine the resistivity value of the contaminated cells of the Integrated Mine Waste Facility in the *Ada Tepe* gold mine.

The method of electrical resistivity tomography is performed along survey lines in the terrain, resulting in a two-dimensional profile for each line. The precise location of the geophysical surveying lines in the area of the Integrated Mine Waste Facility is illustrated in Figure 1.

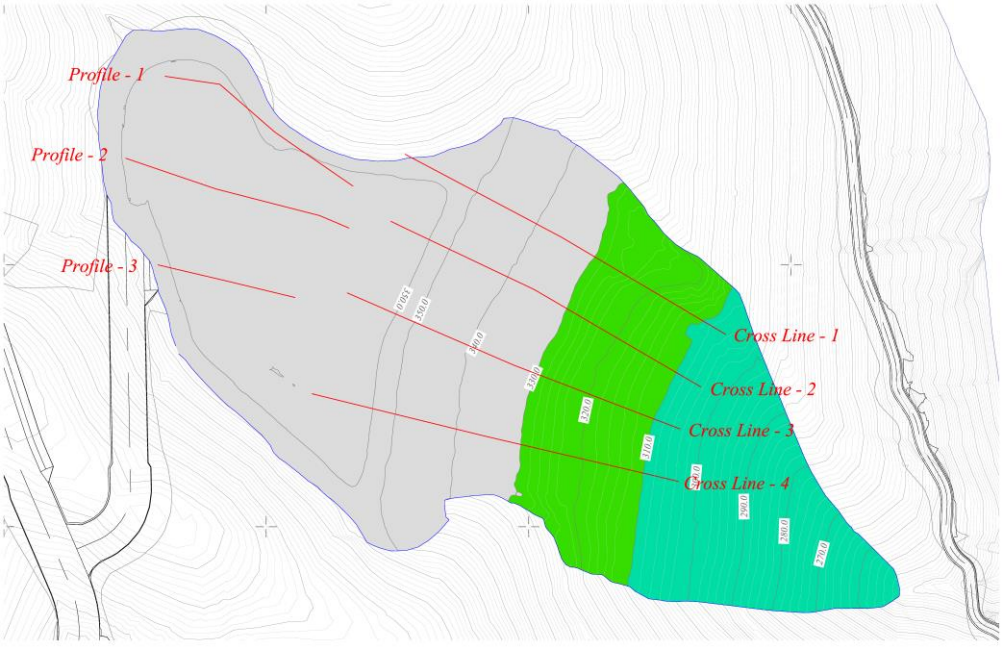


Fig. 1. Field measurements situation plan

To evaluate the drainage potential of the newly created cells, electrical resistivity measurements were performed along 7 profiles. The total length of the measured profiles is 1024m, and their exact location is presented in Figure 1.

The total length of the measured lines and their individual lengths are shown in Table 1.

The interpreted ERT cross lines are presented below (from Figure 2 to Figure 5). A field measurement plan is presented in Figure 1.

Table 1. *Total length of each line of Integrated Mine Waste Facility*

Line	Cross Line - 1	Cross Line - 2	Cross Line - 3	Cross Line - 4	Profile 1	Profile 2	Profile 3
Length, m	190	180	180	190	105	110	69

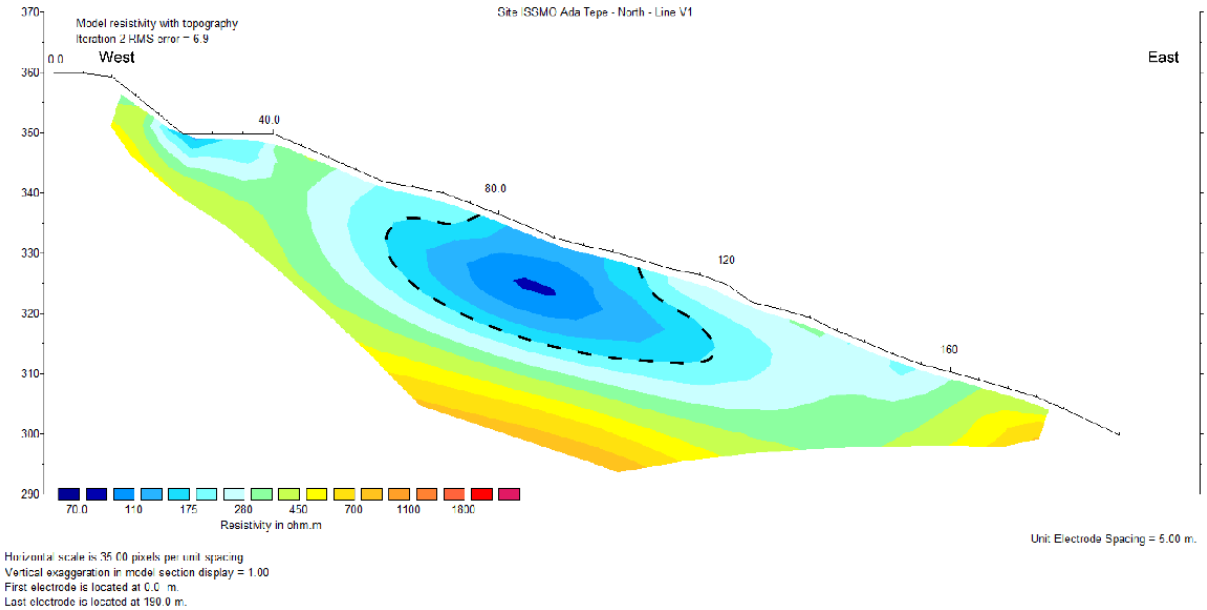


Figure 2. ERT section along Cross Line 1

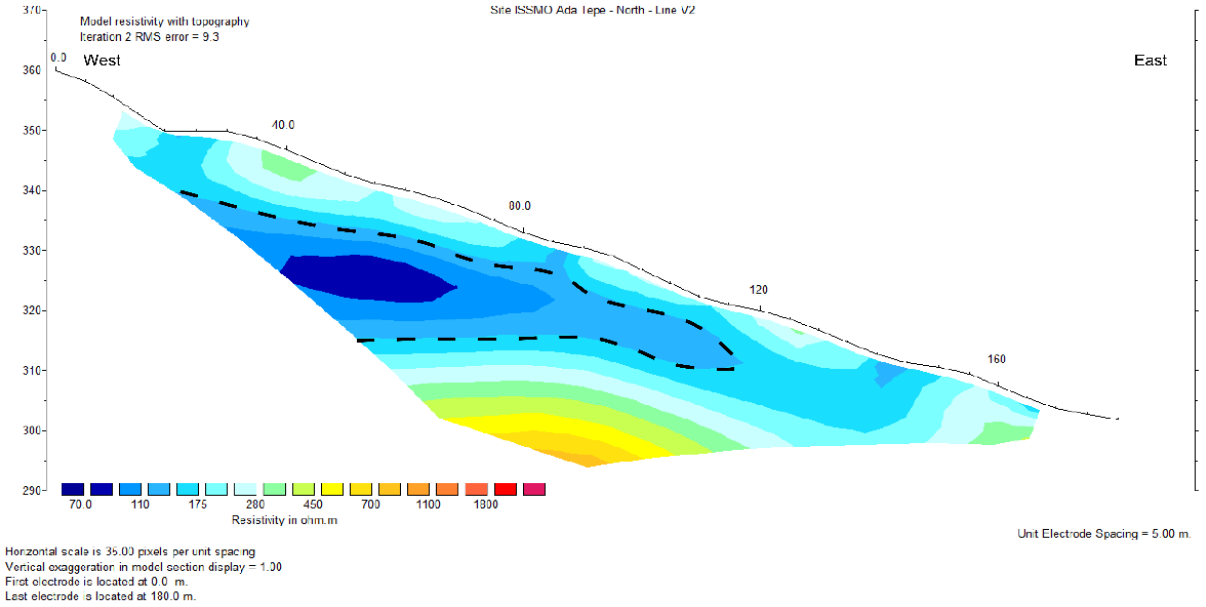


Figure 3. ERT section along Cross Line 2

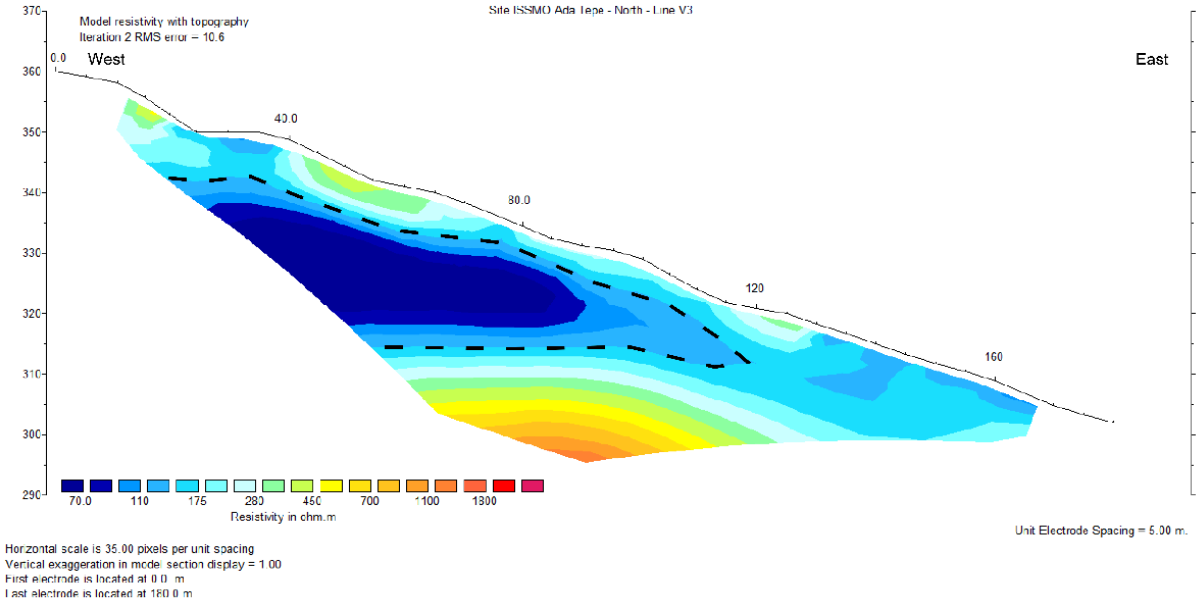


Figure 4. ERT section along Cross Line 3

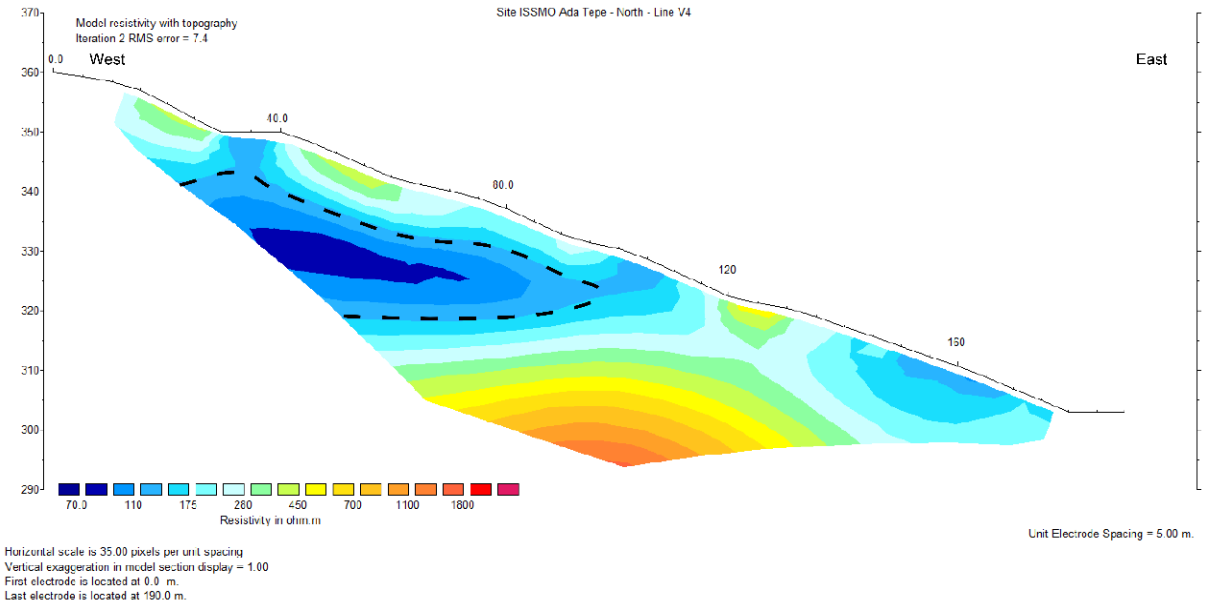


Figure 5. ERT section along Cross Line 4

The data obtained from ERT field measurements was interpreted with the *RES2DINV* software through the process of inversion by least-squares, which transforms field data in modelled resistivity profiles that show values of the actual resistivity and depth (Griffiths et al., 1993).

All of the ERT sections provided well differentiated electrical resistivity distribution in depth. The electrical resistance of the environments that make up the studied section varied within relatively wide limits – from about 70 Ωm to 2000 Ωm and more.

Additionally, three more profiles on the top of containment cells were provided (Figure 6 to Figure 8). A field measurement plan is presented in Figure 1.

The profiles on the top of the containment cells (Figure 6 to Figure 8) shows that the process of drainage was at the beginning and the water saturation was significant.

On the cross lines and on the profiles, zones with relatively low values of electrical resistance in the range from 70 to about 200 Ωm are distinguished. Most likely, these zones mark the spatial distribution of a zone with increased water saturation due to the incomplete drainage of the deposited material.

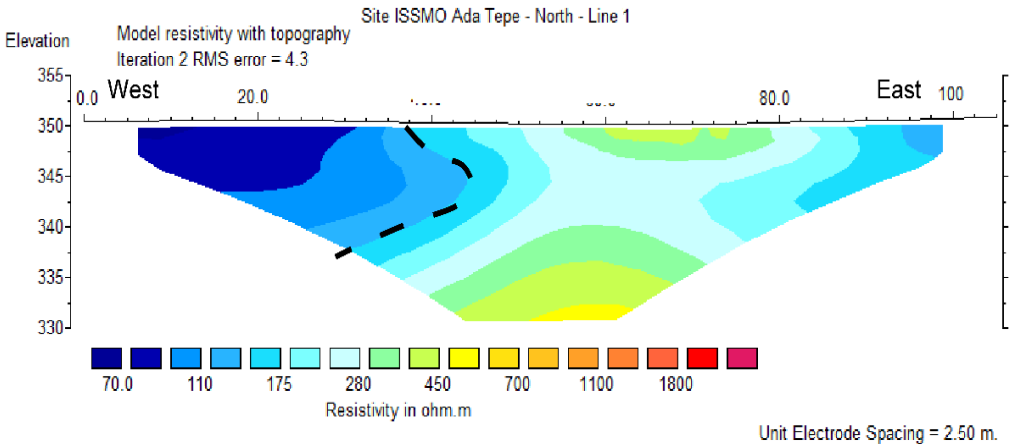


Figure 6. ERT section along Profile 1

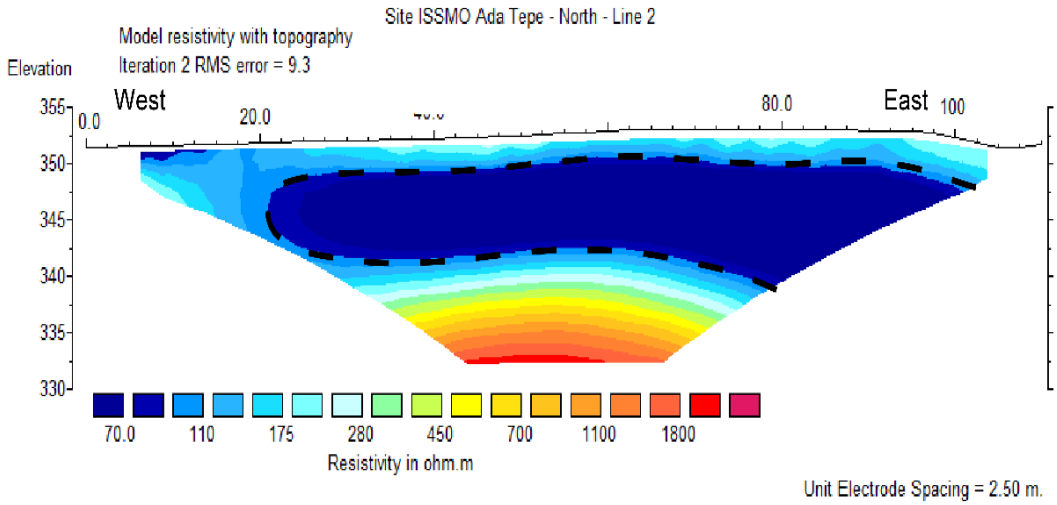


Figure 7. ERT section along Profile 2

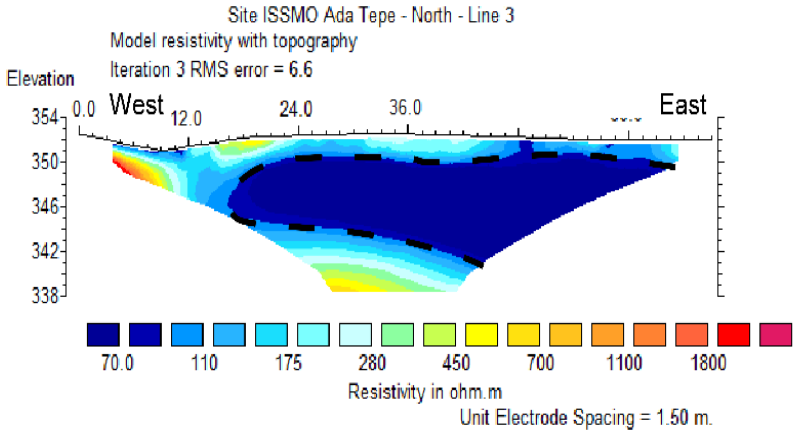


Figure 8. ERT section along Profile 3

Conclusion

Mining operations generate large amounts of wastes which are usually stored into facilities that differ in scale. Occasionally, they cause some environmental concerns and must be properly monitored to manage the risk of catastrophic failures and also to control the possibilities of contaminated mine drainage.

The application of geophysical methods during all phases of mining projects of different scale can reduce geological uncertainty by assisting the identification and delineation of mineral deposits and by delivering important information for decision-making in mine planning. ERT is one of the best understood near-surface geophysical techniques, and is particularly sensitive to water driven processes which play a key role in the stability of mine waste storage facilities.

Geophysical technologies give a non-destructive and cost-efficient way of gaining a better understanding of the ground conditions both for engineering and mine conditions, providing a good data coverage across the investigated volume.

References

Amos, R. T., D. W. Blowes, B. L. Bailey, D. C. Sego, L. Smith, A. I. M. Ritchie, 2015. Waste-rock hydrogeology and geochemistry. - *Applied geochemistry, 57,* 140-156.

Aleksandrova, E., L. Dimitrov, D. Kaykov. 2021. Operational sequence for constructing a combined mine waste facility. *XVI International conference of the open and underwater mining of minerals*, Varna, 7-13.

Dimech, A., L. Cheng, M. Chouteau, J. Chambers, S. Uhlemann, P. Wilkinson, P. Meldrum, B. Mary, G. Fabien-Ouellet, A. Isabelle. 2022 A Review on Applications of Time-Lapse Electrical Resistivity Tomography over the Last 30 Years: Perspectives for Mining Waste Monitoring. - *Surv Geophys* 43, 1699–1759. https://doi.org/10.1007/s10712-022-09731-2

Dimitrov, L., I. Koprev. 2023. Determining the effect of the tailings height on the safety factor of a combined mine waste dump facility. *Proc. of XIX Balkan Mineral Processing Congress*, 28-31 May, 2023, Mitrovicë, Republic of Kosovo, accepted for publishing.

Eldridge, T., B. Wickland, A. Goldstone, M. Kissiova. 2011. Integrated mine waste storage concept, Krumovgrad gold project, Bulgaria. *Tailings and Mine Waste.* Vancouver.

Griffiths, D. H., R. D. Barker. 1993. Two-Dimensional Resistivity Imaging and Modelling in Areas of Complex Geology. - *Journal of Applied Geophysics, 29*, 211-226.

Grigorova I, B. Denev, T. Angelov, I. Nishkov. 2013. Sustainable Management of Mining Wastes and Waste Minimization. In: *Proc. of XXI International Scientific and Professional Meeting “Ecological Truth”*, Bor, Serbia, 77-82.

Haile, T., S. Atsbaha. 2014. Electrical resistivity tomography, VES and magnetic surveys for dam site characterisation, Wukro, Northern Ethiopia. - *J. Afr. Earth. Sci.,* 97, 67-77, https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2478.1995.tb00278.x

Nassar, N. T, G. W. Lederer, J. L. Brainard, A. J. Padilla, J. D. Lessard. 2022. Rock-to-metal ratio: A foundational metric for understanding mine wastes. - *Environmental Science & Technology* 56 (10), 6710-6721. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07875

Tichauer, R., A. C. Martins, R. S. Silva, G. Tomi. 2020. The role of geophysics in enhancing mine planning decision-making in small-scale mining, - *R. Soc. open sci.7200384200384,* https://doi.org/10.1098/rsos.200384

Vriens, B., B. Plante, N. Seigneur, H. Jamieson. 2020. Mine waste rock: insights for sustainable hydrogeochemical management. - *Minerals*, *10* (9), p. 728.

Xayavong, V., M. Vu, D. Nguyen, V. Tuan, D. Chung, L. Pham, A. Mohammed. 2022. Application of the Electrical Resistivity Tomography and Seismic Refraction Methods for Groundwater Investigation in Savannakhet Province, Laos. – *Frontiers in Scientific Research and Technology*, *3*, 62-69, https://doi.org/10.21608/fsrt.2021.105000.1052

Xu, Z., J. Tong, B. X. Hu, Z. Yan. 2022. Mapping and monitoring seasonal and tidal effects on the salt-freshwater interface using electrical resistivity tomography techniques. - *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, *276,* 108051, https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108051

Yankova, T. 2020. Mineral processing waste utilization, *XX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020, Albena, Bulgaria, 20* (1.1), 219-226. DOI: 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100

Yankova, T. 2021. Mining damaged landscape reclamation study*, XXI International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021, Albena, Bulgaria, 2* (1.1), 383-390, ISSN: 13142704, DOI: 10.5593/sgem2021/1.1/s04.071

APPLICATION OF A GEOPHYSICAL METHODS FOR SEARCHING AND LOCATING BURIED UNEXPLODED ORDNANCE IN THE AREA OF THE *TRAKIYA* LIVING ESTATE, THE TOWN OF PLOVDIV

Christian Tzankov, Atanas Kisyov, Yanko Ivanov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ch.tzankov@gmail.com; at.kisyov@gmail.com; ianko@mail.bg

ABSTRACT. In 2017, during the execution of excavation works in the area of blocks of flats № 244, 245, and 248 of the *Trakiya* living estate in the town of Plovdiv, old ammunition (aviation bombs) was discovered buried. Detailed geophysical studies involving ground penetrating radar, ground magnetic gradiometry, and a metal detector were therefore carried out in this restricted dangerous area. The aim of the study was to search and locate anomalous areas that could be connected to the presence of other unexploded ordnance (UXO) buried underground.
Based on the processed and interpreted geophysical data, several anomalous areas were identified on which the attention of the authorities was focused. Subsequently, a military sapper formation carried out an inspection of the indicated areas, where a total of 14 training ammunition units were found. Finally, the excavated UXO was transported and destroyed at a military training ground.

Key words: UXO, GPR, magnetic gradiometry, metal detecting.

ПРИЛАГАНЕ НА ГЕОФИЗИЧНИ МЕТОДИ ЗА ТЪРСЕНЕ И ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА ЗАРИТИ НЕВЗРИВЕНИ БОЕПРИПАСИ В РАЙОНА НА Ж.К. ТРАКИЯ, ГР. ПЛОВДИВ

Християн Цанков, Атанас Кисьов, Янко Иванов
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. През 2017 г. по време на изпълнение на изкопни дейности в района на жилищни блокове 244, 245 и 248 на кв. "Тракия" в гр. Пловдив бе разкрит погреб на стари боеприпаси (авиационни бомби). Това наложи в опасния участък да бъдат проведени детайлни геофизични изследвания със задача търсене и локализиране на аномални зони, които биха могли да бъдат свързани с наличието на други зарити под земната повърхност невзривени боеприпаси. За целта бе приложен геофизичен комплекс, включващ георадар, геомагнитна градиентометрия и метал-детектор.
Въз основа на обработените и интерпретирани геофизични данни са набелязани няколко участъка, към които бе насочено вниманието на властите. Впоследствие военно сапьорско формирование извърши проверка на посочените участъци, където бяха открити общо 14 учебно-тренировъчни муниции. В заключение всички извадени боеприпаси бяха транспортирани и унищожени на военен полигон.

Ключови думи: невзривени муниции, георадар, магнитна градиентометрия, металдетектор.

Въведение

През пролетта на 2017 г., по време на изкопни работи за полагане на подземни комуникации в предвидена за застрояване тревна площ, оградена от жилищни блокове 244 (от запад), 245 (от север) и 248 (от изток) и ул. „Поручик Боян Ботев“ (от юг) на жилищен район „Тракия“ в гр. Пловдив (фиг. 1), строителите се натъкват на погребани стари боеприпаси.

На 04.05.2017 г., военнослужещи от Сухопътни войски изземат 7 броя невзривени боеприпаси. Транспортирани за унищожаване са 3 авиационни бомби с размери 120/30 cm, 3 x 88 mm корозирали снаряди за мини или минохвъргачки и един 100 mm снаряд. На следващия ден са открити още 3 бомби. Едната с дължина около 100 cm и диаметър около 26 cm, а другите две авиобомби – с дължина около 22 cm и диаметър около 10 cm. Те също са транспортирани до военен полигон и обезвредени (Тотева, 2017).

Фиг. 1. Обзорен изглед към района на проведените изследвания (червеният правоъгълник в средата)

Във връзка с въведените мерки за обезопасяване на района в МГУ „Св. Иван Рилски“ се получи писмо от кмета на р-н „Тракия“ с молба за извършване на безразрушително техническо обследване на територията на засегнатия участък. Сформиран бе тричленен екип от представители на катедра „Приложна геофизика“, включващ гл. ас. д-р Хр. Цанков, ас. Ат. Кисьов и бакалавър Я. Иванов, който да посети и изследва чрез безразрушителни (геофизични) методи площадката с находката.

На 15.05.2017 г., при стриктно спазване на всички необходими мерки за безопасност и качество на работа бяха проведени детайлни геофизични изследвания със задача търсене и локализиране на аномални зони, които биха могли да бъдат свързани с наличието на зарити под земната повърхност невзривени боеприпаси. За целта е приложен геофизичен комплекс, включващ георадар, геомагнитна градиентометрия и търсене с метал-детектор.

1. Използвани геофизични методи

1.1. Кратка характеристика на георадарния метод

Георадарът е проучвателна система, която използва високочестотни електромагнитни вълни (от десетки до стотици MHz). Тя регистрира промените в електричните характеристики (проводимост и диелектрична проницаемост) на средата, които са в пряка зависимост от вида на почвите и скалите, влажността и порестостта им.

Георадарът възпроизвежда в реално време вертикални разрези (радарграми) на геоложките, хидрогеоложките и аномалните условия. Често още по първичната радарграма е възможна интерпретацията на слоеве, линейни и точкови рефлектори. Стандартно обаче, първичните радарграми се обработват допълнително, при което се постига максималното им съответствие с реалността и последващата им обективна интерпретация.

Георадарният метод се използва успешно за решаване на геоложки, геотехнически, инженерни, археоложки, съдебни, военни и други задачи (Цанков и Янкова, 2013).

1.2. Кратка характеристика на геомагнитния метод

Магнитните методи в геофизиката дават възможност за изучаване на геоложкия строеж на земната кора и литосферата въз основа на аномалиите на геомагнитното поле. Тези аномалии се дължат на различното съдържание или отсъствие на феромагнитни минерали в скалите, както и наличието на феромагнитни предмети.

Силата и/или елементите на геомагнитното поле се определят с апарати наречени магнитометри. В зависимост от тяхната точност и допълнителни възможности магнитометрите могат да бъдат използвани за решаването на редица задачи в най-различни сфери на познанието, включващи: структурна и рудна геология; изследване на околната среда; разнообразни инженерни задачи; локализиране на комуникации; откриване на зарити снаряди и боеприпаси; археоложки проучвания; измервания в магнитни обсерватории; мониторинг на вулкани и прогнозиране на земетресения; откриване на подводници и потънали кораби; медицината и др.

Ролята на магнитните проучвания в тези изследвания е да бъдат локализирани местата с аномално поле, съответстващо по форма и интензитет на потенциални зарити боеприпаси. Малкият размер на търсените обекти, ефектът от които силно намалява с увеличаване разположението им в дълбочина, както и очакваното наличие на типични за градска среда електромагнитни смущения ограничават приложението на метода.

1.3. Метален детектор

Металните детектори представляват стационарни (тип рамка) или ръчни инструменти, който се използват за откриване на различни по размер метални предмети в дрехи и ръчен багаж или на малка дълбочина (до 1 m). Съвременните ръчни детектори се състоят най-често от две бобини. В едната от бобините на устройството се генерира постоянно електромагнитно поле с честота от няколко килохерца, което се предава в околната среда. По този начин във втората бобина се индуцира слаб, но постоянен електрически ток. При поява на метален обект в създаденото от уреда хомогенно електрично поле, в метала се индуцира собствено вихрово електромагнитно поле, което от своя страна се излъчва в околното пространство. Това довежда до промяна в електрическия баланс между бобините или в тока отчетен във втората бобина. В зависимост от възможностите на устройството, чрез звуков сигнал, светлинна индикация и/или информация на дисплей се сигнализира за намерен обект.

Ръчни метални детектори с опростени функции се използват за търсене на различни видове мини и погребани боеприпаси, когато в конструкцията си съдържат метални компоненти.

2. Използвана геофизична апаратура

2.1. Георадарна система UtiltyScan SIR-3000

UtilityScan е стандартна георадарна система за търсене и локализиране на подземни съоръжения. Тя се състои от контролно устройство (SIR-3000), георадарна антена според вида на задачата и количка за неравен терен.

Георадарът модел SIR-3000, произведен от Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI) USA, се е доказал като световен стандарт в тази област. С негова помощ бързо могат да бъдат открити и определени местоположението и дълбочината на обслужващи съоръжения (газопроводи, комуникации, канализационни линии) и други метални и неметални обекти, включително подземни резервоари за съхранение и PVC тръби.

Изследванията са проведени с 270 MHz георадарна антена модел 5104A производство на GSSI, Inc. Средночестотната антена модел 5104A е предназначена за решаване на инженерни, геотехнически, инженерно-геоложки, археоложки и др. задачи. Успешно се използва за пространственото определяне на зарити обекти, комуникации, ниво на подземните води и др.

2.2. Протонен магнитометър/градиентометър модел GSM-19TGW

Протонният градиентометър модел GSM-19TGW е стандартен преносим измервателен уред създаден за мобилна или стационарна работа. В комплекта влизат контролно устройство, два магнитни сензора, които се монтират на известно разстояние един над друг както и високоточен (< 1,5 m) диференциален GPS. GSM-19TGW е

подходящ за решаването на широка гама задачи свързани с измерване на тоталния вектор на геомагнитното поле и неговия вертикален градиент при провеждане на разнообразни геофизични, геоложки, геотехнически или археоложки проучвания както и за продължителни мониторингови наблюдения в магнитни обсерватории, вулканоложки, сеизмологични изследвания и др.

В конкретния случай градиентометърът е използван за регистриране на геомагнитните данни по трасетата на проучвателните профили, покриващи изследвания обект.

2.3. Магнитометър модел GSM-19 (Overhauser)

Протонният магнитометър GSM-19 v7.0 служи за полеви измервания на тоталния вектор на магнитното поле на Земята. Високата разделителна способност на този магнитометър го прави подходящ при решаване на редица задачи свързани с търсене и проучване на минерални находища; екологични и инженерни проблеми; картиране тръбопроводни трасета; локализиране на невзривени муниции; археология и др.

В случая GSM-19 е използван за базова станция.

2.4. Метален детектор Spectra V3i

За целите на проучването бе използван метален детектор Spectra v3i на американската компания White's Electronics, Inc. Представляващ съвременен инструмент, позволяващ откриването на метални обекти на дълбочина над 1 m, в зависимост от техният размер.

Метал-детекторът е уникален с това, че освен максимална дълбочина на проникване предлага и едновременната работа на три различни честоти (22.5 kHz, 2.5 kHz, и 7.5 kHz), с което се гарантира качеството на работа при всякакви теренни условия. Използването на трите работни честоти, спомага и за по-точната локализация и диференциация на металните предмети.

Фиг. 2. Разположение на изследвания участък върху подложка от аерофотографско изображение от 2011 г.

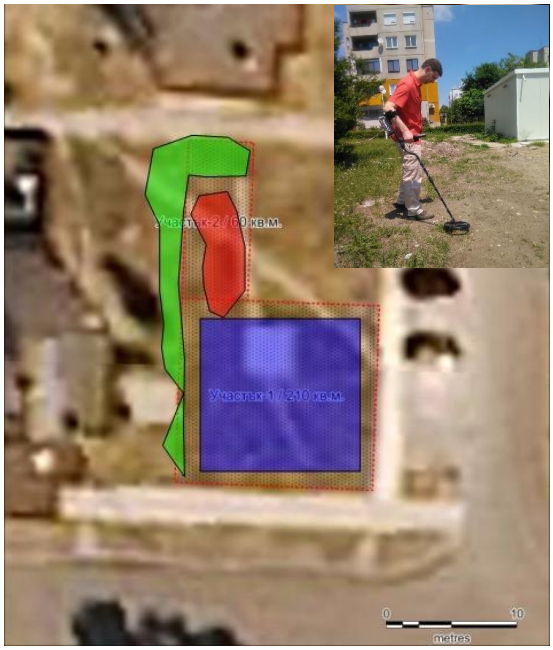
3. Техника на геофизичните проучвания

Изследванията са съсредоточени в рамките на предвиден за застрояване участък с b-образна форма (фиг. 2). Изследваната площ е разделена на два подучастъка – 1 и 2. Измерванията обикалят около сградата на аптека, която не е съществувала при заснемането на използваното за подложка ортофотографско изображение. Участък 1 с размери 15 x 14 m е от южната страна на аптеката, а участък 2 с размери 5 x 12 m от запад.

Участъците са оразмерени с помощта на рулетки, като на всеки метър от периметъра на площта е забивано дървено колче. Развитата по този начин измервателна мрежа послужи за привързване на по-нататъшните геофизични измервания. Изследванията с метален детектор имаха предимно ориентировъчен характер, докато георадарът и геомагнитните проучвания са привързани по строго ориентирани профилни линии.

3.1. Изследване с метал-детектор

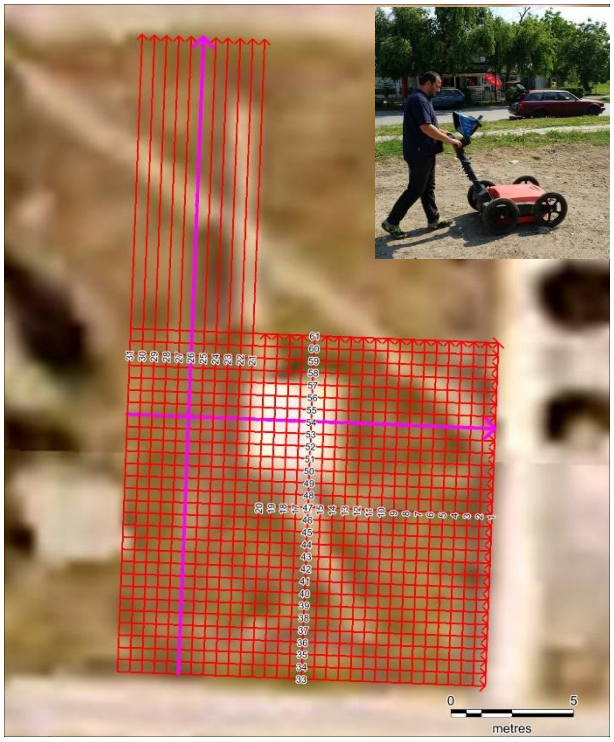
Преди началото на георадарните и геомагнитните проучвания теренът е проучен с метал-детектор (фиг. 3). Отстранени са множество дребни метални предмети, намиращи се в непосредствена близост до земната повърхност, тъй като те биха добавили допълнителни смущения в измерваните геофизични полета.



Фиг. 3. Разпределение на зоните с различна активност на металния сигнал и момент от изследването на обекта с помощта на метален детектор (горе вдясно)

Според интензивността на металния сигнал са набелязани три зони (фиг. 3). Първата, най-активна, оцветена в червено, се намира западно от аптеката, обхваща разкопания участък с откритите боеприпаси. Наблюдават се строителни отпадъци, арматурно желязо и други метални парчета, които са разчистени. По цялата оцветена в синьо площ са регистрирани непрекъснати линейни обекти, вероятно резултат от подземно окабеляване и/или водоснабдяване, както и множество дребни метални предмети, предимно с битов произход, които бяха отстранени. Върху ограждащите обекта тревни площи, оцветени в зелено на фигура 4, индикацията за

метални предмети е значително по-слаба, като на места практически липсва.



Фиг. 4. Разположение на георадарните профили в площта с удебелени профилни линии GPR26 и GPR54 и момент от изследването с георадар (горе вдясно)

3.2. Особености на георадарните проучвания

Георадарните работи в проучената площ са осъществени по успоредни, отстоящи на 0,5 m един от друг измервателни профили изпълнени в две пресичащи се перпендикулярно направления: юг-север и изток-запад . Придвижването по профилите е осъществено зигзагообразно, чрез количка за пресечен терен модел 643, снабдена с електронно измервателно колело, към която са прикрепени георадарът и измервателната антена (фиг. 4).

Натрупването на данни е извършено при следните настройки на апаратурата:

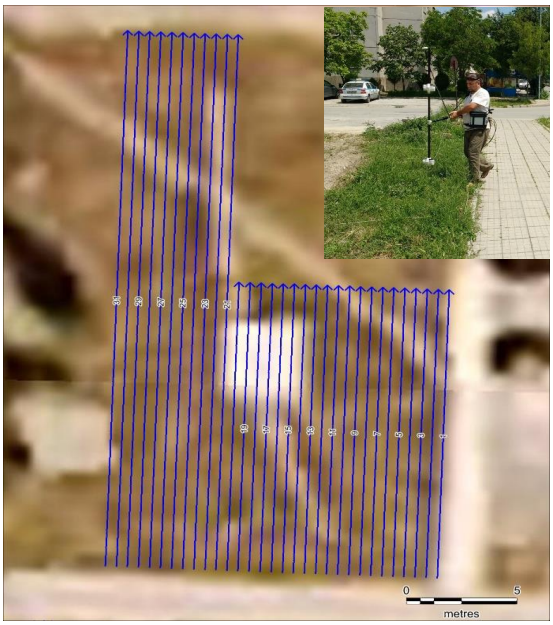
За антена модел 5104A (270 MHz):

- интервал на дискретизация: 2048 семпъл/скан;
- скорост на сканиране: 50 скан/метър;
- времеви прозорец: 75 ns;
- усилване на сигнала (dB): 4 точково
- верт. филтър: LP = 800 MHz; HP = 100 MHz; хор. филтър: не.

Данните от георадарните изследвания са натрупани в 16 bit *.dzt (RADAN) формат и прехвърлени на работна станция за постпроцесинг.

3.3. Особености на геомагнитните проучвания

Подобно на георадарните, геомагнитните изследвания покриват площта с успоредни профили през 0,5 m (фиг. 5). Магнитните измервания са проведени единствено в направление юг-север. За целта са използвани два броя магнитометри – GSM-19TGW и GSM-19 – като с първия магнитометър е работено в режим „градиентометър с непрекъснат запис“ („walkmag“) (фиг. 5). Въз основа на регистрираните стойности на геомагнитното поле на две нива, отстоящи вертикално на 100 cm едно от друго, е определена не само големината на интензитета на геомагнитното поле, но и неговия вертикален градиент. Записът на данните за полето е осъществен при интервал от 1 s (1 Hz). Вторият магнитометър е използван като базова станция. Денонощната вариация на магнитното поле в базовата точка (ВТ) е измервана на всеки 3 s (0,33 Hz).



Фиг. 5. Разположение на геомагнитните профили в площта и момент от изследването с магнитометър (горе вдясно)

По време на измерванията е спазвана една и съща посока за набиране на магнитните данни и е съблюдаван принципът, мерещият магнитометър да е винаги в едно и също положение спрямо оператора и посоките на света. По този начин е намален максимално ефектът от внасяне на допълнителен систематичен шум от собственото магнитно поле на оператора при промяна на положението му (отляво или отдясно) спрямо сензорите.

4. Обработка и резултати от геофизичните изследвания

4.1. Обработка на георадарните данни и резултати

Георадарните данни са получени в DZT-формат (*.dzt), като в същия вид са въведени и обработени в програмата RADAN 3D v7 на GSSI, Inc. За целта е приложена стандартна последователност от основни филтри (TimeZero, Background Removal, Test/Apply Filters, Envelope).

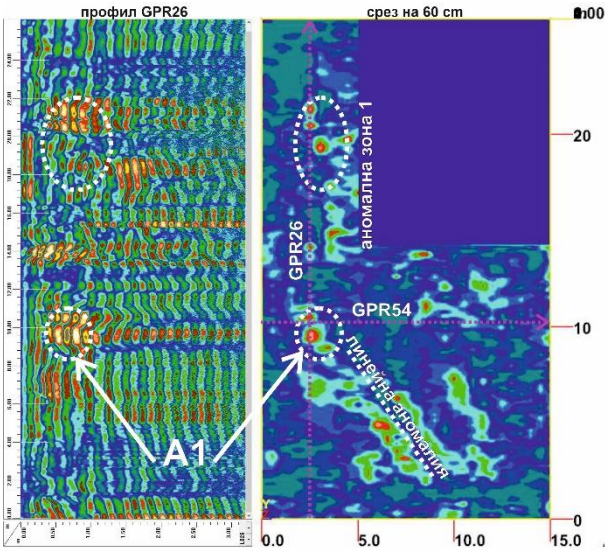
При отделни радарграми е извършена допълнителна обработка за постигане на максимална чистота на сигнала.

След обработката, радарграмите са използвани за създаване на триизмерен георадарен модел.

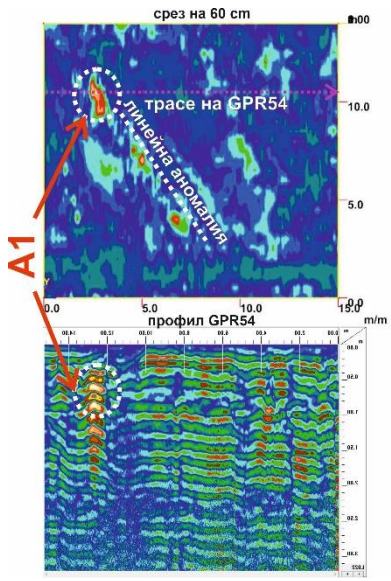
На радарграмите и създадените георадарни модели се наблюдават множество аномалии с различни форма, разположение и интензитет. Подобна картина е типична за нехомогенна среда (насип), от каквато очаквано е изграден проученият разрез. Предвид характера на търсените обекти, при по-нататъшния анализ на данните вниманието

бе насочено главно към по-интензивните аномалии предизвикани от издължени и плитки (от 20 до 100 cm) източници.

За онагледяване резултатите от георадара са избрани два пресичащи се представителни профила (GPR26 и GPR54), които на схемата с профилите са подсилени в розово (фиг. 4). По-долу, заедно с радарграмите от двата профила, са добавени и по два подходящо избрани хоризонтални дълбочинни срезове от триизмерния георадарен модел (фиг. 6 и 7).



Фиг. 6. Аномалии, набелязани по георадарен профил GPR26 (вляво) със хоризонтален срез на 60 cm дълбочина (вдясно)



Фиг. 7. Аномалии набелязани по георадарен профил GPR54 (долу) с хоризонтален срез на 60 cm дълбочина (горе)

На представените радарграми, както и на съседните на тях, ясно се различава аномален обект А1. Той има размери около 50 – 60 cm и е разположен на около 40 cm дълбочина (фиг. 6 и 7). Обектът се намира на 12,5 m западно от източния край на изследвания участък и на 10,5 m северно от южния му край. Става въпрос за цилиндричен метален предмет и имайки предвид находките открити на около 7 – 8 m северно от него, е препоръчано този участък да бъде взет под особено внимание.

Поради нарушената цялост на земната повърхност (наличието на насипи и изкопи) данните от района на зоната с откритите на по-ранен етап погребани боеприпаси са сложни за интерпретация. Въпреки това се набелязват серия от дребни аномалии, които са обединени в аномална зона 1 (фиг. 6). Вероятността групата от аномалии да е предизвикана от останали неразкрити боеприпаси е висока, затова тук също са препоръчани специални дейности.

Друга особеност, която излиза на преден план при анализа на георадарните модели, е наличието на издължена линейна аномалия или по-скоро серия от издължени аномалии, които оформят структура с направление северозапад-югоизток (фиг. 6 и 7). Възможно е произходът на аномалията да е свързан с останки от стар път, траншея, канал, оградно съоръжение или др. линеен обект. Наличието на серия от по-малки изометрични аномалии по протежение на линейната структура вероятно е свързано с наличието на насип с отпадъци, вкл. метални или стоманобетонни парчета. Трябва да се вземе под внимание, че аномален обект А1 попада на „трасето“ на линейната аномалия, така че е възможно той да отразява някаква част от тази структура.

4.2. Обработка на геомагнитните данни и резултати

В края на полевия ден геомагнитните данни са коригирани за денонощна вариация със стойностите от базовата станция (БТ) при референтно ниво T_{PH} = 47 520 nT по формулата:

$$T_{кор} = T_{изм} - T_{БТ} + T_{PH} . \quad (1)$$

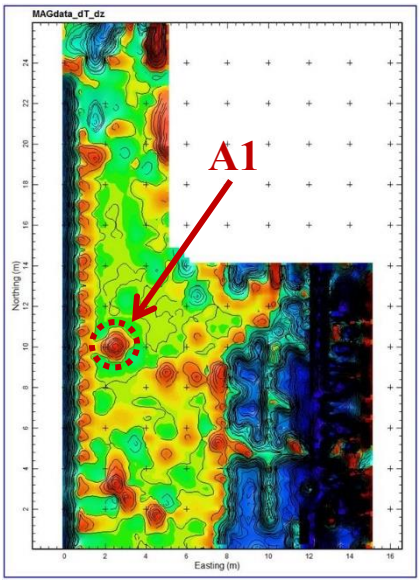
Данните от двата магнитометъра са прехвърлени на работна станция за по-нататъшна обработка. Направена е справка за характера на денонощната вариация и в базата данни на Националната геомагнитна обсерватория Панагюрище (PAG) (Trifonova et al., 2021). По данните от БТ и PAG са съставени графики на вариацията, които са сравнени. Извършена е и проверка за магнитни бури на страницата на НИГГГ – БАН. От прегледаните данни е видно, че за периода на магнитните измервания (от 13:30 до 14:30 ч. на 15.05.2017 г.) космическата магнитна активност е слаба.

Коригираните стойности на геомагнитното поле $T_{кор}$ спрямо базовата точка, както и стойностите на вертикалния градиент $\partial T/\partial z$ са въведени в таблица по колонки със съответните координати и коти. Координатите по X и Y са въведени в проекционна координатна система UTM-35N, както и в географски координати (WGS84). Котите са в Балтийска височинна система. Изчислено е аномалното геомагнитно поле T_a спрямо модела на Международното геомагнитно референтно поле, епоха 2015 (IGRF-12).

Въз основа на обработените първични данни и с помощта на софтуер за генериране на мрежи са създадени серия от правоъгълни мрежи с гъстота на точките 0,25 x 0,25 m. Генерирани са следните базови цифрови модели на геомагнитното поле в КС UTM-35N:

- Карта на аномалните стойности на тоталния вектор на геомагнитното поле за първо ниво;
- Карта на вертикалния градиент на геомагнитното поле.

Анализът на получените карти показва, че геомагнитното поле в района на изследвания участък е силно смутено. Това бе очакван ефект, предвид заобикалящата градска среда. Най-вероятната причина за това е наличието на подземна електропреносна мрежа под източната граница на изследвания терен. Допълнителни смущения внасят стълбовете на уличното осветление, сградата на аптеката и паркираните в непосредствена близост до участъка автомобили. За съжаление, всичко това води до практическа невъзможност за интерпретация на геомагнитните данни.



Фиг. 7. Карта на вертикалния магнитен градиент в района на изследванията с обозначени най-характерни аномалии

Единствено в картата на вертикалния магнитен градиент (фиг. 7) се наблюдават няколко по-добре изразени локални аномалии, вероятно свързани с наличието на магнитоактивни подземни обекти. На фигурата е отбелязан единствено аномалният участък, който съответства на наблюдавания в радарните данни обект А1. Това припокриване на аномалиите еднозначно указва наличието на подземен метален предмет.

Изводи, заключения и резултати

Във връзка с проведените детайлни геофизични изследвания за търсене и локализиране на зарити невзривени боеприпаси в района на ж.к. „Тракия“, гр. Пловдив могат да бъдат направени следните основни изводи и заключения:

- Използван е геофизичен комплекс, включващ георадар, геомагнитна градиентометрия и търсене с метален детектор.
- Проучена е площ от 270 m^2.
- С помощта на метал-детектора площта е разделена на три участъка с различна плътност и интензивност на металния сигнал.
- Въз основа на обработените и интерпретирани георадарни данни бяха набелязани няколко участъка, в които е препоръчано да се подходи с особено внимание при последващото разчистване на терена.
- Наличието на характерни за градската среда електромагнитни и магнитни смутители доведоха до силни смущения в измерваното геомагнитно поле, което значително ограничи възможностите на метода. В тази връзка, при необходимост от използване на магнитометър в урбанизирана и/или индустриална среда, по-удачният избор би бил градиентометър модел GSMP-25G.

На 16.06.2017 г., след приключване на последвалата проверка на военните за невзривени амуниции в района на проучванията бяха открити още общо 14 учебно-тренировъчни муниции. Изземите стари боеприпаси са транспортирани и унищожени на военен полигон (Владимиров и Крушкова, 2017).

Мерките по обезопасяване на районна бяха проведени при безупречна организация, което доведе до успешен завършек на акцията. Като доказателство за отстранената опасност и отлично свършената работа, строителните дейности бяха продължени и днес на мястото на находките е построен хранителен магазин „Бомбата“.

Литература

Владимиров, Д., Е. Крушкова. 2017. *Откритите боеприпаси в Пловдив са унищожени и няма опасност за гражданите*. Радио “Plovdiv”, публ. 16.6.17.

Тотева, П. 2017. *Седем боеприпаси бяха извадени днес в междублоковото пространство в квартал Тракия в Пловдив*. Флашнюз, публ. 4.5.2017.

Цанков, Хр., М. Янкова. 2013. Георадарът навлиза широко в полевата геофизика. *Минно дело и геология*, 5/6, стр. 31-35.

Trifonova, P., Ch. Tzankov, M. Metodiev. 2021. Importance of using a reference base station in geomagnetic surveys - case studies from Bulgaria. *Proc. 11th Congress of Balkan Geophysical Society, 10-14 October 2021, Romania – virtual edition*, pp.1 – 5.

СЕКЦИЯ

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МИНИТЕ

SECTION

MECHANISATION, ELECTRIFICATION, AND AUTOMATION OF MINES

STRESSES AROUND A CIRCULAR HORIZONTAL OPENING DRIVEN IN CRACKED ROCK MASS

R. Vucheva, V. Trifonova–Genova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: rayna.vucheva @mgu.bg; violeta.trifonova@yahoo.com

ABSTRACT: The article examines the question of determining the stresses around a horizontal opening passing through a cracked array. The cracks are located in horizontal parallel and closely spaced planes. The medium between the planes is linear and isotropic. An approximate approach is proposed to determine the stresses in the rock mass. According to it, the rock mass is presented as an equivalent, uniform, transversely isotropic medium. The specified class of problems is solved by the complex potential theory.

The expressions for the physical constants of the transversely isotropic rock mass are determined by the normal and tangential stiffness of the cracks. The expressions for the stresses along the contour of a circular opening are in a cylindrical coordinate system.

For a real rock mass with cracks, the tangential normal stresses around the hole are determined. A comparison is made between the stresses in the real rock mass and in the equivalent transversely isotropic rock mass.

Key words: complex potential theory, mechanics of layered media.

НАПРЕЖЕНИЯ ОКОЛО КРЪГОВА ХОРИЗОНТАЛНА ИЗРАБОТКА, ПРОКАРАНА В НАПУКАН СКАЛЕН МАСИВ

Р. Вучева, ***В. Трифонова–Генова***

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ: В статията се разглежда въпросът за определяне на напреженията около хоризонтална изработка, преминаваща напукан масив. Пукнатините са разположени в хоризонтални успоредни и близко разположени равнини. Средата между тях е линейна и изотропна. За определяне на напреженията в масива е предложен приблизителен подход. Според него масивът се представя като еквивалентна, еднородна, трансврзално изотропна среда. Указаният клас задачи се решава с комплексната потенциална теория.

Изразите за физическите константи на трансверзално изотропния масив са определени чрез нормалната и тангенциална коравини на пукнатините. Изразите за напреженията по контура на кръгов отвор са в цилиндрична координатна система.

За реален масив с пукнатини са определени тангенциалните нормални напрежения около отвора. Направено е сравнение между напреженията в този нееднороден масив и в еквивалентен еднороден изотропен масив.

Ключови думи: комплексната потенциална теория, механика на напластените среди.

Introduction

To assess the stability of the rock mass around the hole of a horizontal opening, it is necessary to know the distribution of stresses around the hole. The stability assessment is carried out by comparing the stresses in the array with the strength of the soil. Therefore, it is important to explore the tension surrounding the crafting. Analytical methods have been developed for the array model considering continuity and uniformity (Mushkhelishvili, 1953; Minchev, 1960).

But in nature, this uniformity is broken. The properties of rocks are varied due to many natural factors. Among them, the existence of cracks has the greatest weight. If the rock mass has one or several cracks, the boundary element method is suitable (Crouch et al., 1983). It uses tension and compression boundary contact elements. For the case of very closely spaced cracks, this method is irrational. Therefore, an approximate approach is described in Godman (1976).

The aim of the present work is to investigate the influence of the cracks in this rock mass on the stresses around a horizontal opening with this approach.

Methods

1. Formulation of the problem

At a great depth H, a horizontal opening in the form of a circle with a radius r_o has been driven. The Cartesian coordinate system has its origin at the center of the opening (Fig.1). The hole's influence extends over a square area of size $12r_o$. The loop load is equal to the stresses in the undisturbed array Q and λQ. The volumetric weight of the array is γ.

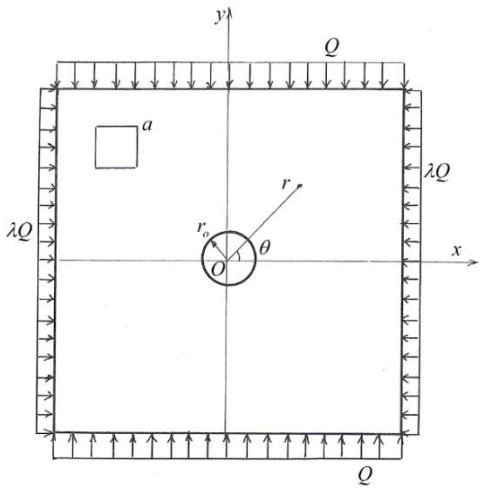


Fig. 1 Calculation scheme

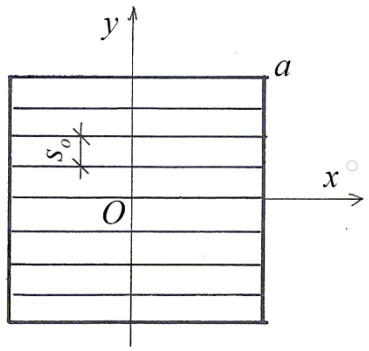


Fig.2 Cracked array

2. Rock mass characteristics

A rock mass is considered in which the cracks are located in parallel horizontal planes (Godman, 1976; Crouch et al., 1983; Kauch et al., 1987). The distance between the planes is s_o, and the scale between them is isotropic and linear (Fig.2). Cracks have normal stiffness K_n and tangential stiffness K_s. The rocks between the cracks are isotropic and linear.

3. Method for determining stresses

According to the approximate method proposed by Goodman, the rock mass is presented as a transversely isotropic medium (Godman, 1976). The plane of isotropy is horizontal. The axis z lies in the plane of isotropy and makes a right angle with the plane of the drawing (Fig.1). The medium has the following physical characteristics:

$$E_y = \frac{E}{1+E/(s_o K_n)};\ G_{xy} = \frac{G}{1+G/(s_o K_s)};$$

$$E_x = E_z = E;\ \nu_{xy} = \nu_{xz} = \nu;\ \nu_{yx} = \frac{E_y}{E_x}\nu_{xy};$$

$$\nu_{zx} = \frac{E_z}{E_x}\nu_{xz} = \nu. \qquad (1)$$

Here, E is Young's modulus, ν is Poison's ratio, and G is a shearing module in an isotropic field. The independent constants for the transversely isotropic medium in (1) are as follows:

E_x, E_y, E_z are Young's modulus in the direction of the coordinate axes x, y и z;

ν_{xy}, ν_{yx}, ν_{xz}, ν_{zx} are Poison's ratios characterising the transverse deformations in tension and compression in the direction of the coordinate axes.

4. Characteristic equation

The behavior of the medium is described by a fourth-order differential equation. Its characteristic equation is (Ivanova, 2022; Minchev, 1960; Trifonova-Genova, 2019):

$$b_{11}s^4 + b_{17}s^2 + b_{33} = 0, \qquad (2)$$

where

$$b_{17} = 2b_{13} + b_{55}.$$

The coefficients in this equation have the following form (Ivanova et al., 2018):

$$b_{11} = \frac{1-\nu_{yx}\nu_{xy}}{E_y};\ b_{33} = \frac{1-\nu_{xz}^2}{E_x};$$

$$b_{13} = -\frac{\nu_{yx}+\nu_{yx}\nu_{xy}}{E_y};\ b_{55} = \frac{1}{G_{xy}}. \qquad (3)$$

These coefficients are also expressed by the deformation coefficients given in Trifonova-Genova (2019). The roots of equation (2) are:

$$s_1 = \beta_1 i;\ s_2 = \beta_2 i;\ s_3 = -\beta_1 i;\ s_4 = -\beta_2 i. \qquad (4)$$

Here, i is an imaginary unit.

The obtained roots allow to determine the complex function of the stresses and through it to obtain the expressions for the stresses at an arbitrary point around the hole.

5. Stresses

A cylindrical coordinate system is selected ($r\theta z$) (Fig.1). The axis z is perpendicular to the drawing. An angle θ is measured from the horizontal axis x to y (Fig.1). There are no radial and tangential stresses along the contour of the hole, and the normal tangential stresses have the form (Vucheva et al., 2020; Ivanova, 2022; Minchev, 1960; Trifnonova-Genova, 2019):

$$\sigma_\theta = \frac{Q}{e_1}(e_2 + e_3 + e_4), \qquad (5)$$

where

$$e_1 = d_1 d_2 \beta_3;\quad e_2 = \beta_1 d_1 d_2 \beta_3;\ e_3 = d_3 d_2 \beta_4;$$

$$e_4 = d_4 d_1 \beta_5;\ \beta_3 = \beta_1 - \beta_2;\quad \beta_4 = \beta_2 - \lambda;$$

$$\beta_5 = \lambda - \beta_1; \lambda = \frac{\nu}{1-\nu};$$
$$d_3 = a_1 \sin^2\theta\cos^2\theta - \beta_1^2 \sin^4\theta - \beta_1 \cos^4\theta;$$
$$d_4 = b_1 \sin^2\theta\cos^2\theta - \beta_2^2 \sin^4\theta - \beta_2 \cos^4\theta;$$
$$d_1 = \sin^2\theta + \beta_1^2 \cos^2\theta; d_2 = \sin^2\theta + \beta_2^2 \cos^2\theta;$$
$$a_1 = \beta_1^3 - 2\beta_1^2 - 2\beta_1 + 1; b_1 = \beta_2^3 - 2\beta_2^2 - 2\beta_2 + 1.$$

6. Stresses in an isotropic field

The elastic properties of the medium in different directions are the same. The following dependencies exist between the coefficients in equation (2):

$$b_{11} = b_{22} = 0{,}5\left(2b_{13} + b_{55}\right). \quad (6)$$

The roots of the characteristic equation (2) are:

$$s_1 = s_2 = i;\ s_3 = s_4 = -i. \quad (7)$$

Along the contour of the circular opening, stresses are obtained from (5) and have the form:

$$\sigma_{r,o} = 0;\ \sigma_{\theta,o} = Q\left(\sigma_{\theta,5} + \lambda\sigma_{\theta,6} + \sigma_{\theta,7}\right);$$
$$\tau_{r\theta,o} = 0;\ \sigma_{z,o} = \nu\sigma_{\theta,o}, \quad (8)$$

where

$$\sigma_{\theta,5} = \lambda\sin^2\theta + \cos^2\theta;$$
$$\sigma_{\theta,6} = 3\sin^4\theta\cos^2\theta + 2\sin^6\theta - \cos^6\theta;$$
$$\sigma_{\theta,7} = 3\sin^2\theta\cos^4\theta + 2\cos^6\theta - \sin^6\theta.$$

The stresses in equations (5) and (8) are symmetric about the vertical and horizontal axes of the hole cross-section (Fig.1).

7. Numerical example

The characteristics of an isotropic medium between the planes in which the cracks are located are given: $E = 10^4 MPa$, $\nu = 0{,}2$, and $G = 0{,}4167.10^4 MPa$. The crack stiffness and plane spacing are: $K_n = \infty$, $s_o = 2m$ and $K_s = 0{,}2315.10^3 MPa/m$. Then, the physical characteristics of the cracked medium are: $E_x = E_z = E_y = E$, $\nu_{xy} = \nu_{xz} = \nu$, $\nu_{yx} = \nu_{zx} = \nu$, $s_o K_s = \frac{G}{9}$ and $G_{xy} = \frac{G}{10}$.

The coefficients from equation (3) are: $b_{11} = 0{,}96.10^{-7}$, $b_{33} = 0{,}96.10^{-7}$, $b_{13} = -0{,}24.10^{-7}$ and $b_{55} = 24.10^{-7}$. The roots of equation (2) have the form (4), where: $\beta_1 = 0{,}202$, $\beta_2 = 4{,}945$. The coefficient from the equation (5) are: $\lambda = 0{,}25$, $H = 100m$, $\gamma = 2{,}5.10^{-3} MN/m^3$, $\beta_3 = -4{,}743$, $\beta_4 = 4{,}695$, $\beta_5 = 0{,}048$, $a_1 = 0{,}522$, $b_1 = 63{,}145$.

The tangential normal stresses around the hole were calculated in both types of rock mass. Equations (5) are used in the cracked array, and equations (8) - in the isotropic rock mass. These stresses are referred to the stress in an undisturbed rock mass Q. Due to the symmetry about the two axes, calculations were made for first quadrant points. The results are listed in Table 1.

Table 1. *Normal tangential stresses in both types of rock mass*

n	$[^\circ]$	σ_θ / Q	$\sigma_{\theta,o} / Q$
1	0	-4.891	-2.75
2	15	-1.512	-2.546
3	30	-0.338	-2.000
4	45	-0.236	-1.249
5	60	-0.386	-0.500
6	75	-0.598	+0.049
7	90	-0.836	+0.25

The diagrams of the normal tangential stresses are given in Figure 3. The solid line indicates the normal tangential stresses in the cracked rock mass, and the dashed line indicates those in the isotropic rock mass.

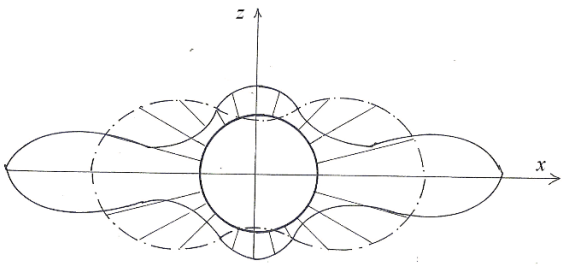


Fig. 3. Diagrams of the normal tangential stresses in the two fields

The following conclusions can be drawn from Table 1 and Figure 3:

In both environments, the maximum values of the tangential normal stresses occur at points on the hole contour through which the horizontal axis passes. Stresses in the cracked rock mass are 1.8 times greater than the corresponding stresses in the isotropic rock mass.

Along the vertical axis, the stresses in the two environments are of different signs. In the cracked rock mass, the stresses are negative and in the isotropic rock mass – positive. The stress values in the studied environment are 5.8 times smaller than the same along the axis x.

8. Key findings

From the results obtained above, it can be concluded that the stresses in a cracked medium are greater than the same in an isotropic field. Therefore, it is necessary to take into account this non-uniformity and apply the environment model proposed in the work.

The method described in the article is easy to implement. It does not require the application of software packages, but the use of popular computing tools, such as spreadsheets (Harvey, 2018).

Conclusion

The development can be used by qualified engineers in the field of construction of underground facilities and shafts.

The method can be extended by applying it to a rock mass with a system of inclined parallel planes in which there are cracks. This non-uniformity can be accounted for when determining the stress state of the medium around the horizontal fabrication with a different cross-sectional shape.

References

Crouch S. I., A. M. Starfield. 1983. *Boundary element method in solid mechanics*, George § Awuin, London-Boston-Sydney.

Godman R. E., 1976. *Method of geological engineering*. St. Paul: West.

Harvey Greg, 2018. *Microsoft Excel 2019 for Dummies*. Alex Soft, 496p. (in Bulgarian)

Vucheva, R., M. Ivanova. 2020. On the determination of function for stress in transversally isotropic rock mass with elliptic opening. - *Journal of Mining and Geological Sciences*, 63, Part II: Mining Technology and Mineral Processing, 122-124 (in Bulgarian with English abstract).

Ivanova M., 2022, Stresses in transversely isotropic rock mass around a circular opening, *Annual of the University of Mining and Geology “St. Iv, Rilski” -Sofia*, Volume 65, Section: Mining and Mineral Processing, 26-29.

Ivanova, M., V. Trifonova-Genova. 2018. Zashtita na hora, prokopavashti eliptichna izrabotka v transverzalno-izotropen masiv. – *Dokladi ot nauchna konferensiya “Aktualni problemi na sigurnostta”, NVU “V. Levski”*, 25-26 Octmvri, 656-660 (in Bulgarian with English abstract).

Kauch, S., A. Starfild. 1987. Metodi granichnih elementov v mehanike tverdogo tela, Per. s angl. – M.: Mir, 328c. (in Russian).

Minchev, I. 1960. *Mehanika na anizotropnoto tyalo v minnoto delo*. - D. I. “Tehnika”, Sofia, 126p. (in Bulgarian).

Muskhelishvili, N. I. 1953. *Some basic problems of the mathematical Theory of Elasticity*. - Gromingen: Nordhoft, 706 p.

Trifonova-Genova, V. 2019. Napregnato i deformirano sastoyanie v transverzalno-izotropen masiv-1. – *Sbornik dokladi ot godshna universitetska naychna konferentsiya, NVU “V. Levski”*, 27-28 Yuni, 403-411 (in Bulgarian with English abstract).

Trifonova-Genova V., Tonkova G. 2022. Stress around circular opening excavation in layered and sliding rock mass, *Annual of the University of Mining and geology “St. Iv, Rilski” -Sofia*, Volume 65, Section: Mining and Mineral Processing, 46-50.

STATISTICAL ANALYSIS OF CRACKS AND DEFECTS ON THE BEARING STEEL STRUCTURES OF THE SRs 2000 TYPE BUCKET WHEEL EXCAVATORS WITH A SIGNIFICANTLY USED RESOURCE

Stanislav Georgiev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, e-mail: georrgiev@abv.bg

Abstract. The research object of the present work aims to reveal the relationship between the technical condition of the steel supporting structure and the elements and nodes on which the stability of rotary excavators type SRs 2000 depends on their service life. The research mainly covers the steel supporting structure of the excavators, because the durability of the machines depends on it, due to the fact that the drives, mechanisms, and electrical equipment installed on it are subject to replacement, modernising, and repair, which cannot be carried out on all supporting structures. In addition to the supporting structure, accompanying units were inspected, such as: the running mechanism, the lifting mechanism, the rotation mechanism of the superstructure, etc., because their technical condition significantly affects the load on the supporting structure and the stability of the excavator.

Key words: bucket wheel excavator, SRs 2000, steel structure, cracks, defect analysis.

СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ПУКНАТИНИ И ДЕФЕКТИ ПО НОСЕЩИТЕ СТОМАНЕНИ КОНСТРУКЦИИ НА РОТОРНИТЕ БАГЕРИ ТИП SRs 2000 СЪС ЗНАЧИТЕЛНО ИЗРАЗХОДВАН РЕСУРС

Станислав Георгиев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Представеното в настоящата разработка изследване има за цел да разкрие връзката между техническото състояние на стоманената носеща конструкция на роторни багери тип SRs 2000 и срока им на експлоатация. Изследването основно обхваща стоманената носеща конструкция на багерите, тъй като от нея зависи дълготрайността на машините, поради това че монтираните на нея задвижвания, механизми и електросъоръжения подлежат на подмяна, модернизация и ремонт, което не може да бъде осъществено на всички носещи конструкции. Освен носещата конструкция, огледани са и съпътстващи възли като: ходов механизъм, подемен механизъм, механизъм на въртене на горния строеж и др., защото тяхното техническо състояние оказва съществено влияние на натоварването на носещата конструкция и от тях също зависи стабилитета на багера.

Ключови думи : роторен багер, SRs 2000, стоманена конструкция, пукнатини, анализ на дефекти.

Въведение

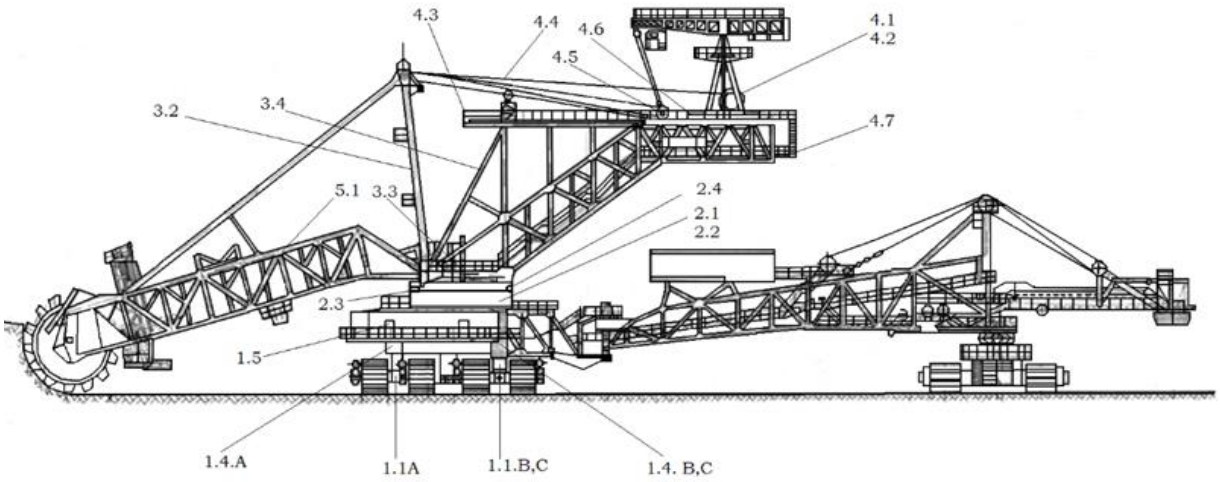
За по-добро онагледяване на пукнатините в стоманената конструкция е използван капилярният метод. Той се основава на свойството на някои течности (пенетранти) да проникват в кухини и пукнатини под действието на капилярните сили и да остават там след отстраняване на течността от повърхността на материала. Този метод е надежден и показателен за откриване на цепнатини, отварящи се на повърхността. По този начин могат да бъдат открити пукнатини с много малки размери. Поради използването на този метод в някои от снимките пукнатините са оцветени в червен цвят на бял фон.

В световната практика са се наложили две концепции относно ремонтът и възстановяването на носещите стоманени конструкции на големите роторни багери. Първата е, че те не подлежат на възстановяване и след изтичане на техния технически ресурс би трябвало багерът да бъде спрян от експлоатация и бракуван (Недялков, Минин, Савов, 2016). Втората концепция се основава на схващането, че носещата стоманена конструкция подлежи на частична и пълна рехабилитация. Трябва да се има предвид, че горният строеж на багерите старее по–бързо от долния. Това се дължи на факта, че неговата конструкция е по-лека и по-натоварена динамично. Долният строеж има по-стабилна конструкция, която е натоварена почти статично. Тези особености благоприятстват рехабилитацията на роторните багери.

Въпреки, че стоманените носещи конструкции са проектирани за срок на служба от около 30 години, този срок е относителен защото зависи от доброто ниво на производство, експлоатация и ремонт на багерите.

Анализите и препоръките, направени в настоящата разработка, са на база на предположението, че роторните багери са обслужвани и ремонтирани през времето на експлоатация на високо техническо ниво, за което говори фактът, че част от тях са надвишили предписания от производителя срок на служба.

Анализът е направен на базата на периодични огледи на 13 броя багери SRs 2000. В таблица 1 са показани данни за ресурса на машините.

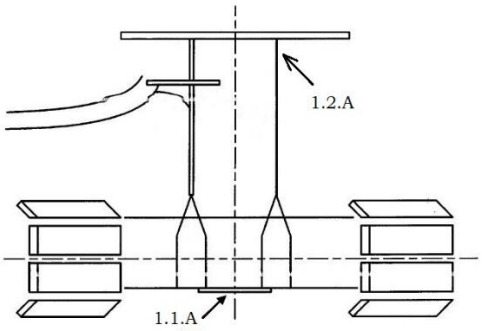


Фиг. 1. Общ изглед на роторен багер с показани основни възли

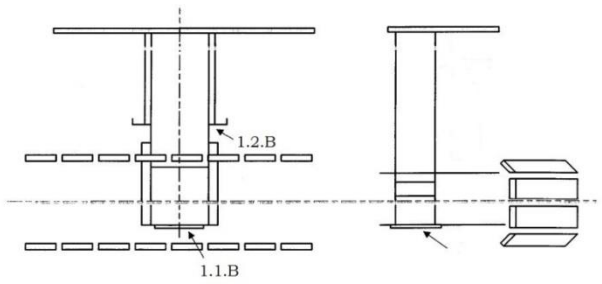
Таблица 1. *Ресурсна оценка на багерите SRs 2000.*

№	Тип на багерите	Пробег, години	Изразходван ресурс, години	Остатъчен ресурс, години
1	SRs 2000	30	23.9	13.8
2	SRs 2000	19	13.6	28.4
3	SRs 2000	13	10.4	27.1
4	SRs 2000	22	15.9	25.5
5	SRs 2000	21	18.4	15.8
6	SRs 2000	19	15.4	21.7
7	SRs 2000	17	16.2	15.5
8	SRs 2000	28	25.8	6.8
9	SRs 2000	26	23.7	9.2
10	SRs 2000	24	19.4	17.7
11	SRs 2000	25	24.1	7.2
12	SRs 2000	22	18.5	17.2
13	SRs 2000	16	15.0	17.0

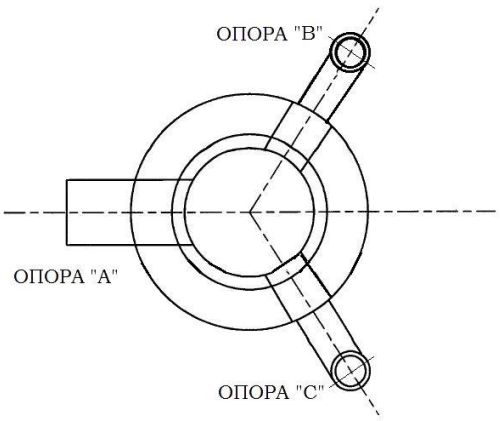
На следващите фигури са показани някои от местата на осъществените огледи върху роторни багери SRs 2000, като със тънки линии (стрелки) са показани местата на огледите. Схематично тези места са показани и на фигури от 2 до 12.



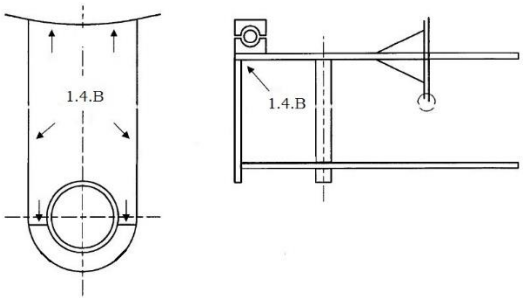
Фиг. 2. Опора „А”.



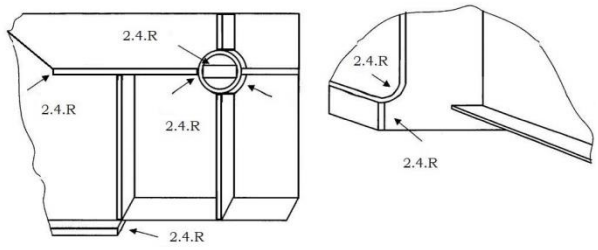
Фиг. 3. Опори „В”и „С”.



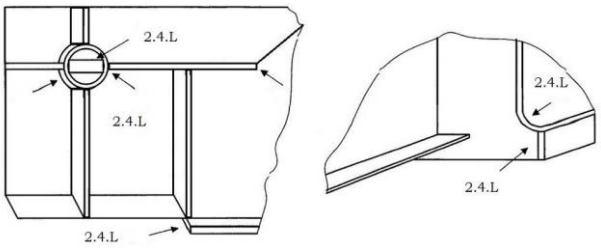
Фиг. 4. Разположение на опорите отвътре.



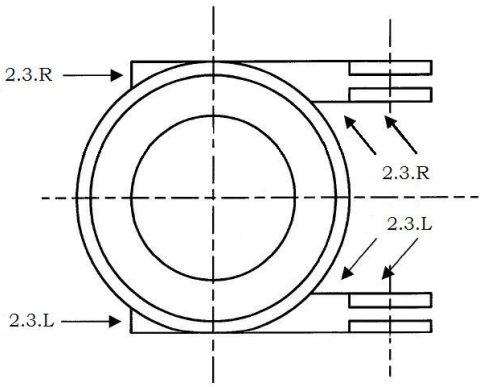
Фиг. 5. Опора „В” и „С” отвътре.



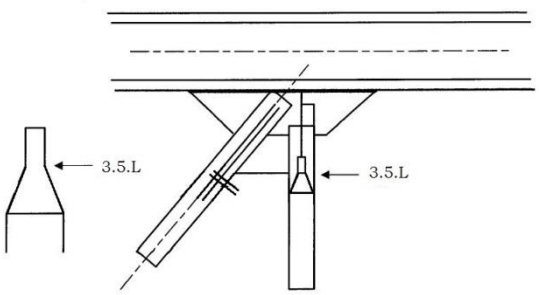
Фиг. 6. Шарнир десен на „разпадащата се шайба”.



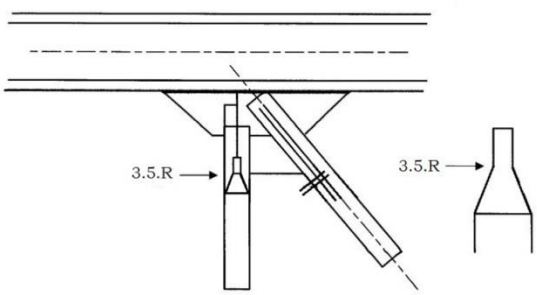
Фиг. 7. Шарнир ляв на „разпадащата се шайба”.



Фиг. 8. Стъпки на „разпадащата се шайба”.

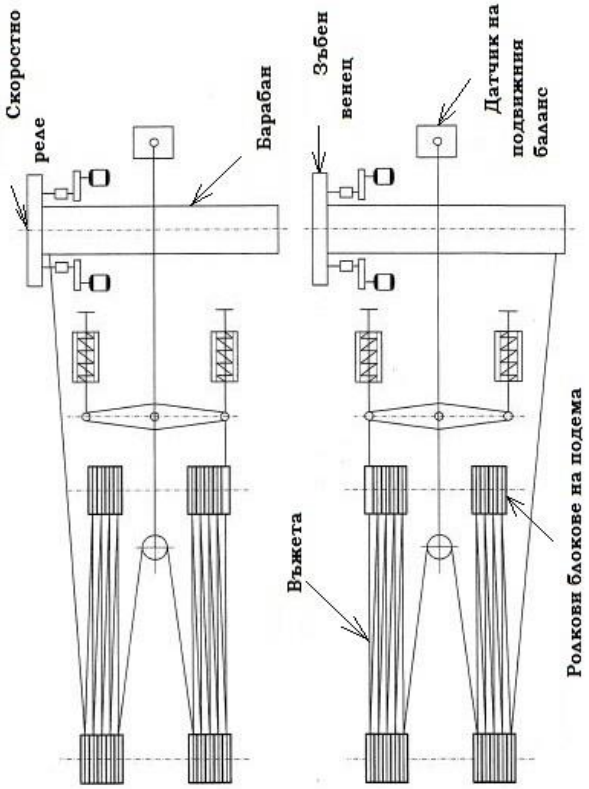


Фиг. 9. Ляво събиране на профилите на балансовата стрела.



Фиг. 10. Дясно събиране на профилите на балансовата стрела.

На фиг. 11 са показани местата на оглед на подемната система на роторните багери тип SRs 2000, разположени върху и зад балансната кабина на машината.



Фиг. 11. Точки на оглед на подемната система на багер SRs 2000.

Резултати от огледа на отговорните възли за стабилитета на багери SRs 2000

Намерените дефекти, пукнатини и други проблеми са показани в таблица 2, като багерът е разделен на няколко основни възли: долен строеж опори, долен строеж кръгова стена, междинна площадка, горен строеж, баланс и роторна стрела.

Таблица 2.

Дефекти в долен строеж опори (бр)	Дефекти в долен строеж кръгова стена (бр)	Дефекти в междинна площадка (бр)	Общо дефекти (бр)	№ багер	Пробег на багера (год.)
5	3	4	12	1	30
3	1	1	5	2	19
3	2	3	8	3	22
1	1	1	3	4	13
2	3	3	8	5	21
2	1	2	6	6	19
2	1	2	5	7	17
4	3	4	11	8	28
4	3	3	10	9	26
3	3	3	9	10	24
3	3	3	9	11	25
2	3	3	8	12	22
1	2	1	4	13	16

Пукнатини и дефекти в горен строеж, баланс и роторна стрела не са наблюдавани. На същата таблица са показани дефектите обобщено на всеки багер, както и годините на експлоатацията им. Резултатите от измерванията, показани в таблица 2, са статистически обработени посредством програмата STATGRAFICS с цел да бъде получен модел, даващ връзката между броя дефекти и експлоатационния ресурс на багерите.

Параметрите на получения регресионен модел с включена константа са показани в таблица 3.

Таблица3 .*Параметри на модела*

Пара-метри	Стойност	Станд. грешка	Т-статистика на Стюдънт		P Критерий
Константа	-0,4922	0,6112	-7,345		0,000
Y, год.	0,5546	0,0275	20,143		0,000
	Сума от квадрати на модела	Степени на свобода	Средно квадрати на модела	F Крите рий	Значимост на F
Модел	88,82	1	88,82	405,73	0,000
Остатък	2,4081	11	0,2189		
Общо	91,2308	12			
Коефициент на множествена корелация					97.36%
Коригиран коефициент на множествена корелация					97.1205%
Стандартна грешка					0.467887
Средна абсолютна грешка					0.311954
Статистика на Дърбън–Отсън					2.05599 (P=0.4022)
Остатъчна автокорелация					0.0618699

Полученият регресионен модел може да бъде онагледен със следната формула :

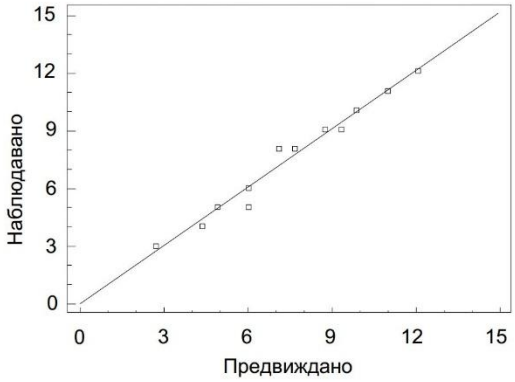
$$i = -4,922 + 0,5546 \bullet Y, броя \qquad (1)$$

Разглеждайки параметрите на този модел се вижда, че коефициентът на множествена корелация R^2 е 97,36%, а коригираният коефициент на множествена корелация е

$R^2_{(adj)}$ е над 97%.

Стойността на показателя на доверителна вероятност (***P-критерий)*** за модела е под критичната, също и за константата е под критичната **0,05**, т.е. може да се приеме, че моделът е адекватен.

На фиг. 13 е показана графично връзката между експерименталните данни и линията на модела.



Фиг. 13. Връзка на модела с експерименталните параметри

Изводи

От получените резултати може да бъде направен извод, че съществува връзка между срока на служба на роторните багери и натрупването на дефекти и пукнатини по стоманената конструкция, от която зависи стабилитета на машините.

Литература

Добровский, Н. Г.1972. *Многокошовых ескаваторы*, Москва, Машиностроение.

Недялков, П., И. Минин, С. Савов. 2016. Относно оценката на ресурса на многокофовите багери, *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, 59*, Св.III, София, 10-14, ISSN 1312-1820.

Razper, L. 1975. *The bucket wheel Exavator*, Trans. Tech. Publication Clansthal.

CONTROL ELEMENTS OF A DELTA ROBOT LABORATORY MODEL

Yassen Gorbounov, Yosif Bekyarov, Nikolay Lakov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: y.gorbounov@mgu.bg, iosif_93@abv.bg, nlakov@mgu.bg

ABSTRACT. The article presents control elements of a mechanism with parallel kinematics, known as a delta robot. Manipulators of this type are increasingly used in industry to solve tasks related to the high-precision manipulation of small details. This is due to the fact that the movable platform always remains parallel to the base, and the architecture has very low inertia which allows the realisation of fast and precise movements. Commercial solutions are high priced due to the precision mechanics, expensive drive systems, proprietary control electronics, and various patents. At the same time, the programming software is most often closed source. These problems hinder the intervention in the structure and algorithms of the mechatronic system. A laboratory model is proposed, which allows the demonstration and study of various components of the construction, drive, feedback, and control of the robotic platform, as well as the program implementation of various algorithms. The construction of the built mock-up allows for easy upgrading and can be used in multiple academic course units related to education in the field of mechatronics.

Key words: mechatronics, delta-robot, parallel kinematics, manipulator.

ЕЛЕМЕНТИ ОТ УПРАВЛЕНИЕТО НА ЛАБОРАТОРЕН МАКЕТ НА ДЕЛТА РОБОТ

Ясен Горбунов, Йосиф Бекяров, Николай Лаков

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията са представени елементи от механизъм с паралелна кинематика, известен като делта робот. Манипулатори от този тип намират нарастващо приложение в индустрията за решаване на задачи, свързани с манипулацията на малки детайли с висока точност. Това се дължи на факта, че подвижната платформа винаги остава успоредна на основата, а архитектурата е с много ниска инерция и позволява реализирането на бързи и прецизни движения. Предлаганите на пазара решения имат висока цена, дължаща на прецизна механика, скъпи задвижващи системи, фирмена управляваща електроника и различни патенти, а обслужващият софтуер е най-често със затворен код. Тези проблеми възпрепятстват интервенцията в структурата и алгоритмите на мехатронната система. Предложен е лабораторен макет, който позволява демонстрирането и изследването на различни компоненти от конструкцията, задвижването, обратните връзки и управлението на роботизираната платформа, както и програмното реализиране на различни алгоритми. Конструкцията на изградения макет позволява лесно надграждане и може да намери приложение в различни учебни дисциплини, имащи отношение към обучението по мехатроника.

Ключови думи: мехатроника, делта-робот, паралелна кинематика, манипулатор.

Introduction

The parallel kinematics manipulator known as the delta robot was designed in the 1980s. It was created by a team at the École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL, Switzerland) under the direction of Professor Raymond Clavel, who later patented it (Clavel, 1990). The story began with a visit to a chocolate manufacturer (Hadfield, 2020), where he came up with the idea of making a machine to sort the candies into their boxes. The original purpose of the invented machine was to work in cyclic mode with small-sized, light-weight objects at very high speeds. Currently, robots with a similar kinematic structure are used in the electronic, food, pharmaceutical, and many other industries where the human factor can be eliminated in favour of achieving a high level of hygiene, increased productivity (Kostadinova, 2022), safety and high product standards. Parallel kinematics manipulators are extremely suitable for automating high-precision applications for which traditional robots or SCARA-type robots are inapplicable. With the burst development of digital computing equipment, the rising capabilities of power electronics, the augmenting demands for reliability, and the level of automation in industry, the applications of delta robots are ever increasing. A clear example of this is the fact that 3D printers with a parallel kinematic structure are now widely available to the mass consumer and are successfully used in the hobby industry. The research in the field is also continuing with increasing intensity. For example, in 2017 scientists from Harvard University in the United States created the smallest delta robot to date, "milliDelta", which is a micro-electromechanical system (MEMS) that has foldable piezoelectric actuators. It measures 15x15x20 mm and can move objects weighing 1.31 grams in an area of 7.01 mm^3 with an accuracy of 5 μm, reaching a speed of 0.45 m/s and an acceleration of 215 m/s^2 (McClintock, 2018).

This article presents the concept of building and controlling a manipulator with parallel kinematics. Although the delta robot model is currently not fully completed, the paper describes some basic nodes of the mechatronic system control. Various programming control approaches are also discussed.

Motivation of the research

Modern education in the field of engineering course units requires an interdisciplinary approach and the state-of-the-art technical equipment. Its combination with the conduct of practical experimental research is the only way to create professionals capable of meeting the needs of the market. This is an area in which practical experience is of utmost importance, as it helps not only to make sense of the complex of theoretical propositions, but guarantees practical skills and is a vital prerequisite for the formation of analytical and creative thinking. ~~Providing~~ Offering equipment of similar quality is still a serious challenge as it is associated with high financial costs (Fanuc, 2023; Omron, 2023) and training to work with closed-source software products. Despite the high quality of the hardware, such a solution does not provide the necessary flexibility in training and hides a wide range of low-level technical problems from the trainees. The listed reasons motivate the creation of a physical mock-up from scratch. This process aims to show that in fact the creation of a parallel kinematics manipulator is possible under much more affordable conditions, as well as to increase the quality of education in a wide range of engineering course units related to mechatronics.

Kinematic structure

The kinematic structure of the delta robot consists of a base on which three motors M1, M2, and M3 are mounted, which drive three arms (Fig. 1).

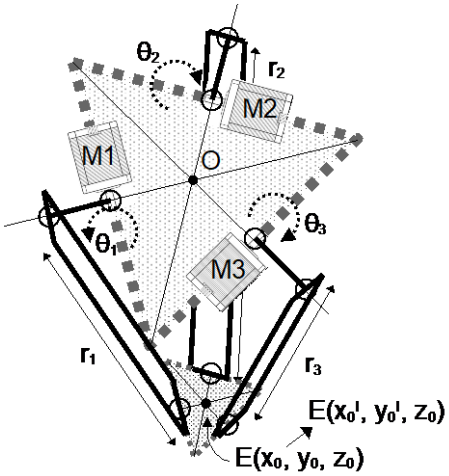


Fig. 1. Kinematic frame of the delta robot

A platform with center E(x_0, y_0, z_0) is connected to the arms by means of bearing joints and three parallelograms; this carries the working tool (end effector). The construction ensures that the platform of the tool will remain parallel to the work surface. The current delta robot has three translational degrees of freedom, although in Clavel's model there is also a fourth rotational degree that serves to rotate the tool.

Through appropriate control, the delta robot provides an opportunity to demonstrate the two main tasks of kinematics. The inverse kinematics problem allows the calculation of the required angular displacements for each of the three arms so as to provide a desired position of the work platform. The forward kinematics problem allows the position of the end effector to be determined if the angular positions of each of the three robot arms are known. The detailed solution of the kinematic equations falls beyond the scope of this paper, but it can only be said that to find the coordinates (x_0, y_0, z_0) one needs to solve a set of three equations of type (1) (Liu, 2019; Michalík, 2021):

$$\left(x - x_i\right)^2 + \left(y - y_i\right)^2 + \left(z - z_i\right)^2 = r_e^{\,2} \qquad (1)$$

In this equation, (x_i, y_i, z_i) are the coordinates of the center of the virtual sphere which describes the trajectory around the connection joint for each corresponding arm, and r_e is the radius of the sphere. The translation to a new end point can be obtained through trigonometric transformations (2).

$$\begin{aligned} x^I &= x.\cos(120) + y.\sin(120) \\ y^I &= -x.\sin(120) + y.\cos(120) \end{aligned} \qquad (2)$$

A situation may exist in which the working tool cannot move in certain directions or reach certain points in its working space, which is called the workspace singularity. In such areas, the delta robot can experience limitations in movement or can operate with reduced accuracy. The Jacobian matrix relates the speed of movement of the robot's joints to the speed of the end effector. When its determinant becomes zero, the robot falls into a kinematic singularity and loses mobility. For these reasons, the working area of the delta robot is often artificially constrained to spaces in which no singularity is observed.

Control system layout

The generalised control system layout of the proposed delta robot comprises a base control board and three stepper motors, as depicted in Fig. 2.

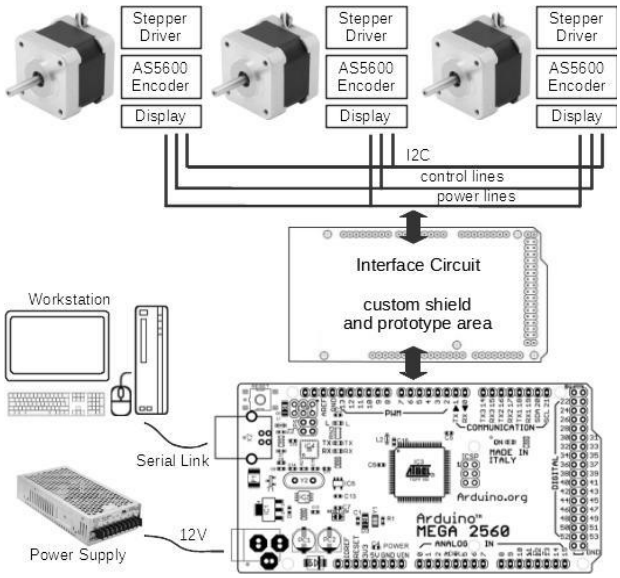


Fig. 2. The control system layout

In terms of hardware, the core of the systems is occupied by the Microchip 8-bit AVR RISC-based ATmega2560

microcontroller that is populated on the Arduino Mega board. It provides Inter-Inter-Circuit (I2C) and Serial Peripheral Interface (SPI) communication channels, has plenty of inputs and outputs (I/O), and is powerful enough to allow for experimenting with a broad amount of control algorithms. Nevertheless, an interface custom shield that fits on top of the main board has been designed in order to provide unified interface channels for the stepper driver boards. It includes the 12V power supply connectors, RJ-45 connectors for control signals, and a 74HCT4052 bidirectional dual single-pole quad-throw analog switch. The core of the circuit diagram is given in Fig. 3.

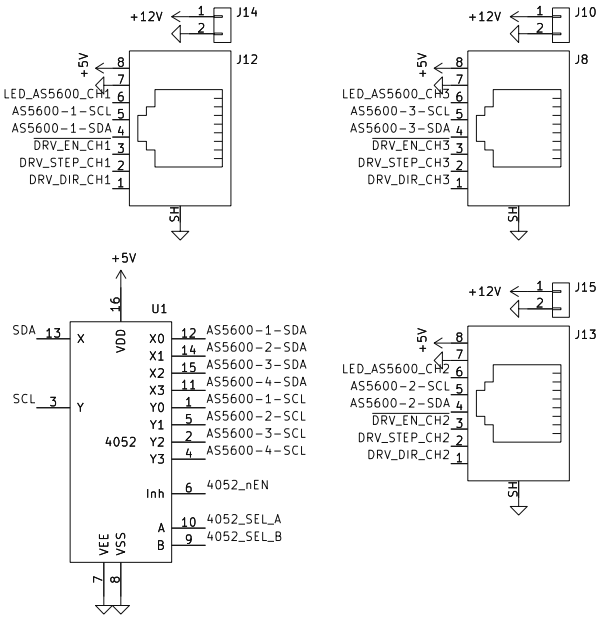


Fig. 3. Circuit diagram of the interface board shield

The use of the analog 4:1 multiplexer/demultiplexer is determined by the fact that the servo motor controller boards that connect to the shield contain an absolute magnetic encoder integrated circuit that uses the I2C bus but has a fixed slave address that cannot be configured. This problem has been solved by multiplexing the I2C signals which can be considered as a non-trivial solution for the I2C bus.

A 3D model of the designed printed circuit board (PCB) is shown in Fig. 4.

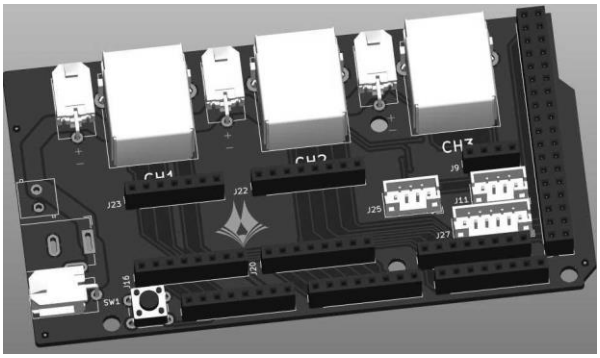


Fig. 4. 3D view of the PCB of the interface board shield

It can be seen from the design of the board that, if not counting the headers below the RJ-45 connectors, the shield keeps full compatibility with other extension boards that can be mounted on top of it. For example, it allows a large LCD display to be added, thus providing capabilities for self-contained autonomous use. All unused pins are also made available for future extensions.

The servo motor controller

The other essential component of the system is the servo motor controller. Most of the educational delta robots of this class, as well as most of the 3D printers that share similar kinematics, employ an open-circuit control topology the only benefit of which is its low price. Everything else, however, is considered being a drawback. The main reason for that is the fact that such systems are prone to skipping steps if the load is too high. Therefore, the best solution is to use a servo motor which provides inherent positional feedback. The conceptual block diagram is depicted in Fig 5.

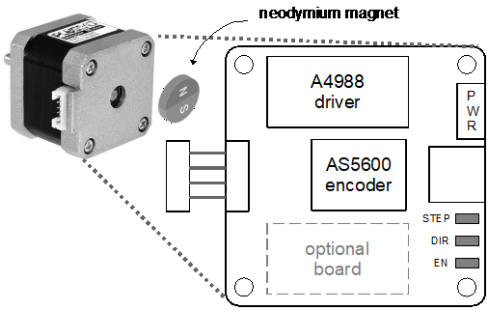
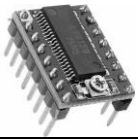


Fig. 5. Conceptual sketch of the motor controller

The motor controller board has the form factor that allows it to be mounted on the back of a standard NEMA 17 stepper motor measuring 42x42 mm. The present board contains the A4988 DMOS microstepping driver with translator and overcurrent protection but it has been designed in a way that supports several different motor drivers mounted on a socket. A brief comparison of compatible drivers is given in Table 1.

Table 1. *Compatible stepper motor drivers*

Model	Stepping	U [V]/I [A]	Price
Allegro A4988	full, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16	8-35V 2A	1.80 USD
TI DRV8825	full, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32	8.2-45V 2.5A	2.20 USD
Trinamic TMC2225	Up to 1/256	4.7-36V 2.5A	6.00 USD
ONsemi LV8729 	Up to 1/128	6-36V 1.3A	6.75 USD

Although in the present version the basic A4988 stepper motor driver by Allegro has the best price/performance ratio, several other driver modules exist that support microstepping control with step division of up to 1 over 256. They are more precise and behave more quietly, but at a greater price. The drivers from Trinamic Ltd., a motion control leader that was acquired in 2021 by Analog Devices, might be particularly well-suited for future applications.

The motor controller board is equipped with a 12-bit on-axis magnetic rotary position sensor with analog and Pulse Width Modulated (PWM) output AS5600 by AMS. It is a Hall-based contactless rotary absolute encoder with a resolution of 4096 distinct sectors which equates to 0.088 degrees per sector. The chip is mounted on the opposite side at the center of the controller board. A radially magnetised neodymium magnet which is coaxial with the sensor is mounted on the motor axis. The working principle of the position detection using magnetic field (AS5600, 2018) is illustrated in Fig. 6.

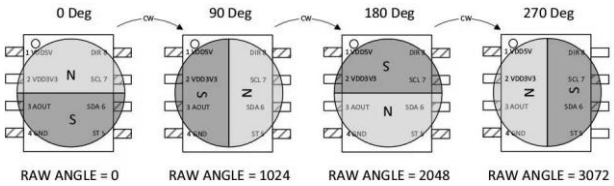


Fig. 6. Working principle of the AS5600 position detection

The AS5600 sensor has hysteresis control (avoids toggling the output when the magnet is not moving), magnet detection, watchdog timer to save power, and high resolution which makes it a fairly reliable device.

The circuit diagram of the servo motor controller board is shown in Fig.7.

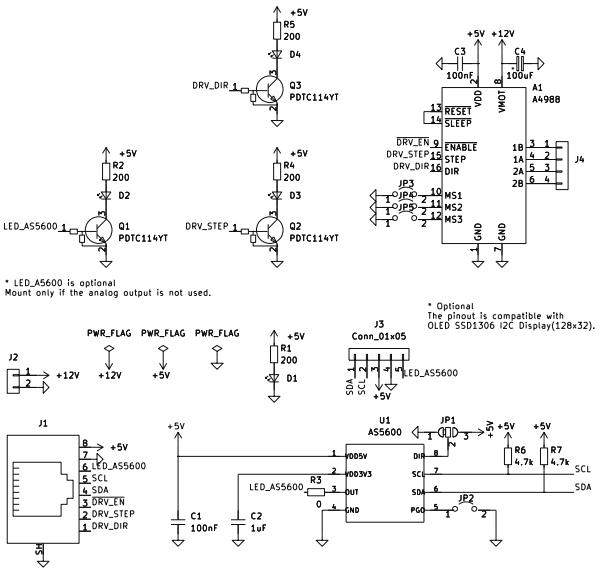
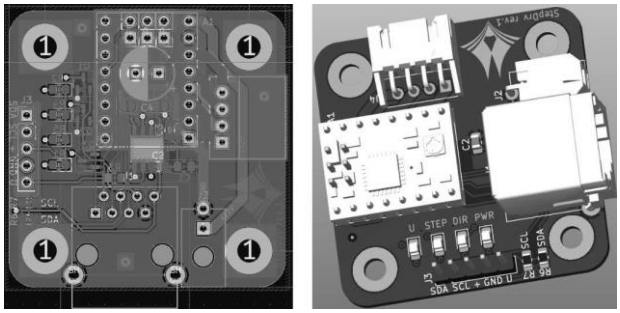


Fig. 7. Circuit diagram of the servo motor controller board

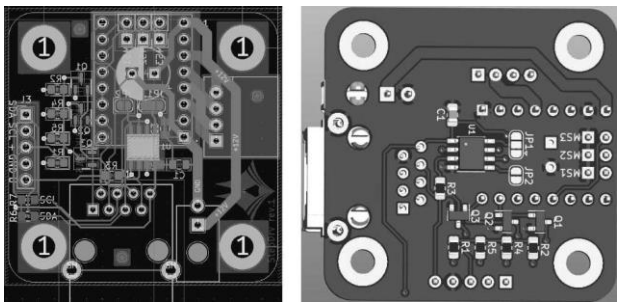
The circuit comprises the AS5600 absolute encoder, the driver circuitry, four LED indicators, the RJ-45 plus power supply connectors, and the J3 expansion connector which allows to connect an I2C OLED display module.

The model of the designed printed circuit board (PCB) is shown in Fig. 8 – top side with the stepper driver, and Fig. 9 – bottom side with the magnetic encoder integrated circuit.



(a) (b)

Fig. 8. PCB design (a) and 3D view (b) of board’s top side



(a) (b)

Fig. 9. PCB design (a) and 3D view (b) of board’s bottom side

The OLED display is optional and is not shown in the figure. The design of this board allows to offload the extension shield from the stepper motor drivers which improves the noise immunity of the system. It also makes the electrical drive subsystem of the delta robot highly modular.

Control methods

Open-loop control

The most common control method that is being used in mechatronic systems with parallel kinematics is the open-loop control. In this method, the stepper motors are controlled by feeding them with step and direction signals without providing feedback on current position. Due to the nature of the stepping control and the relatively large holding torque of the motor, the set steps are considered to have been worked. For control to be universal, geometric codes (G-Code) are most often used. G-Code is the de-facto standard programming language for CNC (Computer Numerical Control) machines and is widely adopted by the industry. The command line format for the G-Code is (3):

G## X## Y## Z## F## (3)

The G-code command determines the type of movement. It can be rapid positioning (G00), linear interpolation (G01), clockwise (G02), or anticlockwise (G03) circular interpolation, units selection (G20 – inches, G21 – centimeters), homing (G28), or other code (Oberg, 1996; S). The G-command is followed by the X, Y, and Z coordinates followed by the feed

rate F. The G-Code specification is given by the RS-274 standard (Kramer, 2000). The use of G-Code with the Arduino platform is made possible with the aid of the free open-source motion control GRBL interpreter firmware (Sarguroh, 2018) shown in Fig. 10.

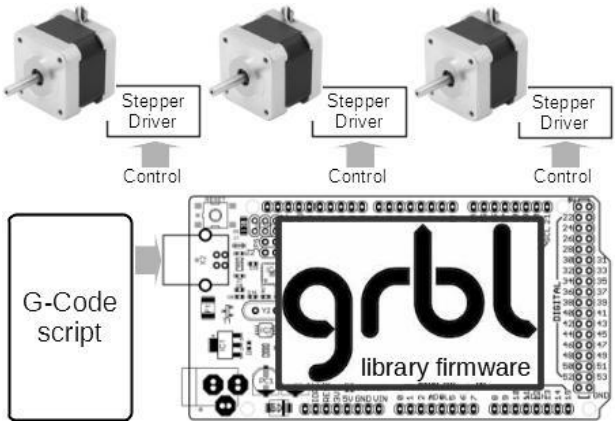


Fig. 10. The GRBL open-loop control

The G-Code script can be easily prepared with the help of a CAD (Computer-Aided Design) software, as most of these programs can export into the G-Code format.

This approach gained popularity due to its simplicity and accessibility but the lack of positional feedback remains a serious drawback.

Control with a teacher

Since the proposed delta robot can provide positional feedback, another approach is the control with a teacher. This presumes that when the motors are disengaged (i.e. lack of control), a human operator can step into the role of a teacher and guide the working tool along a desired trajectory thus "training" the robot. Thanks to the feedback, after completing the training, the robot can repeat the execution of the memorised path.

Custom control

The proposed manipulator with a parallel kinematic structure enables the exploration of a broad range of control algorithms created by the user. For example, it is not difficult to implement control using a joystick with visual feedback. Also, real-time computer control can be implemented based on complex algorithms implemented with a mathematical product such as the Matlab commercial package or its free analogues SciLab and QT Octave. These approaches are the subject of our future work.

Conclusions

The use of parallel kinematics manipulators in industry is gaining a constantly growing popularity, but commercial solutions are not yet readily available for training purposes, mainly due to their high price and closed-source control software. The article deals with the design of the main nodes of the control of a mechatronic system known as a delta robot, which makes it possible to conduct physical experiments and research in solving the direct and inverse task of kinematics, study of dynamic behavior, and the design of a wide range of control algorithms. The proposed manipulator allows for easy upgrading and can be used in various academic disciplines related to mechatronics training.

Acknowledgements. The support for this work is provided by the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia under contact MEMF-175/10.05.2023 titled “Research and Improvement of Nodes and Elements of the Control of Mechatronic Systems”.

References

AS5600. 2018. Programmable Contactless Potentiometer, AMS Datasheet [v1-06], https://ams.com/en/as5600 (last access 03.2023)

Kostadinova N., B. Vladkova. 2022. The role of flexible working time as a factor for work conditions, 65-th International scientific conference, University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria, pp.159-165, ISSN 2738-8808

Clavel R. 1990. Patent US4976582 Device for the movement and positioning of an element in space, https://tinyurl.com/e66zsr95

Fanuc Corporation Delta Robots. 2023. M-2iA/3S, M-3iA/6A, DR-3iB series, https://tinyurl.com/2j9kxrsc (last access 05.2023)

Hadfield H., L. Wei, J. Lasenby. 2020. The Forward and Inverse Kinematics of a Delta Robot, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 12221, ISBN 978-3-030-61863-6, https://doi.org/10.1007/978-3-030-61864-3_38

Kramer T., F. Proctor, E. Messina. 2000. The NIST RS274NGC Interpreter v.3, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6556

Liu C., G. Cao, Y. Qu. 2019. Workspace Analysis of Delta Robot Based on Forward Kinematics Solution, 3rd International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS), 2019, pp. 1-5, https://doi.org/10.1109/ICRAS.2019.8808987

McClintock M. 2018. The milliDelta: A high-bandwidth, high-precision, millimeter-scale Delta robot. Science Robotics Vol. 3(14), https://doi.org/10.1126/scirobotics.aar3018

Michalík M., J. Hrbček, A. Janota. 2021. Parallel Robot Controlled by PLC and its Digital Twin, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav), Vol. 15(4), http://dx.doi.org/10.12716/1001.15.04.19

Oberg E., F. Jones, L. Holbrook, H. Ryffel. 1996, Machinery's Handbook (25th ed.), New York: Industrial Press, ISBN 978-0-8311-2575-2, OCLC 473691581

Omron Corporation. 2023. X-Delta 5, X-Delta 3+1, CR_UGD2800, https://tinyurl.com/2tnvfesv (last access 04.2023)

Sarguroh S., A. Rane. 2018. Using GRBL-Arduino-based controller to run a two-axis computerized numerical control machine, International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), Mumbai, India, pp. 1-6, https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537315

Smid P. 2008. CNC Programming Handbook, New York: Industrial Press, ISBN 9780831133474, LCCN 2007045901

MAIN PARAMETERS OF CUTTING MARBLE, GRANITE, LIMESTONE, TECHNICAL STONE, CERAMICS, AND PORCELAIN BY THE USE OF DIAMOND SEGMENTED DISKS

Veselin Durchev[1], Ivan Minin[2]

[1] Patna i stroitelna tehnika”, Sofia, e-mail: stoneconsult@abv.bg
[2]University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, e-mail: ivan.minin@mgu.bg

ABSTRACT. The current work analyses the main parameters that influence the operation of the disks with diamond segments while cutting natural stone and construction materials. The proper utilisation of these disks prolongs their durability and guarantees the quality cutting of the aforementioned materials.
The analysis covers the most important parameters, such as the peripheral speed of the disk, the cooling of the disk, the speed of cutting, and the rules for the disk installation. In the end, a comprehensive summary is made of the most common mistakes with regards to the operation of these cutting tools.

Key words: disk, diamond segment, peripheral speed, cooling, installation.

ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ ПРИ РЯЗАНЕТО НА МРАМОР, ГРАНИТ, ВАРОВИК, ТЕХНИЧЕСКИ КАМЪК, КЕРАМИКА И ПОРЦЕЛАН ПОСРЕДСТВОМ ДИСКОВЕ С ДИАМАНТЕНИ СЕГМЕНТИ

Веселин Дурчев[1], Иван Минин[2]
[1] Пътна и строителна техника – ЕООД, София
[2] Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В настоящата разработка е направен анализ на основните параметри влияещи на работата на дискове с диамантени сегменти при рязане на скалооблицовъчни и строителни материали. Правилната експлоатация на тези дискове удължава живота им и гарантира качественото рязане на гореспоменатите материали. Анализът включва най-важните параметри като периферна скорост на диска, охлаждане на диска, скорост на рязане, правила при монтажа на дисковете с диамантени сегменти. Накрая е направен и обобщен анализ на най-допусканите грешки при експлоатацията на този вид режещи инструменти.

Ключови думи диск, диамантен сегмент, периферна скорост, охлаждане, монтаж.

Въведение

Обикновено при обработката на скално-облицовъчни материали се използват дискове със сегменти. Съставът на сегментите е диамант с различна едрина и метална свръзка. Видът на диаманта и на металната свръзка се определят от вида на материала, за който е предназначен диска. Дебелината на диска, изработен от качествена стомана, е различна за различните по размер дискове. Броят на сегментите за различните размери дискове, също е различен. За запояването на сегментите към стоманеното тяло се използва специален листов сребърен припой. Този припой, разположен между сегментите и стоманеното тяло на диска, служи като буфер, който в голяма степен намалява вибрациите при рязане. По този начин се предпазва металното тяло на диска от деформации и загуба на напрежение.

Сегментните дискове (Фиг. 1) се характеризират с външния си диаметър D, диаметър на отвора d, дебелините h, s, височината на диамантния сегмент $R_1 - R$ и дължината на сегментите L. Размерите на най често използваните дискове, в строителната индустрия на България, са от 200 до 3000 мм.

При използването им обаче се допускат много грешки, което води до намаляване на тяхната ефективност.

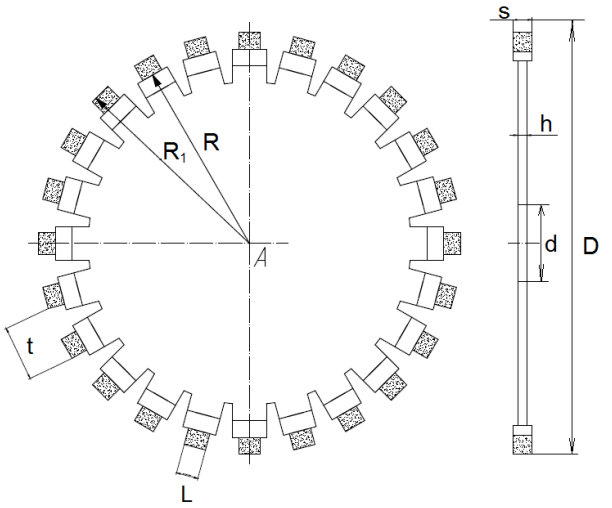
Основни параметри, влияещи на работата на дискове с диамантни сегменти.

Периферна скорост.

Един от най важните технически параметри, който трябва да бъде съблюдаван много стриктно, е периферната скорост на диска – $V_{ПЕР}$. Периферната скорост може да бъде дефинирана, като разстоянието, което изминава един сегмент за 1 сек. Формулата по която може да бъде изчислена е :

$$V_{ПЕР} = \pi.D.n, m/s \quad (1)$$

където n са оборотите на диска за 1 секунда.



Фигура 1. Общ изглед на диск с диамантни сегменти

Малко хора, които използват този вид дискове, знаят, че $V_{ПЕР}$ гарантира в максимална степен правилната експлоатация на диска. И докато количеството на охлаждащата вода зависи само от размера на диска, периферната скорост зависи както от размера на диска, така и от вида на рязания материал. По-меките материали се режат с по-висока периферна скорост, а по-твърдите – с по-ниска.

За различните видове материали периферната скорост има различни стойности.

Едни от най-използваните материали в съвременното строителство са гранитите. Самите гранити са разделени в 5 групи по твърдост – клас 1, клас 2, клас 3, клас 4 и клас 5. Тези групи се определят от количеството кварц, който се съдържа в даден гранит. Гранитите от клас 1 са с най-ниско съдържание на кварц, а гранитите от клас 5 са с най-високо. Препоръчителната периферна скорост за гранитите е показана в таблица 1.

Таблица 1.

Клас	1	2	3	4	5
$V_{ПЕР}$ m/s	$32-35$	$32-35$	$28-32$	$28-32$	$25-28$

Периферната скорост при рязане на мрамор трябва да бъде между 40–50 m/s, а периферната скорост при рязане на варовик трябва да бъде между 50–60 m/s.

През последните 20–30 години се появиха нови материали, които са създадени от човека на базата на естествените материали. При рязането на този вид материали важат същите изисквания, които важат и за естествените материали. Един от тези материали е техническият камък (engineered stone, manmade stone) периферната скорост при рязане на този вид материал трябва да бъде между 30–35 m/s.

Периферната скорост при рязане на различните видове гранитогреси трябва да бъде между 25–30 m/s, а на материали на базата на порцелана (много твърди и чупливи материали) между 20–25 m/s.

При съвременните каменорезни машини съществува възможностт за промяна на оборотите на електро-двигателя, който върти режещия диск. При тези машини могат предварително да бъдат задавани подходящите обороти, които ще осигурят изискваната периферна скорост.

За съжаление, много от по-старите каменорезни машини нямат възможността за промяна на оборотите на диска. Това налага приемането на усреднени стойности за различните видове материали. Трябва да се стремим да бъдат постигнати тези усреднени стойности:

- Гранит – 30 m/s (+/- 10%);
- Мрамор – 45 m/s (+/- 10%);
- Варовик – 55 m/s (+/- 10%);
- Технически камък – 33 m/s (+/-10%);
- Гранитогрес – 28 m/s (+/-10%);
- Порцелан – 23 m/s (+/-10%).

Сред повечето хора, които използват такива дискове, битува погрешното становище, че по-високите обороти водят до по-висока скорост на рязане. Абсолютно погрешно мнение. В по-добрия случай, високите обороти водят до по-бързо износване на сегментите на диска. В по-лошия случай, високите обороти водят до увреждане качеството на корпуса на диска и на сегментите му. Дискът започва да „свири“, да криви при рязане и да начупва рязания материал. В този случай дискът става неизползваем и клиентът е принуден да го смени с нов. За да бъдат избягвани такива нежелателни ситуации, трябва много стриктно да бъдат спазвани изискванията за периферна скорост.

Скорост на рязане

Освен периферна скорост ($V_{ПЕР}$) съществува и една друга скорост – скорост на рязане (V_P). Скоростта за рязане се измерва в см²/мин. Тя също е различна за различните видове материали. И при нея твърдостта на рязания материал е определяща. Колкото по-твърд е рязания материал, толкова по-малка е скоростта на рязане. И обратното, по-меките материали могат да бъдат рязани с по-висока скорост. Също така, скоростта на рязане зависи и от мощността на електродвигателя, който задвижва режещия диск. При един и същ рязан материал, при един и същ режещ диск, машината с по-мощен двигател реже много по-бързо от машината с по-малък по мощност двигател. Препоръчителната скорост на рязане за гранитите е показана в таблица 2.

Таблица 2.

Клас	1	2	3	4	5
V_P $\frac{cm^2}{\min}$	600	500	400	300	200

Стойности за скоростта на рязане на мекия мрамор е от 1500-2000 $cm^2/\min$, а за твърдия от 1000-1500 $cm^2/\min$.

При рязане на варовик скоростта на рязане трябва да е от 2000-3000 $cm^2/\min$, а при новите материали, които се произвеждат на базата на естествените материали, трябва да се спазват указанията на всеки производител за вида на диска, който трябва да се използва и за периферната скорост, и скоростта на рязане За всеки материал, тези указания са различни.

Линейна скорост на подаване на диска

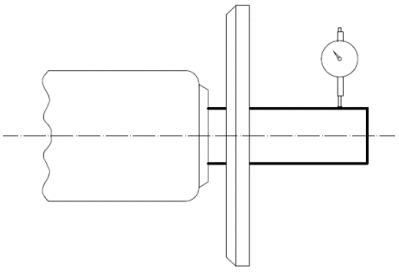
Линейната скорост ($V_{ЛИН}$) е разстоянието, което изминава дискът за 1 минута. И когато определим тази скорост и знаем дебелината на рязания материал D_M, лесно можем да определим скоростта за рязане:

$$V_P = V_{ЛИН}.D_M, m/\min \quad (2)$$

По този начин можем да контролираме скоростта на рязане (V_P) и да я поддържаме в допустимите граници, определени за рязания материал. Така дискът може да бъде използван по оптимален начин. По-високата допустима скорост на рязане води до по-бързо износване на диска или до неговото повреждане. По-ниската допустима скорост на рязане води до загуба на време и пари.

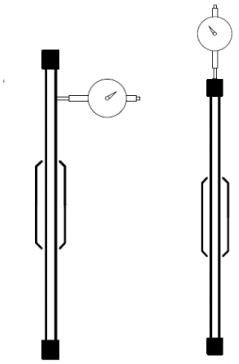
Правила при експлоатацията и монтажа на диска

При смяна на стария диск с нов трябва да бъдат почистени фланците и оста от ръжда и други мръсотии, с подходяща шкурка. След шкурката фланците и оста трябва внимателно да бъдат забърсани със сух парцал. Масло и грес НЕ ТРЯБВА да бъдат използвани при почистването. След като се почистят, фланците и оста трябва да бъдат проверени за механични повреди. Особено внимание трябва да се обърне на оста, която носи диска. Тя трябва да бъде проверена за механично износване и за радиално биене (Фиг.2). За всеки размер диск, допустимата стойност за радиално биене на оста е строго определено.



Фиг.2. Проверка на радиалното биене на оста на диска

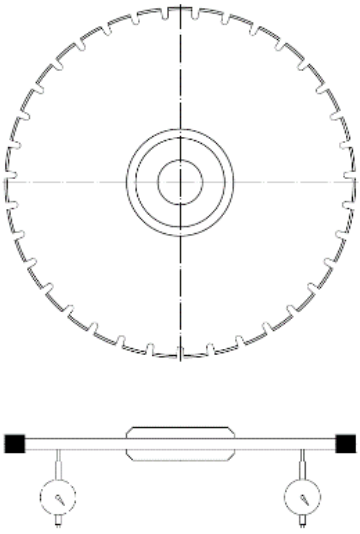
След почистването на фланците, те трябва да бъдат проверени за механични повреди и за аксиално биене (Фиг.3). За всеки размер диск, допустимата стойност за аксиално биене на фланците е строго определена.



Фиг.3. Проверка на радиалното и аксиално биене на диска

След приключване на гореописаните процедури се извърша монтаж на диска. Затягането на гайката, която притиска фланците, се извърша по посоката на въртене на диска. Така, при работата на диска, се извършва допълнително самонатягане на гайката и се избягва саморазвъртането ѝ. След като монтажът на диска приключи, той трябва да бъда проверен за радиално и аксиално биене (Фиг.3). За всеки размер диск допустимите стойности за аксиално и радиално биене са строго определени.

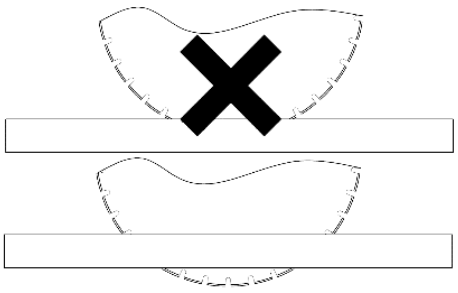
И последната проверка преди дискът да бъде пуснат в експлоатация, е проверката за паралелност (Фиг.4).



Фиг. 4. Проверка за паралелност на диска

Проверява се дали предната и задната част на диска се движат в една линия. За всеки размер диск допустимата стойност за паралелност е строго определена.

Преди започване на рязането трябва да бъде фиксирана дълбочината на рязане. Сегментите на диска винаги трябва да излизат под долната повърхност на рязания материал (Фиг. 5). По този начин се избягва начупването на долния ръб.



Фиг.5. Схема за правилна употреба на диска

След изпълнение на всички технически изисквания, които касаят правилната работа на диска, той е готов за работа.

Често допускани грешки при експлоатацията на дисковете.

1. При монтажа не се спазва посоката на въртене на диска, указана от производителя със стрелка върху

корпуса на диска. Тази грешка води до:
- затруднена работа на диска;
- претоварване на електродвигателя;
- претоварване на оста и лагерите;
- начупване на рязания материал;
- деформация на корпуса на диска.

2. Рязане на твърди материали чрез диск със сегменти за меки материали и обратно, използването на диск със сегменти за твърди материали при рязане на меки. Винаги трябва да се спазват указанията на производителя за вида на рязания материал.

Литература

Александров, В. А. 1979. *Обработка природного камня алманым дисковым инстроментом*. Изд. Наукова думка, Киев.

Кинов, А. 1992. *Технология и машини за добив на декоративно-облицовъчни материали*, Издателска къща „МГУ Св. Ив. Рилски“.

Ракишев, В. Р. и др. 1981. *Техника и технология добычи гранитных блоков*. Недра, Москва.

Dactoly, J. C. 1981. *L’extraction en carrier au cable diamante*, Le Mausolee.

GEO-LOCATION AUTHENTICATION: IMPROVING SECURITY USING DATA LEAKS

Ivan Drankov, Rosita Nesheva

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ivan.drankov@mgu.bg; rosita.nesheva@mgu.bg

ABSTRACT: Geo-location technology is becoming increasingly important for secure authentication purposes, allowing users to prove their identity based on their physical location. Geo-location algorithms are able to identify the exact location of a device or user, providing a unique identifier that can be used to verify their identity. This technology is particularly useful for verifying the location of mobile devices which are often used for online transactions and other sensitive activities. By using geolocation for authentication, organisations can ensure that only authorised users are able to access sensitive data or perform certain actions, improving security and reducing the risk of fraud or other unauthorised activities.

Key words: geo-location, Multifactor authentication, leaked data.

УДОСТОВЕРЯВАНЕ НА ГЕОГРАФСКО МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ: ПОДОБРЯВАНЕ НА СИГУРНОСТТА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ИЗТЕКЛИ ДАННИ

Иван Дрънков, Росита Нешева

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Технологията за географско местоположение става все по-важна за целите на сигурното удостоверяване, като позволява на потребителите да доказват своята самоличност въз основа на физическото си местоположение. Алгоритмите за геолокация са в състояние да идентифицират точното местоположение на дадено устройство или потребител, предоставяйки уникален идентификатор, който може да се използва за удостоверяване на тяхната самоличност. Тази технология е особено полезна за проверка на местоположението на мобилни устройства, които често се използват за онлайн транзакции и други чувствителни дейности. Като използват геолокацията за удостоверяване, организациите могат да гарантират, че само оторизираните потребители имат достъп до чувствителни данни или извършват определени действия, като подобряват сигурността и намаляват риска от измами или други неоторизирани дейности.

Ключови думи: геолокация, удостоверяване, изтекли данни

1. Introduction to multifactor authentication and its connection to geo-location

As the digital world becomes increasingly interconnected, securing personal information and maintaining privacy has become a paramount concern. “Increase in cyber-crime now makes it pertinent to look beyond securing systems with passwords only. Even using the password-less approach may not suffice enough to provide the required security, although it is safer than using only a password” (Ivanov et al., 2022). Multi-Factor Authentication (MFA) has emerged as a crucial player in the effort to secure access to sensitive data and resources. Its adoption has been pivotal in thwarting a significant number of cyber attacks. MFA refers to the verification of a user's claimed identity by utilising a combination of two or more independent elements: something the user knows (knowledge), something the user has (possession), and something the user is (inherence). These elements, when employed together, provide a significantly higher level of security than when used independently. Geo-location represents an additional layer of security in MFA. It refers to the use of the geographical coordinates of the user to enhance the verification process. If a user's login activity is detected from a location inconsistent with their usual pattern, this can serve as an alert to potential security risks. The incorporation of geo-location algorithms adds robustness to MFA, enhancing the complexity of the authentication process and thereby increasing the difficulty for potential intruders.

2. Geo-location algorithms: principles and techniques of authentication

2.1. The Essence of Geo-Location

Before delving into the algorithms, it is important to understand geo-location as a concept. Geo-location refers to the identification or estimation of the real-world geographic location of an object, such as a mobile device or a computer terminal. In the context of MFA, geo-location can provide valuable data to verify whether a login attempt is legitimate or potentially malicious. Additional data can indeed improve the accuracy of many types of algorithms, including those used for geo-location. More data points often allow for a better understanding of patterns and behaviours, which can in turn make predictions or identifications more accurate, such as

leaked geo data that can be used to evaluate the legitimacy of a user.

2.2. Common Techniques of Geo-Location MFA

2.2.1. IP-Based Geo-Location

“IP geo-location is the process of determining the real geographic location of an electronic device connected to the Internet, by its global network address” (Ivanov et al., 2022). The IP address serves as a key identifier. When a device establishes a connection with a network, the service detects the device's IP address that is unique to that specific connection at that particular time. Once the IP address is identified, it is matched with a specific geographical location through a lookup process. This procedure refers to an extensive database, often maintained by third-party entities, that correlates IP addresses to physical locations. These databases are compiled from various sources, such as Internet Service Providers (ISPs) and extensive data collection efforts, to map the likely geographic origin of an IP address. The information returned from this lookup might include the country, state, city, and sometimes even more granular details like postal codes. “IP geo-location error depends on the country, population density, and type of network device and ranges from several tens of metres to hundreds of kilometres. For the same input data, the results of different IP services can vary significantly” (ibid). This is the easiest way to MFA a user through a combination of their password and IP. This method is easy and cheap to implement; however, IP-based geo-location is not always precise. “Geo-location databases can claim country-level accuracy, but certainly not city-level” (Poese et al., 2011). Accuracy can vary greatly depending on a number of factors, such as:

IP addresses that are dynamic: ISPs often dynamically assign IP addresses to devices from a pool, and the same IP address can be assigned to different devices at different times.

The use of VPNs and proxies: VPNs and proxy servers can mask the true IP address of a device and make it appear as though the device is located in a different place. This can skew the results of IP-based geo-location.

Mobile and satellite connections: Devices connected via mobile networks or satellite internet may appear to be located at the position of the relevant ground station or data centre, which could be far from the device's actual location. These can lead to compromises, such as saving multiple IP addresses as a verified way to MFA a user. This can be exploited. For example, a malicious actor who owns leaked data from a user can exploit it, like hijacking a web browser session data and masking the IP of the new session to a known one previously leaked.

2.2.2. GPS-Based Geo-Location

GPS-based geo-location operates by receiving signals transmitted by GPS satellites orbiting the Earth. These signals are processed by a GPS receiver in the device, and the time taken for these signals to reach the receiver from the satellites is used to calculate the distance to each satellite. With signals from at least three satellites, the GPS receiver can then use this information to triangulate the device's precise location on Earth. It can be even used in real-time. Many systems use GPS to locate their assets and their moving. “Such a system has been tested, and it showed excellent results that can be used for positioning and navigating a vehicle with an accuracy of 10 m” (Abbas et al., 2019). However, as with any technology, GPS-based geo-location comes with its own set of challenges. Firstly, it requires a device to have a built-in GPS receiver. While this is common in many modern devices, especially smartphones, it is not universal, and therefore, the applicability of this method may be limited. GPS-based location can eliminate some of the drawbacks of IP geo-location, such as:

High Accuracy*:* GPS-based geo-location is renowned for its precision, often providing location data accurate to within a few meters.

Real-time Data*:* GPS can offer real-time positioning, which can be crucial in certain applications, such as navigation or emergency response.

Independent of Internet Connection*:* Unlike IP-based geo-location, GPS doesn't rely on an Internet connection. As long as a device has a GPS receiver and can access satellite signals, it can determine its location.

Universal Coverage*:* GPS satellites encircle the globe, ensuring that signals are available anywhere on Earth with a clear view of the sky, making the system globally applicable.

This method is more expensive and it has more challenges that come with its own drawbacks:

Requires Special Hardware*:* Not every device is equipped with a GPS receiver. To utilise GPS-based geo-location, a device needs the necessary hardware. This can typically add more cost to the device's cost of manufacturing increasing its price. Utilising GPS for location tracking can be energy-intensive. Frequent use can drain a device's battery more rapidly compared to other location-determining methods.

Signal Interference*:* Physical obstacles like tall buildings, mountains, or dense forests can interfere with GPS signals. Urban environments, in particular, can introduce the "urban canyon" effect, where GPS signals are disrupted by high-rise structures.

Dependence on Satellite Availability*:* For optimal accuracy, a GPS receiver needs to connect with at least four satellites. While there are many satellites in the GPS constellation, local conditions or technical issues can sometimes limit satellite availability.

This method seems to be superior for geo-location but it also has flows that can lead in malicious ways to manipulate a geo-based login challenge. The GPS data can be manipulated with mock data. The high accuracy is a good characteristic, but the service that is verifying needs to verify your last validated location every time a device is moved 10m or 20m. This is why GPS geo-location cannot be used alone to determine the validity of a user.

2.2.3. Hybrid Methods

Hybrid geo-location systems typically combine data from both IP-based and GPS-based methodologies, along with potentially integrating other location sources, like Wi-Fi positioning or cell tower triangulation. The overarching aim is to produce a more holistic and precise representation of a device's location, balancing the swift and universal accessibility of IP-based methods with the precision of GPS. “The hybrid algorithm gives better results compared to the two algorithms

GPS and Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)” (Saadane et al., 2021).

Several advantages underscore the increasing adoption of hybrid methods:

***Enhanced Accuracy**:* By drawing data from multiple sources, hybrid systems can often pinpoint a location with greater accuracy than any single method in isolation. For instance, in urban settings where the "urban canyon" effect may hinder GPS accuracy, Wi-Fi positioning can step in to refine the location estimate.

***Increased Reliability**:* Redundancy is a cornerstone of security, and by using a multi-pronged approach, hybrid systems ensure that if one method fails or provides ambiguous results, other methods can supplement or validate the data.

***Wider Applicability**:* While some devices might lack a GPS receiver, they might still be capable of Wi-Fi positioning or have access to IP-based location data. A hybrid system can tap into whatever sources are available, expanding its range of applicability.

However, integrating multiple methods does introduce new challenges:

***System Complexity**:* Merging data from several sources requires sophisticated algorithms to weigh, validate, and reconcile potentially conflicting data. This complexity can demand more advanced hardware and software solutions, potentially increasing costs.

***Higher Resource Usage**:* Tapping into multiple location data streams can lead to increased battery drain, especially if real-time, continuous tracking is needed.

***Privacy Concerns**:* With the system collecting data from various sources, there could be heightened concerns about user privacy. It becomes crucial to ensure data is anonymised and handled with the utmost care to maintain user trust.

In the context of multifactor authentication, hybrid geo-location methods present redundancy and versatility and can provide a robust layer of security, ensuring that even if one location method is compromised or inaccurate, the other can validate or correct the data. However, as with any complex system, careful design, regular maintenance, and a keen awareness of potential pitfalls are essential to harness their full potential.

3. CREATING MORE LAYERS FOR VERIFICATION OF GEOLOCATION MFA BY COMPARING PROBABLE MALICIOUS EXPLOITS FOUND IN LEAKED DATA

There are a lot of services, such as HaveIbeenPwned, that alert their users and clients for leaked information, but these services do not provide a way to check the raw data. It is up to the user or the client to recognise the leaked information.

Building such a service integrated into every system is impossible. Creating a global leaked database is the key to creating new methods to authenticate user geolocation, a global service that can provide cross-checking methods for validating potential exploits.

In this publication, we are going to use our own leaked data to bypass geo MFA and share the techniques used to achieve it. The service and system exploited will not be mentioned due to our own privacy.

3.1 Exploitation of IP-Based systems and preventing them from using the leaked databases

IP-based geo-location systems, while advantageous for their ease of implementation and ubiquity, are not without vulnerabilities. Exploiting these vulnerabilities can lead to a wide range of nefarious activities, ranging from misleading content delivery to serious security breaches. In a system where only geo-location is used to MFA a user, a lot of exploits can be used. In this case, the assumed system uses only passwords and geo-location for MFA. Such systems exist due to the inability or lack of hardware to use SMS authentication or another token system. This is common in IoT systems where hardware and software are limited. The IP geo-location method is cheap and easy to implement and commonly used in small IoT systems. Common ways to exploit IP based geolocation systems are:

IP Spoofing: One of the most common techniques used by attackers is IP spoofing, where they masquerade their device's IP address with another, often with the intent of deceiving systems about the device's true location or identity. In the case of the actor knowing the victim`s leaked IP addresses, this can lead to an easy bypass of the geo MFA.

In the case of our own leaked data, we used multiple IP addresses to log in to the service exploited in this case. Choosing potentially valid IP can be tricky, but by cross-referencing with other leaks from different sources a commonly used IP can be identified. Spoofing this IP from a Different location did not raise the chosen system alert.”The attack is generic in nature, i.e., all devices using vulnerable Wi-Fi-based Positioning Systems could potentially be exploited with the help of geo-tagged services that provide geo-location information publicly” (ibid).

VPN and Proxy Usage: Users or malicious entities might use VPNs or proxy servers to make their IP address appear as if it originated from a different geographic location. This can be done to bypass geo-restrictions, conduct location-based fraud, or obscure malicious activities.

In the case of our own leaked data, we used a VPN location based in our country and were able to log in from a different country without raising suspicion in the selected system.

There are more techniques to exploit IP-Based systems like IP Hopping or Man-in-the-Middle Attacks that can be used to achieve the same results. For this example, we only used the IP Spoofing and VPN/proxy method.

In this example, the systems that were exploited relied on databases with validated IP addresses. In order to prevent such behaviours, these systems can regularly check with a global leaked database for potential “harmful” IP addresses of the user and exclude them from the verified address list and promote new verification of this IP via another source, like email.

3.2 Exploitation of GPS-Based Geo-Location and preventing it from using the leaked databases

GPS-based geo-location, often used for its precision, is increasingly becoming popular for mobile applications. Most smartphones have built-in GPS and rely on them for geo MFA.

However, the system is not impermeable to threats and other ways to exploit it. In the case of phone geolocation, there is a threshold for the valid location. The most common ways to exploit GPS location are GPS Spoofing, GPS Jamming, Replay Attacks, and Data Interception.

The method exploited using our leaked GPS data was GPS Spoofing. The exploited service was only verifying the GPS data as MFA. From our own leaked GPS data, we were able to determine the most commonly used GPS location by cross-referencing it with other leaked databases. The exploited service did not raise any suspicion.

To prevent such exploitation, the valid location database can be cross-referenced for leaked data on a global database.

3.3. Exploitation of Hybrid Geo-Location and preventing it from using the leaked databases

Hybrid geo-location systems, combining the strengths of multiple location-determining techniques, such as IP-based, GPS-based, Wi-Fi positioning, and cell tower triangulation, aim to offer enhanced accuracy and reliability. The main weaknesses revolve around the complexity of such a system. The most common are:

Compound Vulnerabilities: One of the most evident challenges is that a hybrid system inherits the vulnerabilities of each individual technique it integrates. For instance, if it combines GPS and IP-based methods, it can be susceptible to both GPS spoofing and IP spoofing.

Increased Attack Surface: With multiple channels of data input, attackers have more entry points to exploit. They might jam or spoof one signal, while simultaneously launching a cyber-attack on another, complicating defence mechanisms.

Data Conflict and Confusion: In situations where different location methods return conflicting data, determining the true location can become challenging. Malicious actors can exploit this confusion, intentionally feeding one of the systems false data to obscure their actual location.

Chain Reaction Failures: A compromise in one geo-location method can sometimes lead to cascading failures in other systems, especially if they rely on each other for validation or calibration.

In the case of Hybrid Geo MFA, it is the same process of exploitation as exploiting its components one by one. This is enough for leaked data to both exploit IP-based and GPS-based MFA at the same time. In the case of my leaked data, I wasn't able to find an application suitable for testing.

4. Conclusions

Using leaked data to Bypass MFA is a niche that is not explored widely. Our test had great results with systems with low-security bypassing geo MFA. All the experiments were made on our own data and no laws were violated. To achieve this method on a big scale, malicious actors have to own a lot of leaked data. The use of leaked data is a treading and ever-evolving problem. To counter this, new improvement to the already existing leaked database monitoring service must be created. At the moment, this kind of cooperation is between security researchers working with leaked data and their clients in private. An open-source alternative, like the suggested global leaked database system, can be beneficial. To conclude the need for such a global system, it is necessary to use a big amount of data and a big enough service, like a social network, to experiment on.

Used literature:

Bao, James , Yen Tsui. 2005. *Fundamentals of Global Positioning System Receivers. A Software Approach*. John Wiley & Sons Inc, 352 p.

Célestin Matte, Jagdish Prasad Achara, Mathieu Cunche. 2015. *Device-to-Identity Linking Attack Using Targeted Wi-Fi Geolocation Spoofing*, Researchgate.

Kingsley-Hughes, Kathie. 2005. *Hacking GPS*. John Wiley & Sons Inc, 337 p.

Yinusa Olatunde Bamimore, Ayorinde Oduroye. 2023. *Moving Beyond Password-less Approach -Multi-Factor Authentication (MFA) in Cyber Space*. researchgate

Singh, Satinder Pal. 2011. *IP Geolocation in Metropolitan Areas*. University of Maryland, 97 p.

References:

Abbas, A. H., Habelalmateen, Mohammed I., Syukran Jurdi, L. Audah, N. A. M. Alduais. 2019. GPS-based location monitoring system with geo-fencing capabilities. - *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, November 2019.

Ivanov, Mihail, Alexander Polunin. 2022. Improving the Accuracy of IP Geolocation Based on Public IP Geoservices Data. - *Informatics and Automation 21* (4), July 2022, 758-785.

Poese, Ingmar, Steve Uhlig, Dali Kaafar, Benoit Donnet, Bamba Gueye. 2011. IP Geo-location databases: Unreliable?. - *ACM SIGCOMM Computer Communication*, April 2011.

Saadane, Rachid, Mostafa Belkasmi, Mohammed El Koutbi, Mohamed Rachid Dadda. 2012. Evaluation of hybrid geo-location based on UMTS and GPS technologies. *Multimedia Computing and Systems (ICMCS), International Conference*, May 2012.

STUDY OF STARTING CHARACTERISTICS OF A RUBBER BELT CONVEYOR FOR OPEN-PIT CONDITIONS

Kiril Dzhustrov, Zhivko Iliev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: justrov@mgu.bg; jivko.iliev@mgu.bg

ABSTRACT. The article presents the results of the study of the electromechanical transient processes of the electric motors driving rubber belt conveyors in an open pit. Studies cover both a normal no-load belt running and a belt running at design performance.

Key words: research, loading, starting characteristics, rubber belt conveyors.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПУСКОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ГУМЕНО ЛЕНТОВ ТРАНСПОРТЬОР ЗА УСЛОВИЯТА НА ОТКРИТ РУДНИК

Кирил Джустров, Живко Илиев

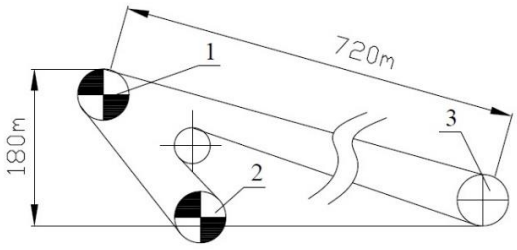
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията са представени резултати от изследването на електромеханичните преходни процеси на електродвигателите, задвижващи гумено-лентови транспортьори в открит рудник. Изследванията обхващат както нормалното пускане на лентата без товар, така и пускането на лента с проектната производителност.

Ключови думи: изследване, натоварване, пусковите характеристики, гумено-лентови транспортьори.

Въведение

Експерименталното изследване е насочено към определяне на пусковите характеристики на гумено-лентови транспортьори за условията на открит рудник. При тяхната съвместна работа с добивни машини от типа на багер права лопата, се получават транспортни системи с големи производителности и мощности. (Шейретов, 2022, Тасев, 2017) Това предимство на гумено-лентовите транспортьори определя тяхното широко използване в минната промишленост. От друга страна, възможността за експериментални изследвания в реална работна среда е важно условие за анализиране на пусковите характеристики на гумено-лентовите транспортьори.



Фиг. 1. Гумено–лентов транспортьор

На фиг. 1 е представена схема на гумено–лентов транспортьор за открит рудник със следните позиции:

1 – първи задвижваш барабан; 2 – втори задвижваш барабан; 3 – обръщателен барабан.

Изследван е лентов транспортьор с дължина на лентата 720 m, денивелацията 180 m и наклон, под който се извозва товара – 15%. Скоростта на лентовото платно е в границите 4-4,5 m/s. Номиналната производителност е 2500 t/h. Задвижването се осъществява с два барабана с три двигателно-редукторни групи. Електродвигателите са асинхронни с навит ротор тип FTA 450E6 с номинална мощност Рн=630kW, номинален ток в статора Iн=74A, номинален ток в ротора Iнр=650 A; номинално напрежение Uн=6kV и 988 оборота в минута (Лаков Н. и др, 2023).

Технически данни на уредите, с които са извършени измерванията

За измерване на електрическите параметри в статорните и роторните намотки, както и на пусковите процеси на електродвигателите са използвани мрежови анализатори FLUKE 437-II и FLUKE 435-II.

Уредите са с клас на точност при измерване на напрежение 0,1% от номиналното, ± 1,5% за тока, ±2,0% за активна, реактивна и пълна мощност. Честотният диапазон в който работят е от 10 Hz до 7,0 kHz.

За измерването също така е използван и трифазен мрежов анализатор на качеството на електрическата енергия MULTIVER 3SN, който дава възможност за измерване, изчисляване, запис и анализ на всички електрически величини и показателите за качеството на електрическата енергия. Той измерва напрежението и тока с точност - 0,5%. Честотата на измерване е от 30-900 Hz.

Измерване с мрежовите анализатори

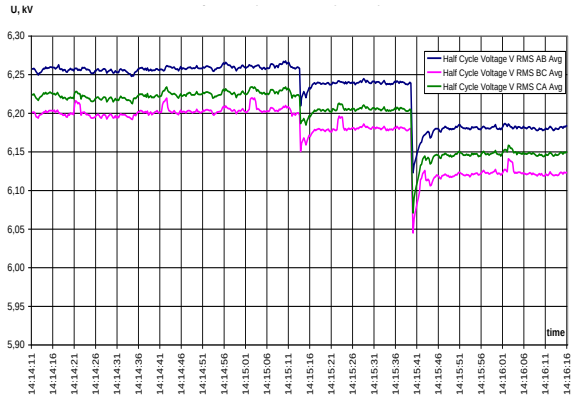
Измерванията се проведоха при следните условия:

1. Трите мрежови анализатори първоначално бяха свързани към статорните намотки на електродвигателите. Ампер-клещите на уредите бяха присъединени към захранващите кабели 6 kV, а напрежението се снемаше от напреженов измервателен трансформатор. Направени са записи при пускане на ГТЛ на празен ход, работа на ГТЛ с натоварване 2500 t/h, пускане под товар 2500 t/h, работа с натоварване 2800 t/h, пускане с натоварване 2800 t/h.

Следващите измервания бяха в роторните вериги на трите електродвигателя. Ампер-клещите на мрежовите анализатори измерваха директно тока в роторната намотка, а напрежението се снемаше директно от шините в роторната верига. Направиха се измервания на електрическите параметри в роторните вериги на електродвигателите при същите технологични условия, както при измерванията в статорните намотки. Направено бе допълнително измерване в роторните вериги при увеличено натоварване до 3200 t/h.

2. Измерване на електрическите показатели в статора на електродвигателите (Киров, Илиев, 2017, Lakov, 2016).

На фиг. 2 е показан запис на напрежението в статора на двигател № 1 при пускане на ГТЛ №1 на празен ход.

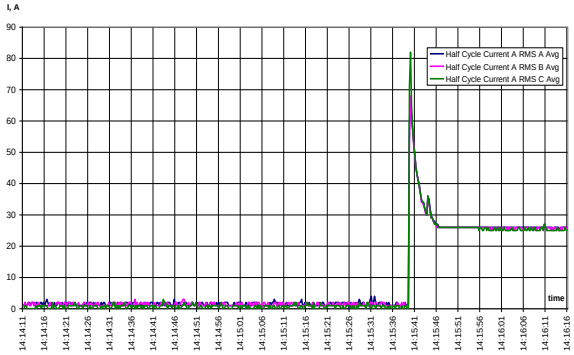


Фиг. 2. Пускане на празен ход – Мотор 1 статор.

От осцилограмата се вижда, че при пускане на ГТЛ на празен ход минималната регистрирана стойност на напрежението е 6,05kV, която е по-висока от номиналното напрежение на електродвигателя – 6,0kV. (Лаков, 2020)

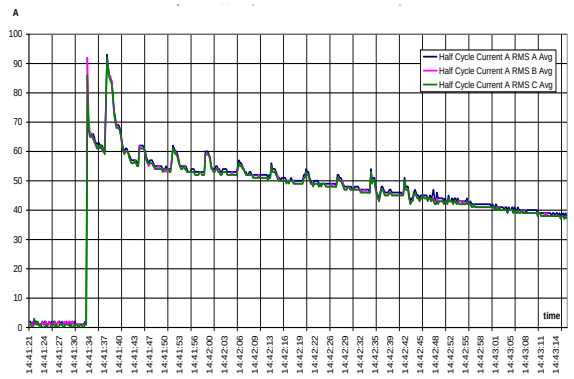
На фиг. 3 е показан запис на тока в ротора на двигател № 1 при пускане на ГТЛ №1 на празен ход.

От кривата на тока в статора на електродвигателя може да се отчете максималната ефективна стойност на тока, която е 82 А, а установеният ток на празен ход е 26 А. При номинален ток на статора на електродвигателя от 74 А очевидно проблеми с пускането на празен ход на ГТР №1 няма. Подобни са и записите на останалите два електродвигателя (Kurtzelin, Cozma, Istalianov, Lakov, 2011)

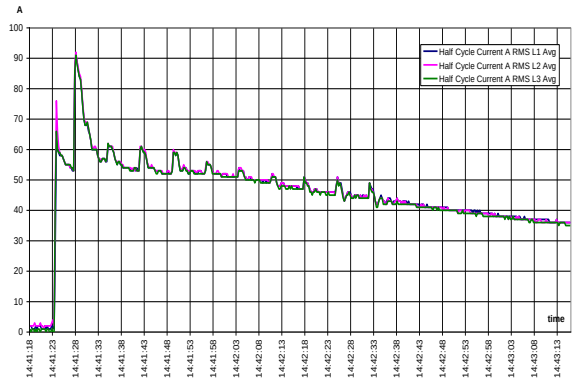


Фиг. 3. Пускане на празен ход – Мотор 1 статор.

Фиг. 4 и фиг. 5 илюстрират характера на тока в статора на двигател № 1 и двигател № 2 при пускане на ГТЛ № 1 с натоварване 2500 t/h.



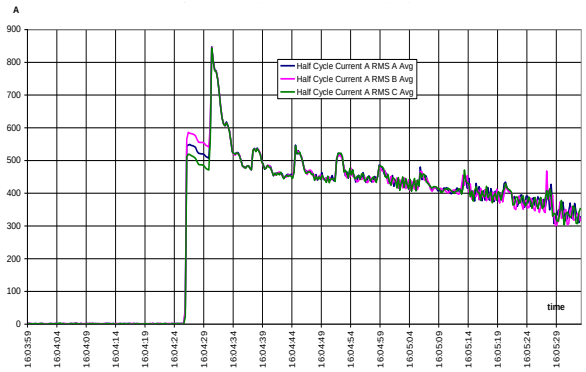
Фиг. 4. Пускане под товар 2500 t/h на М1 – токове в статора



Фиг. 5. Пускане под товар 2500 t/h на М2 – токове в статора

От фигурите се вижда еднаквият характер на тока по време на преходния процес за двата електродвигателя. Максималната ефективна стойност на тока е регистрирана и при двата двигателя в момента на изключване на първата степен на съпротивленията в ротора и за двигател № 1 тя е 93 А, а за двигател № 2 – 91 А. След приключване на преходния процес, който е с продължителност 73s, токът в статорите на електродвигателите се установява в границите 36-38 А. От фигурите се вижда добрия синхрон в моментите на изключване на роторните съпротивления на електродвигателите. Пускането при спряна лента с натоварване 2500 t/h по отношение на статорния ток на електродвигателите е напълно безпроблемно. Средната стойност на тока през време на пусковия процес е около 50-60 А, което е под номиналния ток на електродвигателите 74 А.

При пускане на конвейера под товар от 2500 t/h характерът на процеса се различава значително от този на празен ход. На фиг. 6 е показан токът в ротора на електродвигател № 1. В първия момент на включване, при пълен набор роторни съпротивления, токът е ограничен до около 550 А. Токът в ротора плавно намалява и след 4 секунди се изключва първата степен на роторните съпротивления.

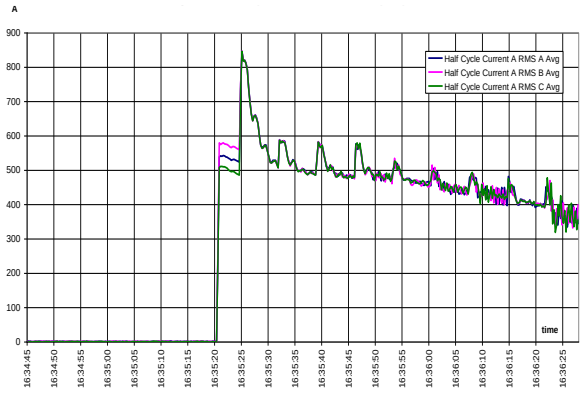


Фиг. 6. Пускане под товар 2500 t/h на М1 – токове в ротора

След изключването на първата степен от роторните съпротивления, токът скокообразно нараства до 847 А. За 7 s токът в ротора намалява до 517 А, след което на равни интервали от време – 7 s се изключват останалите съпротивления на роторната верига.

При пускане под товар на двигател № 1 се забелязва разлика в големината на тока в трите фази на ротора за времето от 4 s до изключване на първата степен. Най-голям е токът във фаза А – 580 А, а най малък – във фаза С – 508 А. Възможна причина за това е неравенството в стойностите на съпротивленията в първата степен.

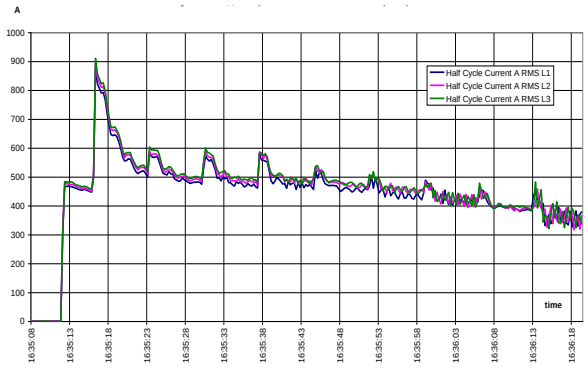
На фиг. 7 е показан пусковия процес на електродвигател № 1 при натоварена лента с 2800 t/h. Не се забелязва разлика в стойностите на тока в ротора, нито във времетраенето на пусковия процес.



Фиг. 7. Пускане под товар 2800 t/h на М1 – токове в ротора.

На фиг. 8 е показан пусковият процес на тока, заснет на електродвигател № 2 при натоварена лента с 2800 t/h. При този електродвигател токовете в трите фази по време на първата степен са симетрични.

Прави впечатление, че след изключване на първата степен на съпротивленията в ротора, токът нараства значително и достига до 850-900 А.



Фиг. 8. Пускане под товар 2800 t/h на М2 – токове в ротора

В продължение на няколко секунди останалите в работа роторни съпротивления се претоварват (номиналният ток на роторните съпротивления е 650 А). Това провокира интереса ни за заснемане последователността при комутация на контакторите и определяне стойността на съпротивленията в ротора за всяка степен. В Таблица 1 за всяка степен (от 0 до 10) са дадени включените контактори (К), отбелязани със знака Х и стойностите на съпротивленията в работа.

Таблица 1. *Схема на комутация на роторните съпротивления*

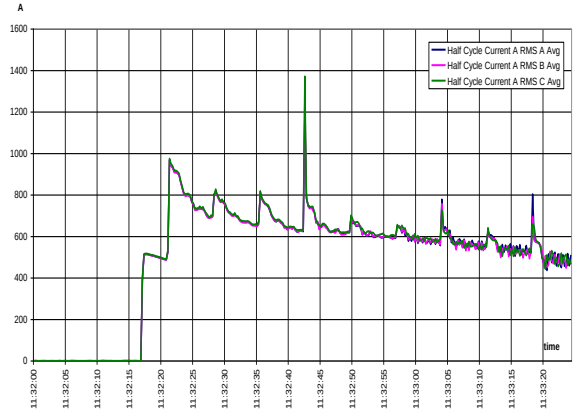
степени	К1	К2	К3	К4	К5	К0	Съпротивления в ротора, Ω
0							1,935
1	Х				Х		0,917
2			Х		Х		0,857
3	Х	Х	Х		Х		0,558
4	Х			Х	Х		0,438
5		Х		Х	Х		0,378
6	Х	Х		Х	Х		0,318
7			Х	Х	Х		0,259
8	Х		Х	Х	Х		0,199
9		Х	Х	Х	Х		0,139
10						Х	0,079

От таблицата се вижда голямата разлика в стойностите на роторните съпротивления между нулева и първа степен – 1,018 Ω. Това е причината токът в ротора да се увеличава почти двойно след изключване на първата степен роторни съпротивления. При изключване на следващите степени разликата в съпротивленията е многократно по-малка – от 0,299 Ω до 0,06 Ω.

При 10-та степен се включва контакторът К0, свързващ в триъгълник роторните съпротивления със стойност 0,079 Ω, които остават в работа. Съпротивленията работят в продължителен режим и всяко от тях при работа на ГТЛ №1 с проектната производителност отделя във вид на топлина около 28 kW.

За изясняване на някои проблеми при записите на пусков процес на електродвигател № 3 беше направен допълнителен запис на тока в ротора с мрежов анализатор FLUKE 437-II (фиг.9).

Натоварването на ГТЛ при пускането бе 3000 t/h. Пусковият процес протича аналогично на процесите при другите електродвигатели до включването на 5-та степен.



Фиг. 9. Пускане под товар 3000 t/h на М3 – токове в ротора.

В момента на комутиране на 5-степен се появява преходен процес, характеризиращ се с много големи стойности на тока и с продължителност 90 ms. Максималната регистрирана ефективна стойност на тока е 1372 А. Подобни преходни процеси, свързани с по- високи стойности на тока, има регистрирани и при комутацията на 8-ма и 10-та степен. При тях максималните стойности на тока са много по-ниски от тези при комутацията на 5-та степен.

Заключение

В обобщаване на извършеното експериментално изследване може да се направят следните заключения:

- Изследването в експлоатационни работни условия с цифровата измерителна апаратура FLUKE 437-II и FLUKE 435-II е възможно както за пусковите процеси при натоварена лента с максимална производителност, така и при стационарни работни режими;

- Продължителността на преходните процеси при включването на двигателите с натоварена лента е около 70 s, което трябва да се отчита при избора на защитна и комутационна апаратура;

- Коефициентът на самопускане на статорния и роторния ток достига до Ксп = 1,25, с продължителност 3s.

Литература

Киров, Р., И. Илиев. 2017. *Електроенергийна ефективност*, гр. Варна, издателство „Ена“ ООД, ISBN 978-619-7255-05-8

Лаков, Н. и др. 2023. Междинен отчет по договор № МЕМФ-177/10.05.2023г. „Изследване натоварването на гумено-лентови транспортьори за условията на открит рудник.“

Лаков, Н., 2020. Отклонения на напрежението. *Списание Енергиен форум*, бр. 37/38, стр. 42-46. ISSN1313-2962

Тасев, Л. 2017. Износвания и повреди в редукторите на рудничните локомотиви за подземен извоз. *Годишник МГУ*.

Шейретов, Х. 2022. *Рудничен транспорт*. изд. Neofeedback, София. ISBN 978-619-7329-83-4. 229с.

Kurtzelin, E., V. Cozma, R. Istalianov, N. Lakov. 2011. Functional dependence between the asymmetry as regards current and voltage in the electrical distribution network, *International scientific "Confereng 2011" edition 16*, November 11-12, 2011, Targu-Jiu, 2/2011, 44-50.

Lakov, N. 2016. Energy efficiency of fans for local ventilation, International scientific, *9th Symposium Durability and Reliability of Mechanical Systems, SYMECH* 2016, Runcu, Gorj, May 20-21. ISSN 1842-4856

CALCULATION OF A TWO-WIRE LINE THROUGH MODELLING SQUARES OF RESISTANCES

Angel Zabchev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia 1700, E-mail: angel.zabtchev@mgu.bg

Abstract: A model of a two-wire line is composed through a circuit of squares of resistances. By converting the circuits and solving the formulated equations, analytical expressions for precise solution are found.

Key words: two-wire line, distributed parameter circuits of resistances, delta-to-wye conversion.

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ДВУПРОВОДНА ЛИНИЯ ЧРЕЗ МОДЕЛИРАНЕ С КВАДРАТИ ОТ СЪПРОТИВЛЕНИЯ

Ангел Зъбчев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700

Резюме: Съставен е модел на двупроводна линия чрез верига от квадрати от съпротивления. Чрез преобразуване на схемите и решаване на съставените уравнения са намерени аналитични изрази за точно решаване.

Ключови думи: двупроводна линия, разпределени параметри вериги от съпротивления, преобразуване звезда-триъгълник.

Увод

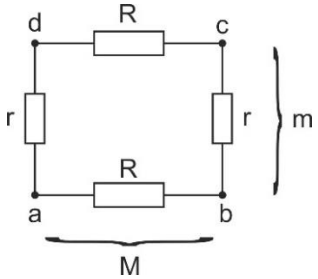
Една дълга двупроводна линия с разпределени параметри може да се представи чрез съпротивления – надлъжно R и напречно r, отговарящи на определена дължина на линията. Надлъжното съпротивление R съответства на съпротивлението на кабела за единица дължина, а напречното r съответства на съпротивлението на изолацията. Моделът разглежда квадрати от съпротивления. Последователно са решени вериги съставени от един, два и n квадрата.

1. Един квадрат

В квадрата от съпротивления, показан на фиг. 1 означаваме

$r_{ab} = M$ – измерено съпротивление между точки ***a*** и ***b***

$r_{bc} = m$ – измерено съпротивление между точки ***b*** и ***c***



Фиг. 1.

Изразяваме измерените съпротивления M и m чрез R и r:

$$M = R \,||\, (2r + R) \tag{1}$$

$$m = r \,||\, (2R + r) \tag{2}$$

С помощта на (1) и (2) изразяваме в явен вид функциите

$$R = f(M, m) \text{ и } r = f(M, m)$$

$$M = \frac{2r.R + R^2}{2r + 2R} \tag{3}$$

$$m = \frac{2r.R + r^2}{2r + 2R} \tag{4}$$

След изваждане на (4) от (3) се получава

$$M - m = \frac{R^2 - r^2}{2r + 2R} = \frac{(R - r)(R + r)}{2(r + R)}$$
$$2(M - m) = R - r \tag{5}$$

Следователно:

$$r = 2m - 2M + R \tag{6}$$

Заместваме стойността на r в (3) и преобразуваме:

$$M.2\left(2m-2M+R\right)+2MR=2\left(2m-2M+R\right).R+R^2$$

$$4Mm-4M^2+2MR+2MR=4mR-4MR+2R^2+R^2$$

$$3R^2-8MR+4mR+4M^2-4Mm=0$$

$$3.R^2+\left(4m-8M\right).R+\left(4M^2-4Mm\right)=0 \qquad (7)$$

Решаваме квадратното уравнение (7) спрямо R и получаваме:

$$R_{1,2}=\frac{8M-4m\pm\sqrt{D}}{6}$$

$$D=\left(4m-8M\right)^2-12\left(4M^2-4Mm\right)=$$

$$=16m^2-64Mm+64M^2-48M^2+48Mm=$$

$$=16M^2-16Mm+16m^2=16\left(M^2-Mm+m^2\right)$$

$$R_{1,2}=\frac{2}{3}\left(2M-m\pm\sqrt{M^2-Mm+m^2}\right) \qquad (8)$$

$$r_{1,2}=2m-2M+R_{1,2} \qquad (9)$$

При $m>M$ уравнение (7) има само един положителен корен, чиято стойност заместена в (9) дава положителна стойност за r. При $m<M$ уравнение (7) има два положителни корена $\left(R_1>R_2\right)$. По-малкият корен R_2 се елиминира, тъй като заместен в (9) дава отрицателна стойност на r.

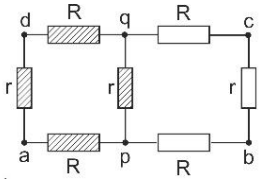
$$R=\frac{2}{3}\left(2M-m+\sqrt{M^2-Mm+m^2}\right) \qquad (10)$$

$$r=2m-2M+R \qquad (11)$$

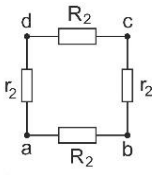
Тези изрази ни позволяват да определим съпротивленията R и r в четириполюсника (квадрата) от фиг. 1 чрез измерване с омметър на съпротивленията $M=r_{ab}$ и $m=r_{bc}$.

2. Два квадрата

Целта е схема от два квадрата (фиг. 2а) да се преобразува в еквивалентна схема от един квадрат (фиг. 2б).



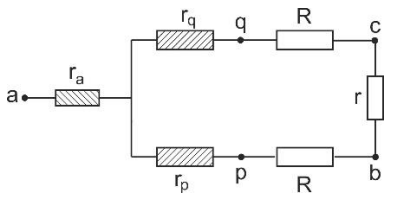
Фиг. 2а.



Фиг. 2б.

От фиг. 2а определяме $r_{ab}=M_2$ и $r_{bc}=m_2$.

Преобразуваме триъгълника от съпротивления a-p-q в звезда a-p-q.



Фиг. 3.

$$r_a=\frac{R\left(r+R\right)}{2R+2r}=\frac{R}{2} \qquad (12)$$

$$r_p=\frac{R.r}{2R+2r} \qquad (13)$$

$$r_q=\frac{r\left(r+R\right)}{2R+2r}=\frac{r}{2} \qquad (14)$$

$$r_{ab}=M_2=r_a+\left(r_q+R+r\right)\|\left(r_p+R\right)$$

Заместваме съпротивленията на звездата от (12), (13) и (14) и определяме M_2:

$$M_2=\frac{R}{2}+\left(\frac{3r}{2}+R\right)\|\left(\frac{Rr}{2\left(R+r\right)}+R\right) \qquad (15)$$

От фиг. 2а и фиг. 2б за m_2 намираме

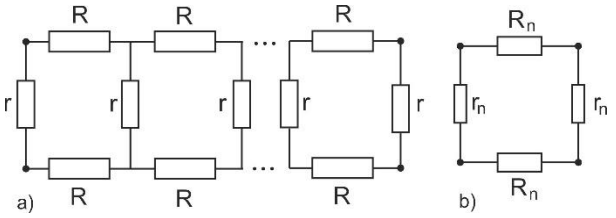
$$r_{bc}=m_2=\left[\left(2R+r\right)\|r+2R\right]\|r \qquad (16)$$

$$M_2=f\left(R,r\right)\xrightarrow{\text{чрез (10)}}R_2$$

$$m_2=f\left(R,r\right)\xrightarrow{\text{чрез (11)}}r_2$$

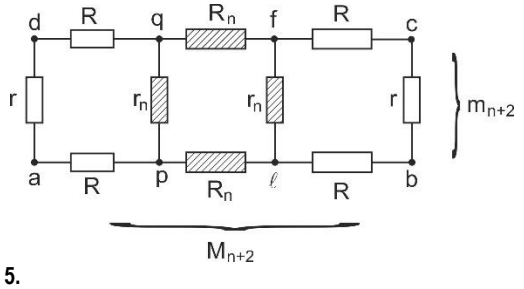
3. Редица от квадрати

Редица от n еднакви квадрати от съпротивления R и r могат да се представят чрез един квадрат от съпротивления R_n и r_n (фиг. 4).



Фиг. 4.

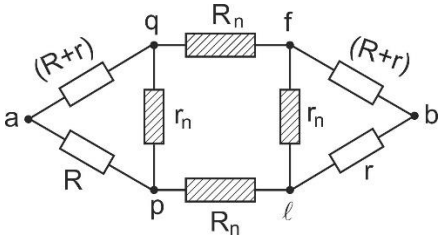
Разширяваме симетрично от ляво и отдясно този квадрат, така че броят им да стане n + 2.



Фиг. 5.

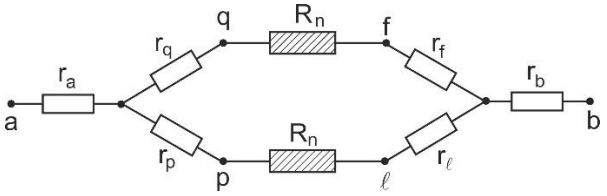
За да определим измерените стойности $M_{n+2} = r_{ab} = r_{cd}$ и $m_{n+2} = r_{bc} = r_{ad}$.

Преобразуваме схемата от фиг. 5 във фиг. 6:



Фиг. 6.

Преобразуваме триъгълника между точките a, p, q в звезда. В звезда преобразуваме и триъгълника между точките b, ℓ, f (фиг. 7).



Фиг. 7.

$$r_a = \frac{R(R+r)}{2R+r+r_n} = \frac{R(R+r)}{(R+r_n)+(R+r)} = \frac{R}{\frac{R+r_n}{R+r}+1} \qquad (17)$$

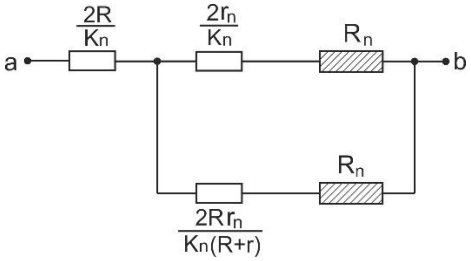
$$r_p = \frac{r_n.(R+r)}{2R+r+r_n} = \frac{r_n}{\frac{R+r_n}{R+r}+1} \qquad (18)$$

$$r_p = \frac{R.r_n}{2R+r+r_n} = \frac{\frac{R.r_n}{R+r}}{\frac{R+r_n}{R+r}+1} \qquad (19)$$

Полагаме

$$\frac{R+r_n}{R+r}+1 = K_n \qquad (20)$$

Поради симетрията $r_a = r_b$, $r_q = r_f$ и $r_p = r_\ell$, схемата от фиг. 7 се опростява (виж фиг. 8).



Фиг. 8.

$r_{ab} = M_{n+2}$

$$M_{n+2} = \frac{2R}{K_n} + \left(\frac{2r_n}{K_n} + R_n\right) \| \left(\frac{2Rr_n}{K_n(R+r)} + R_n\right) \qquad (21)$$

$$K_n = \frac{R+r_n}{R+r} + 1$$

Схемата от фиг. 8 и израз (21) позволяват да определим M_{n+2}.

$$M_{n+2} = f(R, r, R_n, r_n)$$

От фиг. 5 определяме $m_{n+2} = r_{bc}$.

$$m_{n+2} = \left\{\left[(2R+r) \| r_n + 2R_n\right] \| r_n + 2R\right\} \| r \qquad (22)$$

$$m_{n+2} = f(R, r, R_n, r_n)$$

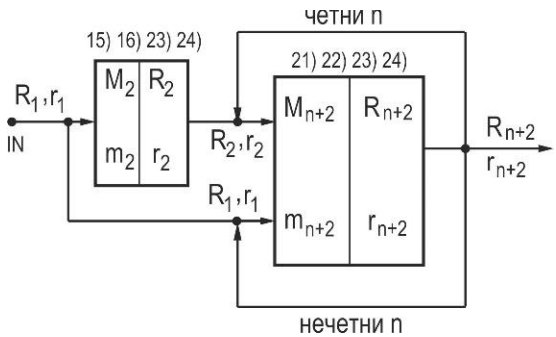
Двата израза (10) и (11), които са изведени за един квадрат, можем да обобщим така:

$$R_n = \frac{2}{3}\left(2M_n - m_n + \sqrt{M_n^2 - M_n m_n + m_n^2}\right) \qquad (23)$$

$$r_n = 2m_n - 2M_n + R_n \qquad (24)$$

Редица от n броя квадрати от съпротивления R, r може да се преобразува в един квадрат със съпротивления R_n и r_n чрез алгоритъм, който включва получените до тук изрази.

Блоково алгоритъма е представен на фиг. 9.



Фиг. 9.

Входни величини са $R_1 = R$ и $r_1 = r$ при $n = 1$. Това са съпротивленията на един квадрат.

За да определим R_2 и r_2 еднократно се използва изчислителна процедура чрез изразите (15), (16), (23) и (24) като от R_1 и r_1 най-напред се определят M_2 и m_2 и след това R_2 и r_2 .

Стойностите на четирите съпротивления R_1, r_1, R_2 и r_2 постъпват на блок, който осъществява изчислителна процедура, повтаряна многократно докато се определят стойностите на R_n и r_n при предварително зададено n.

Таблица 1.

n	(21)	(22)	(23)	(24)
№	M	m	R	r
1			1	10
2	**(15)** 1,833	**(16)** 4,271	2,071	6,947
3	2,627	3,854	3,207	6,381
4	3,358	3,684	4,376	5,028
5	4,066	3,742	5,536	4,888
6	4,702	3,577	6,720	4,470
7	5,345	3,614	7,867	4,405
8	5,955	3,559	9,027	4,235
9	6,561	3,579	10,155	4,191
10	7,154	3,560	11,269	4,081

Чрез циклично повторение, започвайки от R_1 и r_1 след прилагане на изрази (21), (22), (23) и (24) се определят всички съпротивления с нечетен индекс n: R_3 и r_3 ; R_5 и r_5 ; R_7 и r_7 и т.н.

Чрез циклично повторение, започвайки от R_2 и r_2 се определят съпротивленията с четни индекси: R_4 и r_4 ; R_6 и r_6 и т.н.

В таблица 1 са дадени резултати от числен пример, получени по гореописаната процедура.

Заключение

Чрез получените аналитични изрази може да се състави програма за изчисляване на верига от съпротивления, състояща се от n на брой квадрати. Тази верига от квадрати, решена аналитично може да се използва за моделиране на дълги линии и други физически обекти, които се характеризират с надлъжни и напречни параметри, отнесени към единица от дължината им.

Литература

Атабеков, Г.И. 1960. *Теория линейных электрическая цепей*. Москва.

Сешу, С., Н. Балабанян. 1963. *Анализ линейных цепей*. Москва.

CONTOUR STRESSES OF A CIRCULAR OPENING IN A TRANSVERSELY ISOTROPIC ROCK MASS

Malina Ivanova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: : malina_vatz @abv.bg

ABSTRACT: A horizontal circular opening is excavated in a transversely isotropic rock mass. It possesses a plane of isotropy. The plane is inclined to the horizontal axis of the cross-section of the opening. The stresses at a point of the hole are determined by the complex potential theory. The behavior of the rock mass is described by a fourth-order partial differential equation. Its characteristic equation is of the fourth degree. An iterative method was used to determine its roots. These roots are complex numbers and are involved in the analytical expressions for the stresses along the hole contour.
The coefficients in the characteristic equation and its complex roots are determined for a real rock mass. The values of the stresses at points on the contour of the hole were calculated.

Key words: complex potential theory, transversely isotropic rock mass, stresses.

НАПРЕЖЕНИЯ ПО КОНТУРА НА КРЪГОВА ИЗРАБОТКА В ТРАНСВЕРЗАЛНО-ИЗОТРОПЕН МАСИВ

Малина Иванова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски", 1700 София.

РЕЗЮМЕ: Хоризонтална кръгова изработка е прокопана в трансверзално изотропен масив. Той притежава равнина на изотропия. Равнината е наклонена спрямо хоризонталната ос на напречното сечение на изработката. Напреженията в точка от отвора се определят с комплексна потенциална теория. Поведението на масива се описва с диференциално уравнение в частни производни от четвърти ред. Неговото характеристично уравнение е от четвърта степен. За определяне на неговите корени са прилага итеративен метод. Тези корени са комплексни числа и участват в аналитичните изрази за напреженията по контура на отвора.
За реален масив са определени коефициентите в характеристичното уравнение и комплексните му корени. Изчислени са стойностите на напреженията в точки от контура на отвора.

Ключови думи: комплексната потенциална теория, трансверзално изотропен масив, напрежения.

Introduction

A large number of publications have been published on the issue of stress distribution around a circular horizontal long opening. In most of them, the researchers use a rock mass model in which the elastic properties are the same in the different directions. To solve this problem, a complex potential theory is described (Muskhelishvili, 1953; Savin, 1961; Lekhnitskii, 1963; Lu et al., 2007). But in nature, the case of a rock mass which possesses a plane with equivalent elastic properties in all directions is often encountered. Such a rock mass is transversely isotropic. When the plane is horizontal and vertical, the development of the analytical solution can be seen in (Obert et al., 1967; Hefny, 1999; Trifonova-Genova, 2018).

The subject of the present study is an underground linear opening crossing an array with an inclined plane of isotropy. For this purpose, a development of the complex potential theory is applied. With it, the analytical expressions for the stresses in points of the contour of a circular opening will be given.

Methods

1.Formulation of the problem

The plane of isotropy in the transversely isotropic rock mass is inclined at an angle φ (Fig.1). A horizontal circular opening has a radius r_o. The volumetric weight of the rock mass is γ and the embedding depth of the opening is H (Fig.2). The physical characteristics of the transversely isotropic rock mass are five: E_1, E_2 - Young’s modulus in the plane of isotropy and perpendicular to it, μ_1, μ_2 - Poison’s ratio in the plane of isotropy and perpendicular to it, and G_2 is the shear modulus for a plane perpendicular to the plane of isotropy. By means of these characteristics, the deformation coefficients are determined. They are involved in the relationships between stresses and strains. The stresses in an undisturbed rock mass are: $\sigma_z^o = Q = \gamma H$ $\sigma_x^o = \lambda_x Q$, and $\tau_{xz}^o = \lambda_\tau Q$. The

expressions for the coefficients λ_x and λ_τ are given in (Trifonova-Genova, 2019).

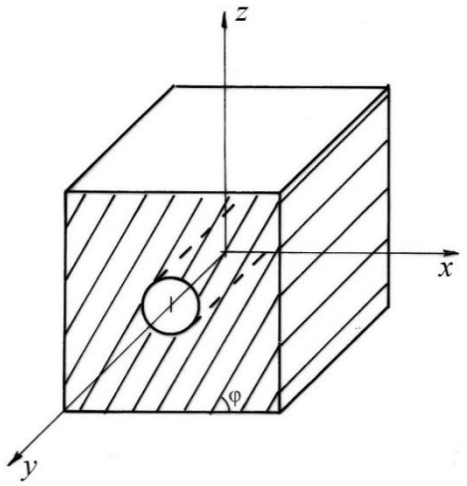


Fig.1. Rock mass with inclined plane of isotropy

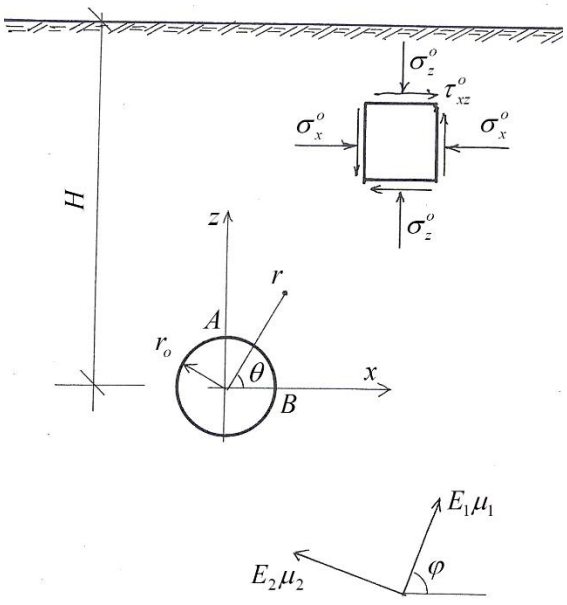


Fig. 2. Horizontal circular opening in a transversely isotropic rock mass

2. Stress

The behavior of the rock mass is described by a 4th-order partial differential equation of the stress function. A detailed view of this function can be found in the specialised literature given above. This function expresses the stresses at a point around the hole with polar coordinates ($r\theta$). The general integral of a partial differential equation depends on the roots of a characteristic equation:

$$s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0 = 0\,, \qquad (1)$$

Expressions for the coefficients in this equation can be seen in (Ivanova et al., 2018). These coefficients depend on both the physical characteristics of the rock mass and the slope of the plane of isotropy.

The roots of equation (1) are complex numbers:

$$s_1 = \alpha_1 + \beta_1 i\,;\; s_2 = \alpha_2 + \beta_2 i\,;$$
$$s_3 = \alpha_1 - \beta_1 i\,;\; s_4 = \alpha_2 - \beta_2 i\,. \qquad (2)$$

Here, i is an imaginary unit.

The components of the stresses in the rock mass in a Cartesian coordinate system can be seen in (Muskhelishvili, 1953; Savin, 1961; Lekhnitskii, 1963). In a polar coordinate system, these components are obtained in (Minchev, 1980). There are no radial or tangential stresses along the opening contour. For a circular opening, the normal tangential stresses have the form:

$$\sigma_\theta = \sigma_\theta^o + \sigma_\theta^{oo}\,, \qquad (3),$$

where:

$$\sigma_\theta^o = \sigma_x^o \sin^2\theta + \sigma_z^o \cos^2\theta - \tau_{xz}^o \sin 2\theta\,;$$
$$\sigma_\theta^{oo} = 2\,\mathrm{Re}\left[d_1^2 \Phi_1'(z_1) + d_2^2 \Phi_2'(z_2)\right];$$
$$d_1 = \cos\theta + s_1 \sin\theta\,;\; d_2 = \cos\theta + s_2 \sin\theta\,.$$

The variables $z_k = x + s_k y$ for $k = 1,2$ are complex generalised because s_k is a complex number and x and y are Cartesian coordinates of a point. In expression (3), "Re" denotes the real part of the complex expression.

At $\theta = 0, \pi$, the expressions for the stresses in an undisturbed array and the stresses after excavation of the opening from (3) are:

$$\sigma_\theta^o = -Q\,;\sigma_\theta^{oo} = 2\,\mathrm{Re}\left[s_1^2 \Phi_1'(z_1) + s_2^2 \Phi_2'(z_2)\right] \quad (4).$$

At $\theta = \pi/2, 3\pi/2$, the two stresses from (3) have the form:

$$\sigma_\theta^o = -\lambda_x Q\,;\sigma_\theta^{oo} = 2\,\mathrm{Re}\left[\Phi_1'(z_1) + \Phi_2'(z_2)\right] \qquad (5).$$

The derivatives of the functions from (4) and (5) have the form (Minchev, 1968):

$$\Phi_1'(z_1) = \frac{Q s_5 g_3}{g_1}\,;\; \Phi_2'(z_2) = \frac{Q s_5 g_4}{g_2} \qquad (6),$$

where:

$$s_5 = (s_1 - s_2)^{-1}\,;\; g_3 = (i + s_2\lambda)\,;\; g_4 = -(i + s_1\lambda)\,;$$
$$\theta = 0, \pi\,; \qquad g_1 = -(1 - s_1 i) + (1 + s_1 i)\,;$$
$$g_2 = -(1 - s_2 i) + (1 + s_2 i)\,;$$
$$\theta = \pi/2, 3\pi/2\,; \qquad g_1 = (1 - s_1 i) + (1 + s_1 i)\,;$$
$$g_2 = (1 - s_2 i) + (1 + s_2 i)\,.$$

Substituting (6) into (4) and (3) and revealing the real part of this complex expression yields the expression for the normal tangential stresses at point A in algebraic form:

$$\sigma_{\theta,A} = -Q\left[\lambda_x\left(1-\frac{-\beta_3\sigma_{\theta,5}+\alpha_3\sigma_{\theta,6}}{\sigma_{\theta,7}}\right)+\frac{\sigma_{\theta,5}}{\sigma_{\theta,7}}\right] \quad (7),$$

where:

$$\beta_3 = \beta_1 + \beta_2;\ \alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2;\ \sigma_{\theta,5} = \left(\alpha_1\alpha_2 - \beta_1\beta_2\right);$$
$$\sigma_{\theta,6} = \left(\alpha_1\beta_2 + \alpha_2\beta_1\right);\ \sigma_{\theta,7} = \sigma_{\theta,5}^2 + \sigma_{\theta,6}^2.$$

The expressions from (6) are substituted into (5) and (3) and the following expression is obtained for the normal tangential stresses at point B:

$$\sigma_{\theta,B} = -Q\lambda_1 - Q\left[\beta_3 + \lambda_x\left(1-\sigma_{\theta.5}\right)\right] \quad (8),$$

where:

$$\lambda_1 = 1 + \lambda_x.$$

3.Numerical example

A circular opening is driven to a depth of $H = 200m$ (Fig.1). The rock mass has a plane of isotropy inclined at an angle $\varphi = 70°$. For it, Young's modulus and Poisson's ratio are: $E_1 = 14.5.10^3 N/m^2$, $\mu_1 = 0.105$. In a direction perpendicular to this plane, the parameters are: $E_2 = 41.5.10^3 N/m^2$, $\mu_2 = 0.3$. The shear modulus in the same direction is $G_2 = 8.24.10^3 N/m^2$. The volumetric weight of the rock mass is $\gamma = 0.025MN/m^3$. The vertical stress in the undisturbed rock mass is $\sigma_z^o = 5MPa$.

Using the characteristics of the rock mass, the deformation coefficients were determined first, and then the coefficients from equation (1). The values of the latter are given in the following table (Vucheva et al., 2020):

Table 1. *Coefficients in characteristic equation*

A_0	A_1 3	0	A_3
2.1718	-0.9512	0.3631	-0.8810

An iterative method was applied to solve equation (1) and the following roots were obtained:
$s_1 = -0.6143 + i0.9979$, $s_2 = 1.0548 + i0.73$,
$s_3 = -0.6143 - i0.9979$, $s_4 = 1.0548 - i0.73$.
The parameters in expressions (2) are: $\alpha_1 = -0.6143$, $\beta_1 = 0.9979$, $\alpha_2 = 1.0548$, $\beta_2 = 0.73$. They are involved in the expressions for the stresses at points A and B .

By means of the deformation coefficients for the environment, the coefficient was calculated $\lambda_x = 0.4196$. Then, the normal tangential stresses are determined from equations (7) and (8). They are referred to the vertical stress in an undisturbed array σ_z^o. The obtained results for both points are placed in Table 2.

Table 2. *Normal tangential stresses at two points*

$\sigma_\theta^A / \sigma_z^o$	$\sigma_\theta^B / \sigma_z^o$
0.68	-4.14

It can be seen in the table that the values of the stresses along the horizontal axis are greater in absolute value compared to the same along the vertical axis for the given array. This ratio is 6.09.

4. Major conclusions

The article describes an algorithm for determining the stresses at points of a rock mass around a circular horizontal opening. The rock mass has an inclined plane of isotropy.

The analytical expressions for the stresses at points of the opening contour are obtained. The result is implemented for a real rock mass.

Conclusion

The article considers a task from the mechanics of underground facilities. The boundary conditions of the problem are constant. The complex potential theory is used to determine the stresses.

The presented solution is an addition to the existing analytical methods by which the stresses along the contour of a circular hole are determined. This solution can be extended to other types of opening.

References

Hefny, A. M. 1999. Analytical solution for stresses and displacements around tunnels driven in cross anisotropic rock. - *International Journal of Numerical and Analytical method in Geomechanic*, 23/2, 161-177.

Ivanova, M., V. Trifonova-Genova. 2018. Zashtita na hora, prokopavashti eliptichna izrabotka v transverzalno izotropen masiv. - *Dokladi ot godishna universitetska nauchna konferentsya, NVU “V. Levski”,* 25-26 October, 656-660 (in Bulgarian with English abstract).

Lekhnintski, S. G. 1963. *Theory of elasticity of an anisotropic body.* - San Francisco: Holden-Day.

Lu, A. Z., I. Q. Zharg. 2007. *Complex function method on mechanical analysis of underground tunnel*. - Beijing: Science Press.

Minchev, I. T. 1968. Razpredelenie na naprezheniyata i deformatsiite v naplastena sreda v okolnostta na krivolineen trapetsoobrazen otvor, *Trudove na NIS pri VMGI*, 169-181. (in Bulgarian)

Minchev, I. T. 1980. Mehanika na neprekasnatite sredi, I. D., “Tehnika”, 291s. (in Bulgarian)

Muskhelishvili, N. I. 1953. *Some basic problems of the mathematical Theory of Elasticity*. - Gromingen: Nordhoft, 706 p.

Obert L., W. I. Duwall 1967. Rock mechanics and design of structures in rock. New Yourk:Wiley.

Savin G. N., 1961. Stress concentration around holes. London: Pergamon.

Trifonova-Genova, V. 2018. Funktsii na naprezheniyata okolo eliptichna izrabotka, prokarana v transverzalno izotropen masiv. – Rezyumeta *XVIII – Yubilejna mejdunarodna nauchna konferensiya “Stroitelstvo i arhitektura” VSU’2018,* 18-20 Octomvri, chast 2, 65 (in Bulgarian with English abstract.)

Trifonova-Genova, V. 2019. Napregnato i deformirano sastoyanie v transverzalno izotropen masiv 1. – *Dokladi ot godichna universitetska nauchna konferentsiya*, NVU “V. Levski”, 27-28 Yuni, 403-411 (in Bulgarian with English abstract).

Vucheva, R., M. Ivanova. 2020. On determining the function for stress in a transversally isotropic rock mass with elliptic opening. - *Journal of Mining and Geological Sciences*, 63, Part II: Mining Technology and Mineral Processing, 122-124.

CLASSIFICATION OF BASIC METHODS FOR DATA ANALYSIS IN INDUSTRY

Nikolina Ivanova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: nikolina.ivanova@mgu.bg

ABSTRACT. In today's technological world, data is being generated in vast quantities by machines, people, and 'things' – everything we do in the digital world is turning into big data sets. Their sheer volume, variety and velocity categorises them as Big Data. Coming from various sources, they often come in different sizes and formats, necessitating the use of new methods and technologies to use and turn them into useful information.
Effectively used data leads to a better understanding of the past performance of business and helps to make informed decisions about its future activities. Different industries are implementing new technologies and advanced data analytics models based on IoT and ML to improve and optimise their processes and predict future consequences or risks. Below are presented some interesting uses of data analytics in industry.
This paper examines a data analysis model that sets out the steps that are followed in the process of preparing, cleaning, and analysing data sets. In order to determine what analysis can be performed on the data, it is extremely important for data analysts to identify the characteristics of the given data and the types of the underlying variables. For this reason, a classification of the main types of variables is presented. Also, the types of basic data analytics are classified, with an emphasis on big data analytics approaches.

Key words: big data, data analysis, data analysis lifecycle.

КЛАСИФИКАЦИЯ НА ОСНОВНИТЕ МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗИ НА ДАННИ В ИНДУСТРИЯТА

Николина Иванова

[1]Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В днешния технологичен свят, данни биват генерирани в огромни количества от машини, хора и „неща“ – всичко, което правим в дигиталния свят, се превръща в големи набори от данни. Техният огромен обем, разнообразие и скорост ги категоризира като големи данни. Идващи от разнообразни източници, те често биват в различни размери и формати, което налага използването на нови методи и технологии за използването и превръщането им в полезна информация.
Ефективното използване на данните води до по-добро разбиране на досегашното представяне на бизнеса и спомага за вземането на информирани решения за бъдещите му дейности. Различните отрасли на индустрията внедряват нови технологии и усъвършенствани модели за анализи на данни, базирани на IoT и ML, за да подобрят и оптимизират своите процеси, както и да предвидят бъдещи последствия или рискове. По-долу биват представени някои интересни употреби на анализите на данни в индустрията.
В статията се разглежда модел за анализ на данни, задаващ стъпките, които се следват в процеса на подготвяне, изчистване и анализиране на набори от данни. За да могат да определят какви анализи може да се извършват върху данните, за специалистите по извършване на анализи на данни е изключително важно да идентифицират характеристиките на данните, които им се предоставят, както и от какъв тип са основните променливи. По тази причина е представена класификация на основните типове променливи. Също така са класифицирани основните видове анализи на данни, с акцент върху подходите за анализи на големи данни.

Ключови думи: големи данни, анализи на данни, жизнен цикъл на анализите на данни.

Introduction

One of the significant consequences of the digital world is the creation of vast volumes of raw data. Data generated from a variety of sources, including sensors, logs, and social media, can be used both on its own and as a supplement to the existing transactional data that many organisations already have.

Companies can analyse customer preferences and promising trends by using data analytics. That can improve their product and services, reduce costs, and lead to new, more successful ways of doing business.

According to research by the International Data Corporation (IDC, 2021), global spending on big data and business analytics (BDA) solutions in 2021 reached $215.7 billion, which is 10.1% more than in 2020. They also present a global compound annual growth rate (CAGR) forecast for BDA spending of 12.8% in the period 2021-2025.

As the amount of data stored increases, especially in technologically advanced companies, the issue of managing raw "big data" becomes much more important.

Big data analytics is a process that discovers patterns, trends, and relationships in large volumes of data that cannot be discovered with traditional data processing techniques and tools. Typically, big data analysis occurs in real time, at the time the data is generated.

Quantity and quality data analysis

When performing an analysis, it is crucial to define the key characteristics to be observed or measured. These characteristics are called variables. Recording the values, patterns, and events for a set of variables is called observation. The collection of observations constitutes the data set for analysis. When looking for meaningful patterns in data, it is often investigated whether correlational relationships exist between variables. There are two main groups of studies being conducted, according to the type of variables in the data set (Fig. 1).

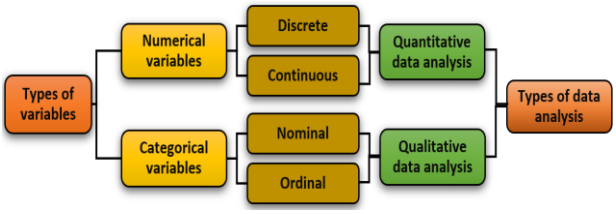


Fig. 1. Classification of types of variables and analyses

Quantitative data analysis

Quantitative data analysis involves working with numerical variables and focuses on numbers and mathematical calculations. Quantitative data is defined as statistical data and is mostly structured. Techniques for quantitative analysis of all data include working with algorithms, statistical observations, mathematical analysis tools, and software for manipulating data and uncovering insights. Quantitative analysis is often used to quantitatively explain certain occurrences or to make predictions. Numerical variables are divided into two groups:

- continuous – can be measured in a range of values, e.g. measuring temperature, body weight, etc.
- discrete – they are continuous but have a specific value within a finite set of values, e.g. number of visits, number of sales, etc.

Qualitative analysis

Qualitative data describes information that is usually not numerical. Qualitative data is non-statistical and usually unstructured or semi-structured. This data is not measured using numbers. Instead, it is categorised based on properties, attributes, tags, and other identifiers. Qualitative data can be used to ask the question "Why?". The qualitative analyses are used for theorising, interpretations, hypothesis development, and initial understandings. Qualitative variables are divided into the following groups:

- ordinal – consist of two or more categories in which order matters, e.g. ranking in a competition, level of education, etc.
- nominal - consist of two or more categories whose value is assigned based on the identity of the object, e.g. gender, car brand, etc.

Data analysis lifecycle

The data analysis lifecycle represents a process in which raw data is analysed to identify patterns, discover correlations and hidden relationships that cannot be found with traditional data processing techniques and tools. Any different type of data can be subjected to analysis to provide useful insights. They can help to optimise processes and increase overall business or system performance.

The steps followed in performing data analysis are called a data analysis lifecycle. They are shown in Fig. 2, as well as discussed in detail after it:

Fig. 2. Data analysis lifecycle steps

Defining the goal

First of all, it should be specified why the particular data analysis is being conducted, what the purpose of the study is, and what data will be used. Companies specify their requirements, and it is up to the data analytics specialists to decide which type of analysis is most appropriate in the particular case.

Data collection

Data collection is the extraction of the data that will be needed for the analysis. With Big Data, data almost always comes from more than one source and in different formats. Nevertheless, they can be structured, making them easy to understand and process. Unstructured data, on the other hand, requires significant processing to make sense of and process it. Significant value can be derived from combining structured and unstructured data for analysis. Another important aspect is the timing – they are often transmitted in near real time.

Data cleaning

The data making up the dataset for the analysis can be very heterogeneous (coming from files, the Internet, sensors, databases). When combining them, it may turn out that their formats and types are incompatible with each other, which requires a good cleaning and organisation before proceeding with analysis. Cleaning may include:

- removal/standardisation of missing or inappropriate data;
- removal of duplicate records;
- data aggregation;
- sorting and arrangement of data;
- application of validation rules;
- conversion of data types – e.g. numeric data represented as text must be converted to the appropriate numeric type;
- unification of data formats from different sources – time and date format is essential when processing time series.

Data analysis

Once the data has been thoroughly cleaned and processed, it can be analysed. The first thing in this step is to select the tools that will be used (Python, R, Excel, MATLAB, Rapid Miner, etc.). The choice of tools depends on the type of analysis to be performed. Some of the tools are specialised in processing and visualising large volumes of data, while others use complex mathematical modelling and simulations to predict future events and outcomes.

Data visualisation

Visualisation techniques range from simple line graphs or histograms, to complex charts such as related graphs. Graphical presentation of the results helps companies to better understand the results, to more easily extract valuable insights from the data, and to more clearly display relationships and trends within them. Graphics can even be interactive or animated for even easier perception.

Types of data analysis

There are four main categories of data analysis (Fig. 3) that are used in all branches of industry. They are connected to each other, with each subsequent category upgrades on the previous one. The level of complexity and required resources increases as deeper analyses are conducted, but this leads to better and more accurate business insights.

Fig. 3. Main types of data analysis

Descriptive analytics

The first step in data analysis is descriptive analysis. It is the collection, organisation, analysis and summarisation of large data sets that are historical or observational. These sets may come from different sources, be heterogeneous, or presented in different formats. Through sets of procedures, key features are identified within them, with the idea that the data may reveal interesting patterns. Descriptive analysis allows for the discovery of hidden relationships in data, issues with data storage, and more questions that have yet to be answered. Its purpose is to eliminate complexity in understanding data and make it more representative. This is most often achieved through numerical or graphical summarisation, using graphics, tables or charts, which allows the business to more easily extract valuable information from them. The main questions that descriptive statistics answers are “What happened?” and “How much?”. Some of the approaches used to answer these questions are:

- How widely dispersed is the data?
- Are there values that repeat more often than others?
- What are the largest and smallest values?
- Are there any particular trends in the data?

However, the answers to these questions will simply alert that something has happened or is wrong, but do not provide an explanation as to why it happened. Therefore, the analysis should be more in-depth in order to find the cause of the phenomenon.

Diagnostic analytics

Diagnostic analysis builds on descriptive analysis. It works with the results obtained from descriptive analysis to answer the question "Why did the event happen?". It enables companies to gain insight into the causes of patterns that have been observed in the data. Its purpose is to explain why anomalies and deviations occur by formulating various hypotheses and testing them.

The critical aspect of performing a diagnostic analysis is to collect detailed data from the company. Sometimes it is also necessary to use additional sources to help draw a complete picture, after which the conclusions reached are tested against the original database.

Performing diagnostic analysis can include multiple approaches and techniques, such as regression analysis, clustering analysis, time-series analysis, probability theory, data drilling and data mining.

Predictive analytics

Predictive analytics is used to identify future trends in data based on historical data. It uses the findings of descriptive and diagnostic analysis to identify patterns and predict "what is likely to happen” with a certain degree of confidence. It belongs to the advanced types of analysis. The accuracy and correctness of the predictive analytics result is highly dependent on the quality and completeness of the data.

To perform a predictive analysis, methods and algorithms such as regression analysis, machine learning, and neural networks are used. Software products like SAS Enterprise Miner that have these methods built into them make it much easier to understand and use. (Watson and Hugh, 2014).

Prescriptive analytics

Prescriptive analytics builds on predictive analytics by not only predicting what will happen in the future, but making suggestions for optimal solutions for future phenomena in the data.

It works with the results achieved so far from previous analyses, prescribing what action is best taken to mitigate or even avoid future risks, or for the organisation to make the most of a promising trend. Prescriptive analysis recommends actions or decisions based on a complex set of objectives, constraints, and choices. Prescriptive analytics implementations may require a feedback system to track the outcome of actions taken.

Prescriptive analytics uses advanced tools and technologies – ML, AI and sophisticated algorithms to achieve the best results, however, making it complex to implement and manage. AI systems can be designed to continuously learn new data from the organisation and use that information to help the business make the best decisions.

Approaches for Big Data Analytics

According to a statistical study by Taylor (2022), an average of 328.77 million terabytes of data will be generated daily in 2023.

Most of this data could be analysed to extract additional value from it. They represent a huge volume of various types of data, including those that require real-time processing. Approaches to analysing big data need to be re-examined, as the data is often too complex, multidimensional, unstructured or incomplete to be handled by traditional approaches. This is where advanced analytics techniques applied to big data sets come into play. As much as these methods have evolved, however, the larger the volume of data, the more difficult it is to organise and manage it. Which methods will be used depends on the type of analysis to be done, the specific problem to be solved, and the type of data to be analysed (Ma et Al., 2014)

Data mining

Clifton (2023) provides a definition of Data mining, presenting the method as the process of discovering interesting and useful patterns and relationships in volumes of large data. Tools from the fields of statistics and artificial intelligence, such as neural networks or machine learning, are used. Combining them with database management and analysing large sets of digital data enables the analysis and the discovery of patterns in the data.

Machine Learning

Bangert (2021) separates the machine learning into three main parts. First, it consists of many prototypical models that could be applied to the data at hand. These are known by names such as neural networks, decision trees, or k-means clustering. Second, each of these comes with several prescriptions, so called algorithms that tell us how to calculate the model coefficients from a data set. This calculation is also called training the model. After training, the initial prototype has been turned into a model for the specific data set that we provided. Third, the finished model must be deployed so that it can be used. It is generally far easier and quicker to evaluate a model than to train a model. In fact, this is one of the primary features of machine learning that make it so attractive: Once trained, the model can be used in real-time. However, it needs to be embedded in the right infrastructure to unfold its potential.

There are two main types of machine learning - supervised learning, where the algorithm is trained using already classified and marked data, and unsupervised learning, which tries to find the classification indicators and mark them by itself.

Classification

Classification is essentially supervised machine learning. In order to perform a classification analysis, it is necessary to predetermine the classification groups (classes) which will serve as labels to mark the data. The attributes of objects that define the essential characteristics for classification are called predictors. The purpose of this type of analysis is to create a generalised model of the data, whereby the change of the dependent attributes (their belonging to a certain class) is determined, which is related to the behavior of the predictor attributes (Ivanov, 2016).

Association

Association is unsupervised machine learning. This algorithm measures the strength of co-occurrence of variables in large databases. Its goal is to find hidden patterns and correlations that can be turned into easy-to-understand and recognisable rules (Kotu and Deshpande, 2019).

Cluster analysis

Cluster analysis is an unsupervised machine learning-based algorithm that operates on unlabelled data. It divides large databases into smaller groups based on their similar characteristics. These groups are called clusters. Before applying the analysis, it is not known how many clusters exist in the data. It is usually used when there are no assumptions about likely relationships in the data. It presents information about where associations and patterns exist in the data, but not what they might be and what they mean.

Regression Analysis

Regression analysis is a statistical technique of measuring the relationship between variables to gain a deeper understanding of particular trends or patterns. It is done by choosing one dependent variable and specifying others (independent variables) on which it should depend. It measures the extent to which the change in the value of the dependent variable depends on the change in the values of the independent variables. The purpose of this type of analysis is to filter out only the significant variables and exclude those that have no particular value.

Cases of BDA in Industry

The mining industry is characterised by dynamics of the processes and a variety of objects. Its impact on the environment is also significant (Kolev et al., 2019). Making informed and efficient decisions in such a situation requires high quality data. Anastasova and Yanev (2021) describe modern approaches to data storage and processing, as well as technologies to achieve the data quality required for specific purposes in the mining industry.

Arsova and Hristov (2021) propose an approach using Deep neural networks for the study of a geological indicator, comparing the results obtained with those achieved with Shallow Neural Networks and demonstrating how the number of hidden layers and the number of neurons in them affect the quality of data analysis from the exploration of ores.

The question of choosing software tools for data processing is also important. Drankov (2020) proposed a resource-constrained approach based on Python and XML configuration.

Fakete (2015) highlighted the critical factors of successfully utilising big data, IoT, predictive maintenance technologies to enhance production, decrease delay time, and boost business, in general, while he considers the current challenges of the industry with its low profitability and high expenditures. He has constructed a generic model that mining companies can use to incorporate these methods into their business.

Tyuleneva (2020) considers the benefits of implementing digital technologies in the mining industry. They are related to the optimisation of costs for materials, equipment, real-time monitoring of the implementation of production plans, prediction of future production risks and failures.

Tylečková and Noskievičová (2020) describe the challenges of providing and monitoring the data quality. Low-quality data does not lead to accurate information, resulting in unexpected outcomes that may damage trust in the information system. In contrast, the acquisition, storage, and utilisation of Big Data is expected to be a critical factor in staying competitive, promoting business growth, and fostering innovation. As a result, companies that regularly incorporate Big Data into their decision-making and strategic planning will have an advantage over their competitors.

Hyder et al. (2019) conducted and analysed a number of interviews with representatives of the mining industry regarding the possible uses, benefits, and challenges of implementing AI and ML in the mining industry. They also describe what they believe are the necessary steps for the implementation of such technologies in the sector, as well as their possible future uses.

Bag et al. (2022) build and apply a theoretical model that uses partial least squares structured equating modeling. They explore the direct effect of big data predictive analytics on supply chain and resource resilience in the South African mining industry under extreme weather events. For this purpose, they conducted interviews with 229 persons involved in the mining industry.

Yin et al. (2021) use local indicators of spatial association (LISA), principal component analysis (PCA), and deep autoencoder network (DAN) procedures to build a data-driven geochemical model that helps discover knowledge and associations in geochemical and mineral exploration in the Daqiao district, Gansu Province, China.

Conclusion

The field of information technology is developing at an incredible pace. IoT and ML are helping to automate many processes in industry that were previously done by humans, sometimes with a high risk of accidents. Data analytics systems and algorithms are becoming increasingly sophisticated. With their help, organisations can not only analyse their behavior, but also improve their efficiency, reduce costs, predict future risks or optimise their work.

Many of the processes are monitored by IoT devices and sensors which sometimes record huge amounts of data in real time. Their processing and analysis is impossible with traditional techniques and tools for data manipulation. This is where BDAs, which are specifically designed to handle large volumes of heterogeneous data as well as real-time analytics, come to the rescue.

Successfully selected BDA leads to positive business results, but there are also examples of unsuccessful implementations of such systems. Due to the wide variety of BDA systems, methods used by them and software tools for their implementation, choosing a suitable BDA is a complex and responsible process.

References

Anastasova Y., Yanev N. 2021. Models and data quality in information systems applicable in the mining industry, *E3S Web Conf. 280* 08012 DOI: 10.1051/e3sconf/202128008012

Arsova-Borisova, K., Hristov V. 2021. Deep neural networks applications in the study of a geological indicator – *Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials (https://seprm.com)* Volume 2, November Issue, https://doi.org/10.58903/b15171913

Bag S., Rahman M., Srivastava G., Chan HL, Bryde D. 2022. The role of big data and predictive analytics in developing a resilient supply chain network in the South African mining industry against extreme weather events, International *Journal of Production Economics,* Volume 251, 108541, ISSN 0925-5273

Bangert P. 2021. Chapter 3 - Machine Learning, *Machine Learning and Data Science in the Oil and Gas Industry, Gulf Professional Publishing*. Pages 37-67. ISBN 9780128207147

Clifton, C. 2023. Data mining. *Encyclopedia Britannica.* Available on: https://www.britannica.com/technology/data-mining. Accessed 10 April 2023

Drankov, I., Gorbounov Y. 2020. Advanced Formatting of Delimited Big Data with Python, *16-th Annual Conference Computer Science and Education in Computer Science (CSECS)*. ISSN 1313-8624. At: Metropolitan College, Boston University, USA

Fekete J. 2015. “Big data in mining operations”. Master’s Thesis Copenhagen Business School

Hyder, Z., Siau, K., & Nah, F. 2019. Artificial Intelligence, Machine Learning, and Autonomous Technologies in Mining Industry. *Journal of Database Management (JDM),* 30(2), 67-79. http://doi.org/10.4018/JDM.2019040104

IDC Tech. Rep. 2021. Worldwide Big Data and Analytics Spending Guide. Available on: https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48165721

Ivanov M. 2016. Syvremenni metodi na inteligenten analiz na danni. *Научен електронен архив на НБУ* (in Bulgarian)

Kolev, P. Savov, M. Vatzkitcheva, K. Velichkova, D. Dimitrov, B. Vladkova, Toncheva. 2019. The impact of outdoor mining activities on atmospheric air quality in nearby settlements, *JOURNAL of Mining and Geological Sciences – Sofia: Univ. of mining of geology "St. Ivan Rilski"*, Vol. 62, part 2, p. 45-49, ISSN 2682-9525; ISSN 2683-0027.

Kotu V., Deshpande B. 2019. Chapter 6 - Association Analysis. *Data Science (Second Edition) - Concepts and Practice*, Pages 199-220. ISBN 9780128147610.

Taylor P. 2022. Amount of data created, consumed, and stored 2010-2020, with forecasts to 2025, https://www.statista.com/ statistics/ 871513/worldwide-data-created/

Tylečková E., Noskievičová D. 2020. The role of big data in industry 4.0 in mining industry in Serbia. *CzOTO, Volume 2*, Issue 1, pp.166-173

Tyuleneva T. 2020. Problems and Prospects of Regional Mining Industry Digitalisation. *E3S Web of Conferences 174, Vth International Innovative Mining Symposium.* https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017404019

Watson, Hugh J. 2014. Tutorial: Big Data Analytics: Concepts, Technologies, and Applications. *Communications of the Association for Information Systems: Vol. 34*, Article 65.

Yin B., Zuo R., Xiong Y., Li Y., Yang W. 2021. Knowledge discovery of geochemical patterns from a data-driven perspective. *Journal of Geochemical Exploration, Volume 231*, 106872, ISSN 0375-6742.

MINIMAL LOSS OF ELECTRICAL ENERGY IN THE OPERATION PROCESS OF A POWER TRANSFORMER

Ilian Iliev, Desislava Delcheva, Rosen Jordanov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ilian.iliev@mgu.bg; desi.delcheva@ mgu.bg; rosen.yordanov@ mgu.bg

ABSTRACT. Possibilities for optimising the operating modes of a power transformer are presented. An economically expedient mode of operation of the power transformer is determined. This is such a mode of parallel operation of a power transformer, where the number of included transformers is determined by the condition of the smallest power loss under a variable load. Minimal loss of electrical energy in the process of operation of the power transformer is considered. The main indicator characterising the efficient operation of the power transformer is the efficiency factor (efficiency). It plays an important role in regulating an economically expedient mode of operation.

Key words: minimal loss, electrical energy, power transformer.

МИНИМАЛНИ ЗАГУБИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В ПРОЦЕСА НА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА СИЛОВ ТРАНСФОРМАТОР

Илиян Илиев, Десислава Делчева, Росен Йорданов
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията са представени възможности за оптимизиране режимите на работа на силов трансформатор. Определен е икономически целесъобразен режим на работа на силовия трансформатор. Това е такъв режим на паралелна работа, при който броят на включените трансформатори се определя от условието за най-малки загуби на мощност при променлив товар. Разгледани са минимални загуби на електрическа енергия в процеса на експлоатация на силовия трансформатор. Основен показател, характеризиращ ефективната работа на силовия трансформатор, е коефициентът на полезно действие (к.п.д). Той играе важна роля при регулиране на икономически целесъобразен режим на работа.

Ключови думи: минимални загуби, електрическа енергия, силов трансформатор.

Въведение

Минимум на приведени и годишни разходи, този критерий е свързан най-вече с броя на силовите трансформатори. Основен начин за постигане на минимални загуби на електрическа енергия (ЕЕ) е икономически целесъобразният режим на работа (ИЦРР) на силов трансформатор (СТ). Това е такъв режим на паралелна работа на СТ, при който броят на включените трансформатори се определя от условието за най-малки загуби на мощност, при променлив товар.

Изложение

Активните загуби на мощност при силов трансформатор се определят от израза:

$$\Delta P' = \Delta P'_0 + \beta^2 \Delta'_k \quad (1)$$

където:

- $\Delta P'_0 = \Delta P_0 + k_e Q_0$ и $\Delta P'_k = \Delta P_k + k_e Q_k$ са приведени активни загуби на празен ход и загуби на късо съединение в kW;
- $\beta = S/S_{HT}$
- k_e – икономически еквивалент на реактивната мощност, който означава намаляване на загубите на активна мощност във всички звена на ЕСС (от захранващия източник до консуматора), вследствие на намаляването на предаваната реактивна мощност.

Най-малката стойност k_e ≈ 0,02 [kW/kVAr] е за СТ, захранвани непосредствено от шините на генериращия източник; ΔQo=SHT.I0.10-2[kVAr] (1) – реактивна мощност при празен ход на СТ; ΔQk=SHT.Uk.102[kVAr](2) – рективната мощност от опита на късо съединение на СТ при номинален товар (Лаков, Георгиев, 2013); Io[%] – ток на празен ход; Uk[%] – напрежение на късо съединение.

При разделна и паралелна работа на силов трансформатор, може да се определят коефициентите $\beta_{ик}$, за най-икономичен режим на работа. В таблица 1 са показани изчислени $\beta_{ик}$ за определени СТ (Федеров,1957).

Обикновено, силов трансформатор в цехова подстанция и главна понижаваща подстанция работят разделно, което е от значение при избора на комутационно-защитна апаратура на страна ниско напрежение (Джустров и др., 2019), по комутационни способности и динамична

устойчивост. Паралелната работа се оказва целесъобразна в следните случаи:

1) при захранване на ударни, рязкопроменливи товари (прокатни станове, ел. пещи, заваръчни агрегати и др.) (Ермилов, 1976);

2) Когато, при разделна работа, АВР не обезпечава необходимото бързодействие на възстановяване на захранването при самопускане на АД (Джустров, 2019);

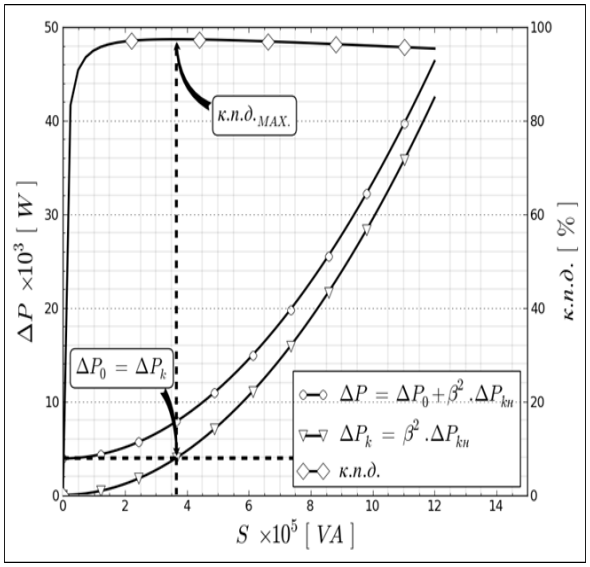
3) съществува вероятност за несинхронно включване, при действие на АВР (например, при съществуване на заводска ТЕЦ) .

Таблица 1. Стойности на $\beta_{ик}$ за СТ при различни k_e

Тип и мощност на СТ	Стойност на $\beta_{ик}$ при k_e		
	k_e=0,02	k_e=0,04	k_e=0,1
ТМ 100/6	0.53	0,57	0,65
ТМ 320/6	0,55	0,59	0,67
ТМ 560/6	0,56	0,6	0,69
ТМ 560/35	0,64	0,67	0,73
ТМ 750/6	0,62	0.66	0,73
ТМ 1 000/35	0,62	0,64	0,7
ТМ 1 800/35	0,62	0,64	0,7
ТМ 3 200/35	0,59	0,61	0,66
ТМ 5 600/35	0,59	0,62	0,66
ТМ 7 500/35	0.58	0.6	0,62
ТМ 10 000/35	0.57	0,58	0,59
ТМ 16 000/110	0.58	0.59	0.69
ТМ 25 000/110	0.59	0.60	0.73
ТМ 40 000/110	0.59	0.64	0.70

Икономически целесъобразен режим на работа при експлоатация на един силов трансформатор

Основен показател, характеризиращ ефективната работа на СТ, е коефициентът на полезно действие (к.п.д). Той играе важна роля при регулиране на ИЦРР. Понастоящем се произвеждат СТ с кпд η до 99%, т.е. общите загуби могат да се сведат до 1%.



Фиг. 1. КПД при работа на един силов трансформатор.

От фиг. 1 се вижда, че максимален к.п.д η_{max} ще имаме при такъв товар на СТ, когато ΔP_0 и ΔP_k се изравнят, т.е $\Delta P_0=\Delta P_k$. За по-голямата част произвеждани у нас СТ $\Delta P_0=(1/2\div1/3)\Delta P_k$. Ако се приеме, че $\Delta P_0 = 0.5\Delta P_k$, може да се запише:

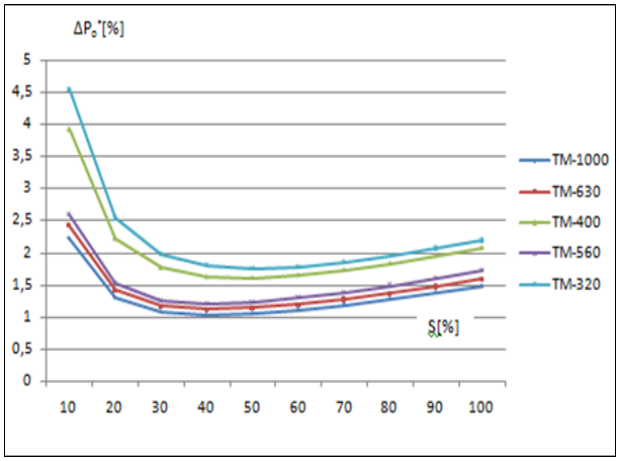
$$0{,}5\mathrm{Pk} = \beta^2\Delta P_k;\ \beta^2 = 0{,}5;\ \beta = \sqrt{0{,}5} = 0{,}71 \qquad (2)$$

При конструиране на СТ за работа с големи β, съотношението на ΔP_0 и ΔPk, така трябва да се подбере, че точката за максималния к.п.д. ηmax да бъде в областта на големите товари. Съвременните мощни СТ се проектират с ηmax за β = (60÷80)% от Рн. С подбора на параметрите на СТ, респективно чрез съотношението на ΔP_0 и ΔPk, може да се постигне ηmax да бъде и в границите на (30÷70)% от Рн, т.е. максимумът на к.п.д е в диапазона на минималното натоварване на СТ.

От фиг. 1 се вижда че при малки натоварвания (β<0,71) кривата на общите загуби ΔP се определя в по-голяма степен от ΔP_0. Следователно когато се работи в режим на понижено натоварване е необходимо да се използват СТ с възможно най-малки загуби на празен ход ΔP_0. Това се постига с подбор на листова електротехническа ламарина за магнитопровода с подходящи параметри - например с дебелина d< 0,35 [mm], малки специфични загуби γ< 0,45 [W/kg] при индукция – В = 10 000 [гауса].

На фиг. 2 е представено относителното изменение на ΔP*[%], определено от израза:

$$\Delta\mathrm{P}^* = (\Delta P/S).100 = (\Delta P_0 + \beta^2\Delta P_k)/S.100\ [\%] \qquad (3)$$



Фиг. 2. Относителни загуби на мощност ΔP % с реални данни.

Изхождайки от фиг. 1 и фиг. 2, би следвало да се предположи, че ΔP са минимални, тогава когато η → max, т.е в сила са следните изрази: η=S2/S1→ max; ΔP = S1 - S 2→ min , където S 1 и S 2 [kVA] са постъпващата и полезно използваната мощност.

Анализът на динамиката на кривите от фиг. 2 показва, че в режими на минимално натоварване (β<0,50) общите относителни загуби ΔP* се намаляват с нарастване на β, докато η, в съответствие с фиг. 1, непрекъснато се увеличават.

Следователно ΔP и η не бива да се възприемат, като две противоречиви явления, т.е. η → ηmax не означава, че ΔP → ΔPmin. Постигане на максимален к.п.д не бива да се свързва с реализиране на минимални загуби на мощност,

което означава, че изразите (2) и (3) са несъвместими, твърдение, противно на това, което беше прието по-горе. Затова, погледнато в общ аспект, въпросът за минимум на ΔP или търсене на оптимално натоварване на силов трансформатор, няма логическа обосновка. Такава трактовка на въпроса е логически издържана само за конкретни схемо-технически постановки, и при сравняване на различни схемни решения с различни натоварвания.

Заключение

Анализирани са литературни източници и са представени възможности за оптимизиране на режимите на работа на силов трансформатор. Дефиниран е т.н. икономически целесъобразен режим на работа на силов трансформатор и са разгледани различни варианти за неговото реализирането. С помощта на множество примери е показана технико-икономическата целесъобразност от прилагане на рационални подходи, при избора на броя, мощността и режимните параметри на силов трансформатор. Електроенергийната ефективност, при такава постановка, се изразява в съществено намаляване на загубите на мощност, при експлоатацията на електрическите подстанции и снижаване на разхода на ел. енергия в границите (2-7)%.

Литература

Алексенко, Г. В. 1966. *Паралельная работа трансформаторов и автотрансформаторов*, М. Энергия,

Джустров, К. 2019. Самопускане на група двигатели при кратковременно понижаване и отпадане на напрежението*, International Scientific Conference 15 – 16 November 2019, GABROVO,* pp 105-109*.*

Джустров, К., Т. Николов, И. Стоилов, 2019. Цифрови релейни защити на силови трансформатори в стоманодобива*, International Scientific Conference, 15 – 16 November 2019, GABROVO,* pp 110-115

Ермилов, А. А. 1976.*Основы электроснабжения ПП,* М. Энергия*.*

Лаков, Н., Л. Георгиев. 2013. Анализ на възможностите за оптимално компенсиране на реактивни товари в промишлени електроснабдителни мрежи*, XI научно-практическа сесия, София 25-26 април, ФНТС 2013,* ISSN 1314-4537

Раичев, Д. 1964. *Паралелна работа на трансформаторите*, ДИ Техника, 1964.

Федоров А. А., 1957, *Електроснабдяване на ПП*, „Наука и изкуство”, С..

CYBERSECURITY IN PAYMENTS

Pavel Kaminsky

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; 7Security Ltd, 1407 Sofia, E-mail: p.kaminsky@7sec.com

ABSTRACT. This article explores the different standards for cybersecurity in payments, the possible future threats for payment cybersecurity, and the most pressing actions that need to be taken to address these risks. Theories, academic concepts, and other data are used to analyse the topic, and recommendations are made for businesses and regulatory bodies to adopt adequate measures to protect payment systems from cybersecurity threats.

Key words: cybersecurity, payments.

КИБЕРСИГУРНОСТ ПРИ РАЗПЛАЩАНИЯ

Павел Камински

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София: 7Секюрити ООД, 1407 София

РЕЗЮМЕ. Тази статия проучва различните стандарти за киберсигурност при разплащания, възможните заплахи и най-неотложните действия, които трябва да бъдат предприети за справяне с тези рискове. Теории, академични концепции и други данни са използвани за анализ на темата и за да бъдат направени препоръки към бизнеса и регулаторните органи с цел предприемане на адекватни мерки за защита на платежните системи от заплахи за киберсигурността.

Ключови думи: киберсигурност, разплащания.

Introduction

In recent years, the digitisation of payments has led to a significant increase in the volume and value of online transactions, making cybersecurity in payments a critical concern for businesses and individuals alike. With the rise of payment fraud and data breaches, protecting payment systems has become an essential aspect of cybersecurity. Cyberattacks targeting payment systems can result in serious consequences, such as financial losses and reputational damage. In this context, ensuring the security of payment systems has become a priority for businesses and regulatory bodies.

The concept of cybersecurity in payments refers to the measures that need to be taken to secure the online payment process and protect sensitive information involved in payment transactions. These measures include protecting payment gateways, preventing unauthorised access to payment systems, and ensuring the privacy and confidentiality of payment data. Payment service providers must adopt adequate security standards and protocols to safeguard payment data and protect their customers from payment fraud.

This article will explore the different standards for cybersecurity in payments, the possible future threats for payment cybersecurity, and the most pressing actions that need to be taken to address these risks. Theories, academic concepts, and other data will be used to analyse the topic, and recommendations will be made for businesses and regulatory bodies to adopt adequate measures to protect payment systems from cybersecurity threats.

Theoretical Framework

The academic literature on cybersecurity and payments is vast and has many relevant theories and concepts. One important concept for the description and analysis of the field is “the CIA triad”, which stands for Confidentiality, Integrity, and Availability (Beckett & Wai, 2018). Confidentiality refers to the protection of sensitive data from unauthorised access or disclosure, while Integrity refers to the prevention of unauthorised modification or deletion of data. Availability denotes the guarantee of timely and reliable access to data by authorised users. The CIA triad provides a useful framework for evaluating the security of payment systems (idem).

Information security is a critical component of cybersecurity in payments, as it involves protecting the confidentiality, integrity, and availability of information. According to Kizza (2017), information security is the practice of protecting information from unauthorised access, use, disclosure, disruption, modification, or destruction. In the context of payments, information security measures are essential to prevent unauthorised access to payment systems and protect the sensitive data involved in payment transactions. As Tsohou et al. (2020) note, the confidentiality and integrity of payment data are particularly important as they can be used to perpetrate payment fraud and other cybercrimes.

Additionally, risk management is another important angle in understanding cybersecurity in payments. Risk management is the process of identifying, assessing, and mitigating risks that

may threaten the security of payment systems. Effective risk management in payments involves adopting a risk-based approach to cybersecurity, which focuses on identifying and prioritising the most significant risks and allocating resources accordingly to address them (Ovum, 2019). The risk management process is ongoing and should involve regular risk assessments to identify new and emerging risks.

Human behavior is an especially critical factor in understanding cybersecurity in payments. Human behavior refers to the actions and decisions made by individuals, which can have a significant impact on the security of payment systems. According to a study by Pham et al. (2020), payment fraud and data breaches often involve human error, such as weak passwords or susceptibility to phishing attacks. Understanding human behavior is, therefore, essential in developing effective cybersecurity measures, as it can inform the design of security systems that are user-friendly and can help reduce human error. Providing training and awareness-raising programs for individuals can help reduce the risk of human error and improve the security of payment systems (Stobierski, 2020).

Furthermore, the Technology Acceptance Model (TAM) provides a theoretical framework for understanding the factors that influence the adoption and use of payment systems. According to Davis et al. (1989), the TAM suggests that individuals' intention to use a technology is influenced by their perceived usefulness and ease of use of the technology. Perceived usefulness refers to the degree to which an individual believes that a technology will enhance their performance or productivity, while perceived ease of use refers to the degree to which an individual believes that the technology is easy to use. Understanding these factors is essential for the adoption of secure payment systems, as it can inform the design of systems that are user-friendly and meet the needs of customers (Ovum, 2019).

In addition to the above, the concept of compliance plays a significant role in understanding payment cybersecurity. Compliance refers to the adherence to industry standards, regulations, and best practices. Compliance with standards such as the Payment Card Industry Data Security Standard (PCI DSS) is essential for the security of payment systems. PCI DSS provides a comprehensive framework for protecting payment data, including requirements for secure payment card storage, strong access controls, and regular testing and monitoring (Beckett & Wai, 2020). Failure to comply with these standards can result in financial losses, reputational damage, and legal liabilities.

In conclusion, the theoretical framework of cybersecurity in payments encompasses various concepts and theories related to information security, risk management, human behavior, technology acceptance, and compliance. Understanding these concepts and theories is essential for the development of effective cybersecurity measures to protect payment systems from cyber threats.

Methodology

The research methodology employed in this study is a qualitative research approach to gain in-depth understanding of the different standards for cybersecurity in payments, the possible future threads for payment cybersecurity, and the most pressing actions that need to be taken to address these risks.

To achieve this aim, an extensive literature review of academic articles, research papers, and other relevant sources related to cybersecurity in payments was conducted. Reports from various financial organisations, regulatory bodies, and cybersecurity solution providers were also analysed. Additionally, case studies and news articles were examined to get a better understanding of the practical implications of cybersecurity in payments.

The literature review allowed the identification of key themes and concepts related to cybersecurity in payments. The information from the literature review was analysed and synthesised to develop a comprehensive understanding of the topic. The theoretical framework was applied to provide a conceptual framework for the analysis of the different standards for cybersecurity in payments and the future threats for payment cybersecurity.

Finally, the analysis was used to identify the most pressing actions that need to be taken to address these risks. The methodology used allowed for a deep understanding of the topic and provided recommendations for addressing the issues identified. By using a qualitative research approach, an in-depth analysis of the topic was provided, and recommendations were given that can help financial institutions and policymakers to better address the challenges of cybersecurity in payments.

Analysis

The adoption of digital payment systems has increased dramatically in recent years, driven by the convenience of contactless payments and the growth of e-commerce. However, this growth has also led to an increase in cybersecurity risks and fraud, which can have severe consequences for both consumers and businesses. This section examines the different standards for cybersecurity in payments, the possible future threats for payment cybersecurity, and the most pressing actions that need to be taken to address these risks.

Standards for Cybersecurity in Payments

There are several different standards for cybersecurity in payments, including the Payment Card Industry Data Security Standard (PCI DSS), which is a set of requirements designed to ensure that all companies that accept, process, store, or transmit credit card information maintain a secure environment. The PCI DSS provides a framework for protecting payment data and preventing cyber-attacks, and compliance is mandatory for any organisation that accepts credit card payments (PCI Security Standards Council, 2022).

In addition to these standards, there are also various technological solutions that can be used to improve payment system security, such as tokenisation, biometrics, and blockchain. Tokenisation involves replacing sensitive payment information with a unique identifier, or token, which is used in place of the actual payment data. This helps to reduce the risk of data breaches and fraud, as the token cannot be used to make payments without the original data (Li et al., 2019). Biometric authentication, such as fingerprint or facial recognition, can also be used to increase security by verifying the user's identity before processing a payment (Jirayucharoensak et al., 2018). Finally, blockchain technology can be used to create a secure and transparent payment system, as each transaction is recorded on a decentralised

ledger that cannot be altered or deleted (Pozdniakov & Amirkhanova, 2018).

Future Threats for Payment Cybersecurity

Despite the various standards and solutions for improving payment system security, there are still several potential future threats that must be addressed. One of the most significant future threats to payment cybersecurity is the increasing use of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) by cybercriminals. AI and ML can be used to automate and optimise cyber-attacks, making them more effective and difficult to detect. For example, AI can be used to generate fake transactions or to bypass security measures by using advanced algorithms to mimic human behavior (Gupta et al., 2020). AI and ML can also be used to identify vulnerabilities in payment systems and to launch targeted attacks.

Another significant future threat to payment cybersecurity is the increasing use of Internet of Things (IoT) devices. IoT devices are becoming more common in payment systems, such as contactless payment terminals and mobile payment applications. While these devices offer many benefits, they also present new security risks. IoT devices can be vulnerable to attacks due to weak passwords or unsecured connections, which can be exploited to gain unauthorised access to payment systems. This can result in the theft of sensitive information, such as credit card numbers, and can also enable attackers to launch other types of attacks, such as denial-of-service attacks (ibid).

A third future threat to payment cybersecurity is the increasing use of biometric authentication. Biometric authentication, such as fingerprint recognition or facial recognition, is becoming more common in payment systems as a means of improving security and convenience. However, biometric data can also be vulnerable to attacks, such as spoofing or deepfakes, which can be used to bypass biometric authentication measures (Jirayucharoensak et al., 2018). As the use of biometric authentication becomes more widespread, it is important to develop and implement effective security measures to protect biometric data and prevent unauthorized access.

Finally, the increasing use of blockchain technology in payment systems also presents new security challenges. Blockchain technology offers many benefits, such as decentralisation and transparency, but it is also vulnerable to attacks, such as 51% attacks or smart contract vulnerabilities (Pozdniakov & Amirkhanova, 2018). As blockchain technology becomes more common in payment systems, it is important to develop and implement effective security measures to protect against these types of attacks.

Actions to Address Payment Cybersecurity Risks

To address these risks and ensure the security of payment systems, there are several actions that must be taken. Firstly, it is important to ensure that all organisations which handle payment data are compliant with relevant cybersecurity standards, such as the PCI DSS. This includes implementing strong access controls, data encryption, and regular security testing and monitoring (PCI Security Standards Council, 2022). Secondly, it is important to invest in the development and adoption of new technologies, such as blockchain and biometrics, which can provide greater security and transparency in payment systems. Thirdly, there is a need to increase awareness and education about cybersecurity risks and best practices, particularly among consumers who may be vulnerable to fraud and scams. This can include providing clear and concise information about security measures, as well as training and support for employees to help them identify and respond to potential security threats.

Another important action that can be taken to address payment cybersecurity risks is to establish a coordinated response to cyber incidents. This includes developing an incident response plan that outlines the steps to be taken in the event of a security breach, as well as identifying and training a response team (Tsohou et al, 2020). It is also important to establish effective communication channels between all parties involved in payment processing, including banks, payment processors, and merchants, to ensure that any potential security threats are detected and addressed in a timely manner.

Governments and regulatory bodies can play a critical role in addressing payment cybersecurity risks by implementing and enforcing appropriate regulations and standards. This can include establishing minimum cybersecurity requirements for payment systems, as well as providing incentives for organisations to invest in new technologies and security measures. For example, the European Union's General Data Protection Regulation (GDPR) requires organisations to implement appropriate security measures to protect personal data, with fines for non-compliance (European Commission, 2022).

The growth of digital payment systems has brought about many benefits, but it has also led to an increase in cybersecurity risks and fraud. To address these risks and ensure the security of payment systems, it is important to establish and comply with relevant cybersecurity standards, invest in new technologies, increase awareness and education, establish coordinated incident response plans, and implement appropriate regulations and standards. By taking these actions, we can help to ensure that digital payments continue to be safe and convenient for everyone.

Conclusion

The importance of cybersecurity in payment systems cannot be overstated. The rapid pace of digitalisation and the increasing use of payment systems have made the need for effective cybersecurity measures all the more pressing. The analysis conducted in this paper has highlighted the various cybersecurity standards that are in place, the possible future threats, and the actions that need to be taken to address these risks.

It is also clear that there is no single solution to cybersecurity issues in payment systems, and that a multi-layered approach is required to tackle the problem effectively. This approach should include a combination of technical and non-technical solutions, such as strong encryption, access control, regular system updates, employee training, and regulatory compliance.

There is a need for greater collaboration between stakeholders, including payment service providers, financial institutions, regulators, and consumers. This collaboration can help to identify potential threats, share best practices, and ensure that all parties are working together to minimise risks.

Looking to the future, the increasing use of emerging technologies such as artificial intelligence and blockchain in payment systems presents new challenges and opportunities for cybersecurity. However, it is clear that the focus on

cybersecurity will remain a key priority for the payments industry.

The issue of cybersecurity in payment systems is a complex and multifaceted one that requires ongoing attention and effort. By implementing effective cybersecurity measures, collaborating across stakeholders, and keeping up to date with emerging technologies, the payments industry can continue to grow and thrive in a safe and secure manner.

References

Abdelsalam, M., I. Zualkernan, F. Aloul, J. Al-Muhtadi. 2020. The security of payment systems in the internet of things era: *An overview. IEEE Internet of Things Journal, 7(4),* 2534-2544.

Adib, F., F. Firoozi, M. Ghasemi. 2020. Cybersecurity risk management for payment systems: *A review. Journal of Payments Strategy & Systems, 14(2)*, 126-145.

Beckett, B., C. Wai. 2020. Implementing and Maintaining Payment Card Industry Data Security Standards (PCI DSS): *A Practical Guide. Journal of Payment Systems Law*, 12(5), 441-455.

Davis, F. D., R. P. Bagozzi, P. R. Warshaw. 1989. User acceptance of computer technology: *A comparison of two theoretical models. Management Science*, 35(8), 982-1003.

De Carvalho, E., R. Righi, A. Freitas. 2018. Payment card data security standards: *A systematic literature review. International Journal of Information Management*.

European Commission. 2022. General Data Protection Regulation (GDPR). https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_en

Gupta, R., S. Tyagi, S. Kumar. 2020. Internet of Things (IoT) security: Current status, challenges and prospective measures. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11(1),* 1-23. https://doi.org/10.1007/s12652-019-01532-2

Jirayucharoensak, S., L. Jirayus, L. C. Jain. 2018. Cybersecurity risk management in digital payment systems. *In Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion, Volume 1: Cryptocurrency, FinTech, InsurTech, and Regulation* (pp. 235-259). Springer.

Kizza, J. M. 2017. *Introduction to computer network security*. Springer International Publishing.

Li, X., Liao, X., Yang, J., & Li, W. 2019. Cloud computing-based payment system security: Risk assessment and protection. *International Journal of Information Management, 45,* 245-253.

Ovum. 2019. Cybersecurity in payments. Ovum Decision Matrix: Selecting a Cybersecurity Solution for Banking

PCI Security Standards Council. 2022. PCI Data Security Standards. Retrieved from https://www.pcisecuritystandards.org/pci-security-standards/.

PCI Security Standards Council. 2022. PCI DSS. https://www.pcisecuritystandards.org/pci-security-standards/pci-dss

Pham, T. Q., T. D. Bui, M. H. Tran, T. N. Duong. 2020. Payment fraud and data breaches: What do we know and what should we do*? Journal of Financial Crime, 27(3),* 662-676.

Pozdniakov, V., G. Amirkhanova, 2018. Cybersecurity in the digital economy: Challenges and solutions. *Journal of Governance and Regulation, 7(2)*, 7-14.

Stobierski, M. (2020). Cybersecurity in financial services: Understanding the human factor. *Journal of Financial Transformation, 51*, 9-19.

Tsohou, A., E. Konstantinou, M.Karyda, D. Gritzalis. 2020. Cybercrime in the financial sector: A survey of threats, risks and countermeasures. *Computers & Security, 92,* 101665.

Yoo, C., Lee, J., Kim, S. 2020. Factors influencing individual’s adoption of mobile payment systems. *Journal of Business Research, 110,* 425-434.

THE EFFECT OF QUANTUM COMPUTERS ON CARD PAYMENTS SECURITY

Pavel Kaminsky

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; 7Security Ltd, 1407 Sofia, E-mail: p.kaminsky@7sec.com

ABSTRACT. This study explores the potential impact of quantum computers on the security of card payments, providing an overview of the main technologies in use, including cryptographic protocols, quantum key distribution, and post-quantum cryptography. The methodology employed in this research involves a literature review and discourse analysis of academic works, as well as an analysis of current trends and future predictions. The article provides a comprehensive analysis of the potential impact of quantum computing on the security of card payments, including the possibility of brute-force attacks and the potential vulnerability of existing cryptographic algorithms. The findings suggest that post-quantum cryptography can provide a promising solution to address the challenges posed by quantum computers. The study concludes with recommendations for the future of card payments security, including the need for continued research and development in the field of post-quantum cryptography, as well as ongoing efforts to educate and inform stakeholders about the potential risks and benefits of these emerging technologies.

Key words: cybersecurity, payments, quantum computers

ЕФЕКТЪТ НА КВАНТОВИТЕ КОМПЮТРИ ВЪРХУ СИГУРНОСТТА НА КАРТОВИТЕ РАЗПЛАЩАНИЯ

Павел Камински

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София: 7Секюрити ООД, 1407 София

РЕЗЮМЕ. В това проучване се разглежда потенциалното въздействие на квантовите компютри върху сигурността на картовите разплащания, като се прави преглед на основните използвани технологии, включително криптографски протоколи, квантово разпределение на ключове и постквантова криптография. Методологията, използвана в изследването, включва преглед на литературата и дискусионен анализ на академични трудове, както и анализ на настоящите тенденции и бъдещи прогнози. В статията е направен цялостен анализ на потенциалното въздействие на квантовите изчисления върху сигурността на картовите разплащания, включително възможността за хакерски атаки и потенциалната уязвимост на съществуващите криптографски алгоритми. Констатациите сочат, че постквантовата криптография може да осигури надеждно решение за справяне с предизвикателствата, породени от напредъка на квантовите технологии. Статията завършва с препоръки за бъдещето на сигурността на картовите разплащания, включително необходимостта от продължаване на научните изследвания и разработки в областта на постквантовата криптография, както и от постоянни усилия за обучение и информиране на заинтересованите страни относно потенциалните рискове и ползи от тези нови технологии.

Ключови думи: киберсигурност, разплащания, квантови компютри

Introduction

In recent years, quantum computing has become a rapidly growing field with many potential applications, but it also poses significant challenges to traditional security measures, especially those used in card payments. Card payments are a critical part of the financial system, and the security of these transactions is of utmost importance to prevent fraud and financial losses. This article will explore the potential impact of quantum computing on the security of card payments but first, the main term used should be defined. Quantum computers are a new type of computer that use quantum mechanics to perform calculations, having the potential to solve certain problems much faster than classical computers. Card payments are transactions made using credit, debit, or prepaid cards, which are processed through a network of financial institutions. Payment security refers to the measures taken to protect these transactions from fraud and other malicious activities.

Quantum computers pose a risk to card payment security as they have the potential to break the encryption algorithms that are currently used to protect these transactions (Gheorghiu & Capraru, 2019). Encryption algorithms are used to convert sensitive information, such as credit card numbers, Card Verification Values/Codes (CVVs/CVCs), and personal identification numbers (PINs), into a form that is unreadable by anyone without the decryption key. These algorithms are based on mathematical problems that are believed to be difficult for classical computers to solve, but quantum computers may be able to solve these problems much more quickly. As a result, the security of card payments may be compromised if quantum computers become widely available (Kiktenko et al, 2020).

Theoretical Framework

To understand the potential impact of quantum computing on card payment security, it is necessary to understand some key concepts and theories in computer science and cryptography. One important concept is the idea of computational complexity, which refers to the difficulty of solving a particular computational problem. The complexity of a problem is usually measured in terms of the number of operations

required to solve it, and it is classified according to the fastest algorithm known to solve the problem on a classical computer (ibid). For example, a problem that can be solved in polynomial time is considered to be "efficient" in the sense that the number of operations required to solve it grows no faster than a polynomial function of the problem size. However, problems that require an exponential number of operations to solve are considered to be "intractable" on classical computers, meaning that they are computationally infeasible to solve for large problem sizes (idem).

Another important concept in cryptography is the idea of public-key encryption, which is the basis for many of the encryption algorithms used in card payments (Liao & Huang, 2019). Public-key encryption uses two keys: a public key that can be shared with anyone and a private key that is kept secret by the owner. Data encrypted with the public key can only be decrypted with the corresponding private key, which means that sensitive information can be safely transmitted over insecure channels. Public-key encryption relies on the difficulty of certain mathematical problems, such as factoring large composite numbers, to protect the privacy of the private key (idem). However, quantum computers have the potential to solve these problems much faster than classical computers, which means that public-key encryption may no longer be secure if quantum computers become widely available.

To understand the potential impact of quantum computing on card payment security, it is also necessary to consider the current state of the technology. While quantum computers have made significant progress in recent years, they are still in the experimental phase and are not yet widely available. However, many experts believe that quantum computers will become a reality within the next decade (Tittel & Zbinden, 2018), and it is important to start thinking about the potential impact of this technology on card payment security.

Methodology

To analyse the effect of quantum computers on card payment security, the paper will use a combination of literature review and discourse analysis. Reviewing the academic sentiment on the question will aid in understanding the current state of technology and the potential impact of quantum computing on card payment security. The discourse analysis of media coverage and public perceptions of quantum computing and card payment security is used to identify wider common narratives and concerns. This will help in understanding how the potential risks of quantum computing are being communicated to the public and how they are being addressed by industry stakeholders.

Analysis

The State of Quantum Computing

Before the impact of quantum computing on card payment security can be analysed, the current state of the technology should be understood. While quantum computers are still in the early stages of development, they are rapidly advancing. In 2019, Google claimed to have achieved quantum supremacy, meaning that they had built a quantum computer that could perform a calculation that was beyond the capabilities of classical computers. However, some experts have disputed this claim.

Quantum computers have made significant progress in recent years, they are still in the experimental phase and are not yet widely available. Most quantum computers are built using superconducting qubits, which are extremely sensitive to noise and require very low temperatures to operate (Tan & Kwek, 2020). This makes building a quantum computer a challenging engineering problem that requires careful control of the qubits and their surrounding environment.

Despite these challenges, several companies and research institutions have made significant progress in developing quantum computers. IBM, for example, has developed a 53-qubit quantum computer that is available through the cloud for research and development purposes. Google has also developed a 72-qubit quantum computer, although it is not yet available to the public. Other companies, such as Rigetti Computing and IonQ, are also developing quantum computers using different types of qubits.

Despite the potential threat posed by quantum computers, there are still some uncertainties regarding their development and practical implementation. Currently, quantum computers are large and expensive, and it is unclear when or if they will become widely available. However, researchers and businesses must prepare for the possibility that quantum computers will become more widespread in the future.

The Impact of Quantum Computing on Card Payment Security

The potential impact of quantum computing on card payment security is a topic of much debate among experts in the field. Some experts believe that quantum computing poses a serious threat to current encryption algorithms and that new encryption methods will need to be developed to secure card payments in the post-quantum era (Sikorski & Pearson, 2018). Others are more skeptical, arguing that the development of quantum-resistant encryption algorithms is possible and that the risk of quantum computing to card payment security is overstated (Rebentrost & Gupt, 2020).

One of the key challenges with quantum computing is that it has the potential to break the encryption algorithms that are currently used to protect card payments. Many of these algorithms are based on mathematical problems that are believed to be difficult for classical computers to solve, but quantum computers may be able to solve them much more quickly (Sikorski & Pearson, 2018). For example, the widely used RSA encryption algorithm is based on the difficulty of factoring large composite numbers. While classical computers are believed to require an exponential number of operations to factor large numbers, Shor's algorithm has shown that a quantum computer could factor a large number in polynomial time (Kiktenko et al, 2020). This means that RSA encryption would be vulnerable to attack by a quantum computer.

Other encryption algorithms that are used in card payments, such as the Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA) and the Advanced Encryption Standard (AES), may also be vulnerable to attacks by quantum computers (Rebentrost & Gupt, 2020). However, there are ongoing efforts to develop new encryption algorithms that are resistant to quantum computing. These new algorithms, known as post-quantum cryptography, are based on different mathematical problems that are believed to be difficult even for quantum computers to solve (Wan et al, 2021). Some of the proposed post-quantum algorithms include

lattice-based cryptography, code-based cryptography, and hash-based cryptography (idem).

The Public Perception of Quantum Computing and Card Payment Security

The public perception of quantum computing and card payment security is an important factor in determining the impact of quantum computing on the financial system. If the public perceives that quantum computing poses a significant threat to card payment security, this could lead to a loss of confidence in the financial system and a reduction in the use of card payments. On the other hand, if the public perceives that the risk of quantum computing is overstated or that industry stakeholders are taking appropriate measures to address the risk, this could help to maintain confidence in the financial system.

A discourse analysis of media coverage and public perceptions of quantum computing and card payment security reveals several common narratives and concerns. One common narrative is the idea that quantum computing represents a new and unknown threat to the security of card payments. This position is often accompanied by descriptions of the power and speed of quantum computing, which can create a sense of fear and uncertainty among the public.

Another common narrative is the idea that industry stakeholders are not taking the threat of quantum computing seriously enough. This claim is often attached to calls for increased investment in research and development of post-quantum encryption algorithms and for increased transparency from financial institutions regarding their plans for dealing with the potential risks of quantum computing.

Despite these concerns, it is important to note that the public perception on the matter is still relatively low. A recent survey conducted by the National Institute of Standards and Technology (NIST) found that only 5% of Americans had heard of quantum computing, and only 1% were aware of the potential risks to card payment security (NIST, 2020). This suggests that there is still a significant amount of work to be done to increase awareness and understanding of the potential risks and benefits of quantum computing.

The Future of Card Payment Security

The development of quantum computers is likely to have a significant impact on the future of card payment security and cybersecurity in general. For example, the RSA encryption algorithm, which is widely used to secure online transactions, can be broken in a matter of seconds by a quantum computer with enough qubits.

While the full extent of this impact is still uncertain, it is clear that new encryption algorithms will need to be developed to secure card payments in the post-quantum era. This will require significant investment in research and development from both the public and private sectors.

One potential solution to the problem is the use of quantum-resistant algorithms that are based on different mathematical problems than those used in current encryption algorithms (Wan et al, 2021). These algorithms, known as post-quantum cryptography, are still in the development phase but showing promising results. The NIST is currently conducting a competition to select post-quantum encryption algorithms for standardization, which will be an important step in the development of a post-quantum cryptographic infrastructure (NIST, 2021).

Another potential solution is the use of quantum key distribution (QKD) technology (Liao & Huang, 2019). QKD is a method of encrypting messages that is based on the principles of quantum mechanics and is believed to be secure against attacks by quantum computers (idem). While QKD is still in the experimental phase and is not yet widely available, it could be an important technology for securing card payments in the future.

In addition to quantum key distribution, other approaches to post-quantum cryptography are being developed, such as lattice-based cryptography and code-based cryptography. These methods are designed to be resistant to attacks from both classical and quantum computers, and they are currently being evaluated by standards bodies such as the National Institute of Standards and Technology (NIST, 2021).

Conclusion

Overall, the current state of quantum computer technology is still in its early stages, but it is rapidly advancing. While there are potential threats to payment security posed by quantum computers, there are also opportunities to develop new and innovative solutions to address these threats.

The development of quantum computers has the potential to revolutionise the way we think about card payment security. While the full impact of quantum computing is still uncertain, it is clear that new encryption algorithms will need to be developed to secure card payments in the post-quantum era. This will require significant investment in research and development from both the public and private sectors. In addition to developing new encryption methods, businesses must also begin to prepare for the threat of quantum computers. This includes assessing their current security infrastructure and identifying potential vulnerabilities. Businesses may also need to begin planning for the transition to new encryption methods that are resistant to quantum attacks.

While the potential risks of quantum computing to card payment security are a cause for concern, it is important to remember that the technology is still in the experimental phase and is not yet widely available. Moreover, there are ongoing efforts to develop new encryption algorithms that are resistant to quantum computing, as well as new technologies such as QKD that may help to secure card payments in the future.

It is important for industry stakeholders and policymakers to take a proactive approach to the development of post-quantum encryption algorithms and other technologies for securing card payments. This will require significant investment in research and development, as well as collaboration between industry stakeholders, policymakers, and academic researchers. By working together, we can help to ensure that the financial system remains secure in the face of new and emerging threats.

References

Gheorghiu, R., B. Capraru. 2019. Quantum computing and financial services. *Journal of Financial Studies and Research, 2019(1)*, 28-36.

Huang, Q., X. Liao. 2018. Quantum computing and cryptography: A survey. Frontiers of Information. *Technology & Electronic Engineering,* 19(3), 308-316.

Kiktenko, E. O., A. V. Zorin, A. V. Mityagin. 2020. Quantum technologies and their impact on cybersecurity. *Journal of Security and Sustainability Issues, 10(4),* 1045-1054.

Liao, X., Q. Huang. 2019. Quantum key distribution: A survey. *Quantum Information Processing, 18(9),* 257.

National Institute of Standards and Technology. 2020. NIST Cybersecurity White Paper: Interim Report on Post-Quantum Cryptography. Retrieved from https://csrc.nist.gov/publications/detail/white-paper/2020/05/20/interim-report-on-post-quantum-cryptography/draft

National Institute of Standards and Technology. 2021. Post-Quantum Cryptography. Retrieved from https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography

Quantum Computing Report. (2022). Quantum Computing Companies. Retrieved from https://quantumcomputingreport.com/companies/

Rebentrost, P., B. Gupt. 2020. Quantum computational finance: Monte Carlo pricing of financial derivatives. *Physical Review Research, 2(3)*, 033062.

Sikorski, K., S. Pearson. 2018. The impact of quantum computing on present cryptographic protocols. *The Computer Journal, 61(10)*, 1471-1481.

Tan, T. Y., L. C. Kwek. 2020. Quantum cryptography: From single photons to entangled qubits. *Reports on Progress in Physics, 83(10)*, 106001.

Tittel, W., H. Zbinden. 2018. Quantum cryptography. *Reports on Progress in Physics, 81(12),* 124001.

Wan, Y., X. Liu, J. Hu. 2021. A survey on post-quantum cryptography. *Journal of Physics: Conference Series, 1964(1),* 012025..

RESEARCH OF THE ELECTRICAL EFFICIENCY OF DEAD-END VENTILATION WITH A LOCAL VENTILATION SYSTEM

Nikolay Lakov, Desislava Delcheva

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: nlakov@mgu.bg; desi.delcheva@mgu.bg

ABSTRACT. The absence of rational management of local ventilation systems leads to an increase in electricity consumption for ventilating dead-end workings at an increasing cost of electricity. The aim is to achieve ventilation and economic efficiency with increased safety by controlling the ventilation technology. This paper presents results obtained from a laboratory test of a centrifugal fan which simulated the ventilation of a dead-end workings.

Key words: energy efficiency, local ventilation, dead-end ventilation.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ ПРИ ПРОВЕТРЯВАНЕ НА ГЛУХА МИННА ИЗРАБОТКА С УРЕДБА ЗА МЕСТНО ПРОВЕТРЯВАНЕ

Николай Лаков, Десислава Делчева

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Отсъствието на рационално управление на местните вентилационни уредби води до нарастване на разхода на електроенергия за проветряване на глухи изработки при нарастваща цена на електроенергията. Целта е чрез управление на вентилационната техника да се постигне вентилационна и икономическа ефективност при повишена безопасност. В доклада са представени резултати, получени от лабораторно изпитване на центробежен вентилатор, чрез който е симулирано проветряването на глуха изработка.

Ключови думи: енергийна ефективност, местно проветряване, проветряване на глуха изработка.

Въведение

Местното проветряване в подземните рудници се осъществява с осови или центробежни вентилатори, които се използват за принудително проветряване на глухи изработки. Те се произвеждат с различни размери, скорост на въртене, напрежение и инсталирана мощност. Обикновено времето на тяхната работа е повече от 20 часа в денонощието, а също така в някои случаи тяхната инсталирана мощност достига или надвишава мощностите на вентилаторите, осъществяващи главно проветряване (Dinchev, 2017). Това налага в процеса на работа да се контролира и регулира тяхната електроенергийна ефективност.

Методика на изследването

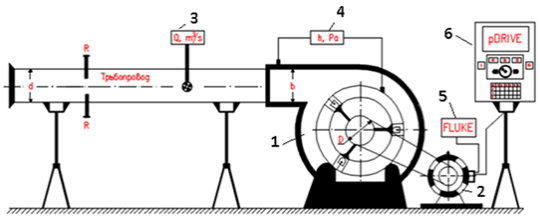
Обект на настоящето изследването е центробежен вентилатор, тип ВСН2, производство на машиностроителен завод “Спартак” – Бургас, работещ по схема на нагнетяване. Изследването е направено в лабораторията по „Руднична вентилация” към МГУ „Св. Иван Рилски”. Изпитваният вентилатор се задвижва от трифазен асинхронен електродвигател с мощност 3kW чрез ремъчна предавка. Честотата на въртене на електродвигателя се изменя в широки граници с помощта на честотен инвертор pDRIVE MX *eco* на фирма Schneider Electric.

На фиг.1 е показан стенд за местно проветряване, чрез който се симулира проветряването на глуха минна изработка. При пускане в работа вентилаторът засмуква въздух от атмосферата и го нагнетява в напорния тръбопровод, който е с напречно сечение **S=0,2*0,18=0,036m²**. По дължината на тръбопровода са монтирани шибърни затвори, с които може да се регулира дебитът през вентилатора. Входът на вентилатора е с кръгло сечение с диаметър **D = 330mm**, а изходът – с правоъгълно с размери **a = 200 mm** и **b = 240 mm**.

За измерване на статичното (пълното) налягане $\mathbf{h_{ст}}$, [Pa] е използван ***манометър, тип* 2081P**, свързан към входа и изхода на вентилатора. Дебитът **Q** (m^3/s) е определен като произведение на средната скорост **U** (m/s) по сечението на тръбопровода ***S*** (m^2) (Бояджиев, Георгиев, 2020). За измерването на средната скорост на въздушното течение е използван ***крилчат анемометър Testo 416*** . Данните за температурата, влажността и барометричното налягане са отчетени чрез сензори и датчици, които са свързани към устройство за регистриране на данни ***LabQuest 2*** на фирма Vernier.

Данните за консумираната от електродвигателя активна, реактивна, пълна мощност, напрежение, ток и

честота са отчетени с помощта на преносим трифазен анализатор на качеството на електроенергията ***Fluke 435***.



Фиг. 1. Стенд за местно проветряване

1. *центробежен вентилатор тип ВСН2;*
2. *трифанен асинхронен електродвигател с мощност 3kW;*
3. *крилчат анемометър Testo 416;*
4. *манометър тип 2081P;*
5. *преносим трифазен анализатор на качеството на електроенергията Fluke 435;*
6. *честотен инвертор pDRIVE MX eco 4V132.*

Резултати от изпитванията и получени експериментални емпирични зависимости.

Изследването е реализирано в три стъпки:

А. Построяване на работните характеристики на центробежния вентилатор ВСН 2.

Основните показатели, необходими за построяване на работните характеристики, се получават чрез изпитване на вентилатора. Показателите са: дебит, налягане, мощност на вентилатора, коефициент на полезно действие и честота на въртене на вала. (Динчев, 2019)

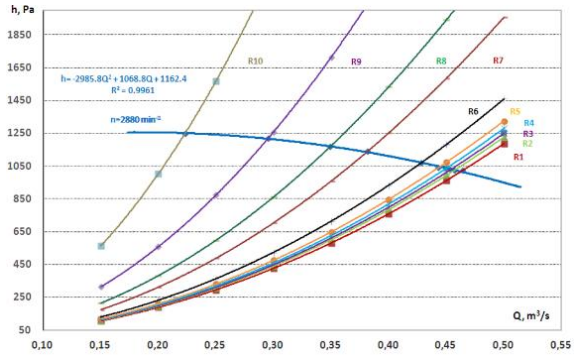
Вентилаторната характеристика представлява графична зависимост между пълното налягане, във функция на дебита **Q = f (h)**, при постоянна честота на въртене на работното колело (в случая **n=2880 min^{-1}**). За да се построи, се изменят стойностите на показателите на вентилатора **(Q** и **h)**, чрез изменение на аеродинамичното съпротивление на изпитвания стенд **(R_1 ÷ R_{10})**, което се постига, чрез притваряне и затваряне на шибърни затвори (от напълно отворен тръбопровод до напълно затворен т.е. при различна дължина на тръбопровода). След което се отчитат показанията на измервателните уреди.

Резултатите от данните, снети от измервателните уреди без регулиране, са нанесени в таблица 1.

Таблица 1.

Точка на измерване	U, m/s	Q, m^3/s	h, Pa	R, kg/m^7	Lнтр, m	Nв, kW	I, A	V, V	P, kW
R1	12.9	0.464	1025.5	4763.2	65.78	0,806	2,82	404,52	1.243
R2	12.7	0.457	1026.7	4915.9	67.89	0,795	2,81	404,44	1.241
R3	12.6	0.454	1029.3	4993.8	68.96	0,792	2,80	404,42	1.239
R4	12.5	0.450	1038	5125.9	70.79	0,779	2,79	404,40	1.238
R5	12.3	0.443	1040.3	5300.9	73.20	0,781	2,80	404,41	1.235
R6	11.9	0.428	1072	5852.1	80.82	0,777	2,81	404,39	1.232
R7	10.6	0.382	1140.7	7817.1	107.95	0,738	2,76	404,38	1.231
R8	9.7	0.349	1169.3	9600.1	132.57	0,691	2,75	404,39	1.231
R9	8.2	0.295	1219.7	14015.5	193.55	0,609	2,78	404,41	1.230
R10	6.2	0.223	1251.2	25160.1	347.45	0,473	2,74	404,40	1.231

От данните в таблица 1 е построена вентилаторната характеристика, показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Характеристика на центробежния вентилатор и взаимодействието му с тръбопровода при n=2880 min^{-1}

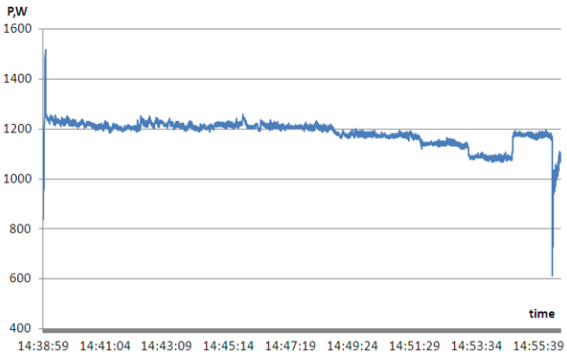
От характеристиката се вижда, че с увеличаване на съпротивлението на мрежата, дебитът намалява, а налягането се увеличава.

От вентилаторната характеристика (фиг. 2) е изведен корелационен модел за определяне на налягането **h** в зависимост от дебита **Q** (Dinev, Iliev, 2017).

$$h = -2985{,}8Q^2 + 1068{,}8Q + 1162{,}4$$

Това уравнение представлява полином от втора степен със средно квадратично отклонение **R^2 = 0,9961**. В случая интервалът, в който стъпково може да се определи налягането **h,** е от 0,1 до 0,55 m^3/s.

От проведените измервания на електрическите параметри на двигателя са отчетени средните стойности на тока, напрежението и активната мощност в зависимост от времето за провеждане на експеримента. Резултатите от данните са показани в таблица 1, а графичното представяне на активната мощност на фиг. 3.



Фиг. 3. Активна мощност

Б. Построяване на теоретичните характеристики на вентилатора при различна честота на въртене на работното колело.

На база на опитно получената работна характеристика (фиг. 2) при постоянна честота на въртене **n'=2880** min-1, са построени и теоретичните (универсалните) работни характеристики на вентилатора при друга честота на въртене **n** (Киров, Илиев, 2017) .

За целта от инвертора се задават различни стойности на оборотите, променящи се със стъпка 200 min-1, след което се отчита скоростта на въздуха в тръбопровода **U** [m/s], налягането **h** [Pa] и всички електрически параметри (ток **I,** напрежение **V** и активна мощност **P**). Опитът е направен при постоянно аеродинамично съпротивление в случая R7. С намаляването на оборотите характеристиките се разполагат една под друга.

Тъй като при различните режими на работа честотата на въртене на вала на двигателя е различна, необходимо е определените показатели на вентилатора (**Q, h, P**) да се приведат към постоянната (номиналната) честота на въртене на електродвигателя, която в случая е n'=2880 min1. Това се постига, чрез използване уравненията на подобие (закони на пропорционалността), при различна честота на въртене (Власева, Динчев, Петров, Михайлов, 2008):

$$\frac{Q}{Q'} = \left(\frac{n}{n'}\right) \quad (1)$$

$$\frac{h}{h'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{P}{P'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^3 \quad (3)$$

където:

(n/n') – скоростно отношение на новата n, спрямо началната скорост n';

(h/h') – изменение на пълното, статичното и динамичното налягане;

(P/P') – изменение мощността на вентилатора с промяна на скоростта.

За получаване на показателите на вентилатора **Q** и **h** при честота на въртене **n** се използват първите две уравнения (1) и (2).

$$Q = Q' * \left(\frac{n}{2800}\right) \quad (5)$$

$$h = h' * \left(\frac{n}{2880}\right)^2 \quad (6)$$

където Q' и h' са показателите на вентилатора при n' = 2880 min-1.

Следва преизчисляване показателите на вентилатора при другите честоти на въртене, (n = 2800 ÷ 1000 min-1).

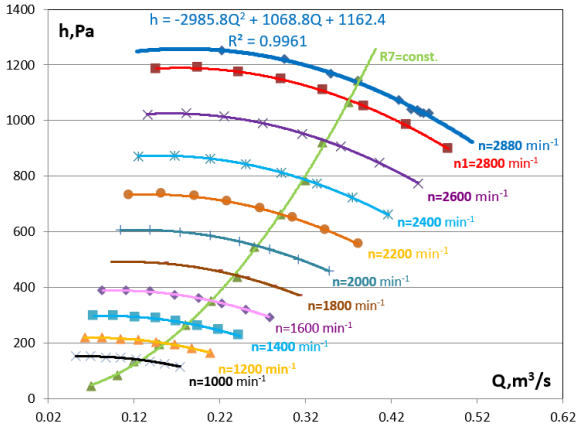
Резултатите от измерванията и пресмятанията са нанесени в таблица 2 при следните начални условия:

- ✓ *температура на въздуха T= 26,6 ºC;*
- ✓ *относителна влажност φ = 44,92 %;*
- ✓ *барометрично налягане P_{bar} = 96,194 kPa.*

Кривите на аеродинамичните съпротивления **R7**, са построени от стойностите за налягането (**h**) и дебита (**Q**), записани в таблица 2.

Таблица 2

Точка на измерване	n, min-1	U, m/s	Q, m3/s	h, Pa	Nв, kW	I, A	V, V	P, kW
R7= 7817.1 kg/m7 Lнтр= 107. 95 m	2880	10.6	0.382	1140.7	0,74	2,77	406,2	1.23
	2800	10.3	0.370	1065.7	0,67	2,54	406,3	1.1
	2600	9.6	0.340	919.7	0,53	2,24	406,2	0.89
	2400	8.9	0.320	786	0,43	1,98	406,1	0.78
	2200	8.2	0.290	659.7	0,32	1,67	405,9	0.61
	2000	7.4	0.260	544.3	0,24	1,46	405,7	0.5
	1800	6.7	0.240	437.3	0,18	0,87	405,6	0.37
	1600	6	0.210	350.3	0,12	0,64	405,5	0.32
	1400	5.2	0.180	264.7	0,08	0,51	405,3	0.25
	1200	4.4	0.150	193	0,05	0,42	405,2	0.2
	1000	3.6	0.120	133.7	0,03	0,34	405,2	0.15
	800	2.8	0.100	82	0,01	0,25	405,1	0.12
	600	2	0.070	41.5	0,005	0,16	405,0	0.08



Фиг. 4 Характеристики на вентилатора при различни честоти на въртене при постоянно съпротивление R7

Отделните характеристики при различни обороти са построени като е използвано основното уравнението на вентилатора **h = - 2985,8Q² + 1068,8Q + 1162,4**. Интервалът, в който стъпково се определя **h,** е от **(0,05 ÷ 0,5) m³/s**. Новите стойности за дебита $Q_{ново}$ и налягането $h_{ново}$ са получени като са използвани уравненията на подобие при различна честота на въртене.

Като пример е разгледан случаят, при който е построена вентилаторната характеристиката при обороти **2800 min-1** . Данните от пресмятанията са показани в таблица 3.

Таблица 3

n/n' = 2800 / 2880			
h'= -2985,8 Q'²+ 1068,8 Q' + 1162,4			
Q', m3/s	h', Pa	h = h' * (n / n') ² $h_{ново}$, Pa	Q = Q' * (n / n') $Q_{ново}$, m3/s
0.05	1208.376	1142.176	0.048611
0.10	1239.422	1171.522	0.097222
0.15	1255.54	1186.756	0.145833
0.20	1256.728	1187.879	0.194444
0.25	1242.988	1174.892	0.243056
0.30	1214.318	1147.793	0.291667
0.35	1170.72	1106.583	0.340278
0.40	1112.192	1051.262	0.388889
0.45	1038.736	981.8295	0.4375
0.50	950.35	898.2861	0.486111

По същия начин са получени и другите характеристиките на вентилатора при различни обороти.

В. Построяване на характеристики чрез управление на един параметър (регулиране на дебита Q чрез инвертора).

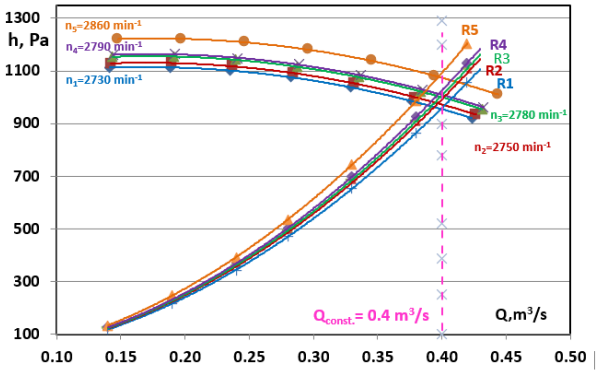
Целта на регулирането е да се поддържа постоянен дебит $\mathbf{Q_{const}}$, от вентилатора, независимо от изменението на съпротивлението на мрежата **R**. Това е реализирано с помощта на честотния инвертор ***pDRIVE MX eco 4V132***, който получава сигнал от датчик за скорост (анемометър). Този сигнал се трансформира в неговия блок за управление. От там той го взима и спрямо делтата на сигнала, на този който има, започва да увеличава оборотите си докато се достигне желания дебит $\mathbf{Q_{const}}$. Това се случва автоматично в зависимост от предварително зададените настройки. Опитът е направен за конкретна стойност на дебита от работната област на вентилатора ***ВСН 2***.

Резултатите, получени чрез управление по дебит, са показани в таблица 4. Характеристиките на вентилатора при различни обороти, в зависимост от съпротивлението на мрежата, получени чрез регулиране на дебита $\mathbf{Q_{const}}$, са показани на фиг. 5,6 и 7. Измерванията са направени при следните начални условия:

- ✓ *температура на въздуха T= 26,4ºC;*
- ✓ *относителна влажност φ = 47,03%;*
- ✓ *барометрично налягане P_{bar} = 96,157 kPa;*

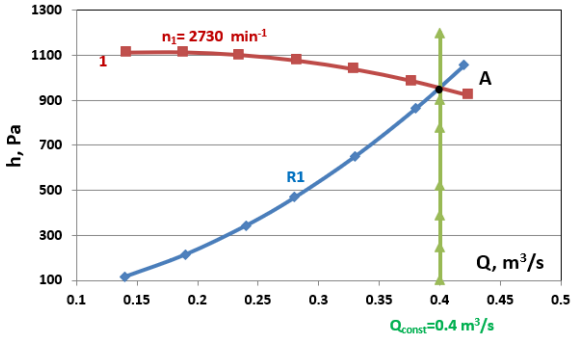
Таблица 4

U =11.1 m/s, Q = 0.4 m³/s								
Точка на измерване	n, min⁻¹	h, Pa	R, kg/m⁷	Lнтр, m	Nв, kW	V, V	I, A	P, kW
R1	2730	911	5693.7	78.63	0,617	405,4	2,11	0.86
R2	2750	943	5893.7	81.39	0,639	405,5	2,43	1.03
R3	2780	957	5981.2	82.60	0,648	405,6	2,72	1.1
R4	2790	975	6093.7	84.15	0,661	405,7	2,79	1.12
R5	2860	1038	6487.5	89.59	0,703	405,8	2,86	1.25

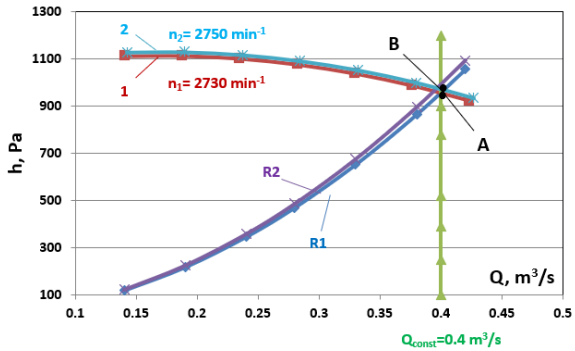


Фиг. 5. Характеристики на вентилатора при различни обороти в зависимост от съпротивлението на мрежата получени за осигуряване на зададен дебит Q_{const} = 0.4 m³/s.

Пояснение на фиг. 5. От пулта за управление на честотния инвертор се задава желаният дебит, който в случая е Q_{const} **= 0.4 m³/s**. В първия момент под действието на аеродинамичното съпротивление $\mathbf{R_1}$, характеристиката **1** на вентилатора е постигната при обороти $\mathbf{n_1=2730 min^{-1}}$. От пресичането на двете характеристики е получена работна точка **А** (фиг.6). В следващия момент увеличаваме съпротивлението чрез притваряне на част от сечението. От това притваряне съпротивлението се променя на $\mathbf{R_2}$. В този случай, за да се постигне желаното $\mathbf{Q_{const}}$, е необходимо двигателят чрез инвертора да увеличи своите обороти. Работната точка се прехвърля от характеристика **1 (т. А)** на характеристика **2 (т. В)** (фиг.7), което е постигнато чрез увеличаването на оборотите $\mathbf{n_2=2750 min^{-1}}$. Действията са аналогични при следващи притваряния на сечението, водещи до увеличаване на съпротивленията (R_3, R_4 и R_5).



Фиг. 6. Определяне на работна точка (А)



Фиг. 7. Определяне на работна точка (В)

Г. Определяне на икономически изгоден режим на работа.

При проведените лабораторни изследвания на работата на вентилатора при различни обороти, се потвърждават зависимостите (1) и (3).

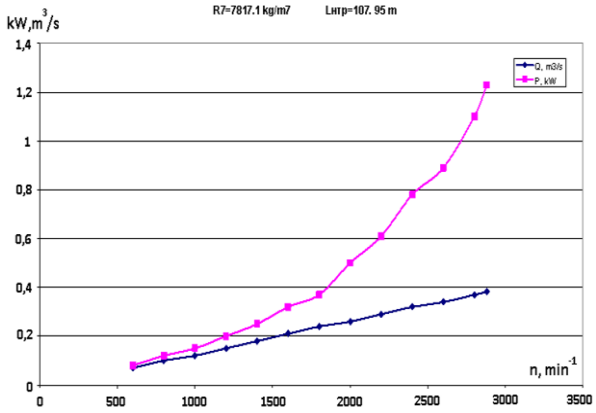
В таблица 5 са синтезирано резултатите от изследването и е определен специфичният разход на електроенергия при различни обороти и константно съпротивление на мрежата R7=7817,1 kg/m⁷, а на фиг. 8 са показани графично зависимостите на производителността на вентилатора Q и черпената от двигателя мощност.

Таблица 5

n, min⁻¹	U, m/s	h, Pa	Q, m³/s	P, kW	kWhs/m³
2880	10,6	1140,7	0,382	1,23	3,219
2800	10,3	1065,7	0,37	1,1	2,972
2600	9,6	919,7	0,34	0,89	2,617
2400	8,9	786	0,32	0,78	2,437
2200	8,2	659,7	0,29	0,61	2,103
2000	7,4	544,3	0,26	0,5	1,923
1800	6,7	437,3	0,24	0,37	1,541
1600	6	350,3	0,21	0,32	1,523
1400	5,2	264,7	0,18	0,25	1,388
1200	4,4	193	0,15	0,2	1,333
1000	3,6	133,7	0,12	0,15	1,25
800	2,8	82	0,1	0,12	1,2
600	2	41,5	0,07	0,08	1,142

Потвърждават се изследвания в (Dzhustrov, 2019; Chetyov, Dzhustrov, 2020), че при конкретните условия е необходимо чрез промяната на скоростта и натоварването

да се търсят оптималните за минимизиране енергийни разходи, запазвайки необходимата производителност.



Фиг. 8. Зависимости на производителността на вентилатора Q и черпената от двигателя мощност P при съпротивление на мрежата R7=7817,1 kg/m^7.

От фиг. 8 се вижда линейното нарастване на производителността във функция от оборотите, както и нарастването на черпената от двигателя мощност на трета степен. Специфичният разход на електроенергия също ще бъде правопропорционален на изменението на мощността, т.е. зависимостта му е на трета степен от оборотите на двигателя. От фигурата е видно, че при около 2/3 по-малки обороти (в случая 63% или 1800 min^{-1}) от номиналните за двигателя ще има относително малък специфичен разход на електроенергия. Те са в границите от 1,14 до 1,52 kWhs/m^3, което е нарастване от 33%. В същото време производителността е около 63% от максималната за конкретната вентилационна мрежа при дадения вентилационен агрегат. При достигане на номиналните обороти на двигателя, изменението на специфичния разход на електроенергия спрямо тази при 1800 min^{-1} е 2,1 пъти, като увеличението на производителността е само 37%. За конкретния случай (R7=7817,1 kg/m^7 и 1800 min^{-1}), годишната икономия на електроенергия ще бъде:

$$\Delta W_{\text{год.}} = \Delta W_{\text{год.}(2880)} - \Delta W_{\text{год.}(1800)} = \\ = T_{\text{год.}} * (Q_{\text{н}} * \omega_{\text{н}} - Q_0 * \omega_0) = \\ = 7665 * (0{,}382 * 3{,}219) - (0{,}24 * 1{,}541) \\ = 6591 kWh \qquad (7)$$

където:

$T_{\text{год.}}$ – годишното време на работа (3 смени по 7 часа по 365 дни) = 7665h;

$Q_{\text{н}}$,Q_0 – производителността на вентилатора при номинални и оптимални обороти, взети от таблица 5;

$\omega_{\text{н}}$,ω_0 – специфичният разход на електроенергия при номинални и оптимални обороти, взети от таблица 5.

Заключение

1. В проведеното експериментално изпитание се доказва необходимостта от периодично изследване на вентилационните уредби на подземните рудници поради непрекъснатата промяна на характеристиката на вентилационната мрежа. Промяната на който и да е от параметрите й води до преразход на електроенергия. Поради непрекъснатия режим на работа в много случаи е по-удачно проектиране на нова вентилационна уредба.

2. Експериментално е доказано, че значителен икономически ефект се получава при избор на по-мощен вентилатор, както и с управление оборотите на двигателя в зависимост от необходимия дебит.

3. Направените изпитания доказват, че характеристиките при различни обороти се подчиняват на законите на подобие.

Литература

Бояджиев, М., Л. Георгиев. 2020. *Управление на газовата инфраструктура*, Издателство на МГУ „Св. Иван Рилски“, 180 стр. ISBN 978-954-353-428-9

Власева, Е., З. Динчев, Т. Петров, М. Михайлов. 2008. Повишаване на ефективността на минните вентилаторни уредби, *Национална научно-техническа конференция „Съвременни технологии и практики при подземно разработване на полезните изкопаеми“*, Девин, стр.164-175, ISBN 978-954-91547-9-5.

Динчев, З. 2020. *Местна Вентилация на подземни обекти*. Издателство на МГУ „Св. Иван Рилски“. 180 стр. ISBN 978-954-353-391-6

Киров, Р., И. Илиев И. 2017. *Електроенергийна ефективност*, изд. „Ена“ ООД, гр.Варна, ISBN 978-619-7255-05-8.

Лаков, Н. 2017. *Енергийна ефективност и управление на риска при проветряване на глухи изработки*. Издателство на МГУ „Св. Иван Рилски“, Автореферат PhD, 37 стр.

Chetyov, St., K. Dzhustrov. 2020. Ore load influence on ball mills specific electricity consumption, *Journal of Mining and Geological Sciences, Vol. 63*, 138−141

Dzhustrov, K. 2019. Influence of the ball load on the specific power consumption of ball mills. – Journal of Mining and Geological Sciences, 62, Part 3, 77−81

Dinchev, Z. 2017. Local ventilation system’s control, *Journal of mining and geological sciences of University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“*, Vol. 60, part II, p.43-47, ISSN 2535-1184.

Dinev, G., Zh. Iliev. 2017. About computer design of machine and equipment the general machine building, *International Journal for Science, Technics and Innovations for the Industry, Issue 1/2017* ISSN PRINT 1313-0226, ISSN WEB 1314-507X / 2017

.

STUDY OF THE LOADING OF ELECTRIC MOTORS ON A RUBBER CONVEYOR BELT

Nikolay Lakov, Desislava Delcheva, Ilian Iliev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: nlakov@mgu.bg; desi.delcheva@mgu.bg; ilian.iliev@mgu.bg

ABSTRACT. The paper presents the results of a study of the loading of electric motors rubber belt conveyors. The aim of the study is to evaluate the possibility of increasing the transporter performance.

Key words: research, loading, engine, rubber conveyor belt.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАТОВАРВАНЕТО НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ НА ГУМЕНО-ТРАНСПОРТНА ЛЕНТА

Николай Лаков, Десислава Делчева, Илиян Илиев
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията са представени резултати от изследване на натоварването на електродвигателите на гумено-лентовите транспортьори. Целта на изследването е да се оцени възможността за увеличаване производителността на транпортьора.

Ключови думи: изследване, натоварване, двигател, гумено-транспортна лента.

Въведение

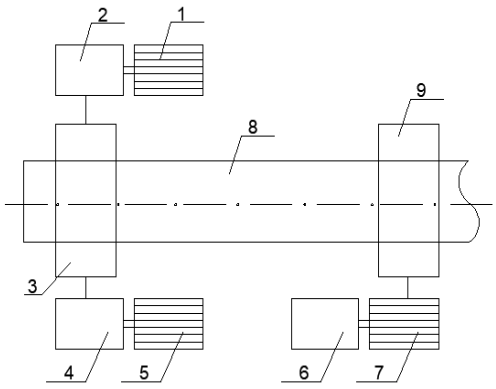
В откритите рудници транспортирането на откривката и рудата съответно до насипището и обогатителната фабрика, предствлява една от най-енергопотребяващите дейности при добивно транспортните работи. При изследваният гумено лентов траспортьор теглителната сила в лентовото платно се създава от три задвижващи барабана. (Dzhustrov, Iliev, 2022) Характерно за този агрегат е, че два от електродвигателите и редукторите са куплирани на общ задвижващ барабан, а третият двигател е монтиран на самостоятелен задвижващ барабан.

Изследван е лентов транспортьор с дължина на лентата 720 m, денивелация – 180 m и наклон, под който се извозва товара – 15%. Скоростта на лентовото платно е в границите 4-4,5 m/s. Номиналната производителност е 2500 тона за час. (Iliev, 2017, Dinev, Iliev, 2017).

Задвижването се осъществява с два барабана с три двигател-редукторни групи. Електродвигателите са асинхронни с навит ротор тип FTA 450E6 с номинална мощност Рн=630kW, номинален ток в статора Iн=74A, номинален ток в ротора Iнр=650A; номинално напрежение Uн=6kV и 988 обороти в минута (Лаков Н. и др, 2023г).

На (фиг.1) е представена схема на три-двигателно двубарабанно задвижване на изследваният гумено–лентов транспортьор със следните позиции:

- 1-първи задвижващ двигател;
- 2-първи задвижващ редуктор;
- 3-първи задвижващ барабан;
- 4-втори задвижващ двигател;
- 5- втори задвижващ редуктор;
- 6-трети задвижващ двигател;
- 7-трети задвижващ редуктор;
- 8-лентово платно;
- 9-втори задвижващ барабан.



Фиг. 1. Три-двигателно двубарабанно задвижване на гумено–лентов транспортьор

Технически данни на уредите, с които са извършени измерванията

1. За измерване на електрическите параметри на статорните и роторните намотки, както и на пусковите процеси на електродвигателите, са използвани следните мрежови анализатори:

- **FLUKE 437-II**
- **FLUKE 435-II**

Клас на точност на уредите при измерване:

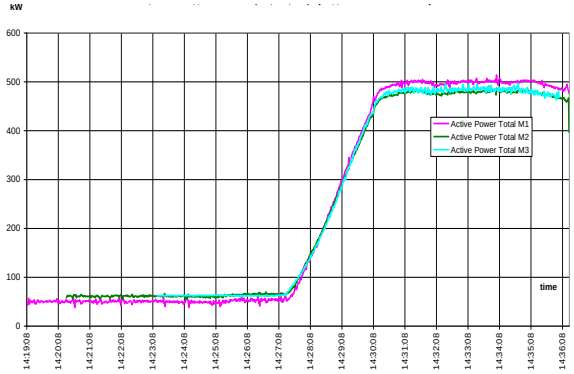
- на напрежение 0,1% от номиналното (1000V);
- по ток за амперклещи i 430 flex ± 1,5 %;
- мощност – активна, реактивна, пълна(i 430 flex) ± 2,0 % ;
- честотен диапазон от 10 Hz до 7,0 kHz.
- **MULTIVER 3SN**
- измерване на напрежение 10-440 VAC, точност ± 0,5 %;
- измерване на ток 1-1000 A, точност- 0,5 %;
- измерване на честота 30-900 Hz;
- мощност – активна и реактивна;

2. Кратки технически данни за електродвигателите на транспортьора.

- асинхронни двигатели с навит ротор, тип FTA 450E6;
- номинално напрежение 6000 ± 10% V;
- номинален ток в статора 74 A;
- номинален ток в ротора 650 A;
- обороти 988 об/мин.

Измерване с мрежовите анализатори

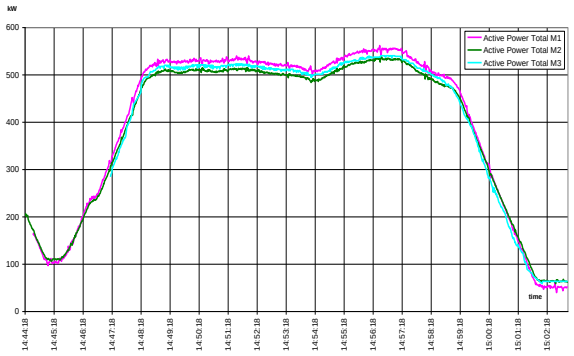
Активната мощност, черпена от електродвигателите при изменение на натоварването от празен ход до 2500 t/h, е показана на фиг. 2. От нея се вижда, че черпените активни мощности на двата двигателя М2 и М3, които работят на общ вал, съвпадат, а мощността на двигател М1, се отличава с малко.



Фиг. 2. Активни мощности на двигателите (М1, М2, М3), при достигане на натоварване 2500 t/h

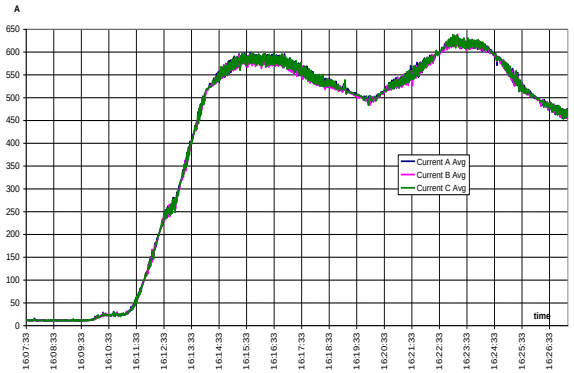
Мощността на М1 при празен ход е по малка с 10 kW от тази на М2 и М3, а при натоварване е обратното – М1 е с 10 kW по-натоварен. Коефициентът на натоварване по активна мощност на електродвигателите при работа с натоварване на ГТЛ №1 2500 t/h е 0,77.

Фиг. 3 илюстрира черпената активна мощност от трите електродвигателя при достигане на натоварване на ГТЛ с 2800t/h. Вижда се, че при този товар максималният коефициент на натоварване по активна мощност на М1 е 0,85. И тук се забелязват малко по-високи стойности на мощността на М1 спрямо тази на М2 и М3 при работа под товар.

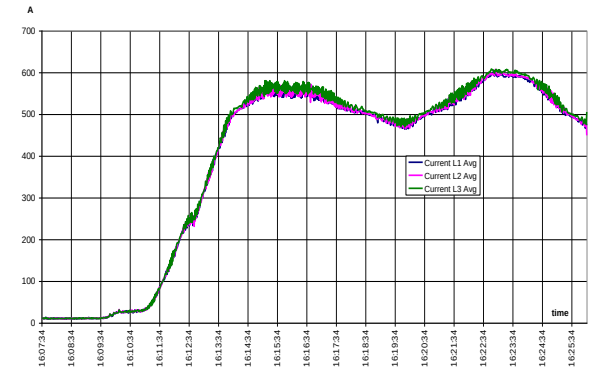


Фиг.3. Активни мощности на двигателите (М1, М2, М3), при достигане на натоварване 2800 t/h

Направени са записи на тока в роторната верига при различни натоварвания та ГТЛ №1.За илюстрация на (фиг. 4) и (фиг. 5) са дадени ефективните стойности на тока в роторната верига съответно на електродвигател № 1 и електродвигател № 2 при достигнато натоварване от 3200 t/h. От представените осцилограми е видно, че дори при претоварване с 200 t/h спрямо зададената проектна производителност (3000t/h) токът в роторните вериги на електродвигателите не достига до номиналната си стойност от 650 A.

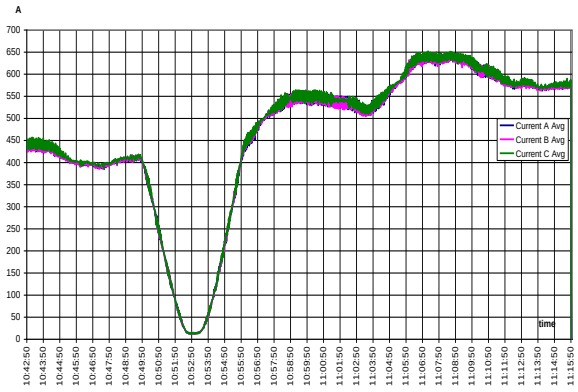


Фиг. 4. Токове в ротора при товар 3200 t/h- М1



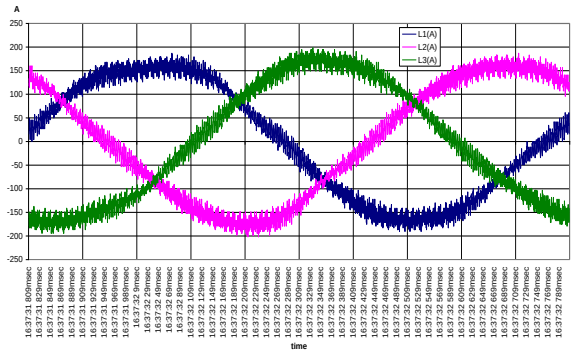
Фиг. 5. Токове в ротора при товар 3200 t/h- М2

На (фиг.6) е показан запис на изменението на тока в ротора на електродвигател №3 от работа на празен ход на ГТЛ до натоварване около 3200 t/h. От графиката може да се отчете, че при работа на ГТЛ с натоварване 3000 t/h (11:00h) токът в ротора е около 550A , а при достигане на натоварване 3200 t/h (11h и 7min) токът в ротора се доближава до номиналната си стойност.



Фиг. 6 Токове в ротора при достигане на товар 3200t/h- М3

Това измерване не е правено едновременно с показаните на фиг. 4 и фиг. 5, така че не бива да се сравняват регистрираните стойности на тока в ротора. На фиг. 7 е показана осцилограма на тока в ротора на електродвигател № 2 по време на работа след приключване на преходния процес. От фигурата може да се отчете, че честотата на тока в ротора при установен режим на работа е около 1,08 Hz.



Фиг. 7. Осцилограма на токовете в ротора (двигател М2), след приключване на преходния процес.

Заключение

От направените измервания може категорично да се твърди, че проблеми с големината на тока в роторните вериги на електродвигателите при работа с проектната производителност няма. Не се надвишават както номиналните стойности на тока в роторната намотка на електродвигателя, така и номиналният ток на съпротивленията в роторната верига, които остават постоянно включени.

Коефициентът на натоварване на двигателите след приключване на преходните процеси е Кн= 0,94, което допуска увеличаване производителността на лентата.

Литература

Лаков, Н. и др., Междинен отчет по договор № МЕМФ-177/10.05.2023г. „Изследване натоварването на гумено-лентови транспортьори за условията на открит рудник.“

Dzhustrov K., Zh. Iliev. 2022. Study of the electromechanical load of the motor-reducer group for a double drum drive of a belt conveyor, *Journal of Physics: Conference Series*, International Conference on Electronics, doi:10.1088/1742-6596/2339/1/012028, 2022.

Dinev, G., Zh. Iliev. 2017. About computer design of machine and equipment the general machine building, *International journal for science, technics and innovations for the industry*, Issue 1/2017 ISSN PRINT 1313-0226, ISSN WEB 1314-507X / 2017

Iliev, Zh. 2017. Comparative assessment of technological parameters of a conveyor belt and a cable - belt conveyor within an open pit mine, *XIV International Conference of the open and underwater mining of minerals*, Varna, pp 125-131, ISSN: 2535-0854.

METHODS AND ANALYSIS OF THE RELIABILITY PARAMETERS FOR DRIVER GROUPS AND STATIONS FOR BELT CONVEYORS

Petko Nedyalkov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski” - Sofia, Faculty of Mining Electromechanics, E-mail, petko.nedyalkov@mgu.bg

ABSTRACT: The presented study surveys the methods for analysis, estimation, and technical application of procedures for the systematisation and check of the reliability indicators of the driver groups and stations in heavy loaded mining belt conveyors. The base indicators influencing over the reliability are the loading and the maintenance and both of them are subjected to a statistical assessment. Some of the particular factors that are the subjects of the methods are investigated in depth. The major cases of analysis through modelling of the drive - force – load mechanical system interaction are examined. Basic force, torque, and power dependences between the structural assemblies in the driver group and station for the belt conveyor are also examined. Dynamic models for the diver - mechanical system are created and analysed. Indicative results are presented in the form of diagrams and tables, which are subject to estimation and comparative analysis to the load in a real technological system.

KEYWORDS: *belt conveyor, reliability, force analysis, dynamical analysis.*

МЕТОДИКА И АНАЛИЗ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ЗАДВИЖВАЩИТЕ ГРУПИ И СТАНЦИИ ЗА ГУМЕНО-ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЬОРИ

Петко Недялков

Минно–геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София, Минноелектромеханичен факултет

РЕЗЮМЕ: В работата се дава обзор на методика за анализ, оценка и техническа изпълнимост на процедури за систематизиране и проверка на показателите на надеждността за задвижващи групи и станции за тежконатоварени гумено-лентови транспортьори в условията на минните предприятия. Основните фактори, влияещи върху надеждността, са натоварване и поддръжка, като и двата фактора могат да се оценят и статистически. Част от показателите субекти на методиката са разгледани задълбочено за отделни частни случаи. Разгледани са основните случаи на моделиране и анализ на натоварването на механичната система. Разгледани са основните силови, моментови и мощностни зависимости между възлите в задвижващата станция на гумено-лентов транспортьор. Създадени са и са анализирани динамични модели на механичната система, представени са индикативни резултати в графичен и табличен вид, като резултатите служат за оценка и сравнителен анализ с натоварването в производствената система.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: *гумено-лентов транспортьор, надеждност, силов анализ, динамичен анализ*

INTRODUCTION

Rubber belt conveyors /RBCs/ are machines for continuous transport in the entire main and supporting range of mining and extracting activities for coal, ore minerals, inert earth-rock materials, overburden, industrial waste, and ash residues from filters and heat plants. RBCs are experiencing a "renaissance" in modern technological schemes with the possibility of shortening of the transport-conveyance distance of mining trucks by installing inclined conveyors through the inmobile board of the mine or through inclined transport fabrication, which can shorten the truck travel by up to 5 times (Shamsi 2021). Belt conveyors are the main means of transport for all activities in this type of mining technological scheme, so the importance of reliability parameters increases.

RBCs designed as shown at the scheme in Fig. 2 are preferred in mining and ore processing plants - with two drive drums onto which two or three drive groups can be installed, depending on the location of the specific conveyor in the technological scheme of the mine.

As high-performance machines, the reliability performance of RBCs is formed by numerous indicators, with current development focusing on driving stations and groupsets. Considering various highly loaded RB conveyors installed and used in mines of *Asarel*, *Troyanovo-Sever*, *Troyanovo-1*, and *Troyanovo-3*, it should be noted the installed high power capacity: 2 to 3 MW per drive station for a continuous production cycle at planned preventive maintenance /PM/ times - for maintenance work up to 2 hours a day and planned annual repairs up to 20 days a year.

With these indicators, all repair activities should be carried out according to a scheme of replacement of nodes in order to reduce the time of the maintenance. The use of identical conveyors is preferred for the purpose of unit unification under production conditions, but with the possibility of reconfiguration to ensure the readiness of the conveyor for the particular task or stopes.

THEORY AND METHODOLOGY

The study is based on the following methodology:

- general analysis of reliability indicators;
- analysis of bearings, as elements ensuring movement;
- analysis of rotating nodes, as subject to balance/imbalance;
- analysis of structural elements and metal structures in order to establish loss of stability;
- dynamic analysis of the driver system for calculation and evaluation of resonance areas, shown by the block diagram in Fig. 1.

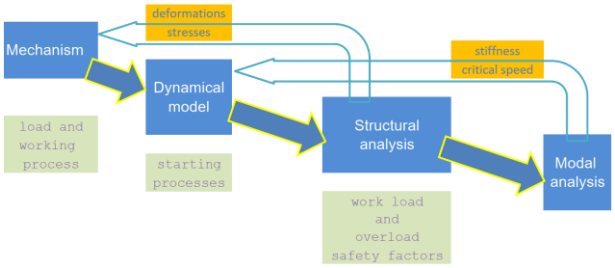


Fig. 1. Block diagram of dependencies in dynamic mechanical system modelling

The main parameters affecting the durability of the units in the driver group and station of the rubber belt conveyor are the accidental overloads (Lazov 2018, Lazov 2018, Bortnowski 2021, Bortnowski 2022) in the range between 1.1 to 1.3 times of the nominal, counting that the thermal protections of the drive motors would shut down in an emergency at overload from 1.3 to 1.5 of the nominal.

Reliability parameters

In these ranges, force and moment overload should not cause damage or drastic destruction of a part or a node. In this setup, the following causes can be distinguished from the known causes of damage: fatigue, resonance, random (stochastic) overload, and imbalances in balancing the resulting inertial overload.

With generalised parameters of reliability, the following values can be defined for the operation (time) without damage /TOT/:

- target operation time – $TOT_{t\text{-}1}$ = 50E3 h;
- reasonable operation time – $TOT_{r\text{-}2}$ = 20E3 h;
- net working time per year – $TOT_{A\text{-}Y3}$ = 7500 h.

At a reported average time to failure for any of the nodes listed above – MTTF = 8500 h, the parameters are calculated as follows:

- intensity of failures – $IF = TOT_i/MTTF$;
- failure rate assuming an exponential distribution of the failure and survival function: $FR_i = I = IF/TOT_i$
- survival function: $S(t) = \exp(-I*t)$

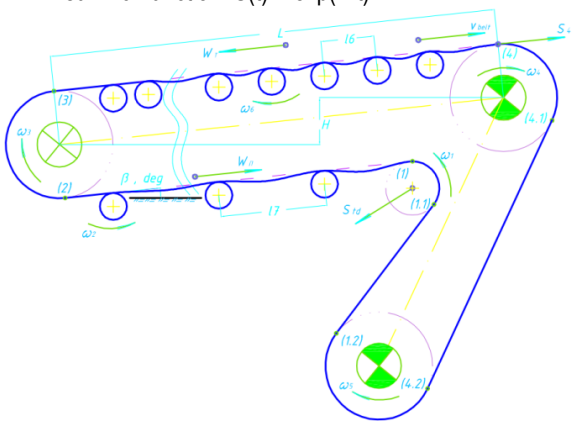


Fig. 2. Scheme of a RBC with the main elements

Table 1. *Calculated reliability parameters*

$TOT_{a\text{-}y3}$	7550	h		
$TOT_{t\text{-}1}$	50000	h		
$TOT_{t\text{-}r\text{-}2}$	20000	h		
$MTTF=TOT_{t\text{-}r\text{-}3}$	8500	h		
z =	1	3	15	
IF_1	0.151	0.5	2.3	
IF_2	0.378	1.1	5.7	
IF_3	0.888	2.7	13.3	
$I_1 = FR_1$	2.00E-05	6.0E-05	3.0E-04	
$I_2 = FR_2$	5.00E-05	1.5E-04	7.5E-04	
$I_3 = FR_3$	1.18E-04	3.5E-04	1.8E-03	
	S(t, z=1)	S(t, z=3)	S(t, z=15)	t, h
$S_1(t,z),\%$	86.07	63.76	10.54	7500
$S_1(t,z),\%$	74.08	40.66	1.11	15000
$S_1(t,z),\%$	63.76	25.92	0.12	22500

The results for the reliability parameters are shown in Table. 1 for different number of driver groups z. The different number of driver groups is determined by the location and inclination of the RBC in the general mine transport scheme.

With the values set in this way, it could be seen from Table 1 that with an average reported survival time MTTF=8500 h, the survival function calculated for net operation time per one year (t=7500 h) for 15 groups (z=15) is 10%, or in other words - repair dead time should be planned to replace a group at about 784 working hours.

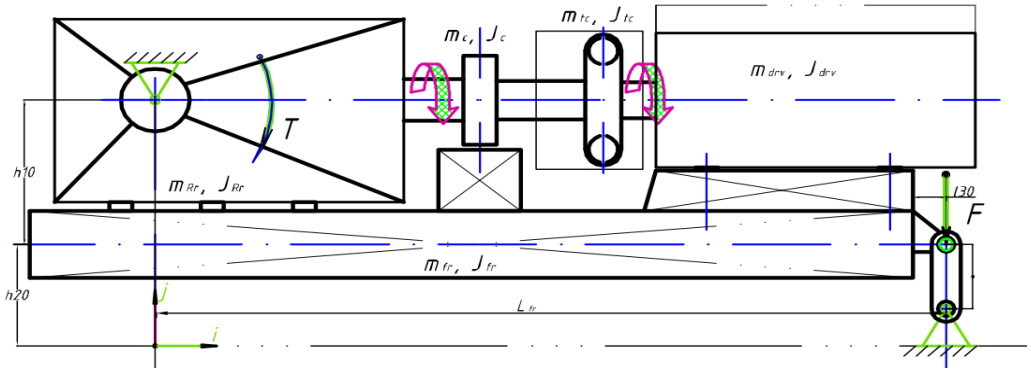


Fig. 3. Block diagram of the driver group

Load and life-cycle of bearings

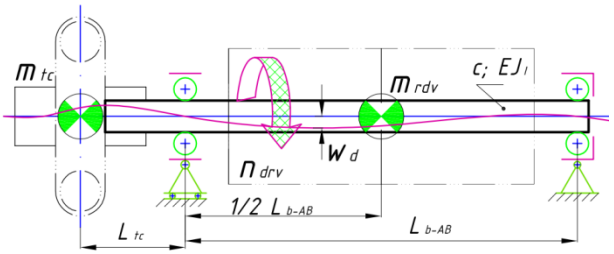


Fig. 4. Electric motor shaft with suspended masses

Figure 3 shows the block diagram of the driver group and Figure 4 - the scheme for loading and supports of the shaft of the electric motor. According to these schemes, the indicators of the nodes, drive, and suspension, as well as the indicators of the bearings are calculated. The scheme in Figure 3 presents the kinematic drive chain, namely: engine – hydrodynamic clutch – clutch/brake – reducer – drive drum. The suspension of the reducers and the drive drum is the same, namely the drive drum bearings, the reactive forces from the drive drum are transmitted through the reducer housing and frame to the reaction rod.

Table 2. *Calculation indicators of the bearings of the considered electric motor* (Nedyalkov 2008; SKF 2023)

	d	D	B	C	C_0	F_{LR}	$e = k_{AL}$
	mm	mm	mm	kN	kN	kN	
NU 328 ECM	140	300	62	780	830	10	0
				X	1	15	
n	1370	rpm		Y	0	20	
a	3.33					30	
6328 C3	140	300	62	251	245	2.92	
X	0.46			X	1	4.39	0.54
Y	1.71	f_0		14 Y	0	5.85	
a	3					8.77	

F_{LA}	$f_0 \cdot F_{LA}/C_0$	P	C/P	L_{10}	L_{10h}	$L_{10h}/50k$
kN		kN		10^6 rpm	h	
0		10.0	78	474552	5773139	115.5
0		15.0	52	140608	1710560	34.2
0		20.0	39	59319	721642	14.4
0		30.0	26	17576	213820	4.3
1.59	0.09	4.1	61.8	236447	2876484	57.5
2.38	0.14	6.1	41.2	70058	852292	17.0
3.17	0.18	8.1	30.9	29556	359561	7.2
4.76	0.27	12.2	20.6	8757	106536	2.1

At an established mode of operation with a constant load, the bearings of all equipment are calculated for a life of 20 to 50 thousand hours, as the last column of Table 2 presents a result for the example calculation of a 630 kW, 6 kV, 1370 rpm, 450L motor for the ratio of the calculated bearing life to 50 thousand hours (L10h/50*10E3), at different support reactions. This ratio guarantees a safety coefficient for bearing life with ranges over the limit of 50,000 hours. It could be seen that for both bearings of the electric motor, the values of this coefficient significantly exceed one. The different support reactions for the same rotor are determined by the different clutches or belt drives mounted on the motor shaft.

The results in Table 2 show that even in the most severe load case presented in row 8, both motor bearings have a life twice the limit of 50,000 hours. The frequency calculation of the considered bearings for a fixed mode is presented in Table 3, and these results also do not show an intersection of the frequency characteristics of the bearings with those of the rotor of the electric motor.

Table 3. *Frequency calculation of electric motor bearings* (Nedyalkov 2008; SKF 2023)

	d_p	d_r	z_r	n_s
	mm	mm		rpm
NU 328 ECM	222	42	14	1380
6328 C3	220	47.625	8	1380

f_s	f_i	f_o	f_c	f_b	f_r
SF	**BPFI**	**BPFO**	**FTF**	**BSF**	**REDF**
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
23.0	191.5	130.5	9.3	58.6	117.2
23.0	111.9	72.1	9.0	50.6	101.3

CPM_s	CPM_i	CPM_o	CPM_c	CPM_b	CPM_r
SF	**BPFI**	**BPFO**	**FTF**	**BSF**	**REDF**
rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm
1380.0	11487.5	7832.5	559.4	3516.6	7033.2
1380.0	6715.0	4325.0	540.7	3038.0	6076.1

Mechanism and dynamic model

The driver system for the first step of idealisation can be idealised to the model shown in Fig. 5. A model shown (OSMC 2023, SimX 2023) in this figure was synthesised and developed in order to study the starting and braking processes in the conveyor through a single-mass model with variable load parameters. The model allows changing both the type and form of resistances and the type and form of starting and braking procedures. The main purpose of the presented model is to allow the study of atypical combinations in the load cases of the driver electric motor, as well as different characteristics of the starting process.

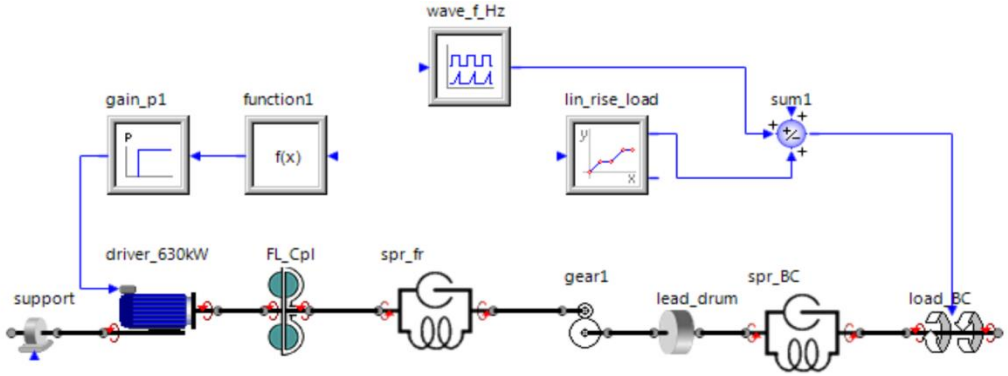


Fig. 5. Dynamic model of the driver group

The starting processes in transporters are a serious research topic (Lodijewiks 2006, Daijie He 2016) for industrial research because of the idealizations and restriction from the laboratory equipment. The type of starting and braking processes determine the length of the start and the average load during the starting procedure (Harrison 1986, Harrison 1983, Gladysiewicz 2019). Figure 6 shows the power, torque, and angular velocity results of the electric motor for starting process using a start-up procedure for belt stresses lightening (Nuttall, 2007).

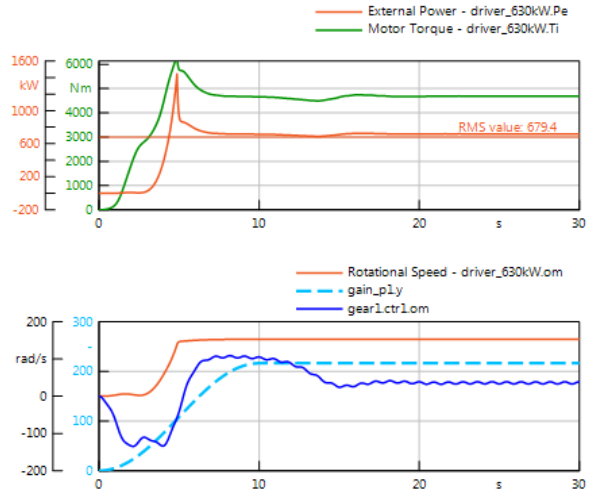


Fig. 6. Example diagram of electric motor parameters for the starting process

The simplified start-up procedure of belt conveyors (Nuttall 2007) uses a dependency of the following type:

$$i_{start} = I_n \cdot \frac{k_I}{2} \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\pi \cdot t}{t_{start}}\right)\right], A$$

where:

I_n is the nominal current of the electric motor;

k_I is the start-up coefficient as foe current for the electric motor;

t_{start} is the time for starting.

Figure 6 presents the motor performance from a simulation for a starting duration of 10s, showing an average starting power of 680 kW. It can be seen that there is no overload for all the modeled processes.

Critical speed of the motor shaft

The balancing of all machines for industrial use goes through several stages, and the permissible static balance of the corresponding rotating part is indicated in the passport data of the machine. Also, for most machines, passport data is available for the permissible misalignment during installation and operation. A resulting parameter from these two indicators is the vibration load of the mounted machine unit, whose measurable indicator is the permissible vibration speed or vibration acceleration of the housing or other main part. This measurable indicator is significantly influenced by the state of bearing units (Nedyalkov 2008; SKF 2023), and systems for continuous control of machine and unit indicators very often use a signal from such type of sensors to track wear or damage in bearings and associated nodes. A system of this type operates with multiple points by traversing and recording the signal from the various points and providing a signal or report to the dispatcher.

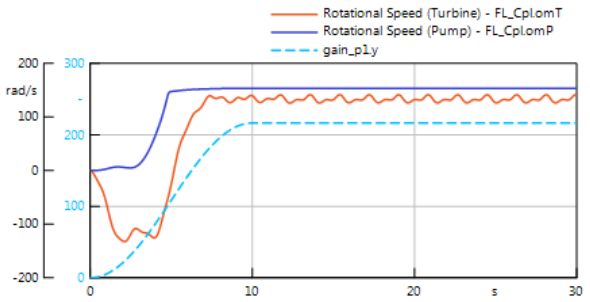


Fig. 7. Example diagram of the turbo clutch indicators for the start-up process

While the static balancing as described above is a relatively well-defined process and industrial procedures are available to manage the performance of machines depending on it, in dynamic balancing of rotating nodes and machines things are not so well set (IEC 60034- 1). Critical rpm of rotating shafts are the subject of serious research and development in turbine machines, internal combustion engines, etc., but in standard unified medium-speed machines (up to 3000 rpm) such information is missing. Example: electric motor catalogues do not list [OMEC 2023, Helmke 2023] rotor weight data, only its mass moment of inertia. Data are given for the bearings, and the permissible force on the motor shaft in terms of belt or chain gear tension, but no data are given for the permissible mass of the clutch with the corresponding assembly.

The effects in the presence of bending oscillations of the motor shaft with their corresponding critical rpm are one of the few deterministic approaches to elucidate a correlation between a rotating rotor and a change in bearing responses during that rotation.

The idealised scheme of critical rpm calculation gives the ratio:

$$\omega_{0i} = \sqrt{\frac{c_{sh}}{m_{i-disk}}}, rad/s,$$

where:

c_{sh} is the stiffness of the shaft for the corresponding section

$m_{i\text{-}disk}$ is the mass of the corresponding disk.

In this computation model, it is assumed that only the shaft is deformed, and all other details, including the bearings, are non-deformable. The stiffness of the shaft is calculated by various methods and calculation systems, while most often the mass is known. For a console part of the shaft, a centrally loaded shaft with a distributed load and a concentrated force, the dependencies are known:

$$c_{con} = \frac{3 \cdot E_y \cdot J_A}{L_i^3}, N/m$$

$$c_{bq} = \frac{384 \cdot E_y \cdot J_A}{5 \cdot L_i^3}, N/m$$

$$c_{cF} = \frac{48 \cdot E_y \cdot J_A}{L_i^3}, N/m,$$

where:

E_y is the modulus of elasticity of the shaft material,

J_A is the moment of inertia of the shaft section,

L_i is the length of the corresponding section,

c_{con} – is console part stiffness,
c_{bq} – is distributed load stiffness,
c_{cF} – is stiffness corresponding to concentrated load.

On the other hand, shaft stiffness can be calculated by:

$$c = F_i/w_{st}\ , N/m\ ,$$

where w_{st} is the static sag under the force F_i. This dependence allows the connection of deformations in the shaft with its critical revolutions.

When experimentally measuring the critical rpm of the shafts, it is considered that the above dependences are estimated, in other words, there is a deviation between the measured value and the calculated value. It is accepted that the critical rpm for real machines are estimated as a critical area with a range of about 80 to 120% of the calculated critical angular speed. Dependencies for evaluating the mutual influence of several critical masses also give a deviation from the measured value, and the Dunkerley or Rayleigh methods can be used.

$$\omega_{0-Dunkerley} \cong \sqrt{\frac{1}{\omega_1^2}+\frac{1}{\omega_2^2}+\ldots+\frac{1}{\omega_i^2}}, rad/s$$

$$\omega_{0-Rayleigh} \cong \sqrt{\frac{g\cdot\sum G_i\cdot w_i}{\sum G_i\cdot w_i^2}}, cycles/s$$

These calculations were carried out for the selected engine and clutch and the results are given in Table 4. Since the formulae above are estimated (approximate), they allow the interpretation of at least two cases of loading and deformations in the shaft. The first case assumes the stiffness of the shaft as maximum possible; in other words, the rotor stiffens the shaft, which fits into the requirements of standard IEC 60034-1. The second case assumes the stiffness of the shaft according to its section.

Table 4. *Frequency calculation of shaft – rotor system*

	n_n, rad/s| Hz| rpm			145	23	1380
	m_i	$w_{i\text{-}ст}$	c_i	$\omega_{0\text{-}i}$	$f_{0\text{-}i}$	
	kg	mm	kN/mm	rad/s	Hz	rpm
shaft	229	0.1352	17.7	277.7	44.2	2652
rotor (shaft stf)	1637	0.1352	17.7	104.0	16.5	993
rotor	1637	0.0002	70.8	207.9	33.1	1985
Turbo coupling	650	0.0112	604.6	964.5	153.5	9210
			Rayleigh	190.4	30.3	1819
case - stiff			Dunkerley	203.2	32.3	1941
			Rayleigh	54.3	8.6	519
case - soft			Dunkerley	103.4	16.4	987

The second case corresponds to a double (or repeatedly) bent elastic line of the shaft, when the entire load is transmitted only through the shaft. The assessment of critical rpm and areas is presented in the last row of the Table. 4, both values being below the engine's rated operating speed. The Rayleigh estimate is expectedly very low (47% lower), and the Dunkerley estimate is 0.58% - the lowest frequency for a single mass on the shaft. Dunkerley's formula estimate is 71.5% of the rated engine rpm. At critical revolutions, the bearing load cannot be calculated with the formulae from the previous section. The dynamic force on the bearing is:

$$F_{dyn-b} = c_b \cdot w_d,$$

Which, for a deformation of about 150um (as much as the standardised clearance in the bearing) for the considered case, corresponds to ~6 kN force in the axial direction. This force is enough to drop the bearing's durability from 50,000 hours to 20,000 hours.

Conclusions

The presented methodology and computing models make it possible to evaluate the influence between a driver system with a rotating load (torque) and the power load on the bearings of the electric motor by considering the effects of bending vibrations in the shaft. The dynamic model allows to perform a simulation with an overload of the system, the action of which overload is about 10 s, and the angular speed of rotation of the turbine wheel of the hydrodynamic clutch is in the critical zone calculated in Table 4.

In order to upgrade and improve the methodology, it is necessary to develop a research model for the modal study of the electric motor shaft and the masses attached to it using the Finite Element Method. With precise three-dimensional modelling, setting the correct characteristics of the materials, the position of the masses, and, particularly important, the correct support connections and reactions, the accuracy of the method can reach 2.5%, which for a similar task is an excellent result.

The future development of the methodology necessarily includes recording of experimental data, as the real system has more than two fixed masses to the shaft of the electric motor.

The effects of critical rpm on electric motors are not well represented at the cataloguing and standardisation level. In the catalogues, the maximum level of information includes the dimensions and type of bearings of the electric motor and tabulated values of the permissible forces acting on the motor shaft for installation reasons, which is not sufficient for the correct calculation and evaluation of the effects of the critical revolutions on the rotor. In order to evaluate the effects of bending oscillations on the electromagnetic force created by the rotor and the electromagnetic imbalance in a completeness sufficient for engineering practice, additional information is needed to parametrise a model including mechanical and electromagnetic interactions.

Acknowledgment. This research was supported by the MEMF 171/2022 internal regulation project of UMG “St. Ivan Rilski”.

References

Bortnowski, P., L. Gładysiewicz, R. Krol, M. Ozdoba. 2021. Models of Transverse Vibration in Conveyor Belt—Investigation and Analysis, ISSN:1996-1073, *Energies 14* (14) (2021) 4153, https://doi.org/10.3390/en14144153.

Bortnowski, P., W. Kawalec, R. Krol, M. Ozdoba. 2022. Identification of conveyor belt tension with the use of its transverse vibration frequencies, ISSN: 0263-2241, *Measurement 190* (2022), 110706, https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110706

Daijie He, Pang Yusong, G. Lodewijks. 2016. Speed control of belt conveyors during transient operation, ISSN: 0032-5910,

Powder Technology 301 (2016) 622–631, http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.07.004.

Gładysiewiczq L., R. Król, W. Kisielewski. 2019. Measurements of loads on belt conveyor idlers operated in real conditions, ISSN: 0263-2241, *Measurement 134* (2019) 336–344, https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.068.

Harrison, A. 1983. Criteria for minimising transient stress in conveyor. *Trans. Inst. Eng., Australian Mech. Eng.* 1983, ME8, 129–134, Australia.

Harrison, A. 1986. Determination of the natural frequencies of transverse vibration for conveyor belts with orthotropic properties, ISSN:1095-8568, *J. Sound Vib. 110* (3) (1986) 483–493, https://doi.org/10.1016/S0022-460X(86)80149-3

HELMKE. 2023. *High-Voltage Motors with Flameproof Enclosure*, helmke.de (visited 05.2023).

HOU You-fu, MENG Qing-rui. 2008. Dynamic characteristics of conveyor belts. ISSN: 1674-5264, *J China Univ Mining & Technol 18* (2008) pp. 629–633.

Lazov, L., N. Kotzev. 2014. Concerning on the choice of the crosssection of the main girder of bridge cranes, ISSN:0861-9727, *Mechanika na machinite*, 107, year 22, book 3, pp. 72-76, Varna (in Bulgarian with English abstract).

Lazov L., N. Kotzev, Kr. Krastanov. 2018. Mashini za neprekasnat transport, ISBN:978-954-12-0251-7*, VTU “T. Kableshkov”*, Sofia. (in Bulgarian)

Lodewijks, G. 1996. *Dynamics of Belt Systems* (dissertation thesis), ISBN: 90-370-145-9, TU Delft.

Nedyalkov, P., Dr. Vrazhilski, D. Ralev. 2008. Research over frequency band in roller bearing assembly at working conditions. ISSN: 1312–1820, *Annual of University of Mining and Geology, Vol. 51, book III*, pp. 79-82, UMG, Sofia. (in Bulgarian with English abstract).

Nuttall, Ash. 2007. *Design Aspects of Multiple Driven Belt Conveyors (dissertation thesis)*, ISBN 978-90-5584-092-2, TRAIL Research School, Delft, The Netherlands.

OMEC 2023. *OMEC motors, ELECTRIC MOTORS CATALOGUE*, omecmotors.com (visited 05.2023).

Open Source Modelica Consortium (OSMC 2023), OpenModelica, www.openmodelica.org (visited 05.2023)

Shamsi M., M. Nehring. 2021. Determination of the optimal transition point between a truck and shovel system and a semi-mobile in-pit crushing and conveying system, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, ISSN:2225-6253, vol. 121, no. 9, pp. 497–504, http://dx.doi.org/10.17159/2411- 9717/1564/2021.

SimulationX (SimX 2023), ESI Group, http://www.simulationx.com (vis. 05.2023)

SKF 2023. SKF.com, skf.bearingselect.com, (visited 05.2023)

MODAL ANALYSIS FOR THE DRIVER STATION OF A BELT CONVEYOR

Petko Nedyalkov, Simeon Savov

“St. Ivan Rilski” University of Mining and Geology - Sofia, Faculty of Mining Electromechanics, E-mail: petko.nedyalkov@mgu.bg; simeon.savov@mgu.bg

ABSTRACT: The article deals with the use and applicability of modal analysis methods in ~~of~~ assessing the durability indicators and exploitation stability for the mechanical structures and systems in driver groups of a belt-conveyor. The methods of modal analysis gave the possibility to analyse the behaviour and parameters of a dynamic system through pure static research methods and techniques. Through this methodical treatment, some structural changes and reactive support are researched, along with their influence on the dynamic behavior of the support frames and driver groups from the driver stations of a belt conveyor. Dynamic models for the support frame of the driver group and station are developed estimating the stability of the frame towards bending vibrations. From that particular modelling, diagrams and result in a tabular form are presented.

KEYWORDS: belt conveyor, driver group frame, dynamic model, modal analysis.

МОДАЛЕН АНАЛИЗ НА ЗАДВИЖВАЩАТА СТАНЦИЯ ЗА ГУМЕНО-ЛЕНТОВ ТРАНСПОРТЬОР

Петко Недялков, Симеон Савов

Минно–Геоложки Университет „Св. Иван Рилски“ – София, МЕМФ, e-mail: petko.nedyalkov@mgu.bg; simeon.savov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ: В работата се разглежда използването и приложимостта на методите на модалния анализ за оценка на показателите на дълготрайността и експлоатационната устойчивост за механичните структури и системи на задвижващите групи на гумено-лентов транспортьор. Методите на модалния анализ дават възможност да се анализират поведението и показателите на динамична система при използване на чисто статични изследователски методи и техники. При тази постановка са изследвани някои структурни взаимодействия, както и структурната реакция, и тяхното отражение върху поведението на динамичната система на рамите и задвижващите групи от задвижващата система на гумено-лентов транспортьор. Разработени са динамични модели на рамата на задвижващата станция, като подробно е изследван модел за оценка на устойчивостта на рамата спрямо огъващи трептения, като на база на този модел са изведени резултати в графичен и табличен вид.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: гумено-лентов транспортьор, рама на задвижваща група, динамичен модел, модален анализ

INTRODUCTION

This study examines the dynamics of a rubber belt conveyor driver group, along with an evaluation of the driver frame performance. Rubber belt conveyors (RBCs) are experiencing a "renaissance" in contemporary technological schemes. The possibility of shortening the transport and conveyance distance of mining dump trucks by installing inclined conveyors through the non-working board of the mine or through inclined transport construction, can shorten the transportation path of dump trucks by up to 5-6 times (Shamsi, 2021). The frame of the driver group performs a supporting function and connection between the units forming the driver group, namely: reducer, clutch, turbo clutch, and electric motor. The configuration preferred in mining industry is using a bevel gear cylindrical reducer, couplings, and electric motor due to the longitudinal expansion and release of the frame by a rear reactive support. The reducer is suspended on the drive drum shaft by two couplings, as shown in Figure 2, and the load from the driver group is taken by the two driver drum bearings. The reactive support takes part of the load from the driver group and its frame and the force from the reactive moment when driving the conveyor.

Regime changes in conveyor loading are directly reflected on the frame and its reactive support. The stiffness of the frame corresponds to its dynamic deformations, which is a prerequisite for its modal study.

THEORY AND METHODOLOGY

The main purpose of the modal analysis is to evaluate the mutual influence of the driver group and the transport nodes in the frequency area or, in engineering terms, compare forced and natural frequencies. Belt conveyors have many installed parts and assemblies, and even in an established mode, they create a prerequisite for causing dynamic effects and phenomena. Four main causes can be considered together with their respective analysis methods when the dynamic effects occur:

– elastic wave propagation and theory of elastic sound wave propagation in different media (Lodewiks 1996, Daijie He 2016, Bortnowski 2021, Bortnowski 2022, Hou 2008);

– propagation of tension waves in the direction of the axis of the belt and the direction of movement of the conveyor (Harrison 1983, Harrison 1986);

– propagation of transverse waves along the axis of the

conveyor (Harrison);

– propagation of longitudinal waves caused by the movement of the tension system and the elasticity of the belt as a discrete mechanical system (Harrison 1983, Damyanov 2008, Damyanov 2009a, Damyanov 2009b).

The four examined methodologies have theoretical borrowings and in some aspects seem identical, but the results are different, which allows them to be separated for the purposes of comparative analysis. The parameters of the considered belt fabric are given in Table. 1.

Table 1. *Indicators of the belt and its carcass*

	belt properties		steel rope properties		
μ=(m'·B)/l'	51.7		0.138		kg/m
E	7.930E+09	7.930	1.313E+11	131.3	Pa | GPa
ρ = m/V	1422.9		6498.0		kg/m³
A	0.036320		2.124E-05		m²
J	1.560E-06	1.560	4.522E-09	0.005	m⁴ | mm⁴
EJ	1.237E+04		5.935E+02		N·m²
	v, m/s	T_{ld}, s	f_{ld}, Hz	n_{ld}, rpm	
v_b	2.9	1.39	0.72	43.3	
average	v, m/s		E_{avg},GPa	ρ, kg/m³	
v_{ST}	4340.0		122.4	6498.0	
$v_{LWS\text{-}avg}$	2360.0		7.925	1422.9	

The theory and methodology presented in the works of (Harrison 1983, Harrison 1986) is based on the transmission of tensile stress waves through the skeletal structure of the belt, where the wave speed is highest, as all other media through which mechanical stress is transmitted slow down or the wave speeds are lower. Characteristic velocities – the velocity calculated as a square root of the characteristic wave equation can be calculated from:

$$v_c = v_{CU} - \frac{\Delta Q}{Q_D}(v_{CU} - v_{CL}), m/s$$

$$v_{CL} = v_{ST}\sqrt{\frac{\mu_{ST}}{\mu_b + \mu_{rC}(x) + \mu_m(x)}}, m/s$$

$$v_{CU} = v_{ST}\sqrt{\frac{\mu_{ST}}{\mu_b + \mu_{rC}(x)}}, m/s$$

$$v_R = v_{ST}\sqrt{\frac{\mu_{ST}}{\mu_b + \mu_{rR}(x)}}, m/s,$$

where:

- v_{ST} =4300 m/s is the speed of the elastic steel cord (SC) of the belt fabric;
- v_{FW} = 500 to 1500 m/s is the speed of the elastic wave in the fabric cord (FW) of the belt;
- μ_{rC} is linearly distributed mass in the load branch of the conveyor from the roller supports;
- μ_m – linearly distributed mass of presence of material on the belt;
- μ_{rR} – linearly distributed mass from the roller supports in the return branch of the conveyor;
- μ_b – linearly distr. mass of the rubber elements of the strip;
- μ_{ST} – linearly distributed mass of the steel cord (steel ropes) of the belt skeleton;
- μ_{FW} – linearly distributed mass of the textile cord (textile weft) of the belt skeleton;

For belts with a textile cord in the formulae, the symbols with the index “SC” are replaced by those with “FW”.

Table 2. *Indicators of wave speeds and their corresponding frequencies* according to Harrison (Harrison 1983)

	v	T = 2·L/v	f = 1/T	n = 60·f
1983,2020 H-n	m/s	s	Hz	rpm
v_{CL}	762.0	5.17	0.19	11.6
v_{CU}	1961.9	2.01	0.50	29.9
v_R	2069.2	1.90	0.53	31.5
v_C	1242.0	3.17	0.32	18.9
$v_{tkp\text{-}L}$	13770.4	0.29	3.5	209.7
$v_{tkp\text{-}U}$	18844.9	0.21	4.8	287.0

According to the methodology of Lodewijks, Hou and Nutall (Lodewijks 2022, Hou 2008, Nutall 2007), the transmission speeds of the axial stresses through the belt are defined as the speed of an elastic (sound) wave:

- longitudinal wave speed $v_{LWS} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ or $v_{LWS} = \sqrt{\frac{E_b \cdot A}{\mu_b}}$;
- axial propagation speed of transverse waves

$$v_{APS} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \sqrt{\frac{F_t}{\rho_b \cdot A}} \text{ or } v_{APS} = \sqrt{\frac{F_t}{\mu_b}},$$

at an unloaded belt, as only the modulus of elasticity and the density of the medium affect the transmission of the elastic wave.

Table 3. *Indicators of wave speeds and their corresponding frequencies* according to Lodewijks (Lodewijks, 1996)

1996 Lws	v, m/s	T, s	f, Hz	n, rpm
v_{LWS}	2360.7	1.67	0.60	35.9
v_{APS}	61.4	64.12	0.02	0.9
$v_{LWS\text{-}R}$	1751.5	2.25	0.44	26.7
$v_{LWS\text{-}L}$	703.8	5.60	0.18	10.7
$v_{APS\text{-}R}$	45.6	86.42	0.01	0.7
$v_{APS\text{-}U}$	89.2	44.18	0.02	1.4
$v_{APS\text{-}L}$	37.4	105.23	0.01	0.6

The elastic wave speeds under the different loading are calculated by:

$$v_{LWS-R} = \sqrt{\frac{E_b \cdot A}{\mu_b + \mu_{rR}}} \quad v_{LWS-L} = \sqrt{\frac{E_b \cdot A}{\mu_b + \mu_{rU} + \mu_m}}$$

$$v_{APS-R} = \sqrt{\frac{S_1}{\mu_b + \mu_{rR}}} \quad v_{APS-L} = \sqrt{\frac{F_t}{\mu_b + \mu_{rC} + \mu_m}}$$

$$v_{APS-U} = \sqrt{\frac{F_t}{\mu_b + \mu_{rC}}},$$

and here the tensile force in the belt fabric is included as a determining factor.

According to Bortnowski's methodology (Bortnowski 2021): the belt is considered as a stretched string, where the wavelength and the length of the sector of the string are related: $L = n_m \cdot (\lambda/2)$, and for the frequency $f = v/l$ of the string, the influencing factors are two: tensile force and linearly distributed mass of the load on the string:

$$f_{str} = \frac{n_m \cdot \pi}{2 \cdot L}\sqrt{\frac{F_t}{\mu_i}}, Hz \quad \text{and} \quad v_{str} = f \cdot \lambda = f \cdot \frac{2 \cdot L}{n_m} = \pi\sqrt{\frac{F_t}{\mu_i}}, m/s,$$

where n_m is the number of the mode being investigated. If the dependence of the influence of the speed of movement and

filling of the belt on its natural frequencies, it could be written:

$$f_{str}\left(L,F_t,v_b\right)=\frac{n_m\cdot\pi}{2\cdot L}\sqrt{\frac{F_t-B\cdot\mu_{Ai}\cdot v_b^{\,2}}{B\cdot\mu_{Ai}}},Hz$$

Table 4. *Indicators of wave speeds and their respective frequencies* according to Bortnowski (Bortnowski 2021)

2021 Bw	n_m =	1		
	v, m/s	T, s	f, Hz	n, rpm
$v_{str\text{-}R}$	207.6	18.97	0.053	3.2
$v_{str\text{-}CL}$	117.6	33.50	0.030	1.8
$v_{str\text{-}CU}$	241.4	16.32	0.061	3.7
$v_{sb\text{-}R}$	0.0	210275.3	0.000	0.0
$v_{sb\text{-}CL}$	0.0	523289.3	0.000	0.0

The Bortnowski development of the above analytical methodology for string behaviour with consideration of the bending stiffness of the belt and the bending of the belt under the action of weight and the influence of the speed of the belt is given as follows (Bortnowski 2021):

$$f_b\left(L,F_t\right)=\frac{n_m\cdot\pi}{2\cdot L^2}\sqrt{\frac{EJ}{B\cdot m_t}}\cdot\sqrt{1+\frac{F_t\cdot L^2}{\pi^2\cdot EJ}},Hz$$

$$f_b\left(L,F_t,v_b\right)=\frac{n_m\cdot\pi}{2\cdot L^2}\sqrt{\frac{EJ}{B\cdot m_t}}\sqrt{1+\frac{\left(F_t-B\cdot m_t\cdot v_b^{\,2}\right)\cdot L^2}{\pi^2\cdot EJ}},Hz\ ,$$

where EJ is the bending stiffness of the belt (Lazov, 2018, Lazov 2014).

Table 5. *Indicators of wave speeds and their corresponding frequencies at active length variation*

L_i	5	m	k_L =	5
	v, m/s	T, s	f, Hz	n, rpm
$v_{sb\text{-}R}(L)$	2908.7	1.355	0.74	44.3
$v_{sb\text{-}CL}(L,F_t)$	14798.4	0.266	3.76	225.4
$v_{sb\text{-}CL}(L,v,F_t)$	14754.2	0.267	3.74	224.7

The methodology for considering the influence of the bending stiffness of the belt on the transverse waves gives results indistinguishable from zero, as shown in the last two rows of Table. 5. In this case, this is due to the priority influence of the length, which prevails over the other factors.

If the length is changed, the results presented in Table. 5 show that it is possible for band-bending phenomena to introduce significant effects. Such a change of the terminal length (the length between the axles of the driving and turning drum) that affects the performance of the string in the belt conveyor is the entry into a different roller system or the transitions between: driving and tensioning drum; the two driving drums, etc.

In the methodology for studying a system with concentrated masses, the main factors are the stiffness of the belt and the number and size of the masses set in motion. The linear deformation modulus of the belt could be determined experimentally according to:

$$E_Y=\frac{\sigma}{\varepsilon}=\frac{F/A}{\Delta L/L}=\frac{F\cdot L}{A\cdot\Delta L}=\frac{F\cdot L}{B\cdot s_{\Sigma}\cdot\Delta L},MPa\ ,$$

or if given the catalogue value of the belt modulus (ContiTech 2018) to convert, to the following dependencies:

$$BM\left(N/mm\right)=\frac{E\left(MPa\right)}{B\left(mm\right)}\cdot A\left(mm^2\right)$$

$$BM\left[\left(N/mm\right)/Ply\right]=\frac{E\left(MPa\right)}{z_{ply}\cdot B\left(mm\right)}\cdot A\left(mm^2\right)$$

The reduced mass and the number and rates of freedom involved in the oscillation can be determined by various methods. Harrison proposes (Harrison 2018) to analyse a single mass system where the mass of the tension weight moves together with one third of the total mass of the conveyor, including the reduced masses of the rotating parts, too. The swing frequency of the tension weight and the influence of the tension weight is calculated from:

$$\left(m_{tkp}+1/3\cdot m_{eq}\right)\cdot\ddot{x}+b\cdot\dot{x}+c\cdot x=F\left(t\right)$$

$$f_{tkp\,i}=\frac{1}{2\cdot\pi}\sqrt{\frac{c_i}{m_{tkp}+1/3\cdot m_{eq\,i}}},Hz$$

Results for the considered conveyor are given in Table. 2. This setting is not applicable to tensioning devices that are rope-polyspaston, spring, and hydraulic without modification and addition. For them, the methods discussed in previous publications could be applied, more specifically (Damyanov 2009a, 2009b, 2008). It should be foreseen that when the systems and methods are complicated, there is a question of identifying and evaluating some (Gladysiewicz 2019, Grincova 2016) of the indicators of the dynamic process in order to specify and refine the calculations.

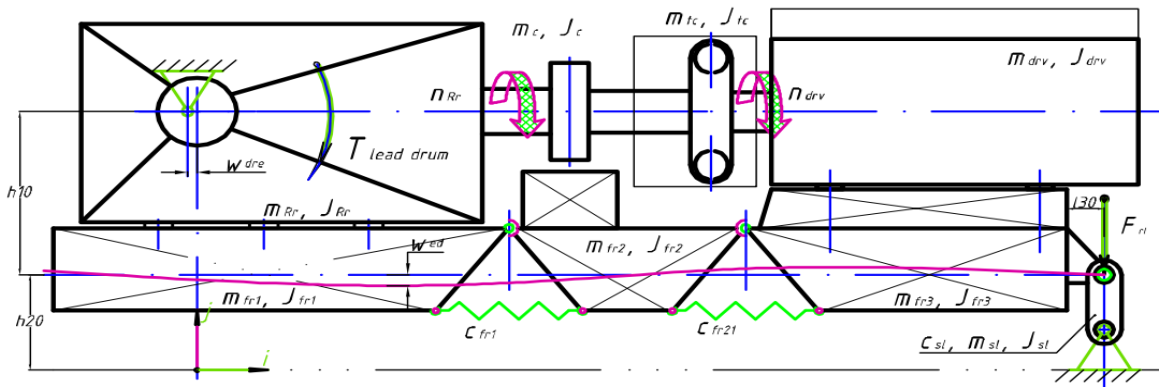


Fig. 1. Scheme towards calculation of the driver group frame

Results and analysis

The present study examines the problem of the occurrence and propagation of oscillating processes and phenomena from the position of the driver group of the conveyor belt. A dynamic model and research methodology was synthesised and investigated, focusing on a detailed study of the behaviour of the driver group frame as a mechanism, the bending of the driver group frame, as well as the dependent or related variations of the motor torque transmitted to the belt driver drum.

The methodology could be summarised as follows:

- generalised analysis of dynamic indicators for calculation and evaluation of periodic and discrete phenomena;
- dynamic model of the driver system and conveyor;
- assessment of periodic and harmonic processes and indicators;
- modal analysis of the driver group frame;
- analyses and conclusions.

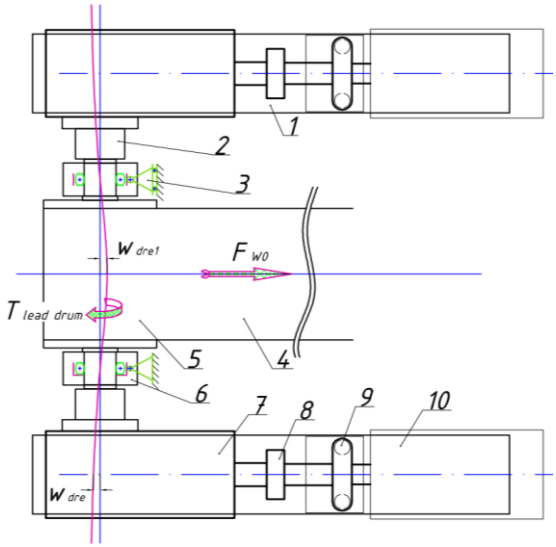


Fig. 2. Scheme of a station with a double-sided drive of a driving RBC drum

The dynamic model of the conveyor is made in a simulation (OSMC 2023, SimX 2023) environment, Figure 4, and the purpose of this model is to be able to introduce the factors affecting and determining the transmission of various elastic waves between the conveyor and the driver group. The model is built as linearized, where all elastic-damping elements are linear functions of the deformation.

The driver station may consist of one or two motor-reducer groups connected to the driver drum shaft, as shown in Figure 2. The driver groups are configured as shown in Figure 1. The movement of the group around the centre of rotation could be seen as a hinge four-bar mechanism around the centre of the driver drum bearings. The movement of the main unit (the frame) is dictated by the reactive moment in the driver drum shaft and is transmitted through the frame structure to the support reaction rod, and the dynamic components of the reactive moment are determined by the conveyor.

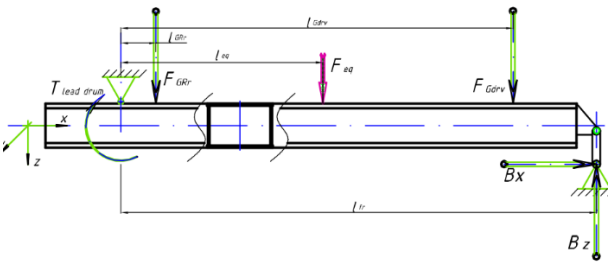


Fig. 3. Scheme for the calculation of frame bending

As to a first approximation, the driver group frame is modelled as a deformable beam according to the loading scheme of the driver station shown in Figure 3. In the driver group frame model considered in this way, priority is given to bending, since the other types of stress are partially or completely relieved by the configuration of the bearing supports. The study of bending (Lazov 2014, Lazov 2018) of a spatial beam is not a complex process and could be performed using a classical approach or the finite element method. In the idealised scheme, thus adopted, the bending moment on the frame of the group is composed of the weight of the nodes and the driving torque acting on the conveyor drum.

The results of analysis with the finite element method are presented in Figures 5, 6, 7, and 8, according to the loading scheme, Figure 1, as having in mind that in case of malfunction of the supports, the idealisation described above is not valid and another model is needed for research. The modal analysis of the frame with finite element method (Figures 5, 6, 7, and 8) in bending modes for the different variants shows frequencies from 12 Hz to 43 Hz. These results differ several times and more (up to 100 times) from the results presented in Tables 2, 3, and 4, but compared to the results presented in Table 5 the difference is 2 or 3 times, as the main influencing factor is the terminal length. It should not be missed that these values (12-43 Hz) are within the range of the motor, especially when starting and stopping the conveyor. Also, this range is within the range of influence of tension weight.

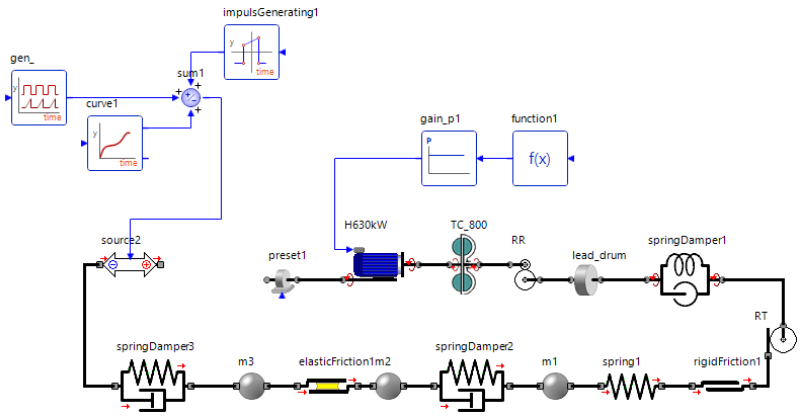


Fig. 4. Dynamic model of the driver group

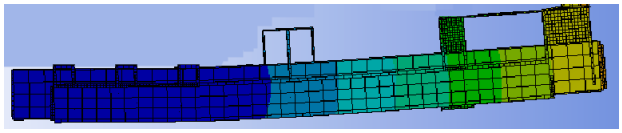


Fig. 5. Own shape of bending oscillations at frequency 12.2 Hz

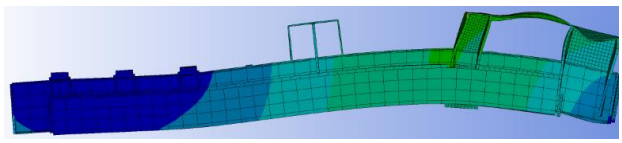


Fig. 6. Own shape of bending oscillations at frequency 31.9 Hz

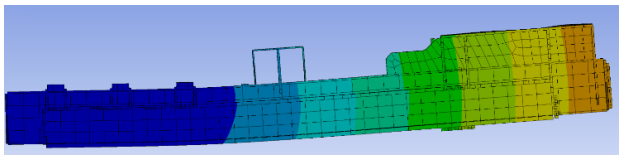


Fig. 7. Own shape of bending oscillations at frequency 17.3 Hz for a stiffening variant

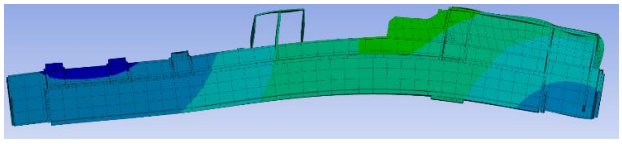


Fig. 8. Own shape of bending oscillations at frequency 42.6 Hz for a stiffening variant

As the phenomena and the dependencies between them become more complex, the models with which we evaluate them also become more complex. By comparing the forced frequencies at the start-up of the conveyor, the areas of intersection between the various components could be estimated.

Tables 6 and 7 show the results at the initial and final iterations for changing the frame stiffness of the driver group spr_FR and in the loaded and unloaded case ($m_1 = m_2 = m_3$, m_{1L} = 314.5 t, m_{1U} = 128.94 t) - when studying the natural frequencies and shapes through the model shown at Figure 4.

Table 6. *Calculated natural frequencies from the model at parameters of the original driver group frame*

c_{1_FR}	3.345E+08	Nm/rad			
	f_L, Hz	f_U, Hz	Δf, %	n_L, rpm	n_U, rpm
$f_{0\text{-}1}$	0.123	0.189	35.1	7.4	11.4
$f_{0\text{-}2}$	2.38	3.64	34.6	142.7	218.4
$f_{0\text{-}3}$	4.15	6.44	35.5	249.1	386.2
$f_{0\text{-}4}$	16.02	16.67	3.9	960.9	1000.0

Table 7. *Calculated natural frequencies from the model when changing the parameters of the driver group frame*

c_{2_FR}	1.199E+09	Nm/rad			
	f_L, Hz	f_U, Hz	Δf, %	n_L, rpm	n_U, rpm
$f_{0\text{-}1}$	0.123	0.185	33.4	7.4	11.1
$f_{0\text{-}2}$	2.38	3.46	31.3	142.7	207.7
$f_{0\text{-}3}$	4.15	6.44	35.5	249.0	386.3
$f_{0\text{-}4}$	17.37	18.07	3.9	1042.4	1084.4

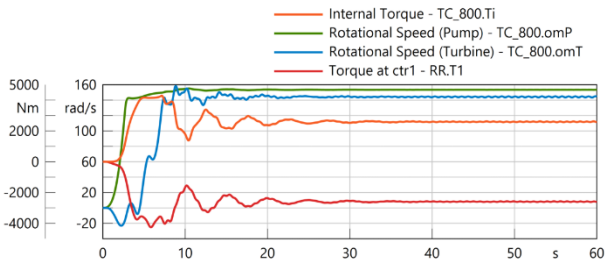


Fig. 9. Simulation results for the behaviour of the driver group - indicators of the turbo clutch

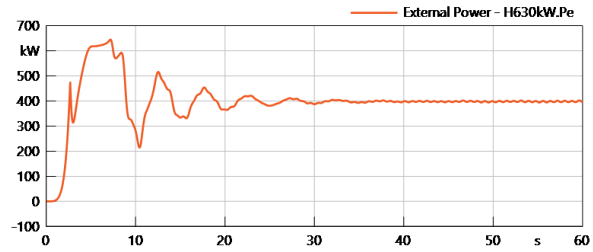


Fig. 10. Simulation results for powertrain behaviour - engine power

Conclusions

The precise calculation of the modal characteristics given in Tables 6 and 7 shows that the stiffening of the frame as shown in Figures 5 to 8 and set for several iterations respectively 3.6 times increase in frame stiffness, shows a result of 7.8% increase on the fourth natural frequency of the system and negligible influence on the first three. In this particular case study, such a change is not sufficient because the fourth natural frequency is 33% of the motor rotation frequency.

The main requirement for calculating the modal characteristics of the system to the presented model is fulfilled and the model allows setting stiffness and mass parameters by calculating the numerical values of the modal indicators of the system. Several parametric nodes representing elastic and dry friction in the system have been added to the model, but their precise parameterisation requires the processing of experimental data, which is not the subject of this study.

The model allows changing several parameters and monitoring dozens of system indicators. The main set indicators are the stiffness of the belt (Belt modulus), the division of the total mass of the moving parts of the conveyor between the moving masses m_1-m_3, the characteristic and components of the resistance force F_{res2}, and the indicators of the driver nodes, respectively, electric motor and turbo coupling.

The main indicators for analysis and tracking can be purely mechanical, as shown in Figures 9 and 10 - the mechanical characteristics of the driver group. Dynamic and kinematic characteristics could also be monitored.

The refinement of the model results and the computational methodology requires the development of an experimental set-up and processing of its results, which is a goal and a challenge for future development.

Acknowledgements. This study is supported by the MEMF 171/2022 research project of UMG “St. Ivan Rilski”.

References

Bortnowski, P., L. Gładysiewicz, R. Krol, M. Ozdoba. 2022. Models of Transverse Vibration in Conveyor Belt—Investigation and Analysis, ISSN: 1996-1073, *Energies 14* (14) (2021) 4153, https://doi.org/10.3390/en14144153.

Bortnowski P., Kawalec W., Krol R., Ozdoba M., 2022. Identification of conveyor belt tension with the use of its transverse vibration frequencies, ISSN: 0263-2241, *Measurement 190 (2022*), 110706, https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110706

Continental 2018, *ContiTech Product Brochure* 2018, www.contitech-select.com, (visited 05.2023)

Daijie He, Pang Y., Lodewijks G., 2016. Speed control of belt conveyors during transient operation, ISSN: 0032-5910, *Powder Technology 301 (2016*) 622–631, http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.07.004

Damyanov Tsv., L. Lazov, P. Nedyalkov, 2009a, Izsledvane trepteniyata na elementite ot dvubarabanna zadvizhvashto opavatelna sistema za lentov transportyor. ISSN:1314-040X, *Sbornik dokladi ot IV konferencia s mezhdunarodno uchastie “Mashinoznanie I mashinni elementi 2008"* pp.175-185, Heron Press, Sofia.

Damyanov Tsv., Lazov L., Nedyalkov P., Kostadinov E. 2009b, Indirect methods for the measurement of driver torque for belt conveyor driver drums, *X-th Jubelee international conference in open and underground mining of ores and minerals*, ISSN:1314-8777, Varna, Bulgaria, (in Bulgarian with English abstract).

Damyanov Tsv., Lazov L., Nedyalkov P., 2008. Mathematical modeling and modal analysis of the two drum driver system for belt conveyors. ISSN:1312-1820, *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 51*, Part III, pp.39-42, publ. UMG – Sofia, (in Bulgarian with English abstract).

Gładysiewicz L., Król R., Kisielewski W., 2019. Measurements of loads on belt conveyor idlers operated in real conditions, ISSN: 0263-2241, *Measurement 134 (2019)* 336–344, https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.068

Grincova A, Andrejiova M, Marasova D, 2016. Failure analysis of conveyor belt in terms of impact loading by means of the damping coefficient, ISSN: 1350-6307*, Engineering Failure Analysis 68 (2016)* pp. 210–221, http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.06.006

Harrison, A. 1983. Criteria for minimising transient stress in conveyor. Trans. Inst. Eng., *Australian Mech. Eng*. 1983, ME8, 129–134, Australia.

Harrison, A., 1986. Determination of the natural frequencies of transverse vibration for conveyor belts with orthotropic properties, ISSN:1095-8568, *J. Sound Vib. 110 (3)* (1986) 483–493, https://doi.org/10.1016/S0022-460X(86)80149-3

HELMKE 2023, *High-Voltage Motors with Flameproof Enclosure*, helmke.de (visited 05.2023)

HOU Y., MENG Q., 2008. Dynamic characteristics of conveyor belts. ISSN: 1674-5264, *J China Univ Mining & Technol 18* (2008) pp. 629–633.

Lazov L. and Kotzev N., 2014. “Concerning on the choice of the crosssection of the main girder of bridge cranes, ISSN:0861-9727, *Mechanika na mashinite, 107, year 22, book 3*, pp. 72-76, Varna (in Bulgarian with English abstract).

Lazov L., N. Kotzev and Kr. Krastanov, 2018. Mashini za neprekasnat transport, ISBN:978-954-12-0251-7, *VTU “T. Kableshkov”*, Sofia.

Lodewijks G., 1996. *Dynamics of Belt Systems* (dissertation thesis), ISBN: 90-370-145-9, TU Delft (1996)

Nuttall Ash. 2007, *Design Aspects of Multiple Driven Belt Conveyors* (dissertation thesis), ISBN 978-90-5584-092-2, TRAIL Research School, Delft, The Netherlands.

Open Source Modelica Consortium (OSMC 2023), OpenModelica, www.openmodelica.org (visited 05.2023)

Shamsi M. and Nehring M., 2021. Determination of the optimal transition point between a truck and shovel system and a semi-mobile in-pit crushing and conveying system, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, ISSN:2225-6253, vol. 121, no. 9, pp. 497–504, http://dx.doi.org/10.17159/2411- 9717/1564/2021

SimulationX (SimX 2023), ESI Group, http://www.simulationx.com (vis. 05.2023)

SKF 2023, SKF.com, skf.bearingselect.com, (visited 05.2023)

ON INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF MIXED-FLOW FANS

Nikolay Perenovski

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: perenovski@abv.bg

ABSTRACT. Basic principles in the aerodynamic calculation for various constructive solutions of mixed flow fans are laid in the paper. An analysis of the regularities ensuring the radial balance of the flow is made. Mathematical dependencies are derived for the influence of the main kinematic parameters in relation to the pressure created in the impeller of the fan. The influence of the twisting of the flow in the impeller for different design solutions has been analysed.

Key words: efficiency, mixed-flow fans, mining mechanisation.

ОТНОСНО ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА РАБОТА НА ДИАГОНАЛНИТЕ ВЕНТИЛАТОРИ

Николай Переновски

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В доклада са разгледани основни закономерности при аеродинамичното изчисление за различни конструктивни решения на диагонални вентилатори. Направен е анализ на закономерностите, осигуряващи радиалното равновесие на потока. Изведени са математически зависимости за влиянието на основните кинематични параметри по отношение на налягането, създавано в работното колело на вентилатора. Анализирано е влиянието на засукването на потока в работното колело за различни конструктивни решения.

Ключови думи: *ефективност, диагонални вентилатори, минна механизация.*

Въведение

За създаването на вентилатори с по-голяма производителност и по-високо налягане е необходим преход към други принципи на аеродинамично изчисляване. Към тях се отнася оразмеряването на диагонални вентилатори и то по такъв начин, че при разработването на машината напълно да се използват центробежните сили, възникващи в работното колело. Това предполага възникване на радиална съставна на скоростта и придвижване на въздух от един концентричен слой към друг с по-голям радиус.

Известно е, че в турбомашините статичното налягане се създава за сметка на увеличаването на преносната (периферната) скорост в работното колело или чрез забавяне на потока в междулопатковите му канали. В първия случай налягането се създава за сметка на центробежните сили, без загуби в работното колело, а във втория - със задължителни загуби на налягане. По този начин се предлага създаване на вентилатор с пълно използване на центробежните сили, възникващи в работното колело, което на практика означава отказ от принципа за радиално равновесие и преход към диагонален тип машина, изчислявана на база променливата циркулация по височината на лопатките (Брусиловский, 1984).

Ефективност на работа на вентилатора

В този тип машини, също както при осовите вентилатори, потокът напуска работното колело засукан, т.е. намиращ се под въздействие на центробежни сили. Следователно върху елементарен обем въздух с маса *dm* действа центробежна сила. Тази сила, разпределена върху повърхността *r.dφ.db* предполага създаване на статично налягане по направление на радиуса с големина

$$dp_c = \frac{\rho . r . d\varphi . dr . db . c_{2u}^2}{d\varphi . db . r^2} = \frac{dr}{r} . \rho . c_{2u}^2$$

където:

ρ – плътност на въздуха;

c_{2u} – скорост на засукване на изхода на работното колело;

r – текуща стойност на радиуса;

$d\varphi$ – елементарно нарастване на ъгъла на конусност на работното колело;

dr – елементарно нарастване на радиуса;

db – елементарно нарастване на широчината в осово направление.

За разлика от типичните осови вентилатори, при които принципът на приблизително радиално равновесие на потока предполага изкуствена компенсация на разликите в статичното налягане в съседни концентрични слоеве (Жуковский Н. Е., 1950), в диагоналните машини това

налягане е възможно да се използва за увеличаване на общото статично налягане, получено на изхода на работното колело. Следователно конструкцията му трябва да предполага възможно увеличение на изходния радиус R_2 на работното колело в сравнение с радиуса на входа R_1, което е пряко свързано с размерите на конусната втулка и формата на корпуса в зоната на колелото.

Някои последователи на Н. Е. Жуковски (Ушаков К. А. и др., 1938) са направили извод, че при необходимост от създаването на едностъпален вентилатор за високи налягания е по-рационално да се премине от оразмеряване на работното колело с постоянна циркулация, към оразмеряване с променлива циркулация – предлага се да се премине от принципа на осигуряване на радиално равновесие на потока към принцип на пълно използване на центробежните сили в работното колело за създаване на нарастване на статичното налягане в него.

Ако се изходи от известните схеми на диагонални вентилатори, в които работното колело само засуква потока без да създава статично налягане и условията, при които работното колело формира основната част от статичното налягане, може да се установи закономерността за изменение на скоростта на засукване на потока по височината на лопатката (Брусиловский, 1978). Тази закономерност, записана аналогично за условията за гарантиране на радиално равновесие в осовите машини може да се представи във вида

$$c_{2u}.r^n = const = N \qquad (1)$$

където *n* е степенен показател, характеризиращ изменението на скоростта на засукване на потока по височина на лопатката.

Замествайки стойността на c_{2u} във формулата за теоретичното статично налягане на диагонална машина ще получим

$$p_{Tst} = \rho.\omega.r.N.r^{-n} - 0.5.\rho.N^2.r^{-2n} \qquad (2)$$

където ω е ъгловата скорост на работното колело.

При анализ на последното уравнение може да се твърди следното - оценката на ефективността при изменение на профила на лопатката е целесъобразно да се направи по отношение на теоретичното налягане (p_t), създавано от машината и загубите на налягане при засукването на потока (p_{c2u})

$$\frac{p_t}{p_{C2u}} = \frac{2.\varpi.r^{1-n}}{N.r^{-2n}}$$

За серийно произвежданите вентилатори *n=1* и това отношение има вида

$$\frac{p_t}{p_{C2u}} = \frac{2.\varpi.r^2}{N}$$

За предлаганото конструктивно изпълнение *n= - 0,5* това отношение има вида

$$\frac{p_t}{p_{C2u}} = \frac{2.\varpi.r^{0,5}}{N}$$

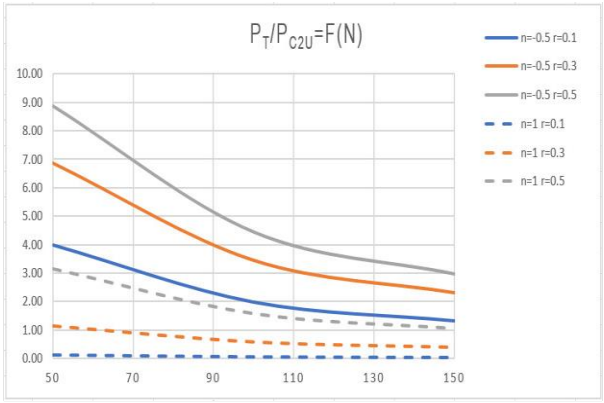
Закономерността на изменение на отношението $\frac{p_t}{p_{C2u}}$ е функция на радиуса *r* т.е. $\frac{p_t}{p_{C2u}} = f(r)$ и за *n= - 0,5* при диагоналните вентилатори тази закономерност ще има по-благоприятен характер в сравнение с осовите машини с радиално равновесие на потока *n=1*. Такава закономерност изключва отрицателни стойности на теоретичното статично налягане p_{Tst} и позволява използването на втулка със значително по-малък диаметър, което с отчитане на по-високите стойности на коефициентите на налягането и дебита дава широки възможности за създаване на по-съвършени конструкции на руднични вентилатори за местно, спомагателно и евентуално главно проветряване, както и за вентилатори с общо промишлено предназначение.

В табл. 1 са дадени стойности на отношението $\frac{p_t}{p_{C2u}}$ при степенни показатели (*n = - 0,5 и n = 1*), за радиуси r = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 m и стойности на константата N = 50, 100 и 150. Плътността на въздуха е приета 1,2 kg/m^3, а за удобство при пресмятането ъгловата скорост на работното колело ω = 314 s^{-1}. Разбира се, пресмятанията могат да бъдат извършени и за други конкретно зададени стойности. Отношението на теоретичното налягане и загубите от засукване на въздушния поток характеризират в определена степен коефициента на полезно действие на машината т.е. конструктивното съвършенство или респективно несъвършенство на диагоналния вентилатор.

Таблица 1. *Зависимост на отношението $\frac{p_t}{p_{C2u}}$ от степенния показател n*

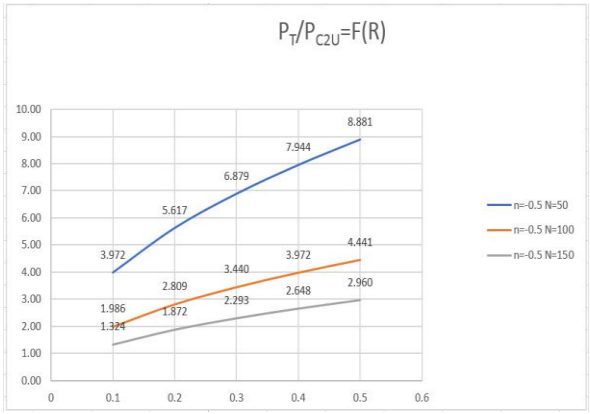
N	r	p_t/p_{c2u}	
	метри	n	
		-0.5	1
50	0.1	3.972	0.126
	0.2	5.617	0.502
	0.3	6.879	1.130
	0.4	7.944	2.010
	0.5	8.881	3.140
100	0.1	1.986	0.063
	0.2	2.809	0.251
	0.3	3.440	0.565
	0.4	3.972	1.005
	0.5	4.441	1.570
150	0.1	1.324	0.042
	0.2	1.872	0.167
	0.3	2.293	0.377
	0.4	2.648	0.670
	0.5	2.960	1.047

На фиг.1 са показани зависимостите на отношението на налягането p_t и загубите p_{c2u} от параметъра *N*. Вижда се, че при стойност на *n = - 0,5* и стойност на константата *N = 50*, отношението е най-голямо, следователно съответстващият КПД – най висок.



Фиг. 1. Зависимости на отношението на налягането p_t и загубите p_{c2u} от параметъра *N*

На фиг.2 са показани зависимостите на отношението на налягането p_t и загубите p_{c2u} от радиуса на лопатката *r*, за който са определени. От графиките се вижда, че степенният показател *n* от равенството $c_{2u}.r^n = const = N$ трябва да клони към стойност -1. Тогава с увеличаване на радиуса на лопатката ще се увеличава и скоростта на засукване на потока в работното колело c_{2u}, като тяхното отношение остава постоянно.



Фиг. 2. Зависимости на отношението на налягането p_t и загубите p_{c2u} от радиуса на лопатката *r*.

Използвайки безразмерни параметри, големината на константата N може да бъде определена от израза (2)

$$N = k_{st}.\sqrt{\frac{\psi_c.\bar{b}.(1+\bar{d}).\pi}{2.\bar{V}\text{рк}}} \qquad (3)$$

където:

k_{st} – коефициент, отчитащ промяната на геометрията на лопатковия профил по височината на лопатката;

ψ_c – центробежна съставна на коефициента на нарастване на налягането;

$\bar{b}$ – относителна широчина на лопатката;

$\bar{d}$ – относителен диаметър на втулката на работното колело;

$\bar{V}\text{рк}$ – относителен обем въздух, въртящ се в лопатковия венец на работното колело.

Използвайки формули (2) и (3) и уравнението на Ойлер, може да се запише израз за определяне стойността на максималния радиус на лопатките на работното колело

$$2.\varpi.N.r_2^{1-n} - N^2.r_2^{-2n} = \varpi^2.(r_2^2 - r_1^2) + cos^{-2}\beta_2.(k_t^2 - 1).(\varpi.r_2 - N.r_2^n)^2 \qquad (4)$$

където:

β_2 – конструктивен ъгъл на лопатката на изхода от работното колело;

k_t – коефициент на задържане на потока в между-лопатковия канал.

Заключение

Определянето на големината на скоростта при използване на намерения по уравнение (4) степенен показател ***n*** може да бъде използвано като основата на методика за аеродинамично изчисляване и построяване на профила на лопатките на работни колела на диагонални вентилатори за местно проветряване за различни стойности на радиуса ***r*** по височината на лопатката (от главината до корпуса на машината). Променливата (по радиуса на работното колело) циркулация позволява да се повиши ефективността на работата на тези вентилатори. За осигуряване на оптимално съотношение на теоретичното налягане и загубите, скоростта на засукването на потока в работното колело трябва да нараства от втулката към периферията му. На база това конструктивно изчисление може да се създадат нови типови по-ефективни диагонални вентилатори за местно проветряване.

Литература:

Брусиловский, И. В. 1984. *Аеродинамика осевых вентиляторов*, Машиностроение, 240 с.

Брусиловский, И. В. 1978. *Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ*, справ. пособие. М., Недра, 198 с.

Жуковский, Н. Е. 1950. *Вихревая теория гребного винта*. Государственое издательство теоретическая литература, 239 с.

Ушаков, К. А., В. И. Поликовский, М. И. Невельсон, М. П. Татаринов. 1938. *Рудничные вентиляторные установки*. М.: ГОНТИ НКТП, 205 с.

TRANSPORT ACTIVITY OF SHUTTLES IN THE EXTRACTION OF MINERALS FROM COSMIC BODIES

Pavel Sinilkov

Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, sinilkov@mail.com

ABSTRACT: The transport activity of the shuttles in the extraction of minerals and fuels from other planets is extremely diverse. The shuttles are the ones that carry out the transport links between the celestial bodies. Their designs are different due to the specifics of the loads and the huge distances with many obstacles. An analogy is made with the rolling stock in rail transport here on Earth. A specification of transport shuttles has been created, incorporating particular elements of the mining process. Shuttle design features depending on gravity are considered.

Key words: transport, space engine, shuttle.

ТРАНСПОРТНА ДЕЙНОСТ НА СОВАЛКИТЕ ПРИ ДОБИВ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ ОТ КОСМИЧЕСКИ ТЕЛА

Павел Синилков

Българска академия на науките, 1113 София

РЕЗЮМЕ: Изключително разнообразна е транспортната дейност на совалките при добива на полезни изкопаеми и горива от други планети. Совалките са тези които осъществяват транспортните връзки между небесните тела. Поради спецификата на товарите и огромните разстояния с много препятствия, конструкциите са различни. Прави се аналогия с вагонния състав в жп транспорта тук на Земята. Създадена е спецификация на транспортни совалки, включващи специфични елементи от добивния процес. Разгледани са конструктивните особености на совалките в зависимост от гравитацията.

Ключови думи: транспорт, космически двигател, совалка.

Увод

Думата „совалка“ е навлязла в разговорния език като название на транспортно средство за многократно използване. В този смисъл повечето транспортни средства могат да бъдат наречени така, но в настоящата статия под думата „совалка“ ще разбираме космически кораб за многократно използване. При това, понятието ще бъде разширено с това, че совалката завършвайки цикъла от дестинации, не би следвало да се нуждае от генерален ремонт за следващо изстрелване.

Фиг. 1 Съществуваща космическа совалка. Забелязва се част от сложното съоръжение, необходимо за изстрелване на совалката.

Съществуващите към този момент совали американско и руско производство представляват летателен апарат, наподобяващ самолет, който е закачен върху огромни резервоари с гориво и допълнителни ракетни двигатели за извеждане на совалката в орбита. В процеса на полета на совалката към космоса тези резервоари се отделят последователно и падат на земята полуобгорели от триенето с атмосферата. Накрая завръщането на совалката става почти като падащ метеорит и благодарение на специалната обшивка не изгаря в атмосферата.

Съществува и друга разработка, която още не е реализирана докрай, за изстрелване на совалка от летящ самолет на голяма височина.

Фиг. 2. Самолетът и совалката, предназначени за изстрелване в около земна орбита. Тук огромното и скъпо съоръжение за изстрелване е заменено от обикновен хангар и самолетна писта.

При добива на полезни изкопаеми от други планети совалките са транспортните средства, които осъществяват транспорта между Земята, космически обекти в орбита, други космически тела и между космически тела извън Земята, като при това пренасят хора, съоръжения и товари между различните дестинации.

Изложение

Характерни дестинации в космическото пространство

Транспортната дейност на совалките е характерна с това, че те осъществяват транспорта в космическото пространство между отделните космически тела и обекти. С помощта на совалките ще се пренасят машини, съоръжения, материали и хора. Това е огромно разнообразие от стоки и товари предназначени за транспортиране на огромни разстояния в екстремни условия.

Като примери могат да бъдат посочени следните разстояния от Земята до известни небесни тела от Слънчевата система;

- От Земята до Луната – 484 400 км;
- От Земята до Венера – 41 000 000 км;
- От Земята до Марс – 78 000 000 км;
- От Земята до Европа – 628 300 000 км;
- От Земята до Йо – 628 300 000 км;
- От земята до Нептун – 4 503 000 000 км.

Отбелязвайки, че това са разстояния по права линия, практически пътят до тези небесни тела преминава по триизмерна крива, напомняща на винтова спирала с променлива честота. Бегла сметка показва колко ще е времето за преодоляване на така посочените разстояния, при условия, че двигателите работят непрекъснато до средата на пътя, ускорявайки совалката с **a = g = 10m/s²,** а след средата на пътя двигателите забавят със същото ускорение. Разстоянието от Земята до Луната може да се премине за около 2,43 часа, до Марс за около едно денонощие, до Европа за 6 денонощия, а до Плутон за около 16 денонощия.

Въпреки, че това са много обнадеждаващи резултати, невъзможно е това да се осъществи с един огромен космически кораб с огромна маса. По сегашната технология на транспортиране, масата на горивото в ракетата-носител ще представлява 99% от общата и маса на совалката. Това е абсолютно погрешен подход в технологично отношение за транспорт. Като пример може да се даде движението на един скутер по море и един огромен контейнеровоз, пренасящ няколко хиляди контейнери. Високите ускорения на такива големи маси изискват огромни двигателни усилия, които в повечето случаи са икономически неоправдани. Двигателното усилие може да се изведе от втория закон на Нютон ***F = m . a*** (1N=1kg.m/s²). За да задвижваме с ускорение **a = 10 m/s²** совалка с маса 1 000 000 тона е необходима двигателна сила ***F=10 000 000 000 N.*** Това са абсурдни стойности, които водят след себе си абсурдни конструкции, но за съжаление това са реални пресмятания, които показват, че тази транспортна технология не е подходяща за совалки, предназначени за добив на полезни изкопаеми от космически тела.

Въпреки впечатляващите цифри по-горе, съществува много интригуваща идея за транспортна технология, при която подобни и значително по-големи двигателни усилия могат да бъдат осъществени с лекота и икономически оправдано за реализиране на подобни полети в рамките на слънчевата система. Това са огромни разстояния, които ще трябва да се преодоляват многократно в двете посоки. Тези разстояния не са свързани с лек път. Препятствия по пътя до тези далечни дестинации има в изобилие. Още с изстрелването на совалката от Земята или от орбита, възниква необходимостта от следене за препятствия по пътя, за възможни аварийни състояния и др. Всичко това налага високи изисквания към совалките. Пример за това, по аналогия със земните плавателни кораби е, че всички северни народи, като индианци, викинги или ескимоси, в миналото са могли да строят плавателни съдове за крайбрежна употреба, с които са могли спокойно да отидат до някой айсберг, да се качат на него и да ловят дивеч, но в последствие при построяването на големите презокеански кораби с огромни маси и високи скорости, срещата им с айсберг е вече фатална (случката с Титаник и др.).

Някои изисквания към двигателите на совалките

При совалките, които се ползват при добив на полезни изкопаеми от космически тела, е от особено значение те да могат да излитат и да кацат на космическите тела и Земята със своите двигатели. Самото разглеждане на двигателната силова уредба на совалките не може да става изолирано, а в съответствие със самата технология на движение. Следователно, когато се говори за двигателите на совалките трябва да се разбира цялата технология на транспортиране.

Силовата уредба на совалката е една от най-важните системи, тъй като на нея се разчита да създаде нужната двигателна сила за преодоляване на огромните разстояния в космическото пространство.

- Надеждността и леката и бърза ремонто-пригодност са от изключително значение за двигателната уредба на совалката;
- Вида гориво и КПД са други важни показатели за двигателите;
- От изключително значение е двигателната уредба да може да създава двигателна сила в различни направления, за да може совалката да завива и маневрира.

Разстоянията в космическото пространство са огромни. Както вече беше показано, до най-близките планети и луни, разстоянията са милиони километри, при това тези разстояния са измерени по права линия. Реалният път до определена дестинация не е по права линия, което означава, че совалката ще измине много повече километри. Имайки предвид и екстремните показатели и състояния на пътя, то двигателите на совалките, трябва да са изключително надеждни и много ремонтопригодни.

Предвид пътуването в открития космос, совалките е необходимо да бъдат снабдени с двигатели, които да създават двигателна сила по шестте степени на свобода в пространството. Това е от изключително значение за пътуването в открития космос, особено когато се излита и каца на космическо тяло или се преминава през астероидни пояси.

Едно от много важните изисквания е совалките да бъдат снабдени с устройства за презареждане с гориво в открития космос. При системна работа и постоянен трафик между две дестинации е нормално да бъдат създадени междинни

зарядни станции с гориво. Това би дало възможност совалките да имат повече място за полезен товар.

От досегашната практика на извеждане на изкуствени спътници в близкия космос на околоземна орбита е видно, че за преодоляване на Земното притегляне се използва изключително много гориво. Подобен проблем съществува и при преодоляване на гравитацията на други планети. Преодоляването на този конструкторски проблем е истинско предизвикателство особено на друга планета, където не съществува целият производствено-технически потенциал, работещ за създаването на условия за изстрелването на товар в космоса. Този проблем е насочен основно към двигателите на совалката, начина им на работа и използваното гориво. Към настоящия момент съществува идеен проект на нов вид силова уредба и технология за транспортиране, даваща възможност за преодоляване на този проблем.

Тези дребни, на пръв поглед, изисквания към двигателите на совалките дават един нов поглед към конструкциите на совалките за добив на полезни изкопаеми от космически тела. Един от многобройните в тази посока е фактът, че в следствие на пълния контрол на полета, от двигателя отпада нуждата от безконтролно навлизане на кораба в атмосферата с високи космически скорости спрямо Земята. Това води до отпадане на необходимостта от специална термоизолационна обшивка на приземяващия се апарат, което много олекотява и поевтинява совалката като конструкция.

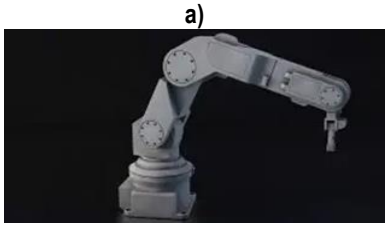
Изисквания към корпуса и формата на конструкцията на совалката.

Няма как да има универсална совалка. Ако се направи аналогия с ЖП транспорта или водния транспорт тук на Земята, ще се забележи, че в жп транспорта съществуват различни видове вагони или различни видове кораби в зависимост от товара, за който са предназначени. Съществуват вагони-цистерни (танкери и бункеровчици), вагони за насипни товари, пътнически вагони, специализирани вагони за зърнени храни, химични вещества и т. н. Съществуват също така и вагони-машини – кранове, багери, тягови трансформатори, генератори, работилници, миксери и т. н. С една дума, цялото разнообразие от видове ваг**о**ни и плавателни съдове тук на Земята е в сила и при транспорта в космическото пространство при реализиране на добив на полезни изкопаеми от космически тела.

Корпусите на совалките е необходимо да са изработват от здрави материали с високи стойности на ударна жилавост, тъй като из космоса се движат метеорити и космически боклук с високи скорости и сблъсък с песъчинки, чакъл или малки отломки от разбити изкуствени спътници е много вероятно. Повишението на сигурността от случайни непредвидени явления е изграждането на модулен корпус с многократно еластично привързване на отделните модули и т.н.

Нещо повече, при совалките съществуват някои допълнителни устройства, които са многократно повече развити от подобни такива във водния транспорт. Примерно кнехтът е устройство по палубите на плавателните съдове, който служи за закрепването (привързването) им към кея. При совалките устройствата за закрепване към метеорити и други космически тела са много добре развити (Артоболевский, 1970, Вукобратович, 1976; Саркисян, 1982, Sinilkov, 2004, Sinilkov, 2009, Sinilkov, 2011, McGee and Frank, 1968), наподобяващи антропоморфни роботи с устройства за прикрепяне към грунда.

а)



б)

в)

Фиг. 3 а) Кнехт; б) Антропоморфен робот; в) Пчели върху вертикална пита. Забелязва се тяхното непретенциозно положение спрямо положението на Земята тоест гравитацията.

За щастие, тук на Земята съществуват същества, които могат да ни послужат за пример при конструирането на прикрепващите елементи на совалките. Едни от тях са пчелите. От фигурата е видно, че те нямат никакво притеснение, дали се движат по питата нагоре, или надолу, или под някакъв ъгъл настрани или пък пълзят по таван. Все едно гравитацията не им действа.

Специализирани совалки

При добива на полезни изкопаеми от различни космически тела е много разумно преработката на суровината да се извършва в условията на безтегловност, в орбита близка до Слънцето. По този начин ще се използва безплатната енергия, идваща от Слънцето и предимствата на безтегловността. Транспортът до такива космически фабрики се възлага на специализирани совалки, които ще могат да достигат до такива горещи точки от космическото пространство.

По аналогия на вагонния състав на жп-транспорта на Земята или на видовете плавателни съдове на водния транспорт, така и при совалките съществуват специализирани совалки с машини за определени дейности. Ето някои от тях;

- Совалка – сонда;
- Совалка – общежитие;
- Совалка – лаборатория;
- Совалка – преработващо предприятие;
- Совалка – спасителна служба в помощ на други бедстващи совалки в открития космос и т.н.

По същество това са космически кораби, които са строго специализирани за транспорт и извършване на определен вид периодически повтаряща се дейност. Това са обикновено големи и скъпи съоръжения, съизмерими с големите нефтени платформи в сегашно време. По всяка вероятност те ще бъдат базирани в около земна орбита, за да се избегне постоянното им извеждане от атмосферата на Земята.

Заключение

Транспортната дейност е една от приоритетните дейности на целия технологичен цикъл при добива на полезни изкопаеми от космически тела. Поради огромните разстояния и изключително екстремните условия на транспортната дейност, стойността за транспортиране е висока, но това се оправдава от несметните богатства, съществуващи по космическите тела. Нещо повече, на много космически тела съществуват елементи и съединения, които не съществуват на Земята, но пък са с уникални физически и химически свойства. За сега те чакат там, от много време, да отидем и да ги вземем. Ние вече разполагаме с техническото решение за това.

Литература

Артоболевский, И. И. 1970. *Механизмы в современой технике*. Наука, Москва.

Вукобратович, М. 1976. *Шагающие роботы и антропоморфные механизмы*. Мир, Москва.

Саркисян, Ю. Л. 1982. *Аппроксимационный синтез механизмов*. Наука, Москва.

Henry, M. F. 2008. State Detection Paraplegie Gait as Part of a Finite State Based Controller. *IEEE, Biomedical Technological Institute, University of Twente*, The Netherlands.

McGee, R. B., A. A. Frank. 1968. On the Stability Properties of Quadroped Creeping Gaits. *Matem. Biosei.,3, № 3*.

Sinilkov, P. 2004. Skeletal structure of a mobile self-programmable robotic complex (MSRK/COBOT): – *Mechanics of Machines 51, volume 2*.

Sinilkov, P. 2009. Dependent and independent movements of walking mobile units. *Scientific notices of the scientific and technical unions in mechanical engineering - year XVII, no. 4114, Nineteenth International Conference Robotics and Mechatronics*, ISSN1310-3946, page 18-22.

Sinilkov, P. 2011. Analytical synthesis of mechanisms for limbs of walking mobile robots. *Scientific notices of the Scientific and Technical Council on Mechanical Engineering XXI International Conference Robotics and Mechatronics*, ISSN 1310-3946, 2.

Tomovic, R., R. B. McGhee. 1966. A Finite State Approach to the Synthesis of Bioengineering Control Systems*, IEEE Trans. on Human Factors in Electronics, 7 № 2*.

Steven, M. S., R. D. Charles. 1997. View-Invariant Analysis of Cyclic Motion. *Intl Journal of Comp. Vis. 25* Pages: 1-23.

https://bg.puntomarinero.com/what-are-nuclear-engines/

https://megavselena.bg/idvat-li-kosmicheski-korabi-s-yadreni-dvigateli /

https://bg.wikipedia.org/wiki/Ракетен_двигател

https://bg.wikipedia.org/wiki/Роботика

SOME OPPORTUNITIES OF VEHICLES IN THE EXTRACTION OF MINERALS FROM SPACE BODIES

Pavel Sinilkov

Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, E-mail: sinilkov@mail.com

ABSTRACT: On various space bodies, gravity is different and it varies in very wide limits, from absolutely insignificant values to values that can destroy other cosmic bodies. The approach to the design of means of transport on other space bodies outside the Earth has to be specific within a certain range.There is a conceptual design of a space engine that fully meets the requirements of the shuttles' needs for space exploration within the Solar System for the purposes of mining minerals. With the help of this engine, it is possible to implement the technology of bringing whole small meteorites down to Earth.This material heralds the beginning of a new era in which the engineering solution to mastering the wealth of space and utilise the natural resources on other planets is already available.

Key words: transport, space engine, shuttle.

НЯКОИ ВЪЗМОЖНОСТИ НА ТРАНСПОРТНИТЕ СРЕДСТВА ПРИ ДОБИВА НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ ОТ КОСМИЧЕСКИ ТЕЛА

Павел Синилков

Българска академия на науките, 1113 София

РЕЗЮМЕ: На различните космически тела силата на тежестта е различна и тя варира в много широки граници: от абсолютно незначителни стойности до стойности, които могат да разрушават други космически тела. Подходът към проектирането на транспортни средства за други космически тела извън Земята се налага да е специфичен за определени граници.Съществува идеен проект на космически двигател, който покрива изцяло изискванията на нуждите на совалките за овладяване на космическото пространство в рамките на Слънчевата система за добив на полезни изкопаеми С помощта на този двигател може да се реализира технологията по сваляне на Земята на цели малки метеорити. Този материал съобщава за началото на една нова ера, в която вече е налице техническото решение за овладяване богатствата на космоса и използване на природните ресурси на други планети.

Ключови думи: транспорт, космически двигател, совалка.

Увод

Утвърдените физико-химични технологии и методики за добив на полезни изкопаеми на Земята, нямат съществена разлика от технологиите за извличане на полезни изкопаеми и горива от космически тела. Това е така понеже физико-химичните закони на Земята имат еднакво действие и на другите космически тела.

Основните етапи на добива на полезни изкопаеми и горива на Земята е следния:

а). Откриване на регион с висока вероятност на залежи по характерни признаци;

б). Проучвателно сондиране или друг начин на проучване на региона;

в). Установяване на инфраструкурна възможност за добив (сондиране, прокопаване, разкриване, направа на транспортни коридори, първична преработка и т.н.);

г). Транспортни средства;

д). Енергийни източници;

е). Материали и суровини необходими за добива;

ж). Складово стопанство.

В настоящия материал основно внимание ще бъде отделено на транспортните средства.

В земни условия, транспортните средства са главно тръби, компресорни станции, камиони, транспортни ленти, жп транспорт, кораби и др. Тоест всички транспортни средства познати в машиностроенето са приложими в добива. Абсолютно всички транспортни средства, използвани на Земята, са приложими и на други космически тела за добив, но отчитайки особеностите на космическото тяло и на региона.

При транспорта съществено значение има силата на тежестта, която се обуславя от земното притегляне. На различните космически тела силата на тежестта е различна и тя варира в много широки граници, от абсолютно незначителни стойности, до стойности, които могат да разрушават други космически тела в близка околност. Подхода към проектирането на транспортни средства за други космически тела извън Земята се налага да е специфичен за определени граници на силата на тежестта.

Освен силата на тежестта съществува още едно голямо предизвикателство пред конструкторите на транспортни средства за добив на полезни изкопаеми от космически тела. Това е разстоянието и препятствията по това разстояние между складовете с готовия продукт и потребителя, тоест между космическото тяло и Земята.

Това е огромно разстояние с много препятствия за което нивото на съвременната техника не може да даде сигурно и надеждно съоражение за преодоляването му.

Изложение

1. Граници на приложение на транспортни съоражения при добив от космически тела.

Транспортните средства за добив на полезни изкопаеми от други космически тела се делят на два вида основно. Това са космическите кораби които осъществяват връзката между Земята и космическото тяло, които напоследък придобиват името „ Совалки“ , и транспортните средства които осъществяват транспорта върху самото космическо тяло.

Транспорта при добива на полезни изкопаеми играе ключово значение. В Земни условия, конструкциите на транспортните средства са подчинени до голяма степен на силата на тежестта, докато в условията на космическо тяло с незначителна гравитация, където силата на тежестта е незначителна, не биха могли да се използват транспортни средства с втори клас на контакт с грунда, тоест колесно или верижно движение, така че може да се направи една груба класификация според гравитацията:

- При 0>g>2 е абсолютно погрешно да се проектират колесни и верижни машини за транспорт. В този случай обикновено се прилагат разрушителни методи и транспортирането им в контейнери;
- При 2>g>5 колесните и верижните машини са слабо приложими.Тези машини са полезни при прокопаване на проходки и тунели ;
- При 5>g>350 е златната среда на използването на всички транспортни средства познати на Земята по същия или подобен начин;
- При 350>g>900 се прилагат специални конструкции за транспорт.

При стойности на 0>g>2 . Това обикновено са малки небесни обекти от порядъка на 0,05 до 500км в диаметър. Обикновено на тези обекти няма течни полезни изкопаеми, а са само твърди. На тези космически тела са приложими транспортни средства с точков контакт върху грунда, тоест крачно мобилно движение. При крачното мобилно движение може да се включат допълнителни механизми които да осъществяват контакт с грунда от пети или шести клас на контакт тоест транспортното средство, при всяка своя стъпка да реализира заключващ контакт с грунда, и да не се разчита на силата на тежестта.

При един задълбочен конструктивен анализ се забелязва,че крачното мобилно движение е универсално движение за реализиране на локомоция (Артоболевский, 1970; Вукобратович, 1976; Саркисян, 1982; Гълъбов, 1992; Синилков, 2004; Синилков, 2009; Синилков, 2011) на различни космически тела за места без пътища и различна сила на тежестта от земната.

Съществува и още едно предимство на крачното мобилно движение. Устройствата с които се осъществява, така наречените манипулатори (крака) могат да осъществяват и други функции, като:

- Някои обслужващи функции на корпуса на транспортното средство;
- Стабилно и надежно закрепване към грунда;
- Подбор на точка за контакт с грунда;
- Умекотяващ контакт при кацане и т.н.

При наличие на манипулатори за крачно мобилно движение (McGee and Frank, 1968; Натансон, 1971), космически обекти с малки размери (диаметри по-малки от 0,05 км) могат да бъдат сваляни директно на Земята или оставяни в около Земна орбита, като буферен склад за обработка на полезните изкопаеми от тях.

Като най-лесни и достъпни са небесни тела с притегляне 5>g>350. При тези стойности на g почти цялата налична техника на Земята е приложима на тези небесни тела.

При стойности на 350>g>900 усилията породени от силата на тежестта са изключително големи и за тези условия се прилагат колесни и крачни мобилни системи със специални конструкции, като пример са вътрешното цевно зъбно зацепване, ексцентриковите механизми, някои клинови механизми и др.

При стойности на g>900 е почти невъзможен добивът на полезни изкопаеми, тъй като материалите с които разполагаме тук на Земята за изработка на необходимото оборудване и експлоатацията му е почти невъзможна , заради огромните усилия които възникват в следствие на силата на тежестта.това обаче не е граница на възможностите. Материалознанието се развива и новите материали получени в условията на безтегловност, биха били изключително полезни при конструирането на по-здрави машини.

2. Двигатели за реализиране транспортната дейност.

За да се реализира добив на полезни изкопаеми и горива от космически тела е необходимо да може многократно да се посещава това космическо тяло чрез Совалка. За да се конструира и използва многократно и надеждно такава Совалка е необходимо първо да се създаде двигател, с помощта на който да се преодоляват бързо и надеждно огромните космически разстояния, както и големите препятствия по този път.

Относно транспортните средства работещи на космическите тела, е необходимо първо да се конструират двигатели, които да са много надеждни и да не се нуждаят от презареждане със земно гориво дълго време.

2.1. Двигатели при совалките.

Съществуващите двигатели (https://bg.wikipedia.org/wiki/Ракетен_двигател) с химическо гориво са приложими при добива на полезни изкопаели в най-близкото космическо пространство и то върху особено малки обекти, като метеорити и малки комети.

Съществуват вече редица разработки на атомни двигатели (https://megavselena.bg/idvat-li-kosmicheski-korabi-s-yadreni-dvigateli/, https://bg.wikipedia.org/wiki/Роботика и др.) за космическото пространство, които биха дали възможност за овладяване на космическото пространство до близките луни и планети. За съжаление тези двигатели са все още в лабораториите и серийно производство все още не е осъществено.

Бегли изчисления показват, че досегашната технология на транспортиране и създаване на двигателна сила е неприложима в бъдещото конструиране на совалките за товарен транспорт на големи разстояния. Следователно когато се говори за двигатели на бъдещите транспортни средства, то ще е необходимо да се разбира цялата технология за транспортиране.

За щастие съществува идеен проект на космически технология и двигател, който покрива изцяло изискванията на нуждите на совалките за овладяване на космическото пространство в рамките на Слънчевата система за добив на полезни изкопаеми . На този етап разчетните и конструктивни показатели показват невероятно положителни резултати. КПД е значително висок. Най-доброто в случая е че голяма част от основните възли и компоненти съществуват в серийно производство в много страни. Не на последно място, скоростта която може да се развие с този технология е значително по-висока от съществуващите технологии, поради възможността, че новите двигатели работят непрекъснато по време на полета (ускорително да средата на полета и закъснително във втората половина). По този начин съществува пълен контрол върху движението на совалката.

С помощта на този двигател може да се реализира технологията по сваляне на Земята на цели малки метеорити от метали или кристали на неметали (кобалт, желязо, волфрам, злато, йод, въглерод и други).

Съществуват вече идейни проекти на космически кораби с новия двигател които съчетават в себе си

- Двигателно отделение;
- Команден отсек;
- Сондажен модул;
- Складови помещения;
- Жилищни помещения и др.

2.2. Двигатели за транспортните средства, работещи върху космическите тела.

Двигателите, които могат да се използват в транспортните средства работещи на други планети, не представляват някакво голямо техническо предизвикателство, тъй като на Земята вече съществуват такива силови двигатели. Като пример, може да бъде посочен атомна силова система на кораб, който вместо да върти турбините, може да върти колелата на тежкотоварен камион или на ескалатор или транспортни вериги и т.н. Тук не е нужна кислородна среда, както на Земята, за работата на ДВГ.

Заключение

Добивът на полезни изкопаеми е първата стъпка към овладяването на нови светове.Добивът на полезни изкопаеми и горива от космически тела е голям скок в развитието на човечеството. Съществуват вече технически решения за реализацията на добива, който би донесъл неизчерпаеми богатства за хората. Той би открил пътя към нови материали, нови горива и нови конструкции.

Всичко това е възможно да се реализира благодарение на откритието на нова технология за преодоляване на огромните космически разстояния, съчетанието на космонавтиката, двигателостроенето и роботиката.

Този материал съобщава за началото на една нова ера, в която вече е налице техническото решение за овладяване на богатствата на космоса. За създадената възможност човек да притежава техническата възможност да реализира мечтите си да стъпи на други планети и да ползва техните природни ресурси.

Литература

Александер, Р. 1970. *Биомеханика*. Мир, Москва.

Артоболевский, И. И. 1970. *Механизмы в современой технике*. Наука, Москва.

Вукобратович, М. 1976. *Шагающие роботы и антропоморфные механизмы*. Мир; Москва.

Гълъбов, В. Б. 1992. *Синтез на механизми в робототехниката*. ТУ-София.

Натансон, И. Н. 1971. *Увод в теорията на реалните функции*, Наука и изкуство.

Павлов, В. И. 1993. *Проектиране на промишлени роботи*. София.

Саркисян, Ю. Л. 1982. *Аппроксимационный синтез механизмов*. Наука, Москва.

Синилков, П. 2004. Скелетна структура на мобилен самопрограмируем роботехнически комплекс (МСРК/ КОБОТ), *Механика на машините 51, кн. 2*.

Синилков, П. 2010. ‘Аналитични предпоставки за синтез на 2D локомоционни механизми’, *Научни известия на научно-техническите съюзи по машиностроене – година XX, Двадесета международна конференция Роботика и Мехатроника* ISSN1310-3946, гр. Варна.

Синилков, П. 2009. Зависими и независими движения на крачещи мобилни установки, *Научни известия на научно-техническите съюзи по машиностроене – година XVII, бр. 4114, XIX международна конференция Роботика и Мехатроника*, 18-22, ISSN1310-3946.

Синилков, П. 2011. Аналитичен синтиз на механизми за крайници на крачещи мобилни роботи, *Научни известия на научно-техническия съвет по машиностроене XXI Международна Конференция Роботика и Мехатроника*, ISSN 1310-3946.

Henry, M. F. 2008. State Detection Paraplegie Gait as Part of a Finite State Based Controller: – *IEEE, Biomedical Technological Institute*, University of Twente, The Netherlands.

Kato, I. et al. 1970. *Modelling and Control of the Biped Gait*, Waseda Univ., Tokyo.

Mario, W. Gomes, and ect. 2004. A five-link 2D brachioting ape model with life-like motions and no energy cost, *Theoretical and Applied Mechanics, Cornell University, Ithaca*, USA.

McGee, R. B., A. A. Frank. 1968. On the Stability Properties of Quadroped Creeping Gaits: – *Matem. Biosei*.,3, № 3 – 4.

Muybridge, E. 1955. *Human Figure in Motion*, Dover Publ., New York.

Ran, Y. An efficient and robust human/vechicle classification algorithm using finite frequencies probing: – *University of Maryland*, http;//www.cfar.umd.edu/~rany/research.htm.

Steven, M. S., R. D. Charles. 1997. View-Invariant Analysis of Cyclic Motion. – *Intl Journal of Comp. Vis*. 25 Pages: 1-23.

Tomovic, R., R. B. McGhee. 1966. A Finite State Approach to the Synthesis of Bioengineering Control Systems*, IEEE Trans. on Human Factors in Electronics*, 7 № 2.

https://megavselena.bg/idvat-li-kosmicheski-korabi-s-yadreni-dvigateli/

https://bg.puntomarinero.com/what-are-nuclear-engines/

https://bg.wikipedia.org/wiki/Двигател

https://bg.wikipedia.org/wiki/Ракетен_двигател

https://bg.wikipedia.org/wiki/Роботика

THEORETICAL ANALYSIS FOR THE OPTIMISATION OF THE BELT CONVEYOR TENSIONING STATION OF AN *SRs 2000* EXCAVATOR

Stanimir Stanchev, Stanislav Georgiev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia, e-mail: stanimirstanchev@abv.bg; georrgiev@abv.bg

ABSTRACT. In the present work, the rubber belt conveyor (RBC) of an *SRs 2000* excavator is made on the basis of the main technical parameters influencing the dynamic performance of a conveyor belt for the transportation of opencast working in the conditions of “Maritsa-East Mines” Ltd. The analysis includes the most important parameters, such as: theoretical performance of the conveyor; power consumption of the electric motors (kW) at dénivellation of the conveyor; starting torque (% Nmpl); running torque (kN); braking time (sec); braking torque (N-m); drift time (sec). When the belt conveyor is dénivellated, a number of changes occur in the main technical parameters which directly affect: yield; tension drum stroke; conveyor belt braking time; power required to drive the conveyor belt; weight required to tension the belt, etc. Downloading and reading of the basic technical parameters is necessary to determine the required tensioning force applied to the tensioning drum of the RBC. On the basis of these indicators, various conceptual variants have been developed of tensioning stations for integration to the RBC of the *SRs 2000* excavator operating in the conditions of “Maritsa-East Mines” EAD.

Keywords: tensioning station, drive drum, tension drum, comparative analysis, assembly.

ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА НАТЕГАТЕЛНА СТАНЦИЯ НА ЛЕНТОВ ТРАНСПОРТЬОР НА БАГЕР SRs 2000

Станимир Станчев, Станислав Георгиев
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"

РЕЗЮМЕ. В настоящата разработка е направен анализ на гумено-лентов транспортьор (ГЛТ) на багер SRs 2000 на база основните технически параметри, влияещи на динамичните показатели на транспортната лента за транспортиране на откривка, работеща в условията на „Мини Марица-изток“ ЕАД. Анализът включва най-важните параметри като: теоретична производителност на транспортьора; консумирана мощност на електродвигателите (kW) при денивелация на транспортъора; въртящ момент при стартиране (% Nmpl); въртящ момент при работа (kN); време на спиране (sec); спирачен въртящ момент (N-m); време на дрейф (sec). При денивелация на ГЛТ настъпват редица изменения в основните технически параметри, които пряко влияят върху: производителност; ход на натегателния барабан; време за спиране на транспортната лента; необходима мощност за задвижване на транспортната лента; необходима тежест за натягане на лентата и др. Свалянето и отчета на основните технически показатели са необходими за определяне на нужната натегателна сила, приложена върху натегателния барабан на ГЛТ. На база на тези показатели са разработени различни идейни варианти на натегателни станции за интегриране към (ГЛТ) на багер SRs 2000, работещ в условията на „Мини Марица-изток“ ЕАД.

Ключови думи: натегателна станция, задвижващ барабан, натегателен барабан, сравнителен анализ, монтаж.

Въведение

Обикновено при транспортиране на насипни товари в минната индустрия най-евтиният начин за транспортиране на материала е чрез гумено-лентови транспортьори (ГЛТ).

На багер SRs 2000 е инсталиран и въведен в експлоатация ГЛТ с основни технически параметри:

- теоретична производителност Q = 5650 t/h;
- широчина на транспортната лента 2000 mm;
- скорост на транспортната лента 5,5 m/sec;
- най-ниска температура на работната среда -18° C;
- дължина на ГЛТ 41 /m.

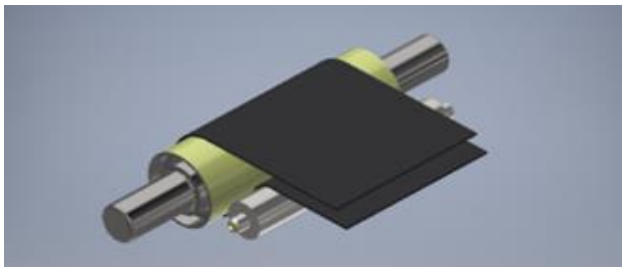
Тази лента натоварва роторната стрела на багера (Недялков и др., 2016) и влияе пряко на ресурса му.

При осъществяване на такъв тип анализи и проекти е необходимо да се предприемат и следват следните стъпки:

1. Запознаване с профила и спецификата на ГЛТ;
2. Запознаване с работния режим на работа на транспортната лента;
3. Определяне на отклонения в основните технически параметри при денивелация на ГЛТ от хоризонтала;
   - консумирана мощност на електродвигателите (kW), при денивелация на транспортьора;
   - въртящ момент при стартиране (% Nmpl);
   - въртящ момент при работа (kN);
   - време на спиране (sec);
   - спирачен въртящ момент (N-m);
   - време на дрейф (sec).
4. Определяне на типа на задвижване на транспортната лента;
5. Отчитане на параметрите от точка 3 при промяна в денивелацията на ГЛТ;
6. Разработване на различни варианти на натегателни станции и интегрирането им към ГЛТ.

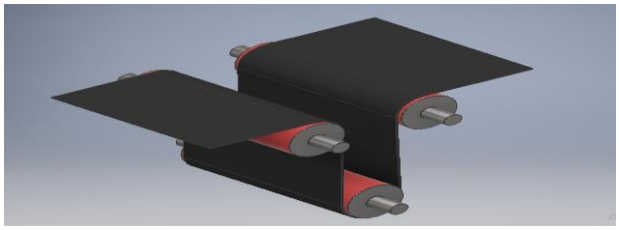
Запознаване с профила и спецификата на ГЛТ на багер SRs 2000

На фиг. 1 е показан профил на транспортната лента в задвижващата и обръщателна зона. Транспортната лента обхваща 210° от радиалната повърхност на обръщателния и задвижващия барабан.



Фиг. 1. Профил на транспортната лента в задвижващата и обръщателна зона на ГЛТ.

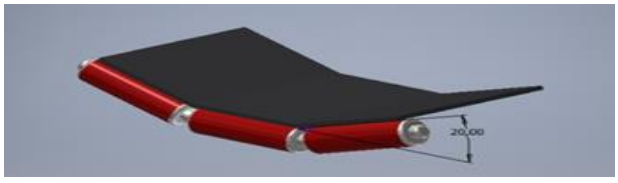
На Фиг. 2 е изобразена траекторията и ъгъла на обхват на транспортната лента, преминаваща през отклонителните барабани и барабана за натягане на платното.



Фиг. 2. Профил и форма на платното в празния клон на ГЛТ.

Изменението в траекторията на транспортната лента е както следва: при преминаване на лентата през натегатегателния барабан платното обхваща 180° от радиалната му повърхност; при преминаване на лентата през отклонителните барабани платното обхваща 90° от радиалната им повърхност.

На фиг. 3 е изобразена формата на платното в зоната на затоварване и разтоварване в товарния клон на ГЛТ.



Фиг. 3 Профил и форма на платното в товарен клон на ГЛТ.

В отделните участъци платното приема различен ъгъл на пречупване за оформяне на коритообразна форма както следва: товарен клон 0°-15°; 15°-25°; 25°-30°-35°. В празния (обратния) клон транспортната лента е с ъгъл на пречупване 0° При транспортиране на насипни фракции и товари, транспортната лента се подгъва от опорните ролки поетапно до достигане на максимален ъгъл на отклонение. Този ъгъл е изчислен и зададен първоначално при инсталиране на съоръжението и пускането му в експлоатация.

По този начин платното придобива коритообразна форма в товарния клон. Тази форма не позволява на насипната фракция да се разсипва при транспортиране.

Работен режим на ГЛТ.

За да се анализира и определи спецификата на работа на транспортната лента е необходимо да се снемат и анализират работните параметри на лентовия транспортьор в различните работни режими Таблици 1,2,3.

Таблица 1.*Основни параметри на ГЛТ*

Широчина на лентата:	mm	2000
Скорост на лентата:	m/sec	5,58
Производителност на лентата:	mtph	5650
Най ниска температура на околната среда:	° C	-18
Инерционен момент:	kg-m²	43
Метод на калкулация:		**CEMA Standard (5th)**
Сила на триене:	kN	5,8
Натоварване при денивелация:	kN	0
Разни приплъзвания:	kN	1,4

Таблица 2. *Спецификация на транспортирания материал.*

Вид на материала:		**Земя (откривка)**
Специфично тегло:	kg/m³	**1201**
Естествен откос на материала:	deg	**21**
Действителна площ:	m ²	0,254
Процент на натоварване:	%	54
Разстояние до ръба:	mm	341
Дълбочина на леглото:	mm	279
Размер на буцата:	mm	**152**
Височина на падане върху улея:	m	**2,44**
Енергия на удара:	N-m	93,2

Таблица 3. *Спецификация на задвижването на ГЛТ*

Брой електродвигатели:		2x150 кW
Инсталирана мощност:	/kW	300
Номинални обороти на електродвигателя:	/RPM	1500
Реални обороти на електродвигателя:	/RPM	1471
Диаметър на задвижващ барабан:	/mm.	825
Предавателно число на редуктора:	/i	11,39
Брой редуктори:		2
Номинал на редуктора:	/кW	500
Обороти на задвижващ барабан:	/min-1	123,1

Определяне типа на задвижване на ГЛТ

Задвижването се реализира с два броя електродвигатели по 150 Kw. Предаването на въртящия момент от тях се предава към входящия вал на редукторите. Между тях има интегрирани дискови спирачки и хидросъединител. След редукторите въртящият момент от тях се предава към задвижващия барабан чрез интегриран зъбен съединител.

Синхронизацията на двата електродвигателя се осъществява чрез твърда механична връзка. Същата е осъществена чрез двустранно окомплектоване на редукторите към шийките на задвижващия барабан.

Определяне на техническите параметри при денивелация на ГЛТ

При провеждане на анализа се следи за отклонения в техническите параметри на транспортьора. За база се използват стойностите на параметрите при нулево отклонение от хоризонтала (Таблици 4 и 5).

Таблица 4. *Денивелация -7,13 m отклонение от хоризонтала – 10°.*

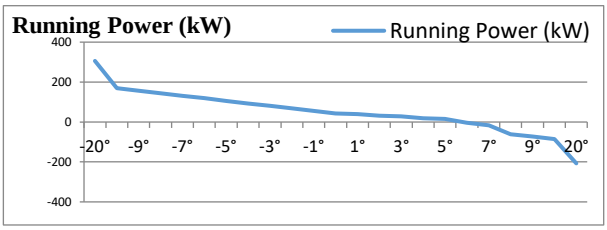
Ъгъл на увиване (Deg)	178	*LOW*
Инерция (kg-m²)	10	*LOW*
Консумирана мощност (kW)	170	*HIGH*
Процент на натоварване (%)	56,5	*HIGH*
Необходим въртящ момент (kN)	28,9	*HIGH*
Време на спиране (s)	2,96	*LOW*
Изискван въртящ момент при спиране (% Nmpl)	63	*HIGH*
Въртящ момент при стартиране (% Nmpl)	131	*HIGH*
Време на дрейф (sec)	6,6	*LOW*

Таблица 5. *Денивелация -4,73 m, отклонение от хоризонтала -6°.*

Мощност (kW)	-4	*LOW*
Въртящ момент при спиране (% Nmpl)	11	*LOW*
Въртящ момент при стартиране (% Nmpl)	77	*LOW*
Въртящ момент при работа (kN)	28,4	*LOW*
Фактор на триене	0,55	*HIGH*
Време на спиране (sec)	5,7	*HIGH*
Време на дрейф (sec)	-265,2	*LOW*
Спирачен въртящ момент (N-m)	5810	*HIGH*
Необходима сила на спиране (kN)	-14	*LOW*

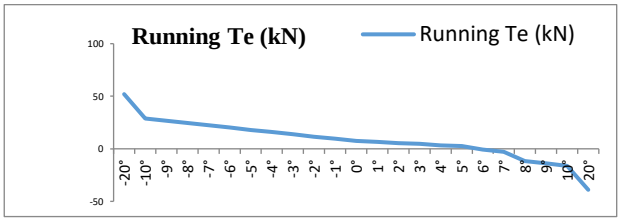
Отчитане на техническите параметри при промяна в денивелацията на ГЛТ

На Фиг. 5 е изобразена кривата, описваща необходимата мощност (kW) за захранване на електродвигателите при максимална денивелация на транспортьора от -20° до +20°.



Фиг. 5.

На фиг. 6 е изобразена кривата описваща, необходимия въртящ момент (kN) за работа на транспортьора при максимална денивелация от -20° до +20°.



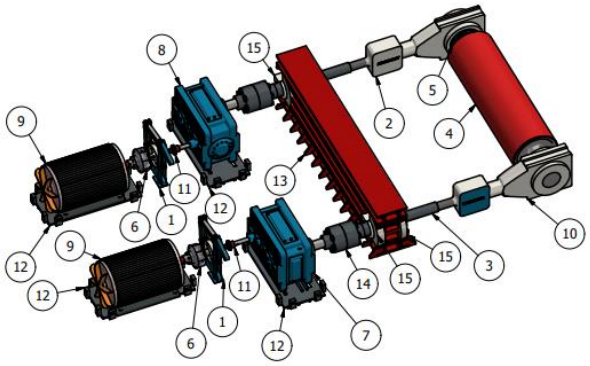
Фиг. 6.

Както се вижда от фигурите, оптималният ъгъл на работа на транспортьора е от -10° до +6°.

Идейни варианти за изграждане и интегриране на натегателни станции към ГТЛ

1. Натягане на транспортната лента – винтово редукторно.

На фиг. 7 са дадени детайлите на системата, а именно:
1- спирачка; 2- тензосензор; 3- винтогаечна предавка; 4- натегателен барабан; 5- радиален лагер; 6- хидросъединител; 7- фундамент на редуктора; 8- редуктор; 9- електродвигател; 10- обтегач; 11-палцов съединител; 12- фундамент на електродвигателя; 13- стационарна опора; 14- зъбен съединител; 15- аксиален лагер.



Фиг. 7.

При денивелация от -10° до +6° максималният ход на натегателния вал е 500 mm, а необходимата максимална сила за натягане на лентата е 82,23 kN.

На обтегачите на натегателния вал има предвидени тензосензори, които отчитат силите на опън, причинени от съпротивлението на опън на транспортната лента.

В комплекта, предвиден за автоматизация на транспортна лента, участват още контролери, сензори за следене за изместване на платното при движение, интегрирани енкодери на електродвигателите и транспортната лента, жироскопи и др. Възможен е също така и мониторинг на системата на персонални стационарни компютри в зависимост от степента на автоматизация.

При подаване на оперативно захранване към контролерите, тензосензорите отчитат в реално време силата на опън на натегателната станция. Също така събират информация от жироскопа, отчитащ ъгъла на отклонение от хоризонтала на транспортьора.

Преимуществата на системата са много, но едно от най важните е отчитането дали транспортната лента е в нормален и оптимален режим за работа.

При отчитане на нормални параметри на транспортната лента контролерите автоматично подават сигнал за стартиране на електродвигателите за леко донатягане или отпускане на транспортната лента. По този начин системата се калибрира и тества.

При промяна на ъгъла на отклонение на транспортната лента, автоматизираната система за опън на лентата коригира силата на опън за оптимален режим на работа на транспортьора.

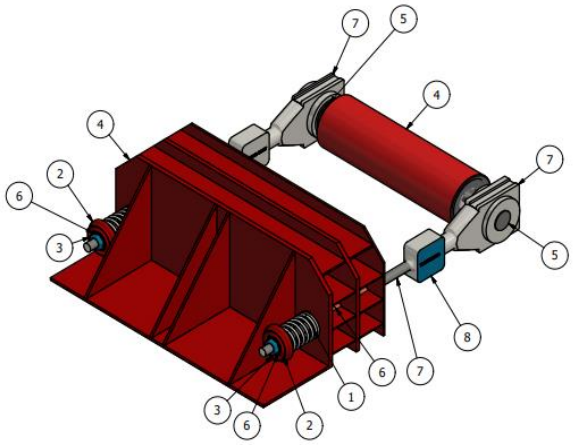
Тази система е предвидена и в останалите проекти с различна степен на автоматизация.

При сервизни дейности системата дава възможност за бързо и надеждно отпускане и в последствие натягане на платното (транспортната лента).

Предвид прецизната настройка на опъвателния вал са подбрани редуктори с голямо предавателно съотношение, за бавен и плавен ход на натегателния барабан.

2. Натягане на транспортната лента – пружинно.

На фиг. 8 са дадени детайлите на системата, а именно: 1- пружина; 2- пружинна опора; 3- натегателна гайка; 4- неподвижна опора; 5- радиален лагер; 6- шайба; 7- винт с трапецовидна резба; 8- тензосензор.



Фиг. 8.

На обтегачите на натегателния вал има предвидени тензосензори, които отчитат силите на опън, причинени от съпротивлението на опън на транспортната лента.

В комплекта, предвиден за автоматизация на транспортна лента, участват още контролери, сензори за следене за изместване на платното при движение, интегрирани енкодери на електродвигателите и транспортната лента и др.

Тази система е с най ниска степен на автоматизация, където съществен е човешкият фактор.

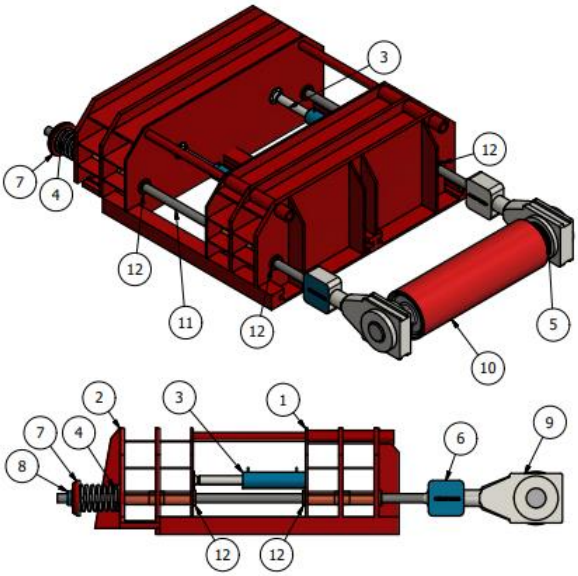
При сервизни дейности системата не дава възможност за бързо и надеждно отпускане и в последствие натягане на платното (транспортната лента).

Дейностите по настройка за опъване и центриране на платното отнемат много време спрямо автоматизираните системи за прецизно натягане на платното.

3. Натягане на транспортната лента – пружинно хидравлична.

На фиг. 9 са дадени детайлите на системата, а именно: 1- неподвижна опора; 2- подвижна опора; 3- хидравличен цилиндър; 4- пружина; 5- радиален лагер; 6- тензосензор; 7- пружинна опора; 8- натегателна гайка; 9- обтегач; 10- натегателен барабан; 11- винт с трапецовидна резба; 12- месингова водеща втулка.

На обтегачите на натегателния вал има предвидени тензосензори, които отчитат силите на опън, причинени от съпротивлението на опън на транспортната лента.



Фиг. 9.

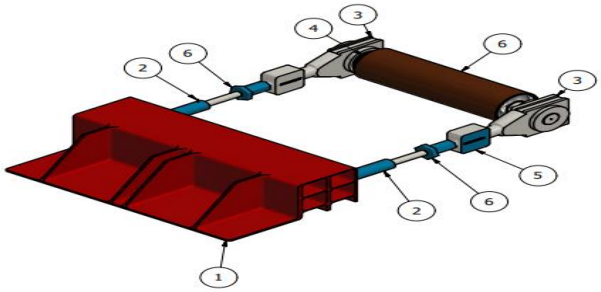
В комплекта, предвиден за автоматизация на транспортна лента, участват и контролери, сензори за следене за изместване на платното при движение, интегрирани енкодери на електродвигателите и транспортната лента и др.

Тензосензорите следят също за целостта на лентата и сили на опън, причинени от пружините.

При сервизни дейности тази системата дава възможност за бързо и надеждно отпускане и в последствие натягане на платното (транспортната лента), чрез промяна на налягането в хидравличните цилиндри. Тук влиянието на човешкия фактор е сведено до минимум.

4. Хидравлично натягане на транспортната лента.

На фиг. 10 са дадени детайлите на системата, а именно: 1- неподвижна опора; 2- хидравличен цилиндър; 3- обтегач; 4- радиален лагер; 5- тензосензор; 6- натегателен барабан.



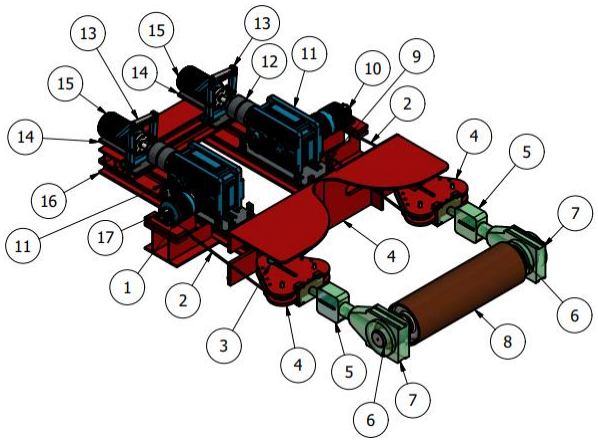
Фиг. 10.

Параметри на хидравличния цилиндър:

- Модел: YH-100/500;
- EAN. №: *150606;
- Капацитет на избутване: 1000 /kN;
- Капацитет на издърпване: 450 /kN;
- Ход на буталото: 500 /mm;
- Максимален обем на маслото в цилиндъра: 7157 /cm³;
- Затворена височина на цилиндъра: 725 /mm;
- Максимално налягане: 700 /(bar);
- Работно налягане: 350 /(bar);
- Външен диаметър на цилиндъра: 180 /mm;
- Собствено тегло: 118,0 /kg.

5. Полиспастно натягане на транспортната лента

На фиг. 11 са дадени детайлите на системата, а именно: 1- шаси (фундамент); 2- въже; 3- опора полиспаст; 4- полиспаст; 5- тензосензор; 6- радиален лагер; 7- обтегач; 8- натегателен барабан; 9- плоча лагерни опори; 10- лагерни опори на въжен барабан; 11- редуктор; 12- зъбен съединител; 13- спирачка; 14- плоча електродвигател; 15- електродвигател; 16- шаси на електродвигател; 17 въжен барабан.

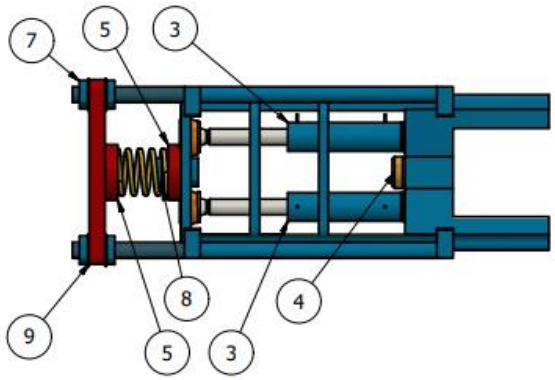


Фиг. 11.

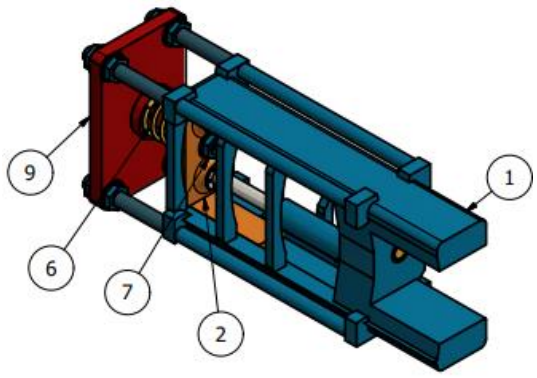
Станцията е изградена от множество гъвкави и подвижни елементи (въжета), което я прави неефективна, сложна за обслужване, непрецизна и тромава.

6. Натягане на транспортната лента – пружинно двойно хидравлична, в задвижваща станция.

На фиг. 12 и фиг. 13 са дадени детайлите на системата.



Фиг. 12.

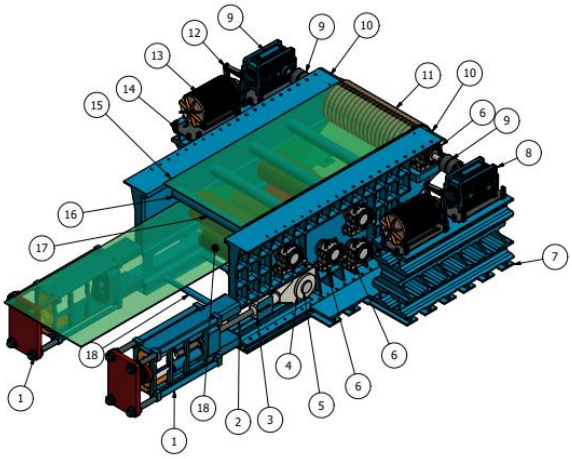


Фиг. 13.

Означенията на фигури 12 и 13 са: 1- неподвижна опора; 2- подвижна опора; 3- хидравличен цилиндър; 4- втулка месингова; 5- пружинна опора; 6- пружина; 7- гайка; 8- шайба; 9- опорна плоча.

7. Интегриране на натегателна система от тип: Пружинно двойно хидравлична в задвижваща станция на транспортната лента.

На фиг. 14 са дадени детайлите на системата, а именно: 1- пружинно двойно хидравлична система; 2- винт с трапецовидна резба; 3- тензосензор; 4- обтегач; 5- радиален лагер; 6- лагерна опора; 7- шаси на транспортната лента; 8- редуктор; 9- зъбен съединител; 10- шаси на задвижваща станция; 11- задвижващ барабан; 12- спирачен механизъм; 13- електродвигател; 14- плоча електродвигател; 15- транспортна лента; 16- дистанционер; 17- отклонителен барабан; 18- натегателен барабан.



Фиг. 14.

Предимства на варианта:

1. Разпределена маса на натегателната станция към опорите на багера, центрирана над шарнирната точка;
2. Лесен достъп на персонала за обслужване на ГТЛ;
3. По-ниски разходи за електроенергия, свързана с препозициониране на стрелата на багера.

Недостатъци:

1. Високо първоначално капиталовложение за реализация на проекта;
2. По-дълъг престой на съоръжението в авариен режим до пълната интеграция на оборудването.

Заключение:

След направения сравнителен анализ и разгледаните идейни варианти за оптимизиране и интегриране на натегателна станция на ГТЛ на багер SRs 2000, работещ в условията на „Мини Марица-изток“ ЕАД могат да се направят следните изводи.

Изместването на натегателната станция над шарнирната точка на багера би довело до елиминиране на инсталираната натегателна станция на стрелата на багера.

Текущата позиция на натегателната станция, която е инсталирана на стрелата на багера, утежнява цялостната конструкция с приблизително 15000 kg на стрелата.

В различните варианти на проектиране, тежестта на стрелата се увеличава между 22 853 и 30 573 kg.

Най-подходящият за реализиране проект е № 6 – „Натегателна станция за лентов транспортьор, тип натягане на транспортната лента – пружинно двойно хидравлична, в задвижваща станция“.

Литература

Бандов, К., М. Матеев, С. Деевски. 1967. *Транспорт при открити рудници*. Техника, София.

Кузманов, А. И. 1986. *Транспорт в обогатителни фабрики*, Техника, София.

Кузьмин, А. Б, И. М. Чернин, Б. С. Козинцов. 1982. *Расчетьі деталей машин*. Минск.

Недялков, П., И. Минин, С. Савов. 2016. Относно оценката на ресурса на многокофовите багери, *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, Свитък III, Том 59*, София, 10-14 , ISSN 1312-1820.

Шейретов, Хр. 2013. *Рудничен конвейерен транспорт*. София, Издателска къща на МГУ, София.

METHODS FOR CALCULATING THE STEERING OF ARTICULATED PNEUMATIC-WHEELED VEHICLES

Lyuben Tasev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: luben.tasev@mgu.bg

ABSTRACT. Articulated pneumatic-wheeled vehicles are becoming increasingly important in underground mine transport schemes. Their autonomy and maneuverability are part of the advantages that make them preferred over other solutions. The article proposes methods for dimensioning the steering of articulated pneumatic-wheeled vehicles. A kinematic control scheme was made, based on which the power cylinders were calculated.

МЕТОДИКА ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА КОРМИЛНОТО УПРАВЛЕНИЕ НА СЪЧЛЕНЕНИ ПНЕВМО-КОЛЕСНИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

Любен Тасев

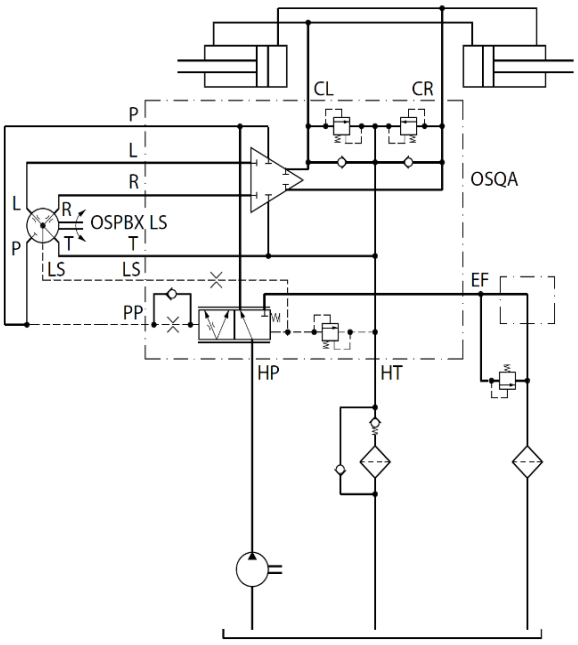
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"

РЕЗЮМЕ Съчлененитe пневмо-колесни транспортни средства добиват все по-голямо значение в транспортните схеми на подземните рудници. Тяхната автономност и маневреност са част от предимствата, които ги правят предпочитани пред други решения В статията се предлага методика за оразмеряване на кормилното управление на съчленени пневмо-колесни транспортни средства. Направена е кинематична схема на управлението, на база на което са изчислени силовите цилиндри.

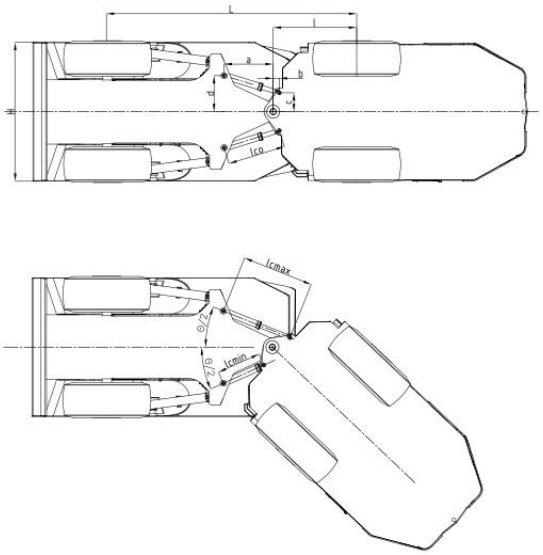
Въведение

Съчлененитe превозни средства се изпълняват с шарнирно кормилно управление – система, съдържаща вертикална ос на въртене, свързваща две секции на машината, като например предните и задните части на шасито или рамата. Управлението се реализира чрез сгъване на секциите на машината около оста на въртене. Кормилната система може да бъде механична, хидромеханична, хидростатична, електрическа и комбинирана. В момента за управлението на превозни средства за руднични условия в повечето случаи се прилага обемно хидравлично управление. Редици фирми разработват такива управления, като водещо място заемат такива като "Danfoss" (Дания), "Zahnradfabrik" (Германия), "TRW" (САЩ), Eaton (САЩ), M+S Hydraulic (България) и др.

На фигурата 1 е показана типична примерна хидравлична схема на съчленена пневмо-колесена машина с два силови цилиндъра и усилвател на налягането. На фигура 2 са показани основните геометрични размери на кинематичната схема за определяне на реакциите и силите в хидравличните цилиндри. На база на получените сили се прави избор на цилиндри, кормилно управление и хидравлична помпа.



Фиг. 1. Хидравлична схема на кормилно управление



Фиг. 2. Изглед съчленен самосвал

Изложение

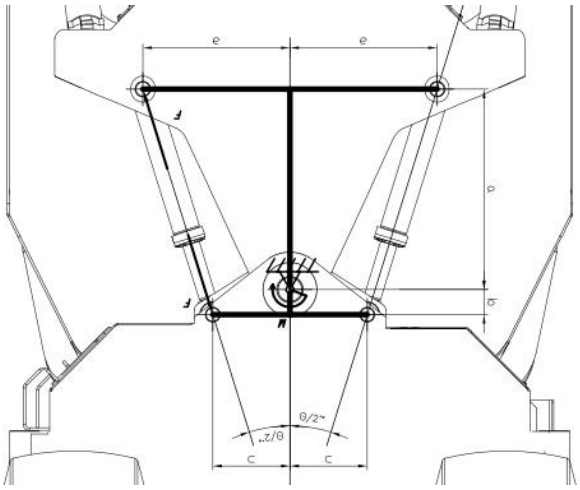
1. Изчисляване на необходимия момент за завиване и определяне на силите в цилиндрите

Номиналният момент на завиване за шарнирно съчленени машини с максимален ъгъл на завиване между 20˚ и 50˚ и с положение на съчленяващия шарнир, отговарящо на отношението 1/L=0,25…0,50, може да се изрази чрез следната зависимост:

$$M_{зав} = 0{,}5\,\Theta\,(G1 + l/L + G2);\ \text{kNm} \qquad (1)$$

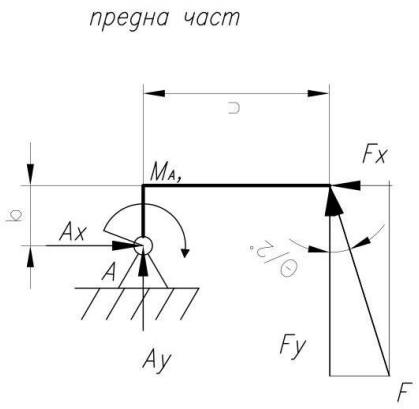
където:

- Θ – максимален ъгъл на завиване от положение на праволинейно движение [rad] ;
- G1, G2- натоварване на мостовете на по-малката и на по-голямата секция [kN];
- l- дължина на по-малката секция (разстоянието от шарнира до по-близкия мост от фиг.1) [m];
- L- разстояние между мостовете [m] (от фиг.2);



Фиг. 3. Кинематична схема

На база на кинематичния анализ на кормилното управление и получения номинален момент на завиване, се изчислява нужната сила в буталния прът на изпълнителните цилиндри. За опростяване на пресмятанията се приема, че усилията в двата цилиндъра са еднакви и се разглежда само едната страна, като впоследствие получената сила се разделя на две.



Фиг. 4. Кинематична схема предна част

Предна част

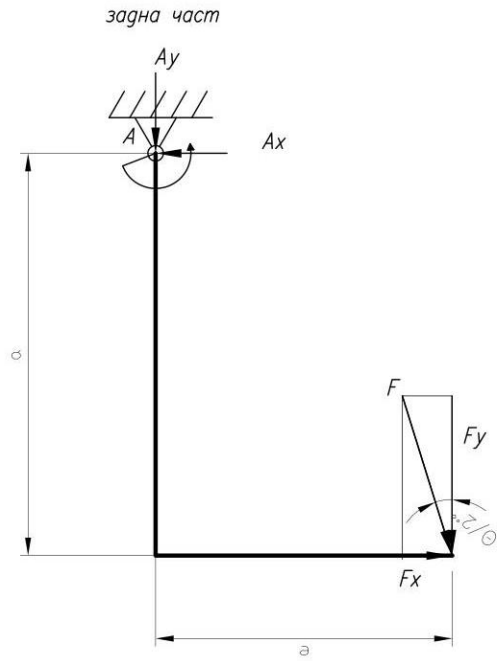
Разлагане на силата F на две компоненти по осите x и y:

$$\begin{cases} Fx = F.\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\ ; N \\ Fy = F.\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\ ;\ N \end{cases} \qquad (2)$$

Определяне на опорните реакции и съставяне на независимите уравнения на статиката:

$$\begin{cases} \Sigma_{i=1}^{n} P_i, x = 0; \longrightarrow A_x - F_x = 0; \longrightarrow Ax = Fsin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \Sigma_{i=1}^{n} P_i, y = 0; \longrightarrow Ay + Fy = 0; \longrightarrow Ay = -F.\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \Sigma_{i=1}^{n} M_A, i = 0; \longrightarrow -M_A + Fx.b + Fy.c = 0 \end{cases} \qquad (3)$$

Задна част



Фиг. 5. Кинематична схема задна част

Опорните реакции и завиващия момент се поставят противоположно на предната част и се съставят независимите уравнения на статиката:

$$\begin{cases} \Sigma_{i=1}^{n} P_i, x = 0; \longrightarrow -Ax + Fx = 0; \longrightarrow Ax = F\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \Sigma_{i=1}^{n} P_i, y = 0; \longrightarrow -Ay - Fy = 0; \longrightarrow Ay = -F.\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \Sigma_{i=1}^{n} M_A, i = 0; \longrightarrow M_A + Fx.a - Fy.e = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Избираме по-голямата сила и я разделяме на половина.

2. Избор на хидравлични цилиндри

Изчисляване на площта на буталото и буталния прът на хидравличния цилиндър(Korpachev, 2012):

$$S = \frac{F}{p_{ном}}\ m^2 \quad (5)$$

където:

- S – сумарна площ на буталото от долната страна и от страната на буталния прът на хидравличния цилиндър [m2];
- F – усилие на буталния прът [N];
- $p_{ном}$ – номинално налягане в хидропровода [Pa]

Определяне на минималния диаметър D на буталото на хидравличния цилиндър [m]:

$$D = \sqrt{\frac{4.S}{\pi(2-1/\varphi)}} \quad (6)$$

където φ е отношението между диаметъра на буталото към диаметъра на буталния прът (φ=1,25÷1,5)

Определяне на диаметъра d на буталния прът [m]:

$$d = \frac{D}{\varphi} \quad (7)$$

Определяне на хода на буталото l_c [m] (от фиг.2):

$$l_c = l_{cmax} - l_{cmin} \quad (8)$$

където:

- l_{cmax} – дължина на хидравличния цилиндър в удължено състояние;
- l_{cmin} – дължина на хидравличния цилиндър в събрано състояние.

Изчисляване обема V_{c1} на хидравличния цилиндър от страната на буталото:

$$V_{c1} = \pi r_1^2 l_c\ ;\ m^3, \quad (9)$$

където r_1 е радиусът на буталото.

Изчисляване обема V_{c2} на хидравличния цилиндър от страната на буталния прът:

$$V_{c2} = V_{c1} - \pi r_2^2 l_c\ ;\ m^3, \quad (10)$$

където r_2 е радиусът на буталния прът.

Изчисляване на общия обем V_c, необходим при кръстосано свързване на двата изпълнителни хидравлични цилиндъра (Goidu 2009).

$$V_{c2} = V_{c1} + V_{c2},;m^3 \quad (11)$$

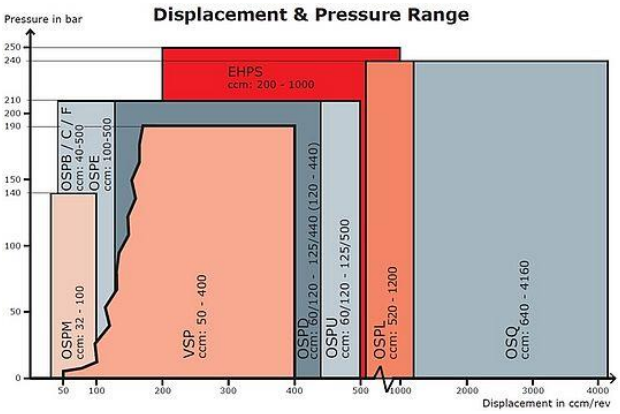
3. Избор на кормилно управление и помпа

Препоръчително е броят на завъртанията на командния орган (волана) от едното крайно положение на частите на шарнирната рама до другото да става с до 5 оборота. Това определя и избора на кормилното управление:

$$q=V/5 \quad (12)$$

където q е работен обем на кормилното управление [cm^3/об.]

На фиг. 6 е дадена графика на различните кормилни управления на фирмата „Danfos. Базирайки се на предходно изчисленото q, от нея може да изберем необходимото за нашата машина кормилно управление и да определим налягането на хидравличната система.



Фиг. 6. Избор на кормилни управления на фирма Danfos.

В някой от машините се налага използването на кормилните управления с усилватели на дебит (фиг. 1), които усилват дебита към кормилния цилиндър. Тези системи с кормилни управления и усилватели на дебит включват също вграден приоритетен клапан, който осигурява приоритет на управлението. Когато воланът се премести, маслото в усилвателя на дебит се разделя по такъв начин, че се осигурява подаване на достатъчно дебит към кормилната система. Останалото количество е налично за работната хидравлика.

Броят n на завъртанията на командния орган (волана) от едното крайно положение на частите на шарнирната рама до другото се изчислява по следния начин:

$$n=V/q_{ст} \quad (13)$$

където $q_{ст}$ е стандартен работен обем на избраната кормилната система.

Скоростта v [m/s] на преместване на буталния прът:

$$v=Q_{кс}/S \quad (14)$$
$$Q_{кс}=q_{ст}.n_{ку}$$

където:

- $Q_{кс}$ – действителен обем, подаван от кормилната система към изпълнителните хидравлични цилиндри [cm^3];
- $n_{ку}$ – честота на въртене на кормилното управление [s^{-1}] (приема се 1,5 s^{-1});

Определяне на необходимата мощност в хидравличните цилиндри- $N_ц$

$$N_ц=F.v, [kW] , \quad (15)$$

където F е усилието, действащо на буталния прът [kN].

Определяне на полезната мощност на хидравличната помпа- $N_п$

$$N_п = K_с.K_{ск}.N_ц [kW], \quad (16)$$

където:

- $K_с$- коефициент на запас по сила – 1,05;
- $K_{ск}$-коефициент на запас по скорост – 1,05.

Избор на хидравлична помпа

$$q_п=\frac{N_п}{p_{ном}.n_п}],;m^3 \quad (17)$$

където:

- $q_п$- работен обем на хидравличната помпа(m^3);
- $p_{ном}$- номинално налягане на хидропровода [kPa];
- $n_п$- честота на въртене на вала на помпата [s^{-1}]

В таблица 1 като пример са дадени техническите параметри на хидравлични зъбни помпи Krecht, серия KP3.

Таблица 1. *Спецификация зъбни помпи Krecht*

Номинален обем	Геометричен обем	Максимално работно налягане	Максимално налягане	Максимални обороти	Инерционен момент	Минимални обороти при съответно налягане[bar]				
cm^3	cm^3	bar	bar	1/min	kg m^2	100	120	150	180	>200
71	70.6	230	280	2500	187	700	700	800	900	900
82	81.0	210	250	2600	210	500	600	700	800	800
100	99.5	210	250	2500	252	500	600	700	800	800
112	111.1	200	230	2400	277	500	600	700	800	800
125	123.8	200	230	2300	306	500	600	700	800	800

Заключение

Предложената методология може да послужи студенти от машините специалности на техническите университети при разработването на проекти и дипломни работи.

Настоящата методология би била полезна и на механиците в рудничните предприятия в ремонтните дейности на наличните машини.

Литература

Гойдо, М. Е. 2009. *Проектирование объемных гидропроводов*. Машиностроение.

Корпачев, В.П., А. А. Андрияс, А. И. Пережилин. 2012. *Основы проектирования объемного гидропровода*. СибГТУ, 166 стр.

Dzhustrov, K., Zh. Iliev. 2022. Study of the electromechanical load of the motor-reducer group for a double drum drive of a belt conveyor, *Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Electronics*, doi:10.1088/1742-6596/2339/1/012028, 2022.

COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF DRIVE OF THE BELT CONVEYORS

Hristo Sheiretov

University of Mining and Geology “St.Ivan Rilski” Sofia, hristo.sheiretov@mgu.bg

ABSTRACT. Four types of drive are discussed: single pulley head drive (1H); dual pulley head drive (2H); single pulley head and tail drive (1H+1T); dual pulley head and single pulley tail drive (2H+1T). The belt tension forces and the necessary take-up force at steady-state working and at start-up are determined for the different types of drive. Calculations are accomplished for a concrete solved example - a stationary belt conveyor with the following assigned: profile layout; kind and characteristics of the transported material; capacity; belt width and belt velocity; linear mass of the material, of the belt, and of the idlers. A comparison is made of the greatest belt tensions for the four types of drive. Calculations for different lengths and angles of slope are accomplished. The coefficients of optimal power and traction force distribution are determined for the 2H, 1H+1T, and 2H+1T drives. The angles of slope (at given length of the conveyor), at which the actually transferred forces and power are closest to the optimal values, are determined. The boundary length of the conveyor (at various angles of slope), by which the belt forces for 1H and 2H drives are equal, are determined.

Key words: drive, belt tensions, powers, traction forces, coefficients of distribution.

СРАВНЯВАНЕ НА РАЗЛИЧНИТЕ ВИДОВЕ ЗАДВИЖВАНЕ НА ЛЕНТОВИТЕ ТРАНСПОРТЬОРИ

Христо Шейретов

Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски”, 1700 София, hristo.sheiretov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Разгледани са четири вида задвижване: еднобарабанно предно (1П); двубарабанно предно (2П); еднобарабанно предно и еднобарабанно задно (1П+13); двубарабанно предно и еднобарабанно задно (2П+13). Определени са силите на опън в лентата и необходимата опъвателна сила при установен и пусков режим за различните видове задвижване и конкретно решаван пример - стационарен транспортьор със зададени: профил на трасето; вид и характеристика на транспортирания материал; производителност; ширина и скорост на лентата; линейни маси на материала, лентата и ролковите опори. Направено е сравнение на най-големите сили в лентата, получени при изчисленията за четирите вида задвижване. Направени са изчисления за различни дължини на транспортьора и различни ъгли на наклона на трасето. При 2П, 1П+13 и 2П+13 задвижвания са определени коефициентите на оптимално разпределение на теглителните сили и мощностите. Определени са ъглите на наклон на транспортьора (при зададени дължини на транспортьора), при които действително предаваните теглителни сили и мощности от отделните барабани са най-близки по стойност с тези при оптимално разпределение. Определени са граничните дължини на транспортьора (за различни ъгли на наклона), до които силите в лентата при 1П и 2П задвижване са равни.

Ключови думи: задвижване, сили на опън в лентата, мощности, теглителни сили, коефициенти на разпределение.

Увод

Съществуват различни методики за изчисляване и проектиране на лентови транспортьори - по американските стандарти ISO и CEMA, по немския стандарт DIN 22101 (Dunlop conveyor belt design and calculation, 2009, Phoenix conveyor belt design fundamentals, 2004), руски методики и др. В тези методики се дават различни препоръки за определяне на вида на задвижването.

Според (Dunlop conveyor belt design and calculation, 2009):

- еднобарабанното предно задвижване (1П) е най-разпространеното задвижване. Използва се при хоризонтални и наклонени транспортьори, работещи на издигане. Използва се и при наклонени транспортьори работещи на спускане с малък ъгъл на наклон δ (до 1-2°), което осигурява периферната теглителна сила на задвижващия барабан да е положителна (F_U>0);
- двубарабанно предно задвижване (2П) се използва при транспортьори с голяма мощност на задвижването;
- еднобарабанно предно и еднобарабанно задно задвижване (1П+13) се използва, когато голям дял от общото съпротивление се пада на съпротивлението в долния клон F_u.

Според (Станев, Б., Транспортьори лентови. Изчисляване., 1975):

- двубарабанно предно задвижване (2П) се използва при дълги и мощни транспортьори с денивелация H≥0 и общо съпротивление W>0;
- еднобарабанно предно и еднобарабанно задно задвижване (1П+13) се използва при: транспортьори работещи на издигане или леко спускане (с наклон β до 3-5°) с H≥0 или H<0, W≥0 и хоризонтална съставляваща на съпротивлението в долния клон $W_{\partial x}$ по-голяма от вертикалната съставляваща $W_{\partial в}$ ($W_{\partial x}$>$W_{\partial в}$); при реверсивни транспортьори; при дълги и мощни транспортьори;
- двубарабанно предно и еднобарабанно задно задвижване (2П+13) се използва при много дълги и мощни транспортьори работещи на издигане, хоризонтално или на леко спускане с наклон β до 3-5° с H≥0 или H<0, W≥0 и $W_{\partial x}$>$W_{\partial в}$.

В (Dzhustrov, K, Zh.Iliev, 2022) са определени силите на опън в лентата при двубарабанно предно задвижване на конкретен транспортьор.

От цитираното по-горе се вижда, че няма строго определени правила за избор на типа на задвижване.

Цели на настоящето изследване са:

- да се направят изчисления на силите на опън в лентата и необходимата опъвателна сила при установен и пусков режим за различните видове задвижване за конкретно решаван пример - стационарен транспортьор със зададени: профил на трасето; вид и характеристика на транспортирания материал; производителност; ширина и скорост на лентата; линейни маси на материала, лентата и ролковите опори;
- да се направи сравнение на най-големите сили в лентата, получени при изчисленията за четирите вида задвижване;
- да се направят изчисления за различни дължини на транспортьора и различни ъгли на наклона на трасето;
- при дву- и трибарабанните задвижвания да се определят коефициентите на оптимално разпределение на теглителните сили и мощностите, предавани от отделните барабани;
- да се определят ъглите на наклон на транспортьора (при зададени дължини на транспортьора), при които действително предаваните теглителни сили и мощности от отделните барабани са най-близки по стойност с тези при оптимално разпределение;
- да се определят граничните дължини на транспортьора (за различни ъгли на наклона), до които силите в лентата при 1П и 2П задвижване са равни.

Определяне на теглителните сили, предавани от барабаните, силите на опън в лентата и необходимата опъвателна сила за различните видове задвижване

Изходни данни за проектирането

Изчисленията са направени за стационарен лентов транспортьор със следните параметри: ширина на лентата B=1000mm; скорост на лентата v=3,35m/s; производителност Q=1000t/h; линейна маса на лентата m'_G=32,5kg/m; линейна маса на ролковите опори в горния и долния клон m'_{Ro}=12,5kg/m; m'_{Ru}=4,8kg/m.

Използван е стандарта за изчисляване DIN 22101 (Dunlop conveyor belt design and calculation, 2009, Phoenix conveyor belt design fundamentals, 2004).

Теглителни сили и мощности, предавани от барабаните при оптимално и действително разпределение

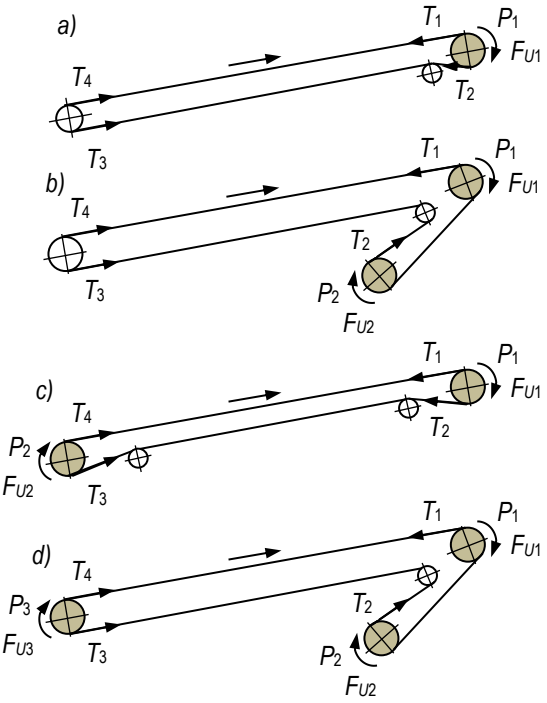
Според изчислителните схеми на фиг.1 силите и мощностите се определят по формулите:

Двубарабанно предно задвижване (фиг.1b)

$$F'_{U2} = F_U.\frac{e^{\mu.\alpha_2}-1}{e^{\mu.\alpha_1}.e^{\mu.\alpha_2}-1};\quad F'_{U1} = F_U-F'_{U2}\ ,\text{N};\quad x'=\frac{F'_{U1}}{F'_{U2}} \qquad (1)$$

$$x=1 \text{ или } 2;\qquad F_{U1}=\frac{x.F_U}{x+1};\qquad F_{U2}=F_U-F_{U1}\ ,\text{N} \qquad (2)$$

$$P_T=\frac{F_U.v}{1000};\qquad P_{T1}=\frac{x.P_T}{x+1};\qquad P_{T2}=P_T-P_{T1}\ ,\text{KW} \qquad (3)$$



Фиг.1. Схеми на различните видове задвижване

Еднобарабанно предно и задно задвижване (фиг.1c)

$$F_u=F_{Hu}-F_{Stu};\ F'_{U2}=[F_U+(e^{\mu.\alpha_1}-1).F_u].\frac{e^{\mu.\alpha_2}-1}{e^{\mu.\alpha_1}.e^{\mu.\alpha_2}-1}\ ,\text{N} \qquad (4)$$

$$F'_{U1}=F_U-F'_{U2}\ ,\text{N};\quad x'=\frac{F'_{U1}}{F'_{U2}} \qquad (5)$$

$$x=1 \text{ или } 2;\qquad F_{U1}=\frac{x.F_U}{x+1};\qquad F_{U2}=F_U-F_{U1}\ ,\text{N} \qquad (6)$$

$$P_T=\frac{F_U.v}{1000};\qquad P_{T1}=\frac{x.P_T}{x+1};\qquad P_{T2}=P_T-P_{T1}\ ,\text{KW} \qquad (7)$$

Двубарабанно предно и еднобарабанно задно задвижване (фиг.1d)

$$F_u=F_{Hu}-F_{Stu};\ F'_{U3}=\left[F_U+\left(e^{\mu.(\alpha_1+\alpha_2)}-1\right).F_u\right].\frac{e^{\mu.\alpha_3}-1}{e^{\mu.\alpha_3}.e^{\mu.(\alpha_1+\alpha_2)}-1}; \qquad (8)$$

$$F'_{U2}=(F_U-F'_{U3}).\frac{e^{\mu.\alpha_2}-1}{e^{\mu.\alpha_1}.e^{\mu.\alpha_2}-1};\quad F'_{U1}=F_U-F'_{U2}-F'_{U3}\ ,\text{N} \qquad (9)$$

$$F_{U1}:F_{U2}:F_{U3}=x':y':1;\quad x=1 \text{ или } 2;\quad y=1 \text{ или } 2 \qquad (10)$$

$$F_{U1}=\frac{x.F_U}{x+y+1};\ F_{U2}=\frac{y.F_U}{x+y+1};\ F_{U3}=\frac{F_U}{x+y+1}\ ,\text{N};\ P_T=\frac{F_U.v}{1000} \qquad (11)$$

$$P_{T1}=\frac{x.P_T}{x+y+1};\quad P_{T2}=\frac{y.P_T}{x+y+1};\quad P_{T3}=\frac{P_T}{x+y+1}\ ,\text{KW}, \qquad (12)$$

където:

F_U – сумарна периферна теглителна сила на задвижващите барабани (определя се по формула (13));

μ – коефициент на триене между лентата и задвижващите барабани;

α_1, α_2, α_3 – ъгли на обхват на лентата около барабаните;

F_{U1}, F_{U2}, F_{U3} – периферни теглителни сили на барабаните;

x, y; x', y' – коефициенти на действително и оптимално разпределение на теглителните сили и мощностите;

P_T – обща необходима мощност на задвижването (определя се по формули (3, 7 и 11));

P_{T1}, P_{T2}, P_{T3} – мощности на задвижващите барабани.

$$F_U = F_H + F_N + F_{St}\ ,\ \text{N}\ , \qquad (13)$$

където:

F_H – основно съпротивление на транспортьора (определя се по формула (14);

F_N – допълнително съпротивление (от огъването на лентата около барабаните, триенето в лагерите на барабаните, съпротивленията в товарните и почистващите устройства) (определя се по формула (14))

F_{St} – съпротивление от наклона на транспортьора (определя се по формула (14).

$$F_H = F_{Ho} + F_{Hu}\ ;\ F_N = (C - 1).F_H\ ;\ F_{St} = F_{Sto} + F_{Stu}\ ,\ \text{N} \qquad (14)$$

където:

F_{Ho}, F_{Hu} – основни съпротивления в горния и долния клон (от движението на лентата и материала, въртенето на ролките, огъването на лентата и ударите и по ролките и от вътрешното триене на материала) (определят се по формули (15) и (16));

F_{Sto}, F_{Stu} – съпротивления от наклона в горния и долния клон (определят се по формули (17));

C – коефициент на допълнително съпротивление (определя се по табл.1);

Таблица 1. *Коефициент, отчитащ допълнителните съпротивления C*

L [m]	10	20	30	50	60	80	100
k_∂	4,5	3,2	2,6	2,2	2,1	1,91	1,75

L [m]	120	140	160	180	200	250	300
k_∂	1,7	1,6	1,55	1,5	1,45	1,38	1,32

L [m]	350	400	500	700	800	1000
k_∂	1,28	1,24	1,19	1,12	1,095	1,087

$$F_{Ho} = f.L.g.\left[m'_{Ro} + \left(m'_G + m'_L\right).cos\delta\right]\ ,\ \text{N} \qquad (15)$$

$$F_{Hu} = f.L.g.\left(m'_{Ru} + m'_G\right).cos\delta\ ,\ \text{N} \qquad (16)$$

$$F_{Sto} = H.g.\left(m'_G + m'_L\right) \qquad F_{Stu} = H.g.m'_G\ ,\ \text{N}\ , \qquad (17)$$

където:

f - коефициент на основно съпротивление (приемам f=0,02 за средно тежки условия на работа);

L, m - дължина на транспортьора;

δ ,° - ъгъл на наклон на транспортьора.

Сили на опън в лентата при установен и пусков режим на работа от условието за липса на буксуване

Еднобарабанно предно задвижване (фиг. 1a)

$$T_2 = F_U.\frac{1}{e^{\mu.\alpha} - 1}; \qquad T_3 = T_2 + F_{Hu} - F_{Stu}\ ,\ \text{N} \qquad (18)$$

$$T_4 = T_3\ ; \qquad T_1 = T_4 + F_N + F_{Ho} + F_{Sto}\ ,\ \text{N} \qquad (19)$$

$$T_{A2} = F_A.\frac{1}{e^{\mu_A.\alpha} - 1}; \quad T_{A3} = T_{A2} + F_{Hu} - F_{Stu} + F_{au},\ \text{N} \qquad (20)$$

$$T_{A4} = T_3\ ; \qquad T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_{Ho} + F_{Sto} + F_{ao}\ ,\ \text{N} \qquad (21)$$

Двубарабанно предно задвижване (фиг. 1b)

$$T_2 = F_{U1}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_1} - 1} - F_{U2}\ ,\ \text{N при } x > x' \qquad (22)$$

$$T_2 = F_{U2}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_2} - 1}\ ,\ \text{N при } x \le x' \qquad (23)$$

$$T_3 = T_2 + F_u - F_{Stu};\ T_4 = T_3;\quad T_1 = T_4 + F_N + F_o + F_{Sto}\ ,\ \text{N} \qquad (24)$$

$$T_{A2} = F_{A1}.\frac{1}{e^{\mu_A.\alpha_1} - 1} - F_{U2}\ ,\ \text{N при } x > x' \qquad (25)$$

$$T_{A2} = F_{A2}.\frac{1}{e^{\mu_A.\alpha_2} - 1}\ \text{при } x \le x' \qquad (26)$$

$$T_{A3} = T_{A2} + F_u - F_{Stu} + F_{au};\ T_{A4} = T_{A3},\ \text{N} \qquad (27)$$

$$T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_o + F_{Sto} + F_{ao}\ ,\ \text{N} \qquad (28)$$

Еднобарабанно предно и еднобарабанно задно задвижване (фиг. 1c)

$$T_2 = F_{U1}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_1} - 1}\ ,\ \text{N при } x \le x';\ T_3 = T_2 + F_{Hu} - F_{Stu}\ ,\ \text{N} \qquad (29)$$

$$T_4 = T_3 - F_{U2}; \qquad T_1 = T_4 + F_N + F_{Ho} + F_{Sto}\ ,\ \text{N} \qquad (30)$$

$$T_4 = F_{U2}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_2} - 1}\ ,\ \text{N при } x > x';\ T_2 = T_3 - F_{Hu} + F_{Stu}\ ,\ \text{N} \qquad (31)$$

$$T_3 = T_4 + F_{U2}; \qquad T_1 = T_4 + F_N + F_{Ho} + F_{Sto}\ ,\ \text{N} \qquad (32)$$

$$T_{2A} = F_{A1}.\frac{1}{e^{\mu_A.\alpha_1} - 1}\ ,\ \text{N при } x \le x';\ T_{3A} = T_{2A} + F_{Hu} - F_{Stu} + F_{au} \qquad (33)$$

$$T_{4A} = T_{3A} - F_{A2}; \qquad T_{1A} = T_{4A} + F_N + F_{Ho} + F_{Sto} + F_{ao}\ ,\ \text{N} \qquad (34)$$

$$T_{A4} = F_{A2}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_2} - 1}\ \text{при } x > x';\ T_{A2} = T_{A3} - F_{Hu} + F_{Stu} + F_{au} \qquad (35)$$

$$T_{A3} = T_{A4} + F_{U2}; \quad T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_{Ho} + F_{Sto} + F_{ao}\ ,\ \text{N} \qquad (36)$$

Двубарабанно предно и еднобарабанно задно задвижване (фиг. 1d)

$$T_2 = F_{U1}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_1} - 1} - F_{U2}\ ,\ \text{N при } x + y > x' + y' \text{ и } \frac{x}{x'} > \frac{y}{y'} \qquad (37)$$

$$T_2 = F_{U2}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_2} - 1}\ ,\ \text{N при } x + y > x' + y' \text{ и } \frac{x}{x'} \le \frac{y}{y'} \qquad (38)$$

$$T_3 = T_2 + F_{Hu} - F_{Stu};\ T_4 = T_3 - F_{U2};\ T_1 = T_4 + F_N + F_{Ho} + F_{Sto}\ ,\ \text{N} \qquad (39)$$

$$T_4=F_{U3}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_3}-1}\text{ , N при } x+y\le x'+y' \quad (40)$$

$$T_3=T_4+F_{U3};\ T_2=T_3-F_{Hu}+F_{Stu};\ T_1=T_4+F_N+F_{Ho}+F_{Sto}\text{ , N} \quad (41)$$

$$T_{A2}=F_{A1}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_1}-1}-F_{U2}\text{ , N при } x+y>x'+y' \text{ и } \frac{x}{x'}>\frac{y}{y'} \quad (42)$$

$$T_{A2}=F_{A2}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_2}-1}\text{ , N при } x+y>x'+y' \text{ и } \frac{x}{x'}\le\frac{y}{y'} \quad (43)$$

$$T_{A3}=T_{A2}+F_{Hu}-F_{Stu}+F_{au};\quad T_{A4}=T_{A3}-F_{U2}\text{ , N} \quad (44)$$

$$T_1=T_4+F_N+F_{Ho}+F_{Sto}+F_{ao}\text{ , N} \quad (45)$$

$$T_{A4}=F_{A3}.\frac{1}{e^{\mu.\alpha_3}-1}\text{ при } x+y\le x'+y';\quad T_{A3}=T_{A4}+F_{A3}\text{ , N} \quad (46)$$

$$T_{A2}=T_{A3}-F_{Hu}+F_{Stu}+F_{au};\ T_{A1}=T_{A4}+F_N+F_{Ho}+F_{Sto}+F_{ao}\text{ , N} \quad (47)$$

където:

T_1-T_4, T_{A1}-T_{A4} – сили на опън в лентата при установен и пусков режим на работа;

F_{au}, F_{ao} – инерционни сили в горния и долния клон (определят се по формули (48) и (49));

$$F_{ao}=L.a_A.\left(0{,}9.m'_{Ro}+m'_G+m'_L\right)\text{ , N} \quad (48)$$

$$F_{au}=L.a_A.\left(0{,}9.m'_{Ru}+m'_G\right)\text{ , N} \quad (49)$$

където:

μ_A – коефициент на триене между лентата и барабана през пусковия период (определя се по формула (50));

a_A – ускорение при пускането на транспортьора (определя се по формула (51));

$$\mu_A=\mu+0{,}05 \quad (50)$$

$$a_A=\frac{F_A-F_U}{L.\left(0{,}9.m'_{Ro}+0{,}9.m'_{Ru}+2.m'_G+m'_L\right)}\text{ , m/s}^2 \quad (51)$$

където F_A – периферна сила на задвижващия барабан при пускането (определя се по формула (52)).

$$F_A=k_A.F_U=1{,}5.F_U\text{ , N} \quad (52)$$

Корекция на силите на опън в лентата при установен режим според вида на опъвателното устройство

Използва се условието, че силите на опън в лентата в точката на поставяне на опъвателното устройство (в случая след задвижващия барабан) при пусков и установен режим са равни, т.е. $T_{A2}=T_2$. Тогава за силите на опън при установен режим след корекция със стойност $\Delta T=T_{A2}-T_2$ окончателно се получава:

$$T_{A4}=T_4;\quad \Delta T=T_{A4}-T_4\text{ , N} \quad (53)$$

$$T_1=T_1+\Delta T;\quad T_2=T_2+\Delta T;\quad T_3=T_4=T_3+\Delta T\text{, N} \quad (54)$$

Корекция на силите на опън в лентата при установен пусков режим на работа от условието за максимално допустимо провисване на лентата между ролковите опори

Корекцията на силите на опън в лентата ΔT е:

$$\Delta T=T_{min}-T_4\text{ , N ,} \quad (55)$$

където T_{min} [N] – минимална сила на опън в лентата от условието за максимално допустимо провисване на лентата между ролковите опори в товарния клон (определя се по формула (56)).

$$T_{min}=\frac{(m'_L+m'_G).g.l_o}{8.h_{rel}}\text{ , N ,} \quad (56)$$

където:

l_o [m] – разстояние между ролковите опори в горния клон на лентата;

h_{rel} – максимално допустимо относително провисване на лентата между ролковите опори в товарния клон (приема се h_{rel}=0,005-0,015 (0,5-1,5%); приемам h_{rel}=0,01).

За силите на опън при установен и пусков режим се получава:

$$T_1=T_1+\Delta T;\quad T_2=T_2+\Delta T;\quad T_3=T_3+\Delta T;\quad T_4=T_4+\Delta T\text{, N} \quad (57)$$

$$T_{A1}=T_{A1}+\Delta T;\quad T_{A2}=T_{A2}+\Delta T\text{, N}$$
$$T_{A3}=T_{A3}+\Delta T\text{, N};\quad T_{A4}=T_{A4}+\Delta T\text{, N} \quad (58)$$

Необходима опъвателна сила

При разположение на опъвателното устройство след задвижващия барабан:

$$F_v=2.T_{A2}\text{ , N} \quad (59)$$

Резултати от изчисленията

Резултатите от изчисленията са обобщени в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2. *Резултати от изчисленията при различни дължини и ъгли на наклона на транспортьора*

L [m], δ [°]	1800, 5			
Задвижване	1П		2П	
x, x'			2, 2,09	
T_1, T_{A1} [N]	301960	**397640**	248220	343900
T_2, T_{A2} [N]	110360	110360	56620	56620
T_3, T_{A3} [N]	74800	96470	21060	42730
T_4, T_{A4} [N]	74800	96470	21060	42730
P_{T1} , P_{T2} [kW]	641		428, 213	
F_v [N]	220720		**133240**	
Задвижване	1П + 13		2П + 13	
x, x' y, y'	2, **5,35**		2, **10,72**	1, **4,68**
T_1, T_{A1} [N]	258390	**306170**	257030	328760
T_2, T_{A2} [N]	162590	162590	113330	113330
T_3, T_{A3} [N]	127030	148700	77770	99440
T_4, T_{A4} [N]	31230	5000	29870	27590
P_{T1},P_{T2},P_{T3} [kW]	320, 320		320, 160, 160	
F_v [N]	**325180**		226660	

L [m], δ [°]	1800, 0			
Задвижване	1П		2П	
x, x'			2, 2,09	
T_1, T_{A1} [N]	103580	**136350**	77360	110130
T_2, T_{A2} [N]	37850	37850	11630	11630
T_3, T_{A3} [N]	52340	59760	26120	33540
T_4, T_{A4} [N]	52340	59760	26120	33540
P_{T1} , P_{T2} [kW]	220		177, 73	
F_v [N]	75700		**23260**	
Задвижване	1П + 13		2П + 13	
x, x' y, y'	1, **1,77**		2, **5,31** 1, **2,32**	
T_1, T_{A1} [N]	72300	**88630**	72300	96860
T_2, T_{A2} [N]	39430	39430	23000	44910
T_3, T_{A3} [N]	53920	61340	37490	20270
T_4, T_{A4} [N]	21060	12040	21060	23000
P_{T1},P_{T2},P_{T3} [kW]	110, 110		110, 55, 55	
F_v [N]	78860		**89820**	

L [m], δ [°]	5000, 2			
Задвижване	1П		2П	
x, x'			2, 2,09	
T_1, T_{A1} [N]	508630	**669570**	379860	540800
T_2, T_{A2} [N]	185890	185890	57120	57120
T_3, T_{A3} [N]	170500	206950	41730	78180
T_4, T_{A4} [N]	170500	206950	41730	78180
P_{T1} , P_{T2} [kW]	1080		720, 360	
F_v [N]	371780		**114240**	
Задвижване	1П + 13		2П + 13	
x, x' y, y'	2, **3,41**		2, **8,04** 1, **3,51**	
T_1, T_{A1} [N]	387370	**467620**	388490	509090
T_2, T_{A2} [N]	226000	226000	146430	146430
T_3, T_{A3} [N]	210610	247060	131040	167490
T_4, T_{A4} [N]	49240	5000	50360	46470
P_{T1} , P_{T2} [kW]	540, 540		540, 270, 270	
F_v [N]	**452000**		292860	

L [m], δ [°]	100, 2			
Задвижване	1П		2П	
x, x'			2, 2,09	
T_1, T_{A1} [N]	27680	**30820**	27680	30820
T_2, T_{A2} [N]	21350	21350	21350	21350
T_3, T_{A3} [N]	21060	21770	21060	21770
T_4, T_{A4} [N]	21060	21770	21060	21770
P_{T1} , P_{T2} [kW]	21		14, 7	
F_v [N]	42700		**42700**	
Задвижване	1П + 13		2П + 13	
x, x' y, y'	1, **3,42**		2, **8,12** 1, **3,54**	
T_1, T_{A1} [N]	27680	**29230**	27680	30030
T_2, T_{A2} [N]	24510	24510	22930	23350
T_3, T_{A3} [N]	24220	24930	22640	20980
$2T_4$, T_{A4} [N]	21060	20180	21060	22930
P_{T1},P_{T2},P_{T3} [kW]	10,5 10,5		10,3 5,3 5,3	
F_v [N]	**49020**		46700	

L [m], δ [°]	1800, 2			
Задвижване	1П		2П	
x, x'			2, 2,09	
T_1, T_{A1} [N]	182950	**240880**	142670	200600
T_2, T_{A2} [N]	66860	66860	26580	26580
T_3, T_{A3} [N]	61340	74460	21060	34180
T_4, T_{A4} [N]	61340	74460	21060	34180
P_{T1} , P_{T2} [kW]	288		259, 129	
F_v [N]	133720		**53160**	
Задвижване	1П + 13		2П + 13	
x, x' y, y'	1, **3,41**		2, **8,06** 1, **3,52**	
T_1, T_{A1} [N]	142670	**171580**	142670	186090
T_2, T_{A2} [N]	84630	84630	55600	63200
T_3, T_{A3} [N]	79100	92230	50080	19670
$2T_4$, T_{A4} [N]	21060	5160	21060	55600
P_{T1},P_{T2},P_{T3} [kW]	194, 194		97, 97, 194	
F_v [N]	**169240**		126400	

Таблица 3. *Резултати от изчисленията за различни коефициенти на разпределение*

L [m], δ [°]	1800, 2			
Задвижване	2П			
x, x'	**2**, 2,09		**1**, 2,09	
T_1, T_{A1} [N]	142670	**200600**	146900	204830
T_2, T_{A2} [N]	26580	26580	39810	30810
T_3, T_{A3} [N]	21060	34180	25290	38410
T_4, T_{A4} [N]	21060	34180	25290	38410
P_{T1} , P_{T2} [kW]	259, 129		194, 194	
F_v [N]	53160		61620	

L [m], δ [°]	1800, 2			
Задвижване	1П +13			
x, x'	**1**, 3,41		**2**, 3,41	
T_1, T_{A1} [N]	142670	**142670**	142670	181240
T_2, T_{A2} [N]	84630	84630	65270	65270
T_3, T_{A3} [N]	79100	79100	59750	72870
T_4, T_{A4} [N]	21060	21060	21060	14820
P_{T1} , P_{T2} [kW]	194, 194		259, 129	
F_v [N]	169240		130540	

L [m], δ [°]	1800, 2			
Задвижване	2П + 13			
x, x' y, y'	**2**, 8,06 **1**, 3,52		**2**, 8,06 **2**, 3,52	
T_1, T_{A1} [N]	142670	**142670**	142670	188990
T_2, T_{A2} [N]	55600	55600	49790	57390
T_3, T_{A3} [N]	50080	50080	44270	22570
T_4, T_{A4} [N]	21060	21060	21060	49790
P_{T1} , P_{T2} [kW]	97, 97, 194		155, 155, 77	
F_v [N]	126400		114780	
Задвижване	2П + 13			
x, x' y, y'	**1**, 8,06 **1**, 3,52		**1**, 8,06 **2**, 3,52	
T_1, T_{A1} [N]	150120	188700	142670	186090
T_2, T_{A2} [N]	72720	72720	55600	63200
T_3, T_{A3} [N]	67200	80320	50080	19670
$2T_4$, T_{A4} [N]	28510	22280	21060	55600
P_{T1},P_{T2},P_{T3} [kW]	129, 129, 129		97, 194, 97	
F_v [N]	145440		126400	

L – дължина на транспортьора; δ - ъгъл на наклон на транспортьора; x, y, x', y' - коефициенти на действително и оптимално разпределение на предаваните теглителни сили и мощности; T_1-T_4, T_{A1}-T_{A4} - сили на опън в лентата при установен и пусков режим; P_{T1}, P_{T2}, P_{T3} - действителни мощности предавани от барабаните; F_v - необходима опъвателна сила.

Изводи

След извършените изчисления за четирите вида задвижване могат да се направят следните изводи:

1. При транспортьори с предно и задно задвижване действителните теглителни сили и мощности, предавани от барабаните, (за разпределение 1:1) са най-близки до оптималните при леко спускане (транспортиране надолу с малък наклон - до 2-3°). За конкретния пример (L=1800m) и задвижване 1П+13 при δ=-0,8° x'=1,01 е най-близко до x=1, а при δ=0,3° x'=2,04 е най-близко до x=2. При задвижване 2П+13 при δ=-1,6° y'=0,92 и x'=2,11 са най-близки до y=1 и x=2;

2. При транспортьори с 2П задвижване действителните теглителните сили и мощности, предавани от двата барабана, (за разпределение 2:1), са най-близки до оптималните при ъгъл на обхват на лентата около първия барабан, значително по-малък от ъгъла за втория барабан. За конкретния пример при α_1=170° и α_2= 220° x'=2,09 е най-близко до x=2;

3. При транспортьори с голяма дължина най-малка максимална сила на опън в лентата се получава при 1П+13 или 2П+13 задвижване, а най-голяма - при 1П задвижване. За конкретния пример при δ=2° и L=1800m най-малката максимална сила се получава при 1П+13 задвижване (T_{A1}=171580N), а най-голяма при 1П задвижване (T_{A1}=240880N). При L=5000m (δ=2°) най-малката сила е при 1П+13 задвижване (T_{A1}=467620N), най-голямата при 1П задвижване (T_{A1}=669570N);

4. При транспортьори с малка дължина и малък ъгъл на наклон най-малка максимална сила се получава при 1П+13 задвижване. За конкретния пример при L=100m (δ=2°) при 1П+13 задвижване T_{A1}=29230N, а при δ=0° (L=1800m) T_{A1}=88630N. И в двата случая най-голямата максимална сила е при 1П задвижване, съответно T_{A1}=30820N и T_{A1}=136350N;

5. При транспортьори с предно и задно задвижване (1П+13 или 2П+13) при увеличаване на ъгъла на наклон на транспортьора коефициентите на оптимално разпределение се увеличават и обратно, при намаляване на ъгъла на наклон - те намаляват. При δ=0°, 2° и 5° (L=1800m) коефициентът x' за 1П+13 задвижване е съответно 1,77, 3,41 и 5,35, а за 2П+13 задвижване коефициентите x' и y' са съответно 5,31 и 2,32, 8,06 и 3,52 и 10,72 и 4,68. При увеличаване или намаляване на дължината на транспортьора коефициентите на оптимално разпределение почти не се изменят. При L=100m, 1800m и 5000m (δ=2°) коефициентът x' за 1П+13 задвижване е съответно 3,42, 3,41 и 3,41, а за 2П+13 задвижване коефициентите x' и y' са съответно 8,12 и 8,06, 8,04 и 3,54 и 3,52 и 3,51.

6. При всички случаи най-малка опъвателна сила се получава при 2П задвижване, а най-голяма - при 1П+13 или 2П+13 задвижване в зависимост от ъгъла на наклон и дължината на транспортьора. При L=1800m (δ=2° и 5°) и при L=100m и 5000m (δ=2°) най-голяма е силата при 1П+13 задвижване (съответно F_V=169240N, F_V=325180N, F_V=49020N и F_V=452000N), а при L=1800m (δ=0°) - при 2П+13 задвижване F_V=89820N;

7. До определена гранична дължина на транспортьора силите на опън в лентата при 1П и 2П задвижване са равни. Граничната дължина зависи от ъгъла на наклон на транспортьора. За конкретния пример при δ=2° граничната дължина е $L_{гран}$=619m, а при δ=10° - $L_{гран}$=395m;

8. След определена гранична дължина силата на опън в лентата при пускането T_{A4} (след задния задвижващ барабан) при 1П+13 задвижване се получава отрицателна и следва да се увеличи опъването на лентата и да се коригират силите по контура. Граничната дължина зависи от ъгъла на наклон на транспортьора. За конкретния пример при δ=2° $L_{гран}$=2380m, а при δ=10° - $L_{гран}$=876m.

9. При транспортьори със задвижване 2П по-малка максимална сила се получава при коефициент на разпределение x=2, при 1П+13 задвижване - при x=1, а при 2П+13 задвижване - най-малка при x=2 и y=1.

Литература

Станев, Б. 1975.*Транспортьори лентови. Изчисляване*. Интрансмаш.

Conveyor belt technique. Design and calculation. Dunlop. 2009.

K. Dzhustrov, Zh.Iliev. 2022. Study of the electromechanical load of the motor-reducer group for a double drum drive of a belt conveyor. *Journal of Physics. International Conference of Earth Science* (EEPES 2002), Varna.

Phoenix conveyor belt design fundamentals. DIN 22101. Hamburg. 2004.

СЕКЦИЯ

УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА МИНЕРАЛНО-СУРОВИННАТА ИНДУСТРИЯ

SECTION

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE MINERAL RESOURCES INDUSTRY

ИНОВАЦИИ ЗА БЕЗОПАСНОСТ И ЗДРАВЕ ПРИ РАБОТА ЗА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ В ИНДУСТРИЯТА

Yosif Antonov

Dundee Precious Metals Krumovgrad, 6900 Krumovgrad; Email: yosif.antonov@dundeeprecious.com

ABSTRACT. The development presents a study of safety and health at work in companies in the field of tourism and catering, as well as in manufacturing enterprises in the fields of textiles, construction, and mining. The results show that in light industry, health and safety take a back seat. In companies with high safety and health risks, it is safety and health that is the leading factors, followed by innovations for higher productivity and good financial performance. These are the innovations that improve production processes precisely with healthy employees, safe workplaces, and effective interlevel communication in companies. The agreement with the senior management on their introduction aims to improve the safety of the working environment, the health of the employees, reduce the expenses of work accidents and thus – increase the well-being of the employees and the company .

Keywords: sustainable business development, safety, health, workplace, incidents, occupational accident.

ИНОВАЦИИ ЗА БЕЗОПАСНОСТ И ЗДРАВЕ ПРИ РАБОТА ЗА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ В ИНДУСТРИЯТА

Йосиф Антонов

Дънди Прешъс Металс Крумовград, 6900 Крумовград

Резюме: Разработката представя изследване на безопасността и здравето при работа в компаниите от туризма и храненето, както и в производствени предприятия от областта на текстила, строителството и минно-добивната промишленост. Резултатите показват, че в леката промишленост здравето и безопасността са на заден план. Във фирмите с високи рискове за безопасност и здраве, безопасността и здравето на служителите са водещ фактор, следвани от иновациите за по-висока производителност и добри финансови показатели. Това са иновациите, които подобряват производствените процеси именно със здрави служители, безопасни работни места и ефективна комуникация между нивата в компаниите. Споразумението с висшето ръководство за въвеждането им цели да подобри безопасността на работната среда и здравето на служителите, да намали разходите за трудови злополуки и по този начин да повиши благосъстоянието на служителите и компанията.

Ключови думи*:* устойчиво бизнес развитие, безопасност, здраве, работно място, инциденти, трудова злополука.

Въведение

Основните стълбове за устойчиво бизнес развитие са три:

- икономика;
- общество;
- околна среда.

След тяхното подобряване устойчивото развитие става надеждно по отношение подобряване на безопасността и здравето на работното място.

За успешното устойчиво развитие обаче се пренебрегват други три компонента, а именно:

- култура;
- политически фактори;
- технологични фактори.

Устойчивото развитие може да бъде гарантирано, като се имат предвид тези стълбове, както и иновациите за безопасност и здраве на работното място за всички вътрешни и външни субекти, участващи в работния процес. Следователно е необходимо да се фокусираме върху иновациите в областта на безопасността и здравето на работното място/среда, като въвеждаме нови фундаменти за устойчиво развитие и посочваме трите основни стълба за бъдещи изследвания/проучвания. Необходимо е да се използват методи като преглед на материалите от интервюирането на служителите, наблюдение на индустриите/икономиките и т.н., както и да се предвижда по какъв начин иновациите за устойчиво развитие ще повлияят за промяната на работното място и за безопасността и здравето на хората. Тази литература обаче е фокусирана върху общата връзка между иновациите на работното място и устойчивото развитие. Друга теза показва, че иновациите в областта на безопасността и здравето на работното място носят устойчиво развитие чрез здрави хора, по-безопасно работно място, намалени разходи за инциденти, контролирана среда, наблюдения, с които се опитваме да посочим пътища към устойчиво развитие и методи чрез иновации и подобрения в областта на безопасността и здравето при работа. Съвременните икономики се движат от добив, производство и услуги. Независимо от управляващите фактори, икономическият растеж и развитие на база слаб регулаторен режим по безопасност

и здраве при работа, е предпоставка за злополука. В миналото безопасността и здравето при работа не са били грижа за всички страни/предприятия. Сега здравето и безопасността се превръщат в ключов проблем на глобалните промени. Ефективното управление на безопасността и здравето при работа играе ключова роля в управлението на успешния бизнес. Глобалният проблем за устойчиво развитие е здравето и безопасността на служителите и работните им места. При тези предизвикателства е задължително да се отговори на въпросите как икономическото развитие и безопасността на труда влияят върху динамичната промяна на работното място, иновациите в областта на здравето и безопасността, високото разпространение на професионални болести и регистрирането на злополуки, които са първите фактори за устойчиво развитие. Ако има силно движение, което твърди, че продължаващият икономически растеж ще наруши баланса на природата и в крайна сметка ще доведе до екологични катастрофи, този дисбаланс между иновациите и развитието ще да доведе до неуспех в устойчивото развитие. Необходимо е периодично да се правят преглед и оценка на иновациите в областта на БЗР, връзката с променливите за устойчиво развитие и тяхното въздействие един върху друг. Повечето компании имат малко знания относно иновациите за безопасност и здраве на работното място и не считат това за основен двигател на устойчивото развитие. Фирмите се фокусират върху подобряването на производителността, изграждането на технологиите, максимизиране на печалбите, а не върху безопасността на работните места и здравето. Този подход води до безразличие към безопасност, здраве, околна среда на работното място и устойчиво развитие.

Преглед на иновативните методи

Безопасност и здраве при работа

Безопасността и здравето при работа са спорни въпроси, които са най-значими за успеха в икономическото развитие на компаниите.

Пример: Германският философ, Шопенхауер (1788-1860) акцентира върху значението на здравето като заявява, че „здравето не е всичко, но без здраве, всичко е нищо“. Съвместното разглеждане на въпросите за здраве и безопасност може да се разглежда като основен подход към цялостното благосъстояние на служителя на работното място. Трудовото здраве включва действията по трудова медицина, хигиена на труда, трудова психология, безопасност, физиотерапия, ергономия, рехабилитация и т.н. и включва защита на хората от физически наранявания. Международната асоциация по хигиена на труда БЗР (IOHA), определя здравето и безопасността при работа (OHS , от: Occupational Health Safety) като наука за очакване, признаване, оценка и контрол на опасностите, възникващи на/от работното място, които биха могли да нарушат здравето и благосъстоянието на работниците, предвид възможните въздействия върху околната среда и общностите. Факт е, че БЗР (OHS) засяга популяризирането и поддържане на най-високата физическа, психическа и социална степен – благосъстоянието и ценностите на работниците от всички професии**.** Някои страни и компании са особено затруднени с опасните условия на труд в редица области като минно-добивна и преработвателна промишленост, строителство, дори и в някои сфери на услугите. Има и цели континенти, които имат най-опасните практики и условия в управлението на детския труд, заетостта, неформалната икономика, интегрирането на половете, инспекцията на труда, морската безопасност, международната миграция, ХИВ/СПИН/Коронавирус и др. Показател за това е миграцията от Африка, както и страни с извънредни ситуации в Европа, съществуването на нулева сигурност и безопасност на работното място и здравето, което е заплаха за работниците. Оценяването на икономическите разходи за професионални травми и заболявания е друг въпрос към неизмеримите човешки страдания. Тези рискови и болни служители причиняват големи икономически загуби за предприятията и обществата като цяло, включително загуба на производителност и намален работен капацитет. Днес е много по-широко признато, че трудовите злополуки и болести могат да окажат значително влияние върху производителността, конкурентоспособността, репутацията на отделните предприятия. Освен това на национално ниво трудовите злополуки и лошото здраве могат да причинят хуманитарна и икономическа криза, увреждаща имиджа на добрия бизнес и оказваща отрицателно въздействие върху устойчивия икономически растеж. Също така нарастват неинфекциозните болести с висока тежест от заразно заболяване, при което те са от професионални заболявания в световен мащаб. Тези незаразни болести водят до дефицит на устойчиво развитие на служителите, особено за развиващите се страни, като се отказват от иновативните методи за устойчиво развитие.

Устойчиво развитие

Устойчивото развитие е оптимално използване на ресурсите във всички сфери на икономиката. В декларация от срещата на високо равнище в Рио се дефинира цялостно устойчивото развитие като стратегия за задоволяване нуждите на сегашното развитие на света, както и стремеж да не се причинява неблагоприятно въздействие върху здравето и околната среда и да не се изчерпва или застрашава глобалната ресурсна база, т.е. да се запази способността на бъдещите поколения да задоволят своите нужди. Новата стратегия, очертана от Световния съюз за опазване на околната среда, определя устойчивото развитие като „подобряване на качеството на човешкия живот в рамките на капацитета на поддържащите го екосистеми“. Тук фокусът върху устойчивото развитие като процес, изискващ едновременен глобален напредък, е в различни измерения: икономически, човешки, екологични, технологични.

При този начин на устойчиво развитие печалбите са инвестирани в опазване на зелените технологии. Необходимо е да се акцентира върху настоящите и бъдещи нужди на поколенията, като за базова линия на развитието се определи човешкото здраве и опазването на околната среда. Това не е в ущърб на настоящия и бъдещ свят. Стратегията за устойчиво развитие на една компания не е само в увеличаването на производителността на компанията. Необходимо е да бъдат оценени и други аспекти, като например икономическа ефективност,

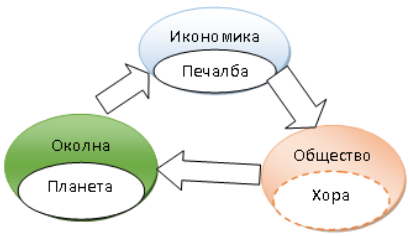
използване на ресурсите, здраве, безопасност и опазване на околната среда. Икономическата ефективност и БЗР са неразделими променливи.

Работно място и иновации

Иновациите на работното място (WPI, от: workplace innovation) внасят необходимите промени в работната среда, като по този начин увеличават рентабилността на компанията. Можем да се съсредоточим върху разработването на продукти и/или подобряването на процесите, като се вземат предвид иновациите на работното място. Терминът, „иновация на работното място“ се отнася до това как работниците/служителите са обучени с цел подобряване на производителността и създаване на добри качествени работни места. Иновацията на работното място е изпълнение на нови комбинирани методи в областта на организацията на труда, човешките ресурси, управленски и поддържащи технологии. Тя също допълва технологичните нововъведения и остава незабелязана като основен процес за формиране на комфорта на работното място. Иновациите са промяна, водеща до подобряване на работното място с цел да се направи промяна на съществуващата система, за да отговаря за настоящото състояние на технологиите. Технологичните иновации представляват 25% от успеха на въведените иновации, докато иновациите на работното място представляват 75% от успеха. Тук ~~за~~ като иновации на работното място можем да включим не само вътрешните организационни функции (работна организация, трудови отношения), но и външни функции (мрежови отношения). Тя не обхваща само областта за безопасност и здраве при работа (БЗР), а включва ниски рискове от стрес, висока автономност на работа, по-ниско физическо натоварване, непрекъснато развитие на компетентности и по-добри трудови отношения.

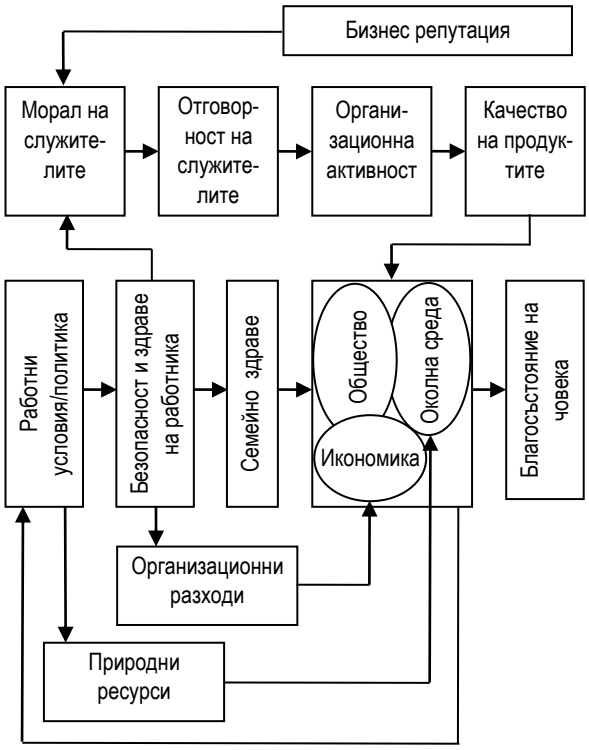
Връзки между иновациите в областта на безопасността и здравето при работа и устойчивото развитие.

Към иновациите в областта на здравето и безопасността при работа и устойчивото развитие можем да подходим от различни гледни точки. На фиг. 1 е показана връзката между основните 3 компонента - хора, планета и печалба - за подобряване на БЗР и устойчивото развитие на служителите.



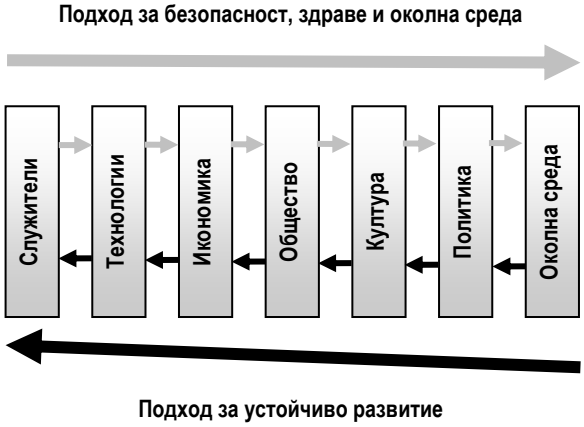
Фиг. 1 Интерфейс за устойчиво развитие на БЗР (OHS)

Под хора или общество имаме предвид тяхното здраве, безопасност и устойчиво развитие. По подобен начин при обсъждане на планетата (околна среда), ние имаме предвид устойчивата зелена икономика и зелена среда, която обитаваме, а работната среда да е удобна за хората, което води до устойчиво развитие. По този начин тези три стълба са водещи за подобряване на БЗР и устойчивото развитие. Компаниите/фирмите не могат да се стремят към оптимизиране на рентабилността без добро здраве и безопасност при работа. В световен мащаб разходите за болести и безопасност при работа се увеличават и надхвърлят милиарди долари. Това се дължи на наранявания на работното място и влошено здраве. Без подобряване и/или иновации на безопасността на работното място и здраве, разходите, свързани с трудови злополуки и болести, няма да се намалят. На фиг. 2 схематично са представени връзките между безопасността на труда, здравето, околната среда и устойчивото развитие.



Фиг. 2. Връзка между безопасността, здравето, околната среда и устойчивото развитие.

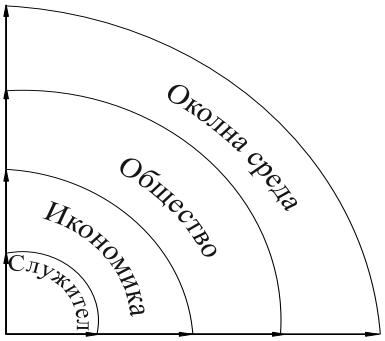
Ако я няма зелената икономика и предизвикателствата по отношение на безопасност и здраве на работното място не се контролират, печалбата ще е само мечта и няма да се постигне очакваното устойчиво развитие.



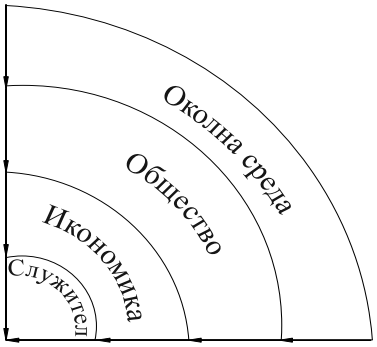
Фиг. 3. Подобряване на подхода към околна среда, БЗР и устойчиво развитие.

Резултат и дискусия

Прилагането на иновации с БЗР, свързани с устойчивото развитие показват, че има три основни стълба, които са от съществено значение за подобряването на БЗР и устойчивото развитие, а именно: икономика, общество и околна среда (фиг. 4а и фиг. 4б).



Фиг. 4а. Подходът за безопасност, здраве и околна среда



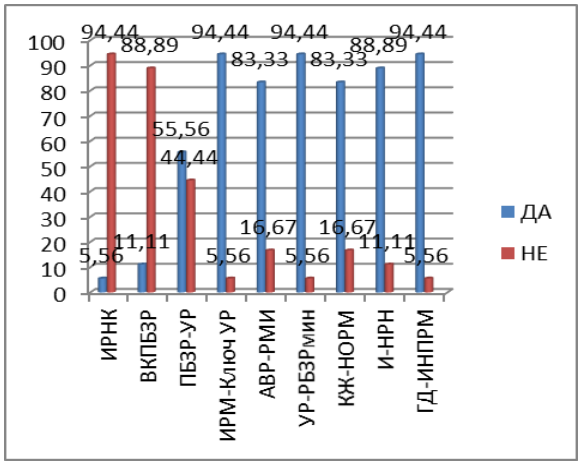
Фиг. 4б. Подходът на устойчивото развитие

Когато има добра и позитивна култура, има и добри социални мотиви и всички служители с отдаденост участват в устойчивото развитие чрез подобряване на всички допринасящи фактори. Можем да направим следното заключение на казаното дотук: работата в безопасни и здравословни условия подобрява работата на служителите, повишава тяхната мотивация и ефективност, повишава производителността на труда и следователно подобрява качеството на продукта, намалява разходите му, увеличава продажбите и приходите в дългосрочен план.

Компаниите са небрежни по отношение на безопасност на работното място, здраве, околна среда, иновации, разходи за нараняване на работното място и устойчивото развитие. Възрастта на интервюираните е между 20 и 30 години. Това означава, че служителите, работещи в тези компании, са в трудоспособна възраст и ако се сблъскат с инциденти, те струват скъпо за компанията и икономиката. Почти всички служители се оплакват, че фирмата им не им предоставя лични предпазни средства, не се грижи за подобряване на компетентността им чрез обучение, не предлага достатъчни процедури и/или инструкции за работа и други инструменти, свързани с работното място. Много от тях отговарят, че фирмата им се фокусира върху подобряване на производителността, максимизиране на печалбата и получаване на повече финанси. Това не може да бъде постигнато без подобряване на околната среда и без осигуряване на безопасно работно място. При 18 интервюирани служители около 5,56% са посочили, че в компанията им има опит с иновациите на работното място, но само 11,11% имат професионални познания за безопасност и здраве. В същото време 55,56% смятат, че подобряването на БЗР води до устойчивото развитие. 94,44% са на мнение, че иновациите на работното място са ключ към устойчивото развитие. В 83,33% висшето ръководство е ангажирано да подобрява иновативно работното място. 94,44% смятат, че има устойчивото развитие, когато рискът от БЗР е сведен до минимум. 83,33% са на мнение, че качеството на живот се подобрява при намаляване на опасностите на работното място и в 88,89% иновациите на работното място намаляват разходите за наранявания (табл. 1 и фиг. 5).

Таблица 1 *Иновации и работно място*

Код	Въпрос	Брой интервюирани отговорили **Да**	Процент %	Бр. интервюирани отговорили **Не**	Процент %
ИРНК	В компанията има ли опит в иновациите на работното място?	1	5,56	17	94,44
ВКПБЗР	Вашата компания има ли познания по безопасност и здраве при работа?	2	11,11	16	88,89
ПБЗР-УР	Смятате ли, че подобряването на БЗР води до устойчиво развитие?	10	55,56	8	44,44
ИРМ – Ключ УР	Смятате ли, че иновациите на работното място са ключ към устойчиво развитие?	17	94,44	1	5,56
АВР-РМИ	Ангажирано ли е висшето ръководство да подобрява работното място иновативно?	15	83,33	3	16,67
УР-РБЗР мин	Смятате ли, че устойчиво развитие ще има, когато рискът за БЗР е сведен до минимум?	17	94,44	1	5,56
КЖ-НОРМ	Смятате ли, че качеството на живот се подобрява чрез намаляване на опасностите на работното място?	15	83,33	3	16,67
И-НРН	Смятате ли, че инова-циите на работното място намаляват разходите при наранявания?	16	88,89	2	11,11
ГД-ИНПРМ	Смятате ли, че годишните дискусии носят новаторски идеи и намаляват проблемите на работното място?	17	94,44	1	5,56

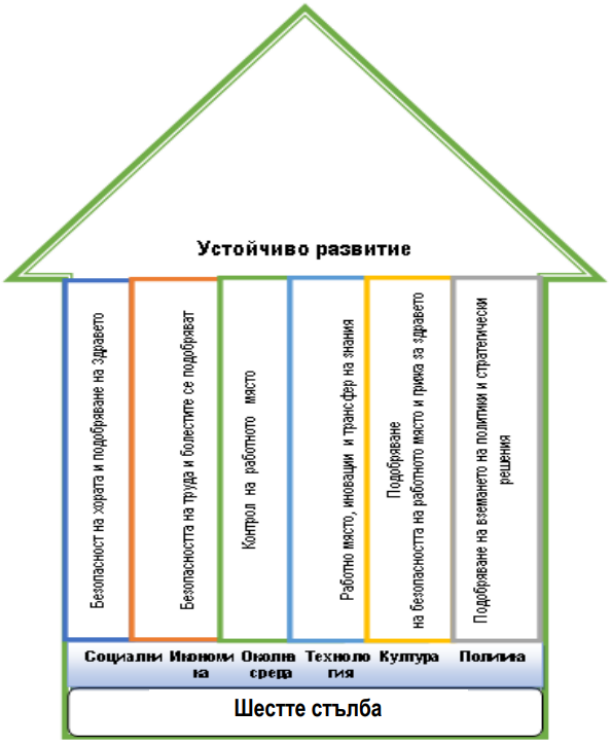


Фиг. 5. Иновации на работното място

За съжаление в световен мащаб повечето компании не се интересуват от здравето и безопасността на служителите. Служителите работят за оцеляването на техните семейства, ~~и~~ а работодателите са устремени към високи печалби. Те нямат общи цели и/или ценности за приобщаващо развитие на обществото/служителите. Липсва пресечна точка, в която служителите и работодателите да работят за приобщаващото устойчиво развитие. Някои иновации подпомагат подобряването на работната среда чрез инструменти за непрекъснато подобряване, така че работната среда да става удобна, приятна и приветлива. Благосъстоянието на служителите и работниците се подобрява чрез намаляване на трудовите злополуки, болести и разходи при нараняване. Устойчивата среда на работното място означава устойчиво развитие за всяка компания. Може също да се каже, че при финансови и икономически кризи, безработица, социално сближаване и изменение на климата иновациите са ключ към устойчивото развитие. Иновациите на работното място (WPI), включват ниски рискове от стрес, висока автономия, по-ниско физическо натоварване, непрекъснато развитие на компетентности и по-добри трудови отношения, които водят до стабилност на устойчивото развитие на дадена компания. Подобряването на безопасността и здравето при работа или злополука е свързано с иновациите на работното място и устойчивото развитие. Ако работното място е опасно и нездравословно, това е показател, че устойчивото развитие не може да бъде постигнато, като процентът на заетост намалява и обратната миграция ще увеличава количеството на развиващите се икономики. В резултат на тези показатели компаниите е необходимо да разберат, че здравите служители са богатство и носят печалба на компанията. Следователно и компаниите е необходимо да пренасочат вниманието си от традиционно увеличаване на производителността и печалбата към съвременно поддържане здравето на служителите.

Резултати и нови подходи

Здравето на работното място е центърът на устойчивото развитие. СЗО определя безопасните работни места и здрави работници като предпоставка за висока производителност, социално, икономическо и устойчиво развитие. Предприятията с най-добри практики за безопасност и здраве са най-продуктивни икономически, социално и екологично и реализират устойчиво развитие. То е незаменима част от безопасността на труда, здравето, околната среда, общността и има за цел да стимулира постоянно подобряване на производителността (фиг. 4). Технологиите са едни от най-важните съвременни методи за подобряване на социалните стандарти и превръщането им в приоритет на компаниите. Животът на служителите постепенно се подобрява, културата им също е необходимо да се преразгледа, като същевременно се подобрява работната среда и здравето. Нужно е разглеждане на социалната култура, когато подобряваме работната среда. Подобряването и контролът на околната среда е другият въпрос, който не се разглежда като производствен процес а като политически. На фиг. 6 са посочени шестте основни колони/линии за устойчиво развитие и подходи за безопасност и здраве.



Фиг. 6. Основните стълбове на устойчивото развитие и подходи за безопасност и здраве.

Нездрави служители в опасна околна среда и нездравословни условия на труд не могат да имат максимална производителност и ефективност. В резултат на това компанията/организацията се обрича на финансови проблеми/кризи, които от своя страна създават трудни икономически условия за работници, служители и други заинтересовани страни, включително клиенти и акционери. Нараняванията и щетите върху имуществото и работниците не само увеличават разходите на компанията (медицински и оперативни разходи, компенсации на обществото и контрагентите), но и унищожават бизнес репутацията, което води до намаляване на пазарния дял на съответната компания. Това от своя страна намалява морала и мотивацията на служителите, отразява се неблагоприятно върху качеството на продуктите и води до неизбежно изместване на организацията/компанията от пазара. Следователно безопасността на труда и здравните

програми пряко засягат служителите, а косвено в дългосрочен план – обществото, технологиите, иновациите, културата, икономиката, политиката и околната среда.

От друга страна, без социална и икономическа основа, безопасността и здравето няма да бъдат успешно управлявани и да гарантират бизнеса. Околната среда, културата, технологиите също влияят на производителността по време на работа и е показателно, че компанията/организацията е част от територията на обществото и всичко, което засяга едното, пряко или косвено въздейства върху другото. Като цяло иновациите в областта на безопасността и здравето на индустриалното работно място водят до устойчиво развитие, подобрявайки основните производствени процеси. Иновациите се справят с минимизиране на трудовите злополуки, намаляване на болестите на работното място, намаляване до ликвидиране на разходите за наранявания и водят до развитие на устойчиви системи за управление на безопасността и здравето на работното място, отговорност към всички корпоративни участници, създаване на плавен поток на комуникация във всички посоки и развитие, основано на научни изследвания и споделяне на опит.

Заключение

В заключение, този доклад прави опит да покаже как иновациите в областта на безопасността и здравето при работа въздействат върху устойчивото развитие. Изследванията, които са описани в доклада, са насочени към и фокусирани върху въздействието на БЗР и устойчивото развитие, базирано на комбинация от икономически, социални и екологични фактори.

Устойчивото развитие не може да има, без да се вземе предвид работното място, безопасността на работници/служители и контролиращата среда.

Печалбата и устойчивото развитие са блокиращи параметри само ако работната среда, обществото и културата се считат за ключови елементи за устойчивото развитие.

Препоръка: Да се разработят и внедрят иновации и методи за повишаване на устойчивото развитие на база:

- отношението на икономическата ефективност и БЗР като взаимовръзка и неразделност;
- краткосрочни и дългосрочни ползи;
- частични и общи ползи от иновациите на работното място и устойчиви стълбове;
- въвеждане на нови методи на управление на производството и системи за безопасност;
- подобряване здравето на работното място чрез ефективно използване както на възобновяемите ресурси, така и на човешките, а служителите да са обучени да ценят и защитават себе си;
- подобряване на благосъстоянието на служителите и компанията.

За изграждането на устойчивото развитие като надстройка на компанията са необходими ефектите и дългосрочните въздействия на основните и допълващи колони във връзка с безопасността на работното място и здравето на служителите.

Термини и съкращения:

БЗР, (OHS) – Безопасност и здраве при работа (от: Occupational Health Safety);
IOHA – Международна асоциация по хигиена на труда (от: International Occupational Hygiene Association);
WPI – Иновации на работното място (от: workplace innovation);
СЗО, (WHO) – Световна здравна организация (от: World Health Organisation);
МОТ, (ILO) – Международна организация на труда (от: International Labour Organisation)

Литература:

МОТ. 2009. Стандарти на МОТ за безопасност на труда и Здраве: Насърчаване на безопасна и здравословна работна среда, Международна Трудова Конференция, 98-та сесия, Женева.

ILO. 2003. Safety culture at Work Safety in numbers: Pointers for global safety culture at work. International Labour office, Geneva

ILO. 2006. Occupational health and safety: synergies between security and productivity, ILO, Geneva committee on Employment and Social Polity: GB295-ESP-3-2006-01-0211-1-EN.doc/v2.

ILO. 2014. Safety and health at work: a vision for sustainable prevention: XX Word Congress on Safety and Health at Work 2014: Global Forum for Prevention, Frankfurt, Germany/International labour Office – Geneva.

Joint ILO/WHO Committee. 1995. Definition of Occupational and Safety, 12th Session of Joint ILO/WHO Committee on Occupational Health.

WHO, 20. 1994. Global strategy on occupational health for all: the way to health at work. Recommendation of the second meeting of the WHO Collaborating Centres in Occupational Health, Beijing, China.

WHO. 1995. Global strategy on occupational health for all: the way to health at work, Geneva.

WHO. 2012. Health indicators of sustainable jobs, presented at Initial findings from a WHO Expert Consultation, pp. 17-18.

STUDY OF EMPLOYMENT TYPE AND DURATION IN VARIOUS INDUSTRIES IN BULGARIA FOR THE PERIOD 2019–2022

Blagovesta Vladkova, Nadezhda Kostadinova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: blagovesta.vladkova@mgu.bg; nadezhda.kostadinova@mgu.bg

ABSTRACT: Over the past twenty years, fundamental changes have taken place in the field of labour which have affected the length and distribution of working time. The main trends are related to the reduction of the total duration of working time and the deviation from the generally accepted standard of the traditional form of employment. There has been a gradual change in the organisation of the work process, which also leads to an increased variety of types of working time. These new processes reflect the impact of many structural changes in society, such as the shift from manufacturing to services, productivity gains resulting from technological progress, and an increasingly competitive work environment. The current survey is aimed at various business sectors in Bulgaria and the world for the period 2019-2022. The data analysed show the preferred form of employment among workers, as well as the changes in the organisation of the work process as resulting from a two-year period of global crisis due to the recent world pandemic.

Key words: working conditions, pre- and post-Covid-19, employment trends, safety, sustainability

ПРОУЧВАНЕ НА ТИПА И ПРОДЪЛЖИТЕЛНОСТТА НА ЗАЕТОСТ В РАЗЛИЧНИ ОТРАСЛИ В БЪЛГАРИЯ ЗА ПЕРИОДА 2019–2022

Благовеста Владкова, Надежда Костадинова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ: Настъпилите фундаментални промени в областта на труда през последните двадесет години имат ясно отражение върху продължителността и разпределението на работното време. Основните тенденции са свързани с намаляване на общата продължителност на работното време и разчупване на общоприетия стандарт на традиционната форма на заетост. Наблюдава се постепенна промяна в организацията на работния процес, което води и до нарастващо разнообразие на видовете заетост. Тези нови процеси отразяват влиянието на множество структурни промени в обществото, като преминаването от производство към услуги, повишаването на производителността в резултат от технологичния прогрес и все по-конкурентната работна среда. Настоящото проучване е насочено към различни бизнес сектори в България и света за периода 2019-2022 г. Резултатите показват предпочитаната форма на заетост сред работещите, както и промените, настъпили в организацията на работния процес вследствие на двугодишен период на световна криза поради влошена епидемиологична обстановка.

Ключови думи: условия на труд, преди и след Covid-19, трудова заетост, безопасност, устойчивост

Introduction

Society and technology have changed over the years, along with changing values and ways of working, as well as the duration and distribution of working time. The average number of working hours per week in the EU decreased from 39 hours in 1990 to 37.8 hours in 2006 and to 37.1 hours in 2019 (Kostadinova and Vladkova, 2022). Despite this decrease in the duration of weekly employment, there are data that the share of people employed in more than one workplace is close to 7% of all workers, which increases the weekly workload.

The factors influencing the current trends in the choice of working hours can be summarised in the following directions: change in the labour market and employment relations; globalisation; technology development; change in society - service society, knowledge and information society; demographic change; change in the value system; changed traditional economic structures; privatisation of public tasks; information technology-based work equipment. The increasing individualisation of lifestyles, the rise in the proportion of women among those employed are factors influencing a greater variety of preferences for time allocation — the balance between work and free time. As technology enters various sectors, artificial intelligence is creating new types of jobs in the analytical, research, and technical fields, while some professions are disappearing or no longer being practiced. This transition affects not only changes regarding the type and qualities of jobs, but also imposes new requirements for qualifications, way of organising work, etc.

Contemporary social trends and social processes related to the labour process

According to the definition of the International Labour Organization (ILO), the concept of "decent work" is directly related to working hours, formulating the term "decent working hours". It is based on five main principles - healthy organisation

of working time; "family friendly"; promoting gender equality; increasing the productivity of the enterprise; and facilitating workers' choice and influence over their working hours (ILO, 2016).

Improved information and communication technologies may reduce the need for physical presence in a centralised workplace and encourage more mobile and independent types of work (teleworking, remote work). For an increasing number of "knowledge and research workers", the tasks done can be evaluated not according to the number of hours worked, but according to the originality and quality of the product obtained. These workers can benefit from a great deal of autonomy from the point of view of work organisation and the location of the workplace, which raises questions about the application of the usual working time rules. In these cases, high levels of work intensity and stress are possible, which in turn may require the introduction of legislation in the interests of the health and safety of employees, as is the case in traditional production activities.

With the onset of the COVID pandemic, it became necessary to implement greater flexibility on the part of employers and workers in terms of workplace and working hours. And forms of work, such as Telework, Remote Work, Work from Home, and Home Office Defined, which were not previously considered traditional, are becoming common (Krajčík et al., 2023). A whole group of people appears, the so-called working nomads who blur the boundaries of the traditional office space and take advantage of the freedom to turn any place (home, coffee shop, coworking place, etc.) into an office through the necessary technical means.

After the end of the pandemic and return to the usual rhythm of life and work, some of the new forms of employment continued to function. Currently, there are various combinations and opportunities that are offered by employers or are a preferred and sought form of employment by workers. When it comes to the choice of working hours and employment, the main factors determining the choice of employees are systematised by Krajčík M., D. A. Schmidt, and M. Barath (2023): Transportation and commuting time, Comfort, Time efficiency, Productivity, Workspace layout, IT setup, Distractions.

It cannot be said unambiguously which option and type of employment are the most suitable or preferred. This topic is often discussed in various economic analyses and studies, depending on many factors: industry, nature of work, gender, age, social factors, etc. (Kostadinova and Vladkova, 2022). Different forms of employment – for example, from home with flexible working hours or a traditional workplace with fixed working hours – have advantages and disadvantages as shown in Fig. 1.

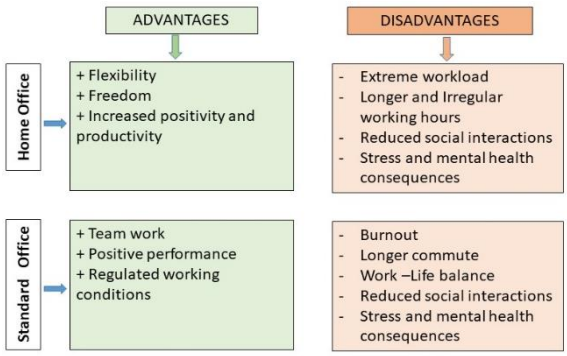


Fig. 1. Advantages and disadvantages of Home office and Standard office

Methodology

The purpose of the conducted study is to establish the preferences and attitudes among employees with different working experience regarding the choice of the type of employment and the length of working time before the onset of the global crisis as a result of the COVID-19 epidemic and after its completion. A quantitative study and analysis of data has been made in order to identify links and trends in different industries.

The 2019 study was conducted in the form of a survey, distributed in printed form. The respondents received it personally. A hundred persons, different in gender, age, work field, and position, were surveyed. The duration of the study was 30 days.

In January 2022, the authors conducted a second survey, in Bulgarian, in an electronic environment about attitudes and preferences regarding the organisation and duration of the work process. The Google Form functionality was used suitable for the target groups (Fig. 2). The duration of the data collection was 45 days, and the respondents were 246 people from various professional sectors in Bulgaria. Participation in the study was voluntary.

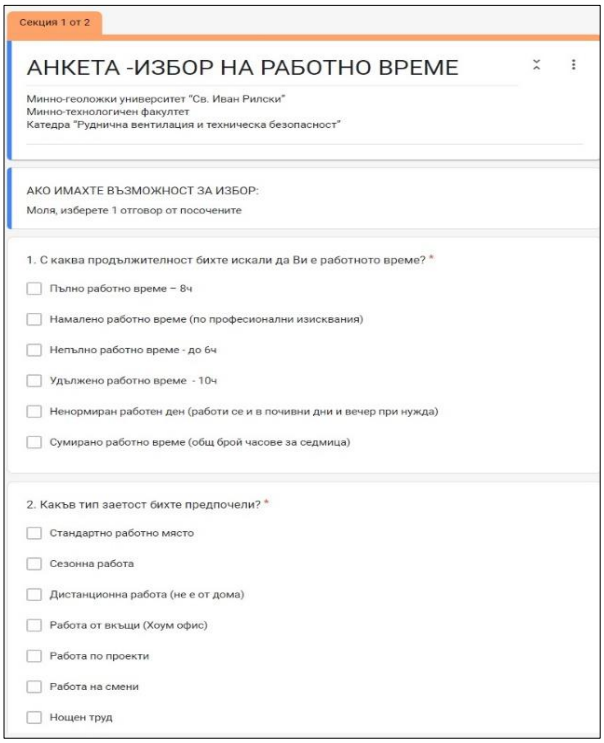


Fig. 2. Online survey 2022 in Bulgarian

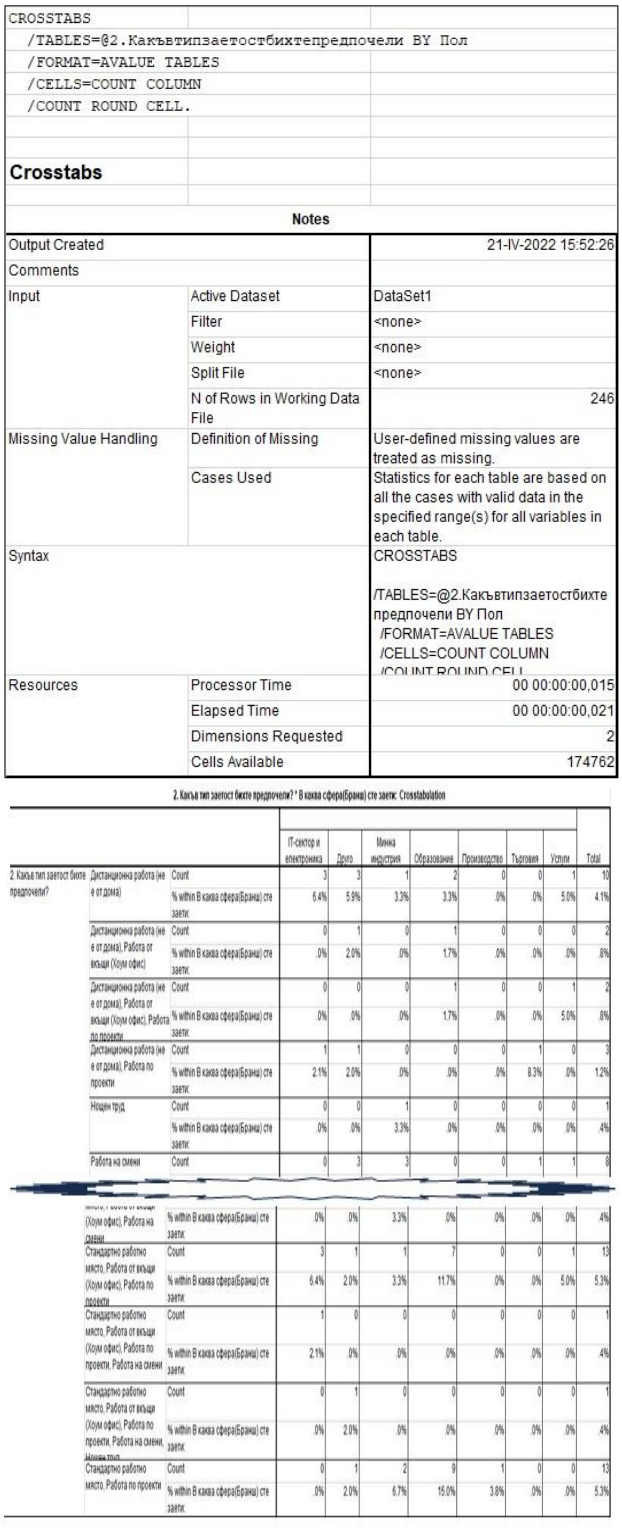
The questions asked aimed to collect several types of data:

- demographic: age, gender;
- socio-economic - work experience; education, employment sector;
- questions related to preferences for the duration of the work process - multiple choice was possible;
- questions about the preferred type of employment – multiple choice was possible.

Target groups – employees in the field of the mining industry, manufacturing, services, and sales. During the survey in 2022, persons employed in the field of education and the IT sector were additionally surveyed. The aim was to track as

comprehensively as possible the changes that occurred in the organisation of the work process during and after the global COVID pandemic.

The collected data were analysed, processed, and graphically presented with the MS Excel program of the *MS Office* Software. A correlative analysis was made using IBM's *SPSS* statistical software product (Fig. 3). When presenting the results, those that were less than 1% of all responses were excluded.



```
CROSSTABS
  /TABLES=@2.Какъвтипзаетостбихтепредпочели BY Пол
  /FORMAT=AVALUE TABLES
  /CELLS=COUNT COLUMN
  /COUNT ROUND CELL.
```

Crosstabs

Notes

Output Created		21-IV-2022 15:52:26
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet1
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	246
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each table are based on all the cases with valid data in the specified range(s) for all variables in each table.
Syntax		CROSSTABS /TABLES=@2.Какъвтипзаетостбихтепредпочели BY Пол /FORMAT=AVALUE TABLES /CELLS=COUNT COLUMN /COUNT ROUND CELL.
Resources	Processor Time	00 00:00:00,015
	Elapsed Time	00 00:00:00,021
	Dimensions Requested	2
	Cells Available	174762

2. Какъв тип заетост бихте предпочели? * В каква сфера(branch) сте заети. Crosstabulation

			IT-сектор и електроника	Друго	Минна индустрия	Образование	Производство	Търговия	Услуги	Total
2. Какъв тип заетост бихте предпочели?	Дистанционна работа (не е от дома)	Count	3	3	1	2	0	0	1	10
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	6.4%	5.9%	3.3%	3.3%	.0%	.0%	5.0%	4.1%
	Дистанционна работа (не е от дома), Работа от вкъщи (Хоум офис)	Count	0	1	0	1	0	0	0	2
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	.0%	2.0%	.0%	1.7%	.0%	.0%	.0%	.8%
	Дистанционна работа (не е от дома), Работа от вкъщи (Хоум офис), Работа по проекти	Count	0	0	0	1	0	0	1	2
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	.0%	.0%	.0%	1.7%	.0%	.0%	5.0%	.8%
	Дистанционна работа (не е от дома), Работа по проекти	Count	1	1	0	0	0	1	0	3
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	2.1%	2.0%	.0%	.0%	.0%	8.3%	.0%	1.2%
	Нощен труд	Count	0	0	1	0	0	0	0	1
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	.0%	.0%	3.3%	.0%	.0%	.0%	.0%	.4%
	Работа на смени	Count	0	3	3	0	0	1	1	8
	(Хоум офис), Работа на смени	% within В каква сфера(branch) сте заети.	.0%	.0%	3.3%	.0%	.0%	.0%	.0%	.4%
	Стандартно работно място, Работа от вкъщи (Хоум офис), Работа по проекти	Count	3	1	1	7	0	0	1	13
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	6.4%	2.0%	3.3%	11.7%	.0%	.0%	5.0%	5.3%
	Стандартно работно място, Работа от вкъщи (Хоум офис), Работа по проекти, Работа на смени	Count	1	0	0	0	0	0	0	1
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	2.1%	.0%	.0%	.0%	.0%	.0%	.0%	.4%
	Стандартно работно място, Работа от вкъщи (Хоум офис), Работа по проекти, Работа на смени, Нощен труд	Count	0	1	0	0	0	0	0	1
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	.0%	2.0%	.0%	.0%	.0%	.0%	.0%	.4%
	Стандартно работно място, Работа по проекти	Count	0	1	2	9	1	0	0	13
		% within В каква сфера(branch) сте заети.	.0%	2.0%	6.7%	15.0%	3.8%	.0%	.0%	5.3%

Fig.3. Correlative analysis by IBM's *SPSS* statistical software product

Results and Analysis

The survey of 2019

In 2019, a survey was conducted on attitudes towards the choice of working hours and preferred type of employment in various industries in Bulgaria. The data for the study participants are summarised in Table 1.

Table 1. Respondents by industry – 2019

Business sector	Number of respondents	Gender	
		Male	Female
Mining Industry	70	59	11
Service industry	12	12	0
Production	11	6	5
Commercial industry	7	2	5
TOTAL	100	79	21

A percentage distribution of respondents by business sector is presented in Fig. 4. 70% of the respondents were representatives of the mining industry. The distribution of respondents by age and gender is visualised by Fig. 5 and 6.

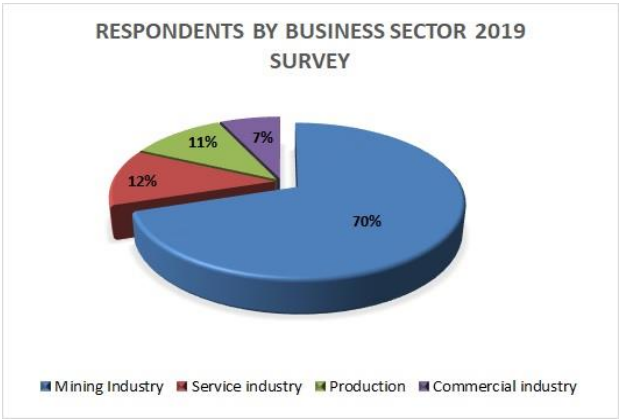


Fig. 4. Distribution by business sector – 2019 survey

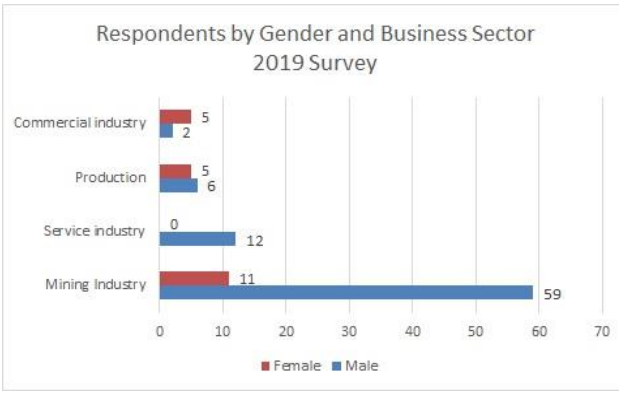


Fig. 5. Distribution on respondents by business sector and gender – 2019 survey

In the survey, the participants were in different age groups. The largest percentage of participants (40%) were between the ages of 30-40. The participants age 60 and above were only 7%.

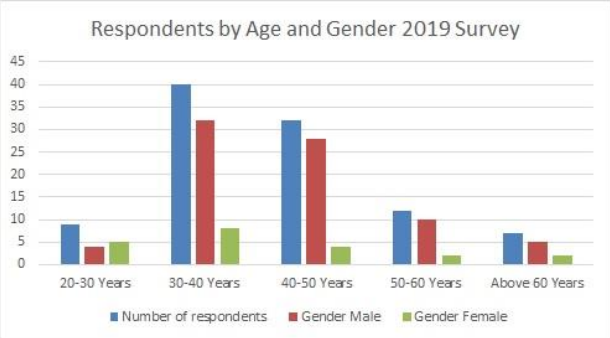


Fig. 6. Distribution by Gender and Age – 2019 survey

The analysed data show that full-time employment (5-day week, 40 hours) in 2019 was preferred by 50% of responses – predominantly male (Fig. 7). However, a significant percentage of responses stating another choice for working time duration, should be also noted. Women prefered other forms of working time, taking into account their personal and professional lives.

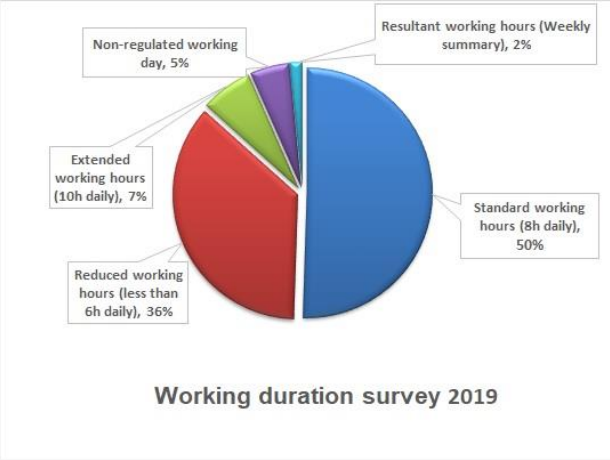


Fig. 7. Working time duration preferences – 2019 survey

The choice for extended working hours and shiftwork favoured by the employees of the mining industry can be explained by the specificity of the branch. Trends and processes in the mining industry in Bulgaria are summarised by Mitev (2020).

The answers to the questions concerning the type of employment are summarised in Fig. 8. Seasonal work is preferred by the survey participants aged between 60-70 years, i.e. Retirement age. Male respondents among the respondents prefer shift work or night work.

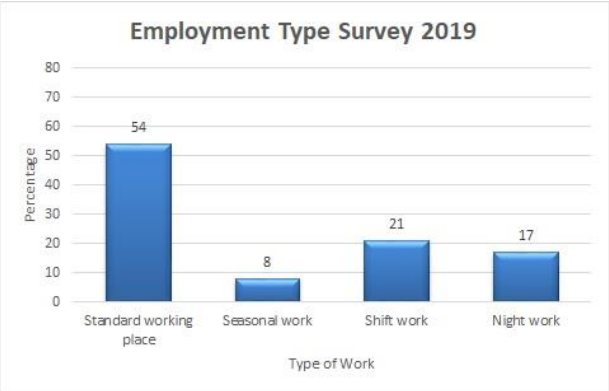


Fig 8. Employment type preferences – 2019 survey

The likely reason for this choice is the possibility of more free time and flexibility. This type of employment is also associated with a number of risks to the employees' health, due to disruption of the natural physiological regime. A number of studies point to the possible dangers of prolonged shiftwork (Maisey et al., 2022).

The survey of 2022

The survey conducted in 2022 is a continuation of that of 2019, aiming to monitor the changed public and professional circumstances after the end of the global COVID-pandemic. Currently, data from a number of studies on the topic have been published, which found similarity in the attitudes of workers and employers. The survey in 2022 targeted a wider range of business sectors in Bulgaria (Fig. 9). The largest share of respondents was from the education and IT sector. Representatives of the mining industry were 12% of the total number of 246 respondents.

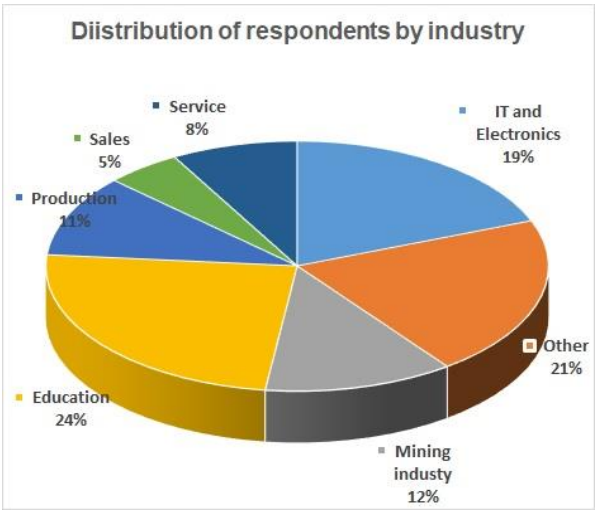


Fig 9. Business sectors distribution – 2022 survey

The distribution of respondents by gender, age, and business sector is summarised in Figures 10 and 11.

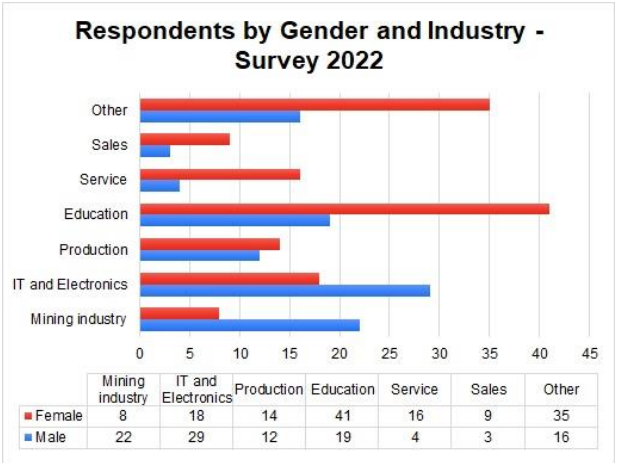


Fig. 10. Business sector and gender - 2022 survey

In terms of age, the largest percentage (53%) was that of participants between the ages of 35 and 55.

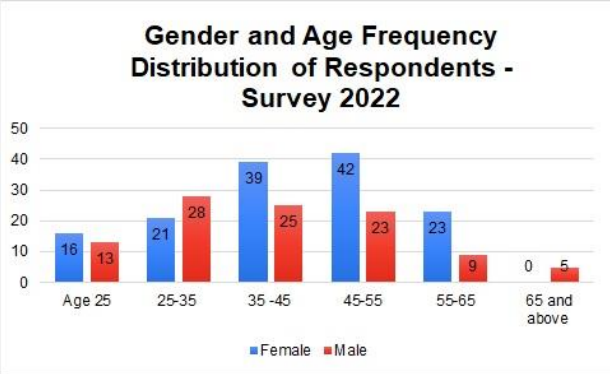


Fig. 11. Distribution by age and gender – 2022 survey

For the purpose of the study, several key questions regarding attitudes about duration and mode of operation have been formulated. The answers are summarised in Fig. 12 and Fig. 13.

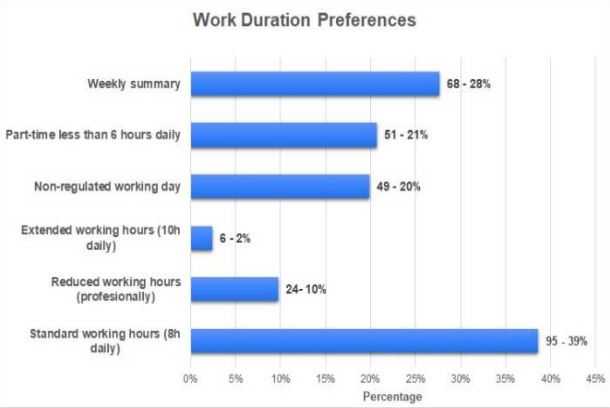


Fig.12. Preferences for work time duration – 2022 survey

Over 39% of the participants prefer an 8-hour working day, but the large share (27.6%) who want to have flexibility in determining the allocation of their weekly workload should also be taken into account.

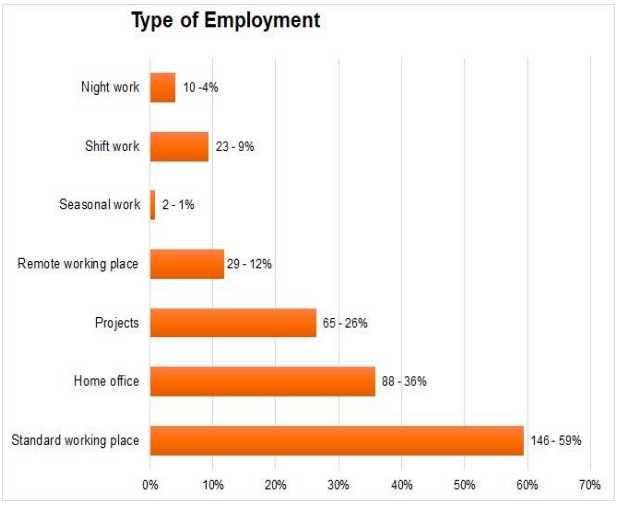


Fig.13. Preferences for type of employment – 2022 survey

When summarising the results concerning the work process organisation (Fig.13), it is evident that 59% of the participants preferred a standard workplace. Choosing a work from home as home office was desired by over 35%. These results are also related to the professional realisation, age, and gender of the respondents.

The group of participants whose professional experience is over 10 years long and over is of particular interest (Fig. 14). These are individuals with clear goals and preferences, which is why their choice is not emotional, but argumentative. 30 % of them prefer a standard 8-hour workday, but the group of people who chose flexibility and reduced duration was approximately 70%. The possibility of more than one choice should be taken into account when answering this issue.

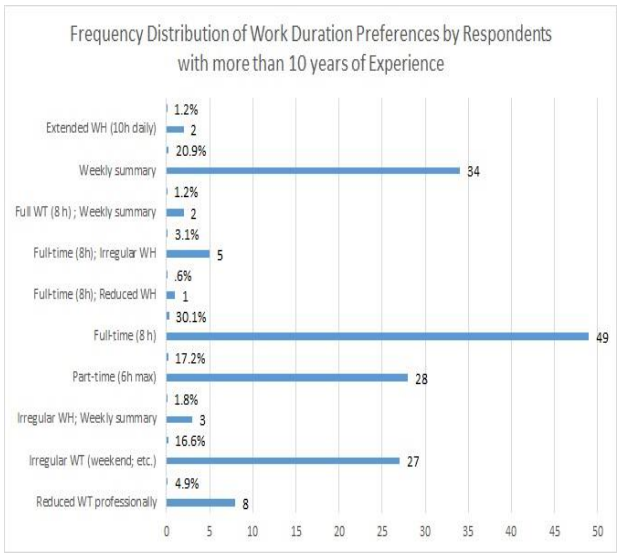


Fig. 14. Frequency distribution of respondents’ responses with over 10 years of experience – 2022 survey

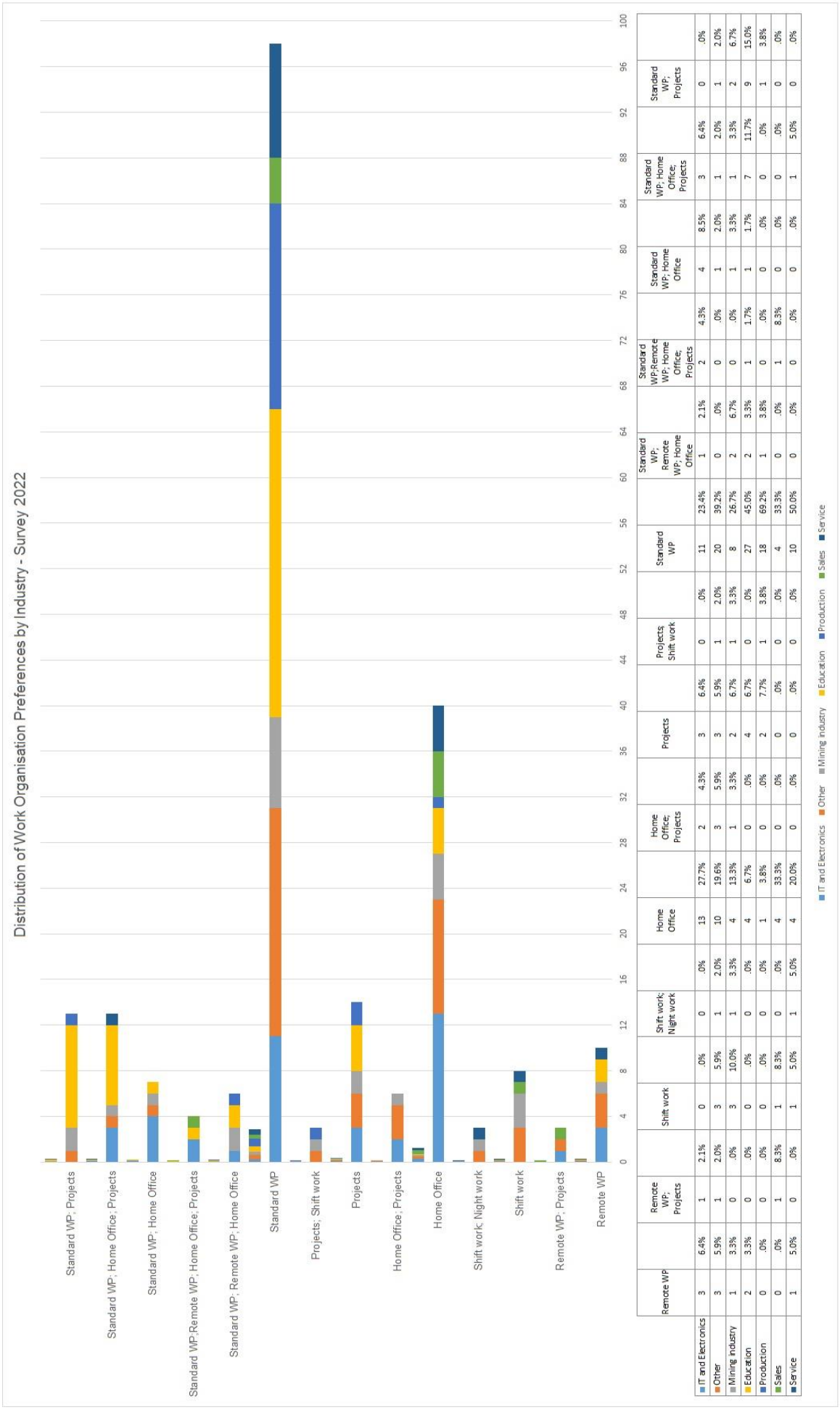
A full summary of data on the redistribution of preferences on employment type by industry in Bulgaria is presented in Fig. 15. The business sectors of interest for the authors are IT, education and mining.

Given the specifics and the nature of work, the following dependencies were found for each of them:

Respondents from the sector of **IT and electronics** preferred forms of employment combining home office, standard office, and project work. These hybrid forms of workflow organisation are possible due to the technical support of workers in this sector.

Despite the successful application of distance learning during the pandemic situation, the representatives of the **Education** sector in Bulgaria preferred the standard workplace and project work. The reason for this choice was probably the poor adaptation of standard curricula to their application in an electronic environment. At the same time, there were a number of good examples of continuing successful e-learning through various online platforms.

Logically, the preferences of the respondents from the **Mining Industry** were for a standard workplace, shift work, and night work. These results correspond to the results of the 2019 survey. Information about the other business sectors included in the study is presented in Fig.15.



	Remote WP		Remote WP; Projects		Shift work		Shift work; Night work		Home Office		Home Office; Projects		Projects		Projects; Shift work		Standard WP		Standard WP; Remote WP; Home Office		Standard WP;Remote WP; Home Office; Projects		Standard WP; Home Office		Standard WP; Home Office; Projects		Standard WP; Projects	
IT and Electronics	3	6.4%	1	2.1%	0	.0%	0	.0%	13	27.7%	2	4.3%	3	6.4%	0	.0%	11	23.4%	1	2.1%	2	4.3%	4	8.5%	3	6.4%	0	.0%
Other	3	5.9%	1	2.0%	3	5.9%	1	2.0%	10	19.6%	3	5.9%	3	5.9%	1	2.0%	20	39.2%	0	.0%	0	.0%	1	2.0%	1	2.0%	1	2.0%
Mining industry	1	3.3%	0	.0%	3	10.0%	1	3.3%	4	13.3%	1	3.3%	2	6.7%	1	3.3%	8	26.7%	2	6.7%	0	.0%	1	3.3%	1	3.3%	2	6.7%
Education	2	3.3%	0	.0%	0	.0%	0	.0%	4	6.7%	0	.0%	4	6.7%	0	.0%	27	45.0%	2	3.3%	1	1.7%	1	1.7%	7	11.7%	9	15.0%
Production	0	.0%	0	.0%	0	.0%	0	.0%	1	3.8%	0	.0%	2	7.7%	1	3.8%	18	69.2%	1	3.8%	0	.0%	0	.0%	0	.0%	1	3.8%
Sales	0	.0%	1	8.3%	1	8.3%	0	.0%	4	33.3%	0	.0%	0	.0%	0	.0%	4	33.3%	0	.0%	1	8.3%	0	.0%	0	.0%	0	.0%
Service	1	5.0%	0	.0%	1	5.0%	1	5.0%	4	20.0%	0	.0%	0	.0%	0	.0%	10	50.0%	0	.0%	0	.0%	0	.0%	1	5.0%	0	.0%

Fig. 15. Distribution of employment preferences by industry – 2022 survey

Conclusion

The conditions of the global crisis forced a number of changes in the organisation of the work process, which remain common long after the crisis has passed. However, no legal framework exists for these new hybrid forms of employment. Their regulation will facilitate the mechanisms of their implementation and will lead to real flexibility for both employers and employees. The expected effects of this process will be increased productivity and satisfaction in terms of work life balance. The surveys conducted in 2019 and 2022 show the changes that have occurred and the dynamics of employee attitudes towards the type of employment preferred.

Acknowledgements: The authors would like to express their gratitude to the colleagues from the Department of Mathematics and Informatics at the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" and the University of Library Studies and Information Technologies (UniBit) - Sofia for the help in preparing a correlative analysis with specialised software.

References

Boulin, J.-Y., M. Lallement, J. C. Messenger and Fr. Michon. 2006. *Decent working time, New trends, new issues*, Copyright © International Labour Organization 2006, First published 2006, ISBN 978-92-2-117950-4

Butler, W, S. Ahmed and L. Russell. 2017. The Relationships Between Productivity, Safety, and Quality, *Conference proceedings Joint CIB W099 and TG59 International Safety, Health, and People in Construction Conference Towards better Safety, Health, Wellbeing, and Life in Construction* Cape Town, South Africa, ISBN: 978-1-920508-78-4, 11-13 June 2017, p 524

Create opportunities for worker engagement in safety, October 24, 2021, www.safetyandhealthmagazine.com

Edwards, P., P. Bowen, R. Govender and K. Cattell. 2017. The Role of After-Hours, Work-Related Contact in Work-to-Family Conflict and Psychological Distress Experienced by Construction Professionals, *Conference proceedings Joint CIB W099 and TG59 International Safety, Health, and People in Construction* Conference Towards better Safety, Health, Wellbeing, and Life in Construction Cape Town, South Africa, ISBN: 978-1-920508-78-4, 11-13 June 2017, p 23

Eurofound - Sixth European Working Conditions Survey 2015 – Overview report; Author(s): Parent-Thirion, Agnès; Biletta, Isabella; Cabrita, Jorge; Vargas Llave, Oscar; Vermeylen, Greet; Wilczyńska, Aleksandra; Wilkens, Mathijn, November 2016 ISBN 978-92-897-1597-3; doi: 10.2806/422172; TJ-02-17-731-EN-N

Gogoi, P. 2020. *Stuck – At - Home Moms: The Pandemic's Devastating Toll on Women*, October 28, 2020, https://www.npr.org/

ILO (International Labour Office). 2016, World Employment and Social Outlook: Trends 2016– Geneva: ILO, 2016 ISBN 978-92-2-129632-4 (print) ISBN 978-92-2-129633-1 (web pdf) ISBN 978-92-2-129634-8 (epub)

ILO (International Labour Office). 2020, Global Employment Trends for Youth 2020: Technology and the future of jobs– Geneva: ILO, 2020 ISBN 978-92-2-133505-4 (print) ISBN 978-92-2-133506-1 (web pdf)

Kaltsidi, G., Y. Xenidis. 2020. The Relation Between Behavioral Factors and Humans' Reactions During Catastrophic Events, *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management* Conference ESREL2020-PSAM15 Organizers. Published by Research Publishing, Singapore, ISBN: 978-981-14-8593-0; doi:10.3850/978-981-14-8593-0, pp 1459 -1466

Kostadinova, N., B. Vladkova. 2022. The role of flexible working time as a factor for work conditions. *65-th International scientific conference, University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”*, Sofia, Bulgaria, October 2022, 159-165, ISSN 2738-8808 (print) ISSN 2738-8816 (online)

Krajčík, M., D. Alshatti Schmidt, M. Barath. 2023. Hybrid Work Model: “An Approach to Work–Life Flexibility in a Changing Environment”. - *Administrative Sciences* 13(6), 150, June 2023. DOI:10.3390/admsci13060150, License CC BY 4.0

Maisey, G., M. Cattani, A. Devine, J. Lo, Shih Ching Fu, I. C. Dunican. 2022. Digging for data: How sleep is losing out to roster design, sleep disorders, and lifestyle factors, Applied Ergonomics, Volume 99, 2022, 103617, ISSN 0003-6870, https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103617.

Mitev, V. 2020. Trends in Labour Productivity in the Bulgarian Mining Industry. - *Economical and Social Alternatives,* February 2020, 15-23. (in Bulgarian) ISSN (print): 1314-6556, ISSN (online): 2534-8965; DOI: 10.37075/ISA.2020.2.02

OECD Employment Outlook 2022 Building Back More Inclusive Labour Markets, 09 Sept 2022, 350p, https://doi.org/10.1787/1bb305a6-en; 9789264623514 (EPUB); 9789264320093 (PDF); 9789264841970 (HTML)

Reuters Staff: China cuts working hours for coal miners in bid to tackle supply glut, april 18, https://www.reuters.com/article/us-china-coal-idUSKCN0XF1I9

Review of the Working Time Directive, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 24.3.2010

ENTREPRENEURSHIP AS A KEY COMPETENCE IN THE CONTEXT OF THE CAREER DEVELOPMENT AND ACQUISITION OF EMPLOYABILITY SKILLS

Borislava Galabova, Emil Dimov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700, Sofia, email: borislava.galabova@mgu.bg

ABSTRACT. The study is focused on examining and revealing the role and significance of entrepreneurship and initiative as a key competency in the context of the career development and acquisition of employability skills. The European Framework of Key Competences for Lifelong Learning is used to take a critical look at the current model for teaching and acquiring skills that is used in the European Union (EU). Entrepreneurship and initiative - as transferable skills and a key competency - are examined through the prism of the established modern educational model and the main theoretical formulations. The hypothesis raised about their importance and role as a factor in finding employment and career development has been tested. Based on an analysis of the results, the relationship between the recommended direction of development versus the competence model and what was actually achieved as a result was sought. The potential directions for convergence between the actual and the sought state are identified, and conclusions and recommendations are formulated.

Key words: entrepreneurship, key competence, career development, employability skills, transferable skills

ПРЕДПРИЕМАЧЕСТВОТО КАТО КЛЮЧОВА КОМПЕТЕНТНОСТ В КОНТЕКСТА НА КАРИЕРНОТО РАЗВИТИЕ И ПРИДОБИВАНЕТО НА УМЕНИЯ ЗА ЗАЕТОСТ

Борислава Гълъбова, Емил Димов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700, София

РЕЗЮМЕ. Изследването е посветено на проучване и разкриване на ролята и значимостта на предприемачеството и инициативността като ключова компетентност в контекста на кариерното развитие и придобиването на умения за заетост. Направен е критичен преглед на действащия компетентностен образователен модел, възприет в рамките на Европейския съюз (ЕС) чрез Европейската референтна рамка на ключовите компетентности за учене през целия живот. Предприемачеството и инициативността – като преносими умения и ключова компетентност, са разгледани през призмата на утвърдения съвременен образователен модел и основни теоретични постановки. Проверена е хипотезата за тяхната значимост и роля като фактор за намиране на заетост и кариерно развитие. Въз основа на анализ на резултатите е потърсена връзката между препоръчителното направление на развитие спрямо компетентностния модел и действително постигнатото като резултат. Набелязани са потенциални посоки за сближаване между действителното и търсеното състояние и са формулирани изводи и препоръки.

Ключови думи: предприемачество, ключова компетентност, кариерно развитие, умения за заетост, преносими умения

Въведение

Изследването е посветено на проучване и разкриване на ролята и значимостта на предприемачеството и инициативността като утвърдена в рамките на Европейския съюз (ЕС) ключова компетентност. Анализът е направен в контекста на кариерното развитие и придобиването на критични умения за заетост, необходими за преминаването през процеса от образование към заетост. За тази цел са представени резултати, обобщения и изводи от критичен преглед на компетентностния образователен модел, възприет в рамките на ЕС чрез Европейската референтната рамка на ключовите компетентности за учене през целия живот. Предприемачеството и инициативността – като преносими умения и ключова компетентност, са разгледани през призмата на съвременния образователен модел и основни теоретични постановки. Проверена е хипотезата за тяхната значимост и роля като фактор за намиране на заетост и кариерно развитие от гледна точка на нагласите на студентите и работодателите. Въз основа на анализ на състоянието и резултатите се търси връзка между препоръчителното направление на развитие спрямо компетентностния модел и действително постигнатото равнище – като следствие от направените промени и вложените до момента усилия. Набелязани са потенциалните посоки, полета и направления на действия за сближаване между действителното и търсеното и препоръчано в официални доклади, препоръки и документи състояние. Формулирани са изводи и препоръки за придобиване и развитие на съответната ключова компетентност, оказваща пряко влияние върху възможностите за намиране на заетост и кариерно развитие.

Европейската образователна рамка – нова концепция и модел

В рамките на Европейската общност – като общност на знанието, именно знанията, уменията и компетенциите са

решаващ фактор за икономическото, социално и технологично развитие, европейското самосъзнание, благосъстоянието, устойчивото, просперираще и демократично общество. Това направление на развитие на общностните политики довежда до подписването на Сорбонската декларация на 25 май 1998 г. С този формален акт се поставя началото на Болонския процес, чрез който се цели хармонизиране на архитектурата на европейското висше образование. Главна роля в този процес играят университетите във всички страни-членки на Европейския съюз (ЕС). Присъщата им образователна и научна дейност подпомага развитието на европейските образователни и културни измерения и създаването на Европейско пространство за висше образование. Неговата роля за засилването на мобилността, устройването на работа и цялостното развитие на Европа е подчертана (Lecheva, 2009). Стратегическа цел на развитието на образователната система става фокусирането на висшето образование върху постигане на измерими и валидирани образователни резултати. За резултати се приемат наборът от знания, умения и компетенции, усвоявани чрез използване на компетентностния образователен подход, които обучаемият е способен да приложи в практическата работна среда. Доказано този набор му осигурява реална възможност за намиране на заетост, самостоятелна заетост или кариерно развитие.

В съвременната образователна среда подчертано значение придобива начинът, по който образователният процес се извършва и по които се планира и проектира неговата ефективност и целева ориентация. В Лондонското комюнике (2007 г.) за пръв път се споменава налагането на принципно нов образователен модел. Той е формулиран като обучение, ориентирано към интересите на студента и базирано върху постигнатите от него резултати в образователния процес. С това се поставя началото на нова концептуална рамка в образователната сфера, изискваща съдържателна промяна. Налага се процес на преминаване от обучение, насочено към преподавателя и ориентирано спрямо него, към обучение, фокусирано към студента и неговите потребности, интереси и кариерна насоченост. Тази нова концептуална рамка дава тласък в развитието на нови процеси в Европейското пространство за висше образование (Lecheva, 2009).

Съгласно посоченото в Съобщение на Комисията до Европейския парламент, Съвета, Европейския икономически и социален комитет и Комитета на регионите: „Ролята на висшето образование е уникална. Търсенето на високо квалифицирани, социално ангажирани служители едновременно нараства и се променя. В периода до 2025 г. се очаква половината от работните места да изискват високи квалификации. Вече са налице пропуски по отношение на уменията на високо равнище. Движени от дигиталните технологии, свързаните с работните места изисквания стават все по-гъвкави и сложни. Способностите на хората да бъдат предприемчиви, да обработват сложна информация, да мислят независимо и творчески, да използват интелигентно ресурси, включително цифрови, да общуват ефективно и да бъдат устойчиви, са по-важни от всякога. Европа също така има нужда от успешни хора, които да могат да разработват авангардни технологии и решения, тъй като бъдещият ни просперитет зависи от тях. (ЕС, 2017).”

Образованието - като система и процес, непрекъснато се развива и усъвършенства в синхрон с обществено-икономическото развитие и съответстващите му промени. То следва да е отворена, структурирана, динамична, гъвкава и адаптивна система, като се вземе предвид, че влияние върху нея оказват редица вътрешни и външни фактори. Решаващо въздействие върху образователната система имат изискванията, произтичащи от икономическото, технологично и социално развитие, нагласите, ценностите и потребностите на потребителите на образователните услуги. В резултат тя се променя постоянно и спрямо образователните резултати, целевата ориентация и утвърдената рамка. Следователно системата, във всичките й йерархични нива и сфери, не е статична, а динамично променяща се и отвън-навътре, и отвътре-навън. Промените са насочени към усъвършенстване, модернизация, преструктуриране, по-висока ефективност и ориентация спрямо стратегически цели и образователни резултати.

Предвид това през последните десетилетия не само твърдите умения, които един специалист задължително трябва да овладее, за да упражнява конкретна професия, придобиват значение. На преден план успоредно с тях значение доказват и преносимите умения. Именно те създават предпоставки за формиране на търсено поведение и резултатната проява на твърдите умения в практиката в рамките на работната среда и професионалното представяне.

Уменията на XXI век

В научната литература преносимите умения са наричани умения на XXI век. Причина за тази формулировка е установяването и утвърждаването на тяхното значение за кариерното развитие и на младите, и на опитните специалисти и ролята им за процеса на преминаване от образование към заетост. Разбиранията за уменията за заетост претърпяват еволюция, като преносимите умения доказват своята значимост. Въпреки че се утвърждават и разпознават като важни относително по-късно спрямо „твърдите“ (професионални, специфични и технически) умения, днес тяхната роля и значение са формално признати и валидирани от бизнеса и академичните среди.

За първи път преносимите умения – като понятие и тема за дискусия, са засегнати от B. Rey през 1996 г. в труда „Les compétences transversales en question“. Съгласно дефиницията на Организацията на обединените нации за образование, наука и култура (ЮНЕСКО), преносимите умения са „умения, считани за непряко свързани с определена работа, задача, академична дисциплина или област от знания и които се използват в голямо разнообразие от ситуации и работни условия“. Това ги прави приложими в много сфери и дейности, с доказана полезност в практиката и добавена стойност. Предвид това тези умения стават все по-търсени и ценени от работодателите, тъй като спомагат за успешната и своевременна адаптация към промените и водят до производителност и ефективност на съответната стопанска дейност.

Към днешна дата преносимите умения включват широк набор от различни по характер и направление на приложение умения. Общото между тях е, че доказано имат критично значение за индивидуалната професионална и социална реализация и резултатите в трудовата дейност. По този начин развиването на преносими умения става ключов фактор за намиране на заетост и кариерно развитие.

Преносимите умения са група умения, за които е характерно, че:

- се придобиват, натрупват и валидират своята полезност и приложимост както в работната среда, така и извън нея;
- имат универсален (общ) характер в рамките на разнородни по вид дейности във всички стопански сфери;
- се натрупват, развиват и усъвършенстват през целия живот и кариерен път;
- се придобиват в неформална среда и по-малко във формална (образователна);
- се числят към уменията за заетост, които са от критична важност за улесненото преминаване от образование към заетост и кариерното развитие и на младите, и на вече натрупалите опит специалисти;
- се използват, като се пренасят в различни работни ситуации при решаване на казуси, проблеми, работа в екип или управлението му или при самостоятелна заетост и стартиране на бизнес;
- се адаптират към работната ситуация, като спомагат за използването на твърдите умения.

Преносимите умения се систематизират според спецификата си в шест условни групи:

- вътрешноличностните умения (дисциплинираност, постоянство, упоритост, вътрешна мотивация и други);
- гражданско поведение и самосъзнание (толерантност, откритост, уважение към многообразието, умения за междукултурна комуникация и други);
- медийна и информационна грамотност (намиране и достъп до достоверна и релевантна информация, анализ на медийно съдържание и използването му, работа в цифрова среда, търсене и откриване на достоверни информационни източници) (UNESCO, 2014);
- критично, аналитично и иновативно мислене (критичност, аналитичност, логическо мислене, стратегически анализ, ориентация към търсене на нови нестандартни решения на проблеми, търсене и внедряване на новост, добавена стойност и уникалност);
- други специфични умения, невключени в предходните пет групи (UNESCO, 2014).

Натрупването и развитието на преносими умения се утвърждава като основна предпоставка за намиране на заетост и кариерно развитие. За разлика от знанията и конкретните „твърди“ (професионални) умения, при преносимите умения тенденциите не променят значимостта и приложимостта им. Те не губят актуалност и значимост на пазара на труда. Точно обратната ситуация се наблюдава - всяка работна или социална ситуация се ползва от тях и ги обогатява (Lecheva, 2009). Преносимите умения представляват своеобразен „общ език”, на който работодатели и образователни институции говорят (Lecheva, 2009), което налага поставянето на акцент върху тях.

Ключовите компетенции като образователен приоритет

Компетентностният образователен подход интегрира актуалните направления на развитие, така че обучаемите устойчиво, всеобхватно и целенасочено да натрупват и надграждат умения. Подходът към изграждане на ключови компетенции е интегриран и комплексен и включва в себе си всички предметни области. Изграждането на съответстващи компетенции и компетентности става задължителен елемент на системата на висше образование, така че излизащите от нея да са подготвени за изискванията и потребностите на пазара на труда и очакванията на техните работодатели за резултати в трудовата дейност. Значение придобива не само чисто формалната страна на процеса, но и конкретните знания, умения и компетенции, които имат приложна стойност и валидират формалния характер на образователния процес.

Понятието „компетентност“ произлиза от латински език (лат. competens, -entis – „способност”, дарба”). Понятията „компетенция” и „компетентност”, които имат различно значение, започват да се проучват през втората половина на XX век. В последното десетилетие се споменават в документи и доклади на ЮНЕСКО, Съвета на Европа и Министерство на образованието и науката (МОН), като се доближават до полето „зная как да действам” (Temnikova, 2016). В хода на промяната в образователната концепция подборът, интеграцията и формирането на съответния набор от компетенции и компетентности стават предпоставка за намирането на заетост и за кариерно развитие. Следователно въпросът за придобиването и надграждането на компетентностите е стратегически значим за обществено-икономическото развитие в рамките на ЕС и Европейското пространство за висше образование. Релацията „придобиване на компетентности - намиране на заетост - кариерно развитие“ е доказана и от теорията, и от практиката. Тя обосновава взаимовръзката между знанията, уменията, резултатите от работния процес и индивидуалното и обществено благосъстояние.

Компетентностите са динамична съвкупност от знания, умения, нагласи и отношения, придобивани в процеса на обучение и извън него – в реалната жизнена и работна среда. Свързват се с формирането и развитието на поведението на личността. Натрупаните от индивида знания и умения, заедно с установените нагласи и ценности, не се разглеждат сами по себе си, а в контекста на поведението и действията в работна среда и извън нея. Фокусът пада върху демонстрирани и валидирани, показани и доказани в конкретни учебни и работни ситуации, действия и поведение. Натрупването на компетентности е обективна необходимост с оглед постигането на цели и резултати в конкретна дейност или при изпълнение на определена професионална роля, съответстваща на прилагането на конкретни компетенции.

Темата за ключовите компетентности и тяхното обезпечаване не е нова от гледна точка на анализа на образователните потребности, планирането и подбора на

образователно съдържание във формалното образование. Тя се поставя на дневен ред през декември 2006 г. с приемането на Препоръката на Съвета на ЕС и на Европейския парламент за налагане на Рамка за ключовите компетентности за учене през целия живот. Изработването и утвърждаването на рамката е резултат от дълъг изследователски процес, в основата на който стои концепцията за комплекса от компетентности за личностно и професионално развитие, активно гражданство и гражданско поведение, социално включване, пригодност за трудова заетост и икономическа активност.

В рамката на компетентностния образователен модел, възприет в ЕС чрез Европейската референтната рамка на ключовите компетентности за учене през целия живот, компетентностите се разбират като съчетание от знания, умения, нагласи и отношения. Европейската квалификационна рамка за учене през целия живот е референтен документ, даващ стандартизирано описание на това, което завършилият определена образователна степен в системата на висшето образование трябва да знае и да демонстрира практически. За целта следва да притежава определени ключови компетенции - личностни, професионални и социални.

Европейската референтната рамка на ключовите компетентности за учене през целия живот е изградена от осем групи ключови компетентности, сред които инициативност и предприемачество. Наред с това са изведени и подчертани редица преносими умения. Те осигуряват свързаност между личната, социалната и професионалната изява. Създаването и използването на рамката, по препоръка на ЕС и Европейската комисия (ЕК), насочва вниманието на обществото към критичния комплекс от знания, умения, нагласи и отношения, които трябва да бъдат обезпечени, така че да се гарантира възможност за намиране на заетост, задържане на работното място и кариерно развитие. Интегрирането на „твърдите“ умения, ключовите компетенции и преносимите умения е ключов фактор за кариерното развитие, активното и ефективно включване в икономическия и обществения живот и реализацията на личността.

В европейската образователна рамка ключовите компетенции са изведени като приоритетни, еднакво значими и универсално валидни за упражняването на всяка професия. Този факт обуславя необходимостта от включването им във формалния образователен процес във висшето образование, независимо от специалността и образователната степен. Това е логично продължение на тяхното формиране и затвърждаване и надграждане на натрупаните компетенции в предходни етапи на образователния процес.

Колко „ключова“ е предприемаческата компетентност?

Предприемаческата компетентност се отнася до способността на индивида да превръща идеите в действие, да е деен, инициативен и проактивен. Инициативността и предприемчивостта касае неговата способност да бъде инициатор, подбудител и активен участник в процеси и благоприятни промени, да създава добавена стойност, да усъвършенства дейности, процеси, модели, организация на труда и продукти. Тази ключова компетентност включва в себе си креативност, творческа и новаторска нагласа и способност за поемане на премерен риск, способност за планиране и управление на проекти за постигане на заложени цели съгласно Препоръка 2006/962/ЕС.

В тесен смисъл с „предприемчивост“ се означава „съчетанието между желание, действие и умствено усилие за създаване на нещо ново и полезно за живота на човека и обществото“ (Klyver, Arenius, 2020; Mitchelmore, Rowley, 2010). Предприемчивостта е пряко свързана с поемането на инициатива, отговорност и риск, ориентацията при несигурна и непредсказуема среда, нагласата да се търсят възможности, за да бъдат оползотворени, да се идентифицират проблеми и да се откриват работещи решения. Тя касае предприемането на начинание, в частност стопанска дейност, на свой риск и отговорност с цел генериране на позитивен икономически резултат като насрещен отговор на приложените знания и умения и вложените усилия.

В по-широк смисъл разбирането за предприемчивостта надхвърля тези граници, тъй като новите стопански реалности недвусмислено показват, че на практика всяка професия и работна позиция изискват определена степен на предприемчивост и инициативност, ведно със заемане на активна позиция.

През 2018 г. Европейската референтна рамка бе преразгледана и претърпя съдържателни изменения. Инициативността и предприемчивостта бе преименувана, обобщена и утвърдена като „предприемаческа компетентност“. Тя включва „способността за действие и използване на благоприятни възможности и идеи и за тяхното трансформиране в ценности за другите хора“ (Delinesheva, Yolovski, 2021).

Предприемаческата компетентност се определя като „ключова“ по следните причини:

- приложима е за всички възрасти и форми на обучение, включително и специално в сферата на висшето образование;
- приложима е към всички специалности и образователни степени, защото е задължителна както при започването на бизнес, така и при намирането на заетост, независимо от сферата;
- свързана е с ученето през целия живот, което е не само актуална тенденция, а обективна и доказана от реалната бизнес практика необходимост;
- осигурява връзка с пазара на труда и улеснява преминаването от образование към заетост на индивида;
- осигурява успешна професионална изява, икономическо и социално благополучие, като намаляват риска за социално изключване и липса на заетост.

Днес всички ключови компетентности се считат за еднакво важни и критични и следва да бъдат част от образователния процес в системата на висшето образование. Намирането на заетост и кариерното развитие са функция от тяхното придобиване и натрупване във времето. В своята конкретика и съдържание различните ключови компетентности се допълват и са взаимосвързани, като интегрираното им използване „усилва“ резултата при трудовото представяне.

Образователната рамка в България: от реалности към перспективи

Образователните политики в България, насочени към насърчаване на развитието на инициативността и предприемачеството като ключова компетентност, започват да се прилагат от момента на присъединяването на страната към ЕС през 2007 г. Интегрирането ни към Европейското образователно пространство създава необходимостта от образователна реформа с цел синхронизиране на нивата на знания чрез възприемане на компетентностния подход и концепцията за учене през целия живот като основополагащи. В допълнение към компетентностите, свързани със специфичните знания, умения и способности, необходими в конкретна професионална област, подчертано значение придобиват преносимите умения (Delinesheva, Yolovski, 2021).

Обучението по предприемачество е поставено в дневния ред на образователната система през 2008 г. с приемането на Националната стратегия за учене през целия живот за периода 2008-2013 г. В нея ключовите компетентности са определени като „процес на постоянно усвояване на знания и умения ... не само чрез традиционните форми в образованието и институции за обучение, но също и на работното място, у дома или през свободното си време“. Това е и първият документ, в който се подчертава ролята и мястото на образованието по предприемачество и се признава инициативността и предприемчивостта като една от ключовите компетентности. Така се създава и рамката, в която се утвърждава и прилага настоящият образователен подход. Натрупването на предприемачески умения налага използването на интегриран подход, тъй като е съвкупност от компетенции в различни направления. На национално ниво се признава, че придобиването на предприемаческа компетентност създава предпоставки за повишаване на пригодността към заетост, самостоятелна заетост и кариерно развитие.

Основният документ в България, в който се посочват принципите, приоритетите, действията и целите, свързани с ученето през целия живот, е Националната стратегия за учене през целия живот за периода 2014 – 2020 г. Тя определя стратегическата рамка на държавната политика за образованието и обучението. Насочена е към постигане на европейската цел за интелигентен, устойчив и приобщаващ растеж. Стратегията подчертава необходимостта от непрекъснато развитие на ключови компетентности, включително предприемаческа компетентност. Един от приоритетите в нея е: „Насърчаване на образованието и обучението, съобразени с нуждите на икономиката и промените на пазара на труда“.

Стратегията е първият документ на национално ниво, в който се подчертават ролята и мястото на образованието по предприемачество за натрупване на компетенции. Тя издига като основен приоритет насърчаването на образованието и обучението съобразно потребностите на икономиката, изискванията и динамиката на пазара на труда. Постигането на съответствие между придобитите знания и умения – твърди и меки, потребностите на пазара на труда и компетентностния профил на съответната професия става задължително условие за успех и предполага придобиване на съответни умения за заетост. Стратегията подчертава необходимостта от партньорства между образователния сектор и бизнеса с цел изграждане на знанията, уменията и компетентностите, изисквани от пазара на труда, и насърчава обучението по темите за иновациите и предприемачеството във всичките му форми.

В резултат системата на висшето образование следва да създава реални и равни възможности за всички студенти, без значение от специалността, да придобият предприемаческа компетентност. Възможности за по-нататъшно развитие на предприемаческата компетентност извън формалния и задължителен учебен процес допълнително се предоставят по програми и инициативи на европейско ниво, като програми на Европейския институт за иновации и технологии (ЕИТ) в рамката HEInnovate. Създават се специализирани курсове за студенти от неикономически специалности след проучване на потребностите и нивото на постигната компетентност. С тези курсове се цели да се повиши тяхната предприемаческа култура, да се създаде нагласа за иновации, развитие на инициативи и предприемаческа активност, а така също и да се придобият преносими умения. Това е осъществимо чрез компетентностния подход и прилагане на практика на концепцията за учене през целия живот като основополагащи за придобиване на тази компетентност и догонващо развитие на ниво ЕС.

Съгласно Съобщение на Комисията до Европейския парламент, Съвета, Европейския икономически и социален комитет и Комитета на регионите всички студенти във висши училища, независимо от изучаваната специалност, трябва да придобият високи общоприложими умения и ключови компетенции, които да им позволят да просперират (ЕС, 2017). Възможностите за професионална реализация зависят от работодателите и икономиката като цяло, но образованието и обучението играят ключова роля в последващото работно представяне. Затова висшето образование следва да гарантира, че учебното съдържание е актуално и съобразено с реалностите, като се предлагат подходящи програми за обучение в области, в които са идентифицирани дефицити на умения и се прилагат такива методологии за обучение, позволяващи придобиване на съответните умения в достатъчно задълбочена и всеобхватна степен. Така предвид динамичното развитие на пазара на труда Концепцията за преносимите компетенции и тяхното задължително включване в университетските програми за подготовка на специалисти на всички квалификационни степени се налага все повече (Lecheva, 2009).

Днес предприемаческото обучение отива отвъд ученето за това как се създава бизнес или стартъп или как се управлява бизнес, като осигурява на студентите по-широки знания, умения и компетенции за предприемаческата среда (Kyrgidou et al., 2013). Създават се и възможности за придобиване на умения за социализиране, контакт със средата и информационен обмен, като се взема предвид и обществената роля на университета като институция (Evstatiev et al., 2022).

По тази причина коректното интерпретиране на предприемаческата компетентност изисква тя бъде разглеждана в по-широк съдържателен контекст. Предприемаческата компетентност надхвърля способността на индивида самостоятелно да започва и развива стопанска дейност, но и да бъде активен, да инициира, да търси възможности за иновации и растеж

през развитието. Основава се на ориентация навън – целенасочено търсене на възможности или целево създаване на такива, поемане на отговорност и премерен риск, относителна автономност, заемане на активна позиция, умение за добавяне на стойност. Затова предприемаческата компетентност се използва и в двата контекста – при започване на бизнес и при намиране на работно място и задържането на работа.

Системата на висшето образование следва да предложи достатъчни по вид, разнообразни и гъвкави възможности за студенти от неикономически специалности да придобиват и развиват своята предприемаческа компетентност. Целта е да се стимулира инициативността и заемането на активна позиция, което ще доведе до многостранни и разнородни позитивни ефекти в икономиката и обществото.

Тъй като правната рамка гарантира възможности за развитие на предприемаческата компетентност в рамките на учебните програми за общо и професионално образование, в съответствие с националната политика за учене през целия живот, е нужно последователно и целенасочено изпълнение на конкретните мерки и действия (Delinesheva, Yolovski, 2021). Формалното образование и неформалните инициативи за натрупване на предприемаческа компетентност могат да бъдат подкрепени от менторски програми, консултации, индивидуална и групова работа по конкретни казуси, водена от университетски преподаватели, дискусии с бизнес представители, обмяна на опит в рамките на алумни организации и групи. Такъв многостранен подход изисква съвместни и координирани усилия в рамката на различни образователни инициативи на образователните институции, публичната власт, частния сектор, неправителствените организации, които да си партнират за целите на повишаване на предприемаческата комптентност и засилване на основите на предприемаческата култура.

Планът за възстановяване на Европа предвижда средства за инвестиции в дейности за развитие на умения в контекста на новата Европейска програма за умения. Програмата представлява петгодишен план с дванадесет действия, фокусирани върху умения за работа, сред които преход към зелени и цифрови умения, STEM, предприемачески и умения за цял живот. Инициативите в неговата рамка също следва да бъдат активно и целенасочено използвани за целите на натрупване на предприемаческа компетентност. Затова многостранността на подхода към решаването на този въпрос би осигурила по-голям обхват на включените в дейностите и инициативите обучаващи се.

Заключение

Днешната работна среда е динамична и предизвикателна. Фокусът при търсенето и намирането на работа се измества върху реално придобитите компетентности, оставяйки на следващ план заеманите позиции, притежавани квалификации и твърдите умения. Това превръща придобитите компетентности в свързващо звено между образованието и бизнеса. Изискват се комбинации от общи и специализирани знания, твърди и преносими умения, способност да се разпознават възможности и да се разширяват границите, като се търсят и внедряват иновации. Затова предприемаческата компетентност играе ключова роля за подобряване на професионалните перспективи. В тези нови реалности обучението по предприемачество може значително да подобри развитието на предприемачески компетенции, култура, нагласи и поведение на младите специалисти, които търсят заетост или имат намерения да стартират собствен бизнес.

Адаптирането на знанията, уменията и компетенциите към работодателските изисквания и направлението на развитието на икономиката става задължителен елемент в процеса на намиране на заетост и кариерно развитие. Съвкупността от знания, умения и компетенции, взети като цялостен комплекс, обезпечават пригодността за заетост и се включват към уменията за заетост. Ориентацията, адаптацията и задържането на трудовия пазар са в пряка зависимост от натрупването и развитието на такива умения за заетост и доближаването в най-пълна степен до очакванията на работодателите и изискванията на бизнеса. Тъй като този комплекс не е статичен, а се променя съобразно динамиката и тенденциите в развитието на икономиката и обществото, в перспектива ще наблюдаваме надграждане на образователната рамка и модел в посока на придобиване на предприемаческа компетентност.

Литература

Delinesheva, M., D. Yolovski. 2021. Report from the mapping of the initiatives in Bulgaria to develop the skills of adolescents through social innovation/entrepreneurship and financial literacy, UNICEF, Sofia (in Bulgarian)

EC. 2017. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2017) 247 final, Bruxelles, 30.5.2017

Evstatiev, B. et al. 2022. Investigation of Engineering Students' Attitude towards Virtual Labs during the COVID-19 Distance Education. - *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, Vol. 11, No. 5, September 2022, p. 373-384.

Kyrgidou, L., Mylonas, N., E. Petridou. 2013. Identifying tomorrow's entrepreneurs: entrepreneurship education in Greece. - *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, Vol. 9, Issue 3, p. 352-364.

Klyver, K., P. Arenius. 2020. Networking, Social Skills and Launching a New Business: A 3-Year Study of Nascent Entrepreneurs. Entrep. Theory Pract, 46

Lecheva, G. 2009. The key competences of students - future teachers in the context of the Bologna Process. – *Nauchni trudove na Rusenskiq universitet*, 2009, vol. 48, 6.2, https://conf.uniruse.bg/bg/docs/cp09/6.2/6.2-16-n.pdf (in Bulgarian with English abstract)

Mitchelmore, S., J. Rowley. 2010. Entrepreneurial competencies: A literature review and development agenda. - *International Journal of Entrepreneurship Behavior*. Res, 6, p. 92–111.

Temnikova, M. 2016. *Building transferable competences in mathematics education in grades 1-4*. Abstract of a PhD dissertation, Trakia University, Stara Zagora (in Bulgarian).

UNESCO. 2014. Education Policy Brief, Skills for holistic human development, Vol. 2

TRANSFER TO DIGITAL ACCOUNTING FOR SUSTAINABLE FINANCIAL MANAGEMENT IN UNSUSTAINABLE EXTRACTION OF ENERGY RESOURCES

Viktoria Dimitrova

Technical University of Sofia, 1000 Sofia; E-mail: viki_dim@tu-sofia.bg , viktoriadimitrovatu@abv.bg

ABSTRACT. Nowadays, in the conditions of increasingly stronger climate changes, the dynamics in economic life, in the industrial and social sphere on a European scale and a national dimension all determine the unsustainable extraction of energy resources and raw materials.
Moreover, the influence of the military actions in Eastern Europe, the emigrant pressure on the European Union, especially expressed in Bulgaria, and other political, social and economic factors in this country are prerequisites for instability and uncertainty in one of the key sectors of the economy - the mineral and raw materials industry, in particular in the extraction of energy resources.
In this environment, the issues of efficiency and flexibility of accounting, and of the stable financial management in the extraction of energy resources and raw materials acquire particular importance in state institutions and enterprises, as well as in private business.
In what directions can digital accounting contribute to innovations needed today in the financial management of the unsustainable extraction of energy resources and raw materials? The present article is devoted to the answer to this question, against the background of a brief review of the extraction of raw materials and energy resources in Europe and Bulgaria since the turn of the century.

Key words: energy resources and raw materials, extraction, digital accounting, financial management.

ПРЕХОД КЪМ ДИГИТАЛНО СЧЕТОВОДСТВО ЗА УСТОЙЧИВО ФИНАНСОВО УПРАВЛЕНИЕ ПРИ НЕУСТОЙЧИВ ДОБИВ НА ЕНЕРГИЙНИ РЕСУРСИ

Виктория Димитрова
Технически Университет - София, 1000 София

РЕЗЮМЕ. В наше време, в условията на все по-силни промени в климата, динамиката в икономическия живот, в индустриалната и социалната сфера в европейски мащаб и национално измерение, обуславят неустойчив добив на енергийни ресурси и суровини.
Освен това влиянието на военните действия в Източна Европа, емигрантският натиск върху Европейския съюз, особено изразен в България, и други политически, социални и икономически фактори у нас, са предпоставка за нестабилност и несигурност в един от ключовите сектори на икономиката – минерално-суровинната промишленост, в частност в добива на енергийни ресурси.
В тази среда въпросите за ефективността и гъвкавостта на счетоводството и стабилното финансово управление при добива на енергийни ресурси и суровини придобиват особено значение в държавните институции и предприятия, както и в частния бизнес.
В какви насоки дигиталното счетоводство може да допринесе за необходимите днес иновации във финансовото управление на неустойчивия добив на енергийни ресурси и суровини? На отговора на този въпрос е посветена настоящата статия, на фона на кратък преглед на добива на суровини и енергийни ресурси в Европа и България от началото на века.

Ключови думи: енергийни ресурси и суровини, добив, цифрово счетоводство, финансов мениджмънт.

Introduction

The dynamics in the economy, in the industrial and social spheres on a European and national scale, in the conditions of highly pronounced climate changes and a number of political, social, and economic factors determine the unsustainable production and market of energy resources. This article provides a brief overview of the development of the mineral industry and the extraction of materials and energy resources in Europe and Bulgaria in recent decades.

The economic instability characteristic of Central and Eastern Europe under the influence of the military actions in Ukraine, the refugee wave, and the emigrant pressure on the southern borders of the European Union, especially expressed in Bulgaria, are prerequisites for uncertainty in one of the key sectors of the economy: the mineral and raw materials industry, in particular in the extraction of energy resources.

Certainly in this dynamic environment in the economy, respectively in the extraction of energy resources, the need for stable financial management is increasing, not only in state institutions and enterprises, but also in private business.

For accounting, as an important part of financial management at all levels, the inevitability of improving its efficiency and flexibility arises. Not only due to the needs of fast, timely, most appropriate, and precise accounting procedures and financial transactions, but also as a tool/lever for accelerated development and realisation of the organisation's functions.

For traditional accounting, if it can meet these needs at all, it is a big challenge, and if it does, it will be difficult and slow. In this regard, the possibilities of digital accounting are much

greater, conditioned by its many advantages. The results of a study is published by Dimitrova (2023). Some of them which are the most important and applicable to the field of financial management of the extraction of energy resources are discussed in this article.

How these advantages have been selected and how to introduce and apply digital accounting is shown with an example model that can be adapted according to the specifics of the given case in practice.

1. Brief review and picture since the turn of the century of the European energy resources and raw materials sector, in particular the Bulgarian sector

The state of the mineral industry, in particular the extraction of energy resources and raw materials in Europe and specifically in Bulgaria since the beginning of the century, has been quite dynamic. To some extent, it is representative on a European scale and more so in the Balkan region. This similarity between the countries is determined by the related social processes in the public space in and around Europe due to the increased and increasing mobility of people, especially of the past 1-2 generations, and to a greater extent by the interconnectedness of economies not only between neighbouring countries, but also on a continental scale as well as beyond.

For instance, the data from “Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context” (2023) devoted to the 2030 Agenda for Sustainable Development and its 17 Sustainable Development Goals (SDGs), adopted by the United Nations (UN) in September 2015. As the world’s roadmap for achieving sustainable development in this decade, it has determined “moderate progress” for the SDG 12 ‘Responsible consumption and production’, including extraction of resources and materials for the past five years, as is shown in Figure 1.

Fig. 1. Overview of EU progress towards the SDGs over the past 5 years, 2023

This goal (SDG 12) is linked with the EU’s material footprint, which estimates the global extraction of resources and materials induced by the demand and the consumption of goods and services within the EU. The extraction was on the rise until 2019, but fell in 2020 alongside the reduced economic activity caused by the pandemic. During this period and especially after that, SDG 9 ‘Industry, innovation and infrastructure’ has been characterised with more favourable trends in most of its indicators, including the consumption of the resources and materials of the EU’s industrial sector. Therefore, SDG 9 is shown on a little bit better position better position on Figure 1.

The sustainability of the industry in these conditions in Europe was relatively little shaken and yet substantially influenced by the pandemic, as is shown for the production in industry in Figure 2.

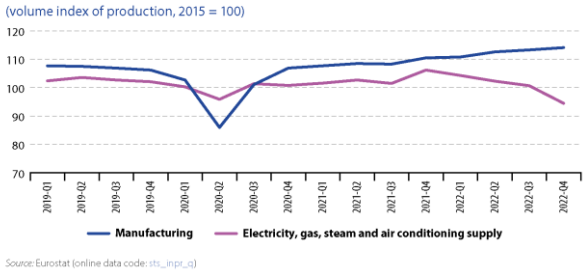


Fig. 2. Production in industry, EU, 2019–2022

Another important factor for the European dynamics, in particular for the extraction and consumption of resources, is the EU’s fallen energy import from Russia after its invasion in Ukraine (Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context, 2023), shown in Figure 3.

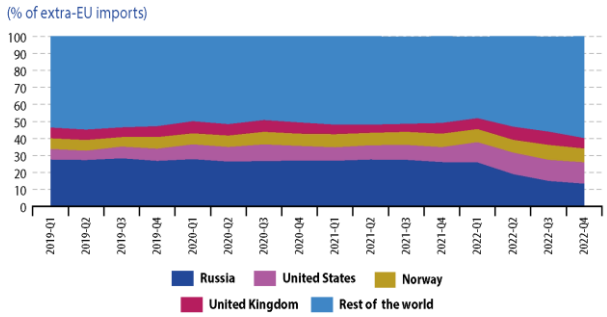


Fig. 3. EU imports of energy products, by partner, 2019–2022

Despite these variations, the resource and energy productivity have increased in the EU over the last decade. Very indicative of the European level of extraction and consumption of raw materials and energy productivity and production are Figure 4 and Figure 5 (ibid).

Fig. 4. Raw materials’ consumption

Fig. 5. EU energy productivity

The observed trends for energy productivity are stronger than for resource productivity, due to a larger decreases in energy consumption than in material use. Between 2016 and 2021, the EU increased its energy productivity by 9.1%, from EUR 7.8 per kg of oil equivalent (kgoe) to 8.5 EUR per kgoe.

The state and dynamics of the mineral raw materials industry in Europe (ibid) since the beginning of the century is illustrated in Figure 6. For individual countries, with a focus in the case of Bulgaria in Figure 7, a relatively moderate increase is characteristic compared to the large growth of this consumption in, for example, Malta, Cyprus and Lithuania. In other countries, such as Austria and Luxembourg, the consumption of raw materials decreased significantly during the studied 5-year period.

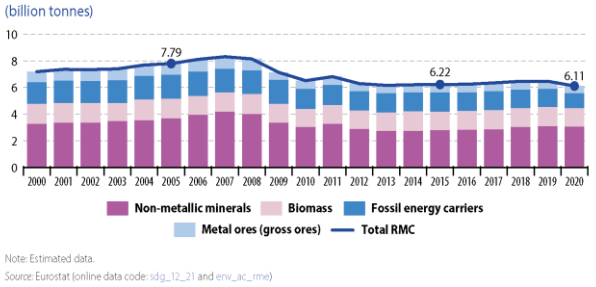


Fig. 6. Raw material consumption, by material, EU, 2000–2020

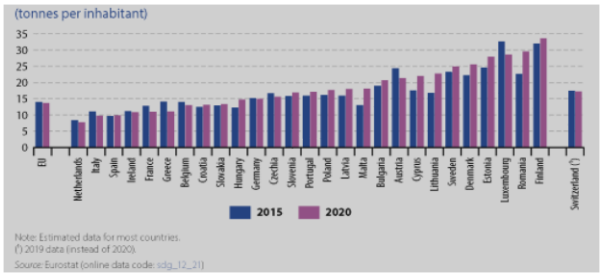


Fig. 7. Raw material consumption, by country, 2015 and 2020

Very indicative for the degree of dynamics of the market of energy resources is one example with an actual fresh picture during the past several months, shown in Figure 8 - the degree of dynamics of crude oil prices depending on the "strength" of the dollar during interest rate fluctuations from the European Central Bank and a standstill by the Fed. Two months earlier, the price of Brent crude was falling from around $87.5 to $72.5 a barrel, but in the past week it increased by 3.4% to $75.67 a barrel (Daily Energy Market Update, 2023).

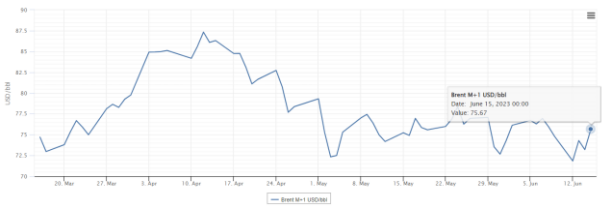


Fig. 8. Dynamics of the market of energy resources / crude oil price, 2023

In all cases, the theme for the dynamics of the extraction and consumption of resources should be considered in environmental and also in climate aspects.

It can be said, on the one hand, that this complex situation of an affected economy and reduced resource extraction has a positive result in reducing the environmental impact. But on the other hand, this effect is mainly related to the priorities and efforts of the European commission, especially the "European Green Deal". In particular, the Green Deal Industrial Plan (2023) seeks to enhance the competitiveness of Europe's NetZero industry and support the fast transition to climate neutrality.

Figure 9 shows air emissions intensity of industry for particulate matter. As seen in the chart, on a national scale in almost all European countries, with the exception of Serbia and Iceland, emissions are reduced compared to 2015. For Bulgaria, the degree of this is comparable to other Eastern European and Balkan countries.

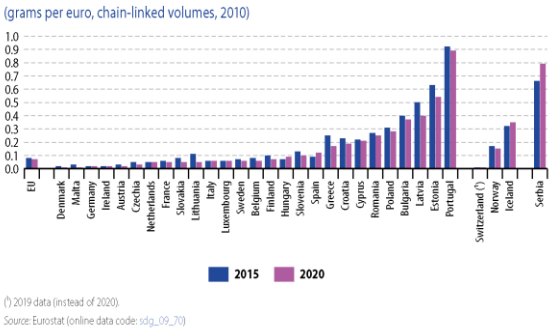


Fig. 9. Air emissions intensity of industry for particulate matter (PM2.5), by country, 2015 and 2020

Let us consider one more aspect: the picture of 2023 of the extraction of energy resources in Bulgaria with the news from 7 Apr 2023. The data are published by Nikolov (2023) - it is shown as an illustration in the caption to Figure 10 - photo from EnergyMarketPrice (Daily Energy Market Update, 2023), related to the news on 15 Jun 2023.

Fig. 10. “Bulgaria risks €10 billion over coal addiction”

And a longer quote: "Bulgaria risks losing €10 billion as politicians continue to be reluctant to carry out reforms for the Green Transition, a move that would ensure Bulgaria continues to produce polluting and expensive electricity from coal and stays uncompetitive”.

Yes, this quote is just one example, but at the end of this short review, it can undoubtedly be said that the situation with the mineral industry, in particular the extraction of energy resources in Bulgaria, is very complex from the economic, political, and social aspects.

This brief review and analysis of the development of the extraction of raw materials and energy resources in Europe and Bulgaria since the beginning of the century, of course, is not comprehensive. These could be much more detailed and comprehensive, but in this case they are sufficient as a basis for presenting the role and possibilities of digital accounting for better financial management by this dynamic development of the mineral and raw materials industry.

2. Essence and applicability of digital accounting in financial management under the conditions of unsustainable extraction of energy resources and materials

Before talking about the nature and advantages of digital accounting (DA), let's show some links which could be considered for illustrating its popularity in various fields of activity recently:

- The DA is part of digitalisation and its impact on the activity of industrial enterprises (Chudaeva et al., 2018).
- The DA could be attributed to the process of formation and development of innovations, for example in the enterprises in Bulgaria (Nikolov, 2019).
- The DA is considered in the context of digitalisation and strategic development of enterprises (Bulkina et al., 2022).
- The DA can even be linked to IoT challenges (Dutton, 2014).

After the traditional definition of "Digital Accounting" referring to the creation, presentation, and transfer of financial information in an electronic format (Fisher, 2020), there has been a great development to its modern essence. The advantages of the DA ~~is~~ are the subject of a number studies and publications (Dimitrova, 2023).

In order to consider and select the advantages of DA, let's choose the most important ones for the topic of this article, and first of all try to answer some key questions:

1). Why and how could the DA help for sustainable management of the energy resources and raw materials?

1.1. The DA is flexible

The DA' flexibility, especially if is organised to use software packages in digital accounting system realised as a cloud-based platform, is conditioned to let log into the system at any time and from anywhere. Practically that allows remote access to the financial data of the given organisation or company, permanently flexible and effective financial management, depending of the needs.

Flexibility is an extremely important characteristic to have in the conditions of unsustainable extraction of energy resources, as it allows:

- easily to increase or decrease the extraction of raw materials and of an energy resource depending on the needs;
- transition from frequently sought to less frequently sought resources that have become attractive resources, even if only in the short term;
- to move from rhythmic to dynamic mining in quantitative terms, so as to reflect as much as possible the variable demand of the market by types of resources;
- flexible approach to payments and other.

For example, if we focus on the question of how to implement a flexible approach to payments?

For this purpose, it can be recommended to categorise the customers/partners of the energy resources market by defining:

A - accurate, proven, trusted customers/partners – for them, flexible interest-free deferred payment can easily be secured through DA. Moreover, the approach to them may involve "crediting" higher quantities of supplied resources/raw materials and levelling the "balance" at a later stage (Figure 11)

Fig. 11. “Crediting” - "balance" at a later stage

B - uncertain customers - the approach to them is a higher share of advance payment for resources and a higher interest rate for late payments. In some cases, even "penalty interest rate" can be applied as a penultimate measure (the last is by court order), if it is legally enforceable and written in the contract. Of course, it must be accompanied by an inapplicability clause if conditions are subsequently met.

C - new customers - approach similar to **A** but not "interest-free deferred payment"; instead, "attractive deferred payment" - with a lower than market interest rate, until the balance of the "scale" is reached.

Given the subject of the article, the "flexibility" advantage of DA deserves some more attention. Flexible contracting with floating interest rate depending on the category of the customer of energy resources, and its transfer from zone A to zone B or back is shown in a sketch in Fig.12.

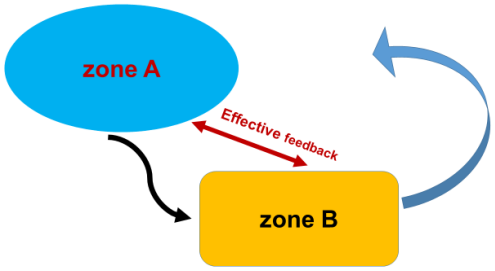


Fig. 12. Flexible contracting sketch

1.2. The speed of DA is high

This is an indisputable and significant advantage of DA compared to traditional accounting - at least several times faster accounting operations, especially emphasised in the several times more complex payment schemes for "flexible contracting and supplies", noted above.

1.3. Certainty is guaranteed

It is guaranteed in a high degree with a differentiated approach to negotiation and delivery to the different categories of counterparties (A, B, C).

2). Why and how could the DA contribute to the stabilisation of the energy resources extraction?

2.1. The use of DA can contribute to the calming, even to the growth, of the extraction of energy resources and raw materials, because:

- payments will be stabilised through easier invoicing and payment tracking, prevention of delays and duplication;

- through DA, it is possible to react to price fluctuations on the market of energy resources and raw materials much faster compared to classical accounting;
- through DA, the balance discussed above will be reliably and precisely achieved, and the financial status of the company extracting energy resources and raw materials will be updated in a timely manner, depending on the demand and supply on the market.

2.2. ***When using DA in financial management, reliability and scalability are very good because:***

- the influence of the human factor is reduced, the errors made in traditional accounting practices are avoided even when people provide accurate data and are careful and diligent in their work;
- very accurate results are achieved thanks to DA's automated software, which makes it undeniably much better, even more so with the dynamics in the scalability of the transactions of the company extracting energy resources and raw materials with its clients, thus ensuring high reliability in the financial management.

3. Mechanism to introduce and apply the digital accounting in the energy resources and raw materials industry

When we talk about energy resources and raw materials industry and market, it is appropriate and expedient to consider the issue on a broader scale than the national one. In this case, it is appropriate to take into account the conditions in Bulgaria and the Balkan region, taking into account the market opportunities and interests both in the country and the exchange with neighbouring countries.

The research done in the field of digital accounting systems shows a variety of approaches and models for their implementation and use. In most cases, separate digital accounting is carried out in each individual organisation or company. There are various specialised software products, it is appropriate for larger structures and corporations to use, for example, the so-called management model for sharing accounting (Chen, 2021).

A sequence of steps can be outlined in a mechanism to introduce and apply the digital accounting in the energy resources and raw materials industry:

i. First of all, it is necessary to study, characterise, and group the existing and potential new customers of energy resources or/and raw materials;
ii. Next is the creation of a specific DA model for each group based on the selected most suitable software and preparation for its implementation in a suitable cloud platform;
iii. Organising the implementation of the specific model for each group in communication with the cloud platform.

An example sketch of a model suitable to introduce and apply the DA in the energy resources and raw materials' industry in a state-owned enterprise is shown in Figure 13.

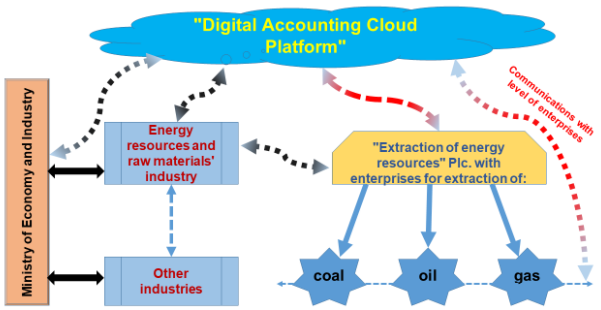


Fig. 13. Sketch of a model for apply the DA in the energy resources and raw materials industry

It is important to pay attention to the following features on the sketch:

- What is basic is the direct connection between "Digital Accounting Cloud Platform" and "Extraction of energy resources" Plc. for the implementation of digital accounting and financial management of the joint-stock company;
- the connection of "Digital Accounting Cloud Platform" with extraction enterprises is working parallel to the basic one for direct use of DA at the enterprise level. In this way, DA will meet "cloud information" with incoming accounting information from every enterprise, which will increase the degree of internal control, reliability, and security of financial operations and overall financial management of the Plc.;
- the connection of "Extraction of energy resources" Plc. with the direction of "Energy resources and raw materials industry" and from there with the Ministry of Economy and Industry is functionally with the possibility of digital accounting exchange if necessary;
- the direct connections of the direction "Energy resources and raw materials' industry" and the other directions (to a lesser extent also between the directions) are functionally in the Ministry of Economy and Industry;
- the links of the Ministry of Economy and Industry and the directions in it to/from the "cloud" are informative but potentially possible for digital accounting exchange if they are all unified as software in communication with this "Digital Accounting Cloud Platform".

Of course, this model is not presented as generally valid for the practice of extracting energy resources and raw materials, but as an example it can be adapted and applied to specific cases in the country.

4. Conclusion

In general, it can be summarised that this article demonstrates, on the one hand the possibilities and advantages of digital accounting over traditional accounting, especially in terms of flexibility, speed, accuracy, security, and reliability of accounting operations and financial management of a given organisation or company.

On other hand, the article develops on and argues on the importance of the introduction and use of digital accounting to improve financial management in one of the leading sectors of the economy and industry - the extraction of energy resources

and raw materials in Bulgaria, including with regard to their exchange with other countries, especially in the Balkan region and on a European scale.

This is done against the background of a brief review of the state and development of the sector over the years since the turn of the century in a European scope and with some indicators for Bulgaria. The dynamics and the real picture are shown, allowing an analysis of the unstable state in the sector in recent years, under the influence of military actions in the centre of Europe, the refugee wave, and the emigrant pressure on the southern borders of the European Union.

The article discusses why and how, under these conditions, the introduction and use of digital accounting can contribute to the stabilisation of extraction of energy resources and raw materials and to the improvement of financial management.

It also presents the mechanism and a model for applying digital accounting in a joint-stock company for the extraction of energy resources and raw materials, and the enterprises to it, with connections at the ministry level, based on the "Digital Accounting Cloud Platform".

The above is presented as an example that can and is recommended to be adapted, specified, and applied in given cases from the practice of the extraction of energy resources and raw materials in this country.

Acknowledgements

The author thanks the R&D Sector and the Financial Department of Technical University of Sofia for the opportunity to participate in the financial management of projects under the programmes of EU, which contributes to gaining experience and improving her qualification.

References

Bulkina, I., M. Chepeliuk, A. Kripkyi. 2022. The Role of Global Digitalization in the Strategic Development of the Enterprise. – *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*, 31(3), 81-93.

Chen, Y. (2021) Framework of the Smart Finance and Accounting Management Model under the Artificial Intelligence Perspective, Hindawi **-** *Mobile Information Systems,* Volume 2021, Article ID 4295191, 11 p., https://doi.org/10.1155/2021/4295191

Chudaeva, A., V. Mantulenko, P. Zhelev, R. Vanickova. 2018. Impact of Digitalization on the Industrial Enterprises Activities, SHS Web of Conferences 62, 03003 (2019), Problems of Enterprise Development: Theory and Practice 2018, https://doi.org/10.1051/shsconf/20196203003

Daily Energy Market Update. 2023. *Crude oil prices soared on Thursday, against a backdrop of a weaker dollar following a rate hike by the ECB*, https://www.energymarketprice.com/home/news?id=43658

Dimitrova, V. 2023. Digital Accounting - a Challenge and Opportunities for New Vision in Favour of Cutting-Edge Financial Management in State/Municipal Organisations. - *WARSE International Journal of Networks and Systems (IJNS)*, Volume 12, No.3, April – May 2023 https://doi.org/10.30534/ijns/2023/011232023

Dutton, W. 2014. Putting things to work: social and policy challenges for the Internet of things. - *info, Vol. 16 No. 3, 1-21*. https://doi.org/10.1108/info-09-2013-0047

Fisher, V. (2020) What is Digital Accounting? https://fullyaccountable.com/what-is-digital-accounting/

Nikolov, K. 2023. Bulgaria risks €10 billion over coal addiction. https://www.euractiv.com/section/politics/news/bulgaria-risks-e10-billion-over-coal-addiction/

Nikolov, B. 2019. Possibilities and restrictions in forming and development of the innovative potential of the Enterprises in Bulgaria. - *International Scientific Journal "Innovations"*, Year V, Issue 1, 6-8.

Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context – 2023 edition, Monitoring report Eurostat (May 2023) Sustainable development in the European Union *KS-04-23-184-EN-N.pdf*.

DYNAMIC DETERMINISTIC FACTOR ANALYSIS OF LABOUR PRODUCTIVITY IN THE BULGARIAN MINING INDUSTRY

Veselin Mitev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: v.mitev@mgu.bg

ABSTRACT. This article presents a dynamic deterministic factor analysis of labour productivity in Bulgarian mining industry for the 2008 - 2021 period. The objective of this article is to reveal the quantitative impact of the factors of operating income and number of employed persons on the development of the indicator for labour productivity in the Bulgarian mining industry using the averaged chain substitution method. Quantitative impacts of net operating income and number of employed persons on the evolution of the indicator of labour productivity in the mining industry have been identified. The results of the deterministic factor analysis allowed us to draw reasonable conclusions and to reveal the trends of development of the factors of operating income and number of employed persons as well as of the factor of labour productivity in Bulgarian mining industry.

Key words: Bulgarian mining industry, labour productivity, dynamic deterministic factor analysis, averaged chain substitution method.

ДИНАМИЧЕН ДЕТЕРМИНИРАН ФАКТОРЕН АНАЛИЗ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ТРУДА В БЪЛГАРСКАТА МИННАТА ИНДУСТРИЯ

Веселин Митев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В доклада е представен динамичен детерминиран факторен анализ на производителността на труда в българската минната индустрия за периода 2008 – 2021 г. Целта на настоящия доклад е да се разкрият количествените влияния на факторите приходи от дейността и брой на заетите лица върху развитието на показателя производителност на труда в българската минна индустрия чрез усреднения метод на верижните замествания. Идентифицирани са количествените влияния на нетни приходи от дейността и брой на заетите лица върху изменението на показателя производителност на труда в минната индустрия. Резултатите от детерминираният факторен анализ позволяват да се изведат обосновани изводи и да се разкрият тенденциите в развитието на факторите приходи от дейността и брой на заетите лица, а също и на показателя производителност на труда в българската минна индустрия.

Ключови думи: българска минна индустрия, производителност на труда, динамичен детерминиран факторен анализ; усреднен метод на верижните замествания.

Introduction

In recent years, Bulgarian mining industry achieved labour productivity levels that were among the highest both at industrial sector scale and on national economy scale. The increased global production and consumption of metals and energy raw materials proved to be favourable to the development of extraction and processing of subsurface natural resources and, in turn, to the achieved labour productivity in the mining industry. The absence of specialised developments related to the analysis of labour productivity in the Bulgarian mining industry is an obstacle to finding practical solutions to specific complex issues, such as human resources, staff motivation, and factors affecting labour productivity in mining enterprises. It is necessary to clearly outline the trends in the development of the indicator of labour productivity in the Bulgarian mining industry against the background of the increased consumption of the products of mineral raw materials and the growing economic activity of economic entities. According to Kostadinova and Vladkova (2022), “in recent years, the topic of introducing flexible working hours and teleworking is increasingly finding its place in search of modern effective methods to increase productivity in the industrial sector”. This has become particularly relevant in the past two years when, due to the pandemic, a major part of staff had the opportunity to fulfil their duties from home.

At present, we have sufficient statistical information of a macro- and microeconomic nature on past processes and events, based on which we can build trends and outlooks on the future development of that indicator for the Bulgarian mining industry.

The purpose of this article is to present the results and to reveal the quantitative impact of the factors of operating income and number of employed persons of the enterprises from the Bulgarian mining industry on the performance indicator of labour productivity in the Bulgarian mining industry using the averaged chain substitution method for the period 2008-2021.

Research methods and methodology

According to Bartholomew (1984), “deterministic modelling of factor systems is a simple and effective means of formalising the relationship of economic indicators, which serves as a basis for quantifying the quantitative influence of individual factors in the change of the performance indicator”. If we may add, according to Joreskog and Sorbom (1979), “due to the fact that deterministic factor analysis is aimed at identifying the influence of the change in the factors on the change in the value of the resultative indicator of interest, excluding error, it is most relevant for practical application in market conditions”.

The indicator of labour productivity of the Bulgarian mining industry is characterised by the two-factor deterministic multiple model, which has the following form:

$$LP = \frac{R}{N}, \quad (1)$$

where:
R is the operating income of the mining industry sector, in BGN thousands;
N is the number of persons employed in the mining industry sector.

Deterministic factor analysis

Deterministic factor analysis (DFA) is a branch of economic analysis. Its aim is to directly, accurately, and unambiguously quantify the effect that the absolute changes of the participating factor variables (factors) exert on the absolute change of the performance (resultative) indicator in mathematically deterministic factor models.

The types of factor model depend on the type of mathematical dependence describing the relationship between the performance (resultant) indicator (*P*) and the participating factor variables ($a, b, c, \ldots$) in a mathematically deterministic factor model.

In the practice of deterministic factor analysis, the following types of factor model are known:

- *additive or different models* – in them, the resultative indicator is the sum or difference of the factor variables involved, namely: $P = a \pm b \pm c \pm \cdots$;
- *multiplicative models* – here, the resultative indicator is the product of the factor variables involved, namely: $P = a * b * \ldots$;
- *multiple model* – here, the resultative indicator is the quotient of the factor variables involved, namely: $P = \frac{a}{b}$;
- *mixed (combined) models* – these are combinations of additive or different, multiplicative or multiple factor models and can be as follows: multiplicative-multiple, additive or different-multiple, additive or different-multiplicative, and additive or different-multiplicative-multiple models.

In DFA, the following methods have been developed for quantifying the impact of the factors in mathematically deterministic factor models:

- the differential method;
- the coefficient method;
- the chain substitution method;
- the absolute differences method;
- the relative differences method;
- the equity participation method;
- the method of simple addition of an “indecomposable remainder”;
- the weighted finite difference method;
- the logarithmic method;
- the method of increment division into factors;
- the integral method;
- the index method.

Each of the DFA methods has its stages outlined, a specific application, limitations, capacities, advantages, and disadvantages. All these methods are presented in detail in the scientific and educational literature in the field of DFA. Unfortunately, none of the above methods achieves accuracy and unambiguity when it comes to the distribution of the so-called “indecomposable remainder” among the individual quantitative influences of factor variables on the absolute change of the resultative indicator. This “indecomposable remainder” is the result of the simultaneous (combined) change of factor variables in the presence of a multiplicative or multiple (relative) element in the type of factor model. The various DFA methods employ different means of distributing the “indecomposable remainder” among the individual factor influences.

Averaged chain substitution method

The averaged chain substitution method is a new DFA method characterised by absolute accuracy and unambiguousness of the results, and it is universally applicable to all factor models.

The stages, essence, advantages, disadvantages, and results of the approbation of the average method of chain substitutions is presented by Mitev (2020, 2021, 2022, 2023). Unlike the other DFA methods, the averaged chain substitution method has complete universality of application and absolute accuracy and clarity for all types of factor model when quantifying the individual factor influences of the involved factor variables on the absolute change of the performance indicator (ΔP).

For the purposes of dynamic deterministic factor analysis, the analysed period is divided into sub-periods.

The changes of the performance indicator (ΔLP) and of the participating factor variables operating income (ΔR) and number of employed persons (ΔN) during the analysed sub-periods can be represented by the following expressions:

$$\Delta LP_t = LP_t - LP_{t-1}; \quad (2)$$

$$\Delta R_t = R_t - R_{t-1}; \quad (3)$$

$$\Delta N_t = N_t - N_{t-1}; \quad (4)$$

where:
t is the index of the *t*th value of the performance indicator and of the participating factor variables over time, $t = 0, 1, 2, \ldots, T$;
t_0 and t_T are the beginning and the end of the whole analysed period respectively;
t_{t-1} and t_t are the beginning and the end of the *t*th sub-period respectively.

The index of the *t*th sub-period takes values between *0÷1* and *t-1÷T* ($t-1 \div t = 0 \div 1, 1 \div 2, 2 \div 3, \ldots$).

From here, it is easy to perform a dynamic DFA of the performance indicator for the whole period and for individual sub-periods.

The **methods applied** in the development of this study were: the methods of analysis and synthesis, a systematic approach, the method of comparison, and the averaged chain substitution method.

Dynamic deterministic factor analysis of operating income per employed person in the mining industry for the period 2008-2021

For multi-factor models, such as the labour productivity mathematical model, it is characteristic that the averaged chain substitution model is the only accurate among all DFA models. It was developed and published by the author between 2020 and 2023. In this model, individual quantitative impacts of changes in the factor variables on the change in the performance indicator, according to Mitev (2020, 2021, 2022, 2023) are determined by the following expressions:

$$\Delta LP_{(R)} = \frac{\Delta R}{2}\left(\frac{1}{N_0} + \frac{1}{N_1}\right); \quad (5)$$

$$\Delta LP_{(N)} = \frac{R_1 + R_0}{2}\left(\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_0}\right). \quad (6)$$

The necessary data for performing the dynamic deterministic factor analysis of labour productivity in the mining industry for the period 2008-2021 were taken from the INFOSTAT system of the National Statistical Institute of Bulgaria.

The input data and the results obtained from the dynamic deterministic factor analysis of the indicator operating income per employed person in the mining industry using the averaged chain substitution method by year and for the entire 2008 - 2021 period are shown in Table 1.

A check that the absolute change in the performance indicator is equal to the sum of the two factor influences shows some minor errors far behind the decimal point. This confirms the high accuracy of the averaged chain substitution method.

Conclusion

For the entire analysed period 2008-2021, the operating income per employed person in the mining industry increased by BGN 72.081 thousand, i.e. by 53.52%. The decrease in operating income by BGN 8.325 thousand (0.21%) has led to decrease in labour productivity by BGN 0.354 thousand/employee (0.26%). The decrease in the number of employed persons by 10.448 thousand employees, i.e. by 35.00% improved labour productivity by BGN 72.434 thousand/employed person or 53.78%.

Hence, the decrease in the number of employees in the mining sub-sector plays a key role in the increase in labour productivity. The decrease in operating income over the analysed period has an insignificant negative effect on the change in labour productivity, namely by only BGN 354 per employee. The lack of growth of operating income does not help to improve this key indicator.

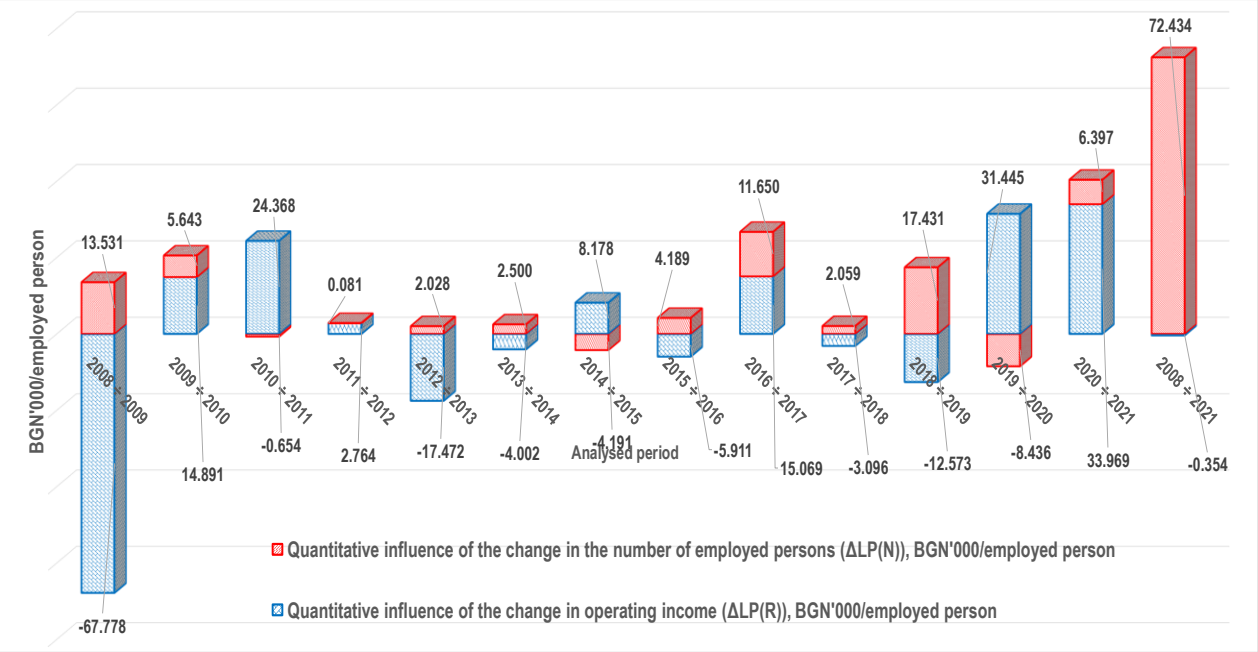


Fig. 1. Quantitative impacts of the factors operating income and number of employed persons on changes in the indicator operating income per employed person in the mining industry by sub-periods calculated using the averaged chain substitution method

Table 1. *Input data and results obtained from the dynamic deterministic factor analysis of the indicator of operating income per employed person in the mining industry using the averaged chain substitution method by sub-periods and for the entire 2008 - 2021 period*

Input data

Indicators	Year													
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Operating income (Rt), BGN'000	4 020 688	2 122 084	2 502 713	3 108 505	3 177 390	2 745 745	2 648 808	2 848 348	2 704 084	3 048 475	2 981 356	2 727 440	3 341 833	4 012 363
Number of persons employed (N_t), , num.	29 854	26 384	24 788	24 932	24 916	24 498	23 954	24 862	23 963	21 843	21 522	19 022	20 084	19 406
Income from the activity per one employed person (LPt), BGN'000/employed person	134.678	80.431	100.965	124.679	127.524	112.080	110.579	114.566	112.844	139.563	138.526	143.383	166.393	206.759

Source: INFOSTAT (NSI, 2023), compiled by the authors.

Analysis results

Indicators	Analysed period													
	2008 ÷ 2009	2009 ÷ 2010	2010 ÷ 2011	2011 ÷ 2012	2012 ÷ 2013	2013 ÷ 2014	2014 ÷ 2015	2015 ÷ 2016	2016 ÷ 2017	2017 ÷ 2018	2018 ÷ 2019	2019 ÷ 2020	2020 ÷ 2021	2008 ÷ 2021
Absolute change in operating income ($\Delta R=R_t - R_{t-1}$), BGN'000	-1 898 604	380 629	605 792	68 885	-431 645	-96 937	199 540	-144 264	344 391	-67 119	-253 916	614 393	670 530	-8 325
Relative change in operating income ($\%R=\Delta R*100/R_{t-1}$), %	-47.22%	17.94%	24.21%	2.22%	-13.58%	-3.53%	7.53%	-5.06%	12.74%	-2.20%	-8.52%	22.53%	20.06%	-0.21%
Absolute change in the number of employed persons ($\Delta N=N_t - N_{t-1}$), бр.	-3 470	-1 596	144	-16	-418	-544	908	-899	-2 120	-321	-2 500	1 062	-678	-10 448
Relative change in the number of employed persons ($\%N=\Delta N*100/N_{t-1}$), %	-11.62%	-6.05%	0.58%	-0.06%	-1.68%	-2.22%	3.79%	-3.62%	-8.85%	-1.47%	-11.62%	5.58%	-3.38%	-35.00%
Absolute change in Income from the activity per one employed person ($\Delta LP=LP_t - LP_{t-1}$), BGN'000/employed person	-54.248	20.534	23.715	2.845	-15.444	-1.501	3.987	-1.722	26.719	-1.037	4.857	23.009	40.366	72.081
Relative change in Income from the activity per one employed person (%LP=ΔLP*100/LPt-1), %	-40.28%	25.53%	23.49%	2.28%	-12.11%	-1.34%	3.61%	-1.50%	23.68%	-0.74%	3.51%	16.05%	24.26%	53.52%
Quantitative influence of the change in operating income ($\Delta LP_{(R)}$), BGN'000/employed person	-67.778	14.891	24.368	2.764	-17.472	-4.002	8.178	-5.911	15.069	-3.096	-12.573	31.445	33.969	-0.354
Quantitative influence of the change in operating income ($\%LP=\Delta LP(R)*100/LP_{t-1}$), %	-50.33%	18.51%	24.14%	2.22%	-13.70%	-3.57%	7.40%	-5.16%	13.35%	-2.22%	-9.08%	21.93%	20.42%	-0.26%
Quantitative influence of the change in he number of employed persons ($\Delta LP_{(N)}$), BGN'000/employed person	13.531	5.643	-0.654	0.081	2.028	2.500	-4.191	4.189	11.650	2.059	17.431	-8.436	6.397	72.434
Relative influence of the change in he number of employed persons ($\%LP=\Delta LP(N)*100/LP_{t-1}$), %	10.05%	7.02%	-0.65%	0.06%	1.59%	2.23%	-3.79%	3.66%	10.32%	1.48%	12.58%	-5.88%	3.84%	53.78%
Complex influence: $\Delta LP = \Delta LP_{(R)} + \Delta LP_{(N)}$, BGN'000/employed person	-54.248	20.534	23.715	2.845	-15.444	-1.501	3.987	-1.722	26.719	-1.037	4.857	23.009	40.366	72.081
Verification: $\Delta LP=\Delta LP_{(R)} + \Delta LP_{(N)}$	True	True	True	False	True	False	True	False	True	True	False	True	True	True
Error value, BGN'000/employed person	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Проверка: $\%LP=\%LP_{(R)}+\%LP_{(N)}$	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
Relative error value, %	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%	0.000000%

The results of the dynamic deterministic factor analysis show that the mining industry did not manage to achieve the level of operating income before the onset of the financial and economic crisis of 2008, the decrease in the number of employed persons in the industry by 10.448 thousand employees or 35.00% is the main factor for the improvement of labour productivity in the mining industry by 72.081 or 53.52%.

The main efforts to improve labour productivity in the Bulgarian mining industry should be aimed at increasing revenue from the sale of products by looking for new domestic and foreign markets.

References

Bartholomew, D. J. 1984. The foundations of factor analysis. - *Biometrika*, 71, 221-232.

Joreskog, K. G., D. Sorbom. 1979. *Advances in factor analysis and structural equation models*. Cambridge, MA: Abt Books.

Kostadinova, N., B. Vladkova. 2022. The Role of Flexible Working Time as a Factor for Work Conditions. - *Annual of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”*, 65, 159-165.

Mitev, V. 2020. Averaged Chain Substitution Method. - *Economic and social alternatives = Ikonomicheski i sotsialni alternativi*, 4, 90-100 (in Bulgarian with English abstract). https://doi.org/10.37075/ISA.2020.4.09.

Mitev, V. 2021. Averaged Chain Substitution Method – Applicability, Advantages, and Disadvantages. *Economic and social alternatives = Ikonomicheski i sotsialni alternativi*, 2, 127-138 (in Bulgarian with English abstract). https://doi.org/10.37075/ISA.2021.2.08.

Mitev, V. 2023. Dynamic deterministic factor analysis using the averaged chain substitution method. *Economic and social alternatives = Ikonomicheski i sotsialni alternativi*, 4, 90-100 (in Bulgarian with English abstract). https://doi.org/ 10.37075/ISA.2023.1.11.

Mitev, V. Ts. 2022. Approbation of the averaged method of chain substitutions for three- and four-multiples and multiplicative-multiples factor models. *Finance: Theory and Practice*. 26(6), 166-174. https://doi.org/10.26794/2587-5671-2022-26-6-166-174 (in English and Russian).

INFOSTAT - Information system of National Statistical Institute of Bulgaria, https://infostat.nsi.bg/infostat/pages/reports/query.jsf?x_2=789 (accessed 30 April 2023).

ANALYSIS OF THE DEMAND, SUPPLY, AND PRICES OF CRUDE OIL FOR THE PERIOD 2010 ÷ 2022

Veselin Mitev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: v.mitev@mgu.bg

ABSTRACT. The study presents world demand and supply of crude oil for the period 2010 ÷ 2022 and the forecast of the US Energy Information Administration (U.S. EIA) for 2023 and 2024. World proven crude oil reserves at the end of 2021 are presented according to data by OPEC. The change in average annual crude oil prices for the period 2004 ÷ 2022 and in the average monthly prices for the period January 2004 ÷ April 2022, according to OPEC and U.S. EIA, are also analysed. The US Energy Information Administration's long-term forecast for the world consumption and for the change in crude oil prices by 2050 is presented. Key factors influencing crude oil demand, supply, and prices are outlined.

Key words: world demand and supply of crude oil; crude oil prices; key factors influencing crude oil prices.

АНАЛИЗ НА ТЪРСЕНЕТО, ПРЕДЛАГАНЕТО И ЦЕНИТЕ НА СУРОВ ПЕТРОЛ ЗА ПЕРИОДА 2010 ÷ 2022 Г.

Веселин Митев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В доклада е представено световно търсене и предлагане на суров петрол за периода 2010 ÷ 2022 г. и прогноза на Американската информационна администрация по енергетика за 2023 и 2024 г. Представени са доказаните геоложки запаси от суров петрол към края на 2021 г. по данни на ОПЕК. Анализирано е изменението на средногодишните цени на суровия петрол за периода 2010 ÷ 2022 г. и на средномесечните цени по данни на ОПЕК за периода Януари 2010 ÷ Април 2022 г. Представена е дългосрочната прогноза на американската информационна агенция по енергетика за световното потребление и изменението на цените на суровия петрол до 2050 г. Изведени са основните фактори, оказващи влияние върху търсенето, предлагането и цените на суровия петрол.

Ключови думи: световно търсене и предлагане на суров петрол; цени на суровия петрол; ключови фактори, влияещи върху цените на суровия петрол.

Introduction

Forecasting crude oil demand, supply, and prices is an important factor in the development of national, community, and world economic systems. Numerous global, national, and industry agencies, banks, and organisations around the world prepare and periodically update their medium-term, long-term, and ultra-long-term forecasts concerning the production, consumption, and prices of this extremely important raw material in highly dynamic market conditions as a result of a highly dynamic economic and political situation.

The purpose of this paper is to analyse the accumulated historical information in order to reveal the factors and trends for the future development of demand, supply, and prices of crude oil worldwide.

Global oil demand and supply

There are two best renowned institutions that prepare and update their forecasts concerning global production and consumption, as well as prices of energy sources, and in particular of crude oil, namely: the U.S. Energy Information Administration (U.S. EIA) and the global International Energy Agency (IEA), which currently has 31 members, 11 associated countries, and 4 countries in the process of accession. Unfortunately, Bulgaria is not among them.

Figure 1 shows changes in the global production and consumption of crude oil for the period 2010 ÷ 2022 and the forecasts of the Organisation of Petroleum Exporting Countries (OPEC) for 2023 and 2024. The figure is based on OPEC data (OPEC, 2023).

The data presented in Figure 1 show that the demand and supply of crude oil fell sharply in 2020 due to the outbreak of the Covid-19 pandemic and the almost complete shutdown of the transport sector. In 2021, supply and demand grew rapidly and in 2023, they are expected to exceed 2019 levels.

According to OPEC data, the organisation's oil production in 2021 amounted to 31.6 mb/d. Global oil production was 95.2 mb/d. This means that OPEC member countries produced about 33.19% of global production.

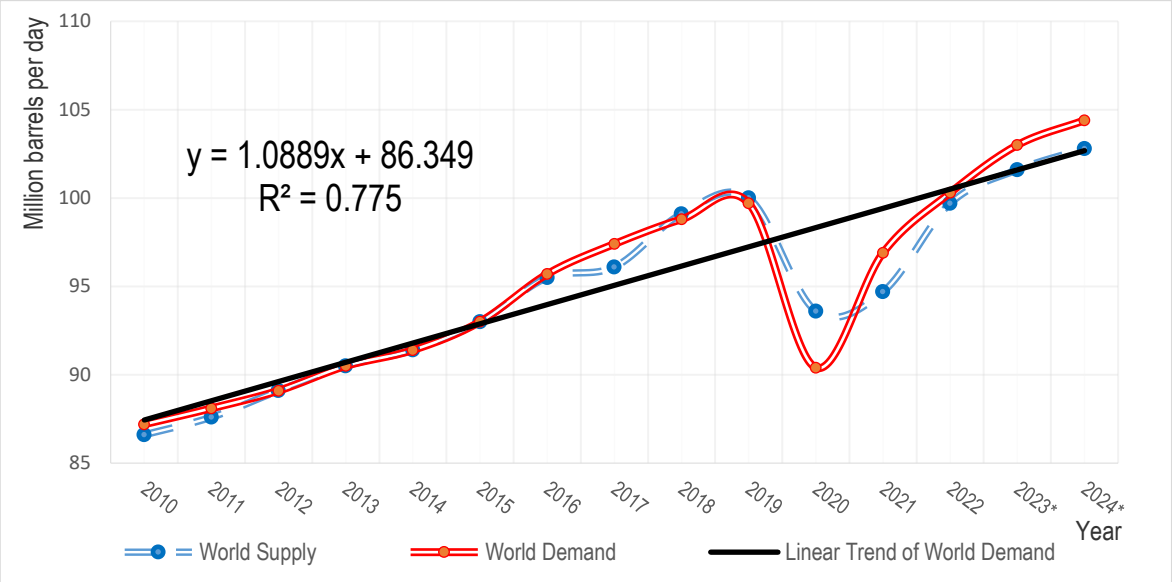


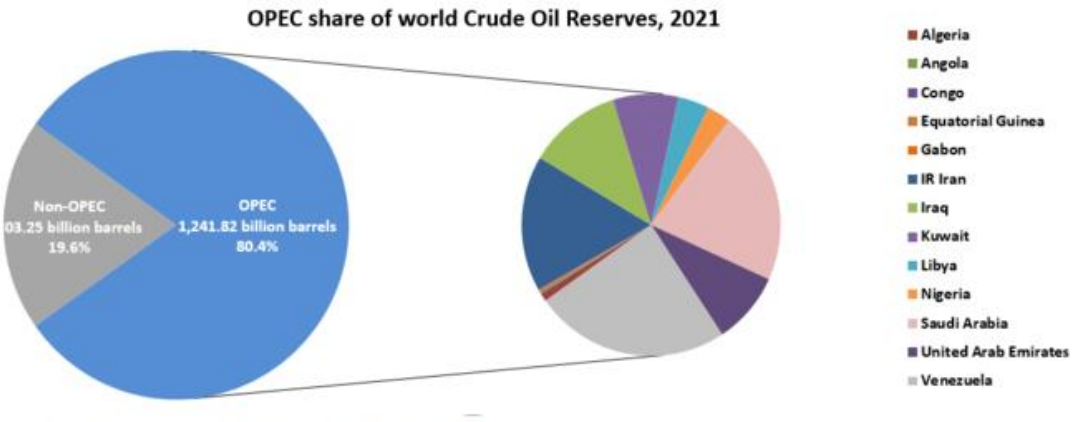
Fig. 1. World production and world consumption of crude oil and other liquids per day for the period 2010 ÷ 2022 and projection for 2023 and 2024.

The OPEC forecast for 2023 and 2024 shows an increase in oil production to levels of 101.6 mb/d in 2023 and 102.8 mb/d in 2024, which is about 1.18% CAGR of production.

The derived linear trend of world demand shown in Figure 1 is growing during the analysed period and is characterised by a high coefficient of determination of 0.775 and a corresponding correlation coefficient of 0.8803.

Proved geological reserves of crude oil

According to OPEC data, at the end of 2017, nearly 81.89% of all proved geological reserves of crude oil in the world were located in deposits on the territory of OPEC member countries. The data for the end of 2021 are shown in Figure 2.



OPEC proven crude oil reserves , at end 2021 (billion barrels, OPEC share)

Venezuela	303.47	24.4%	United Arab Emirates	111.00	8.9%	Algeria	12.20	1.0%	Equatorial Guinea	1.10	0.1%
Saudi Arabia	267.19	21.5%	Kuwait	101.50	8.2%	Angola	2.52	0.2%			
IR Iran	208.60	16.8%	Libya	48.36	3.9%	Gabon	2.00	0.2%			
Iraq	145.02	11.7%	Nigeria	37.05	3.0%	Congo	1.81	0.1%			

Source: OPEC, (2023). *Annual Statistical Bulletin 2022.*

Fig. 2. OPEC share of world crude oil reserves, at the end of 2021.

As of the end of 2021, OPEC countries held about 80.4% of the world's proved geological reserves, with approximately 67.1% of them located in the Persian Gulf region.

The proved reserves of crude oil at the end of 2021 were estimated at 1545 billion barrels, which, at the existing global consumption rate, will be enough for about 42.3 years. The most significant reserves are: Venezuela – 303.47 billion barrels (24.4%), Saudi Arabia – 267.19 billion barrels (21.5%), Iran – 208.60 billion barrels (16.8%), Iraq – 145.02 billion barrels (11.7%), UAE 101.50 billion barrels (8.9%), Kuwait – 101.5 billion barrels (8.2%), etc., as shown in Figure 2.

It is an interesting fact that in the past 60 years, the proved reserves of crude oil in the world have tripled despite the increased production. This is due to the significant amount of geological exploration activities, as a result of which new deposits of this valuable raw material are constantly being discovered and proved.

Analysis of the changes in crude oil prices

The price of crude oil depends on both its quality and its location, and of course on a whole complex of geopolitical, economic, and market factors. Periodic cartel agreements between OPEC members and Russia also have a significant impact on the price. The purpose of these agreements is to limit oil production in order to raise its price. It should be pointed out that the price of oil has shown significant dynamics within the past and the current century.

Figure 3 shows the changes in the average annual prices of crude oil for the period 2004 ÷ 2023 as of January 1 of the respective year. Figure 3 is based on OPEC data (OPEC Backed Yearly Price, 2023).

The data in Figure 3 shows that the annual prices of crude oil in the period 2004 ÷ 2021 are characterised by extremely high dynamics.

As a result of the 2008 ÷ 2009 global financial and economic crisis, oil prices skyrocketed reaching a record high of US$131.22 per barrel in July 2008. Periods of decline and rise followed. As of February 2016, a 30-year low of US$29.61 per barrel was reported. On April 22, 2020, the price of American light crude oil West Texas Intermediate (WTI) with delivery in May even fell to minus 37.63 US$/b on commodity exchanges due to the lack of free storage volumes. Since then, the price of oil has risen sharply and in April 2023 it exceeded 80 US$/b.

Disrupted supplies of natural gas from Russia to Europe after the hostilities in Ukraine have raised the price not only of oil, but also of natural gas.

The price of oil has a significant impact on the price of natural gas in Bulgaria, albeit with a delay of several months. The reason is the formula used to determine the price of natural gas, which takes into account the prices of all alternative fuels. It is also a fact that over the past year, the situation on the gas market has changed abruptly. Additional sources are now available, not just so-called "pipeline" gas, and this is forcing producers to gradually comply with customers' demands.

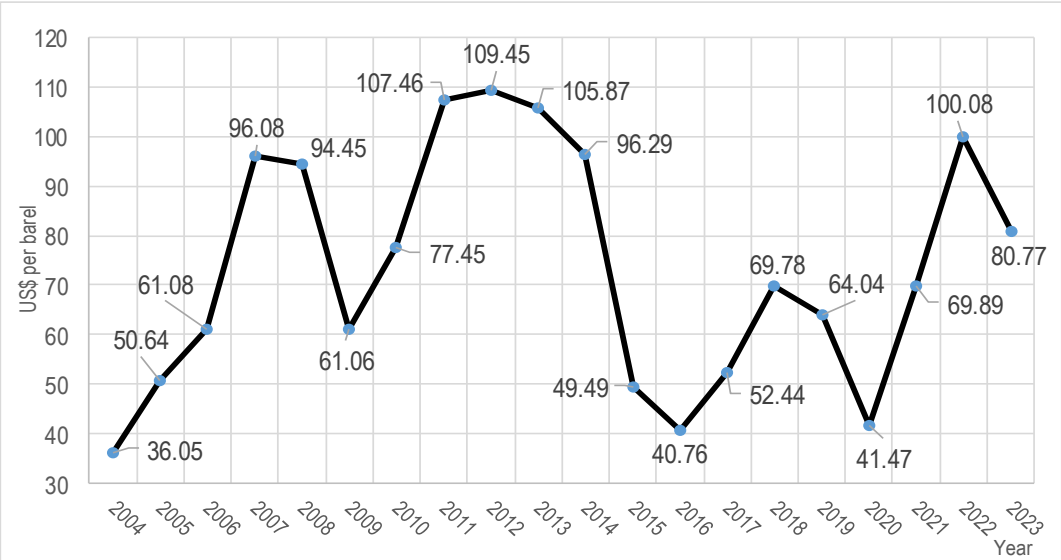


Fig. 3. Annual crude oil prices for the period 2004 – 2023, as of 01 January of the year

The World Trade Organization (WTO) and the European Union cooperate on a global scale to reduce trade barriers by reducing tariffs, fees, and other restrictions, harmonising trade rules by implementing international standards, overcoming conflicts of interest by creating mutually beneficial trading conditions. The main activity of the WTO is based on open trade, which is based on commercial interests. The policy of the European Union is aimed at diversifying the sources of natural gas and oil and encouraging free competition.

Crude oil, natural gas, and coal are of strategic importance for the global energy balance, the exploration and exploitation of which require significant investment, operational and transport costs. Over the past 10 years, total oil consumption has increased by more than 15%. It is largest in developed industrial countries, such as the USA, China, Japan, Germany, France, and Italy. Studies that were conducted have shown that with an increase in economic activity in the world by 1%, the global consumption of energy carriers rises by an average of 0.5%. It is expected that in 2030, the quality of life of about 80% of the planet's population will depend heavily on the energy resources used.

The global demand and supply of energy carriers mainly depends on the development of the world economy, the growth rates of individual sectors, the increase in the number of the planet's population, the increase in explored and proved geological reserves, and the mining capacities and transport facilities built in different countries. A slowdown in Chinese economy, which produces about 30% of the world's output, predetermines a contraction in the consumption of energy carriers. The main indicator of the world economy being provided with sufficient energy raw materials is the ratio between the amount of proved geological reserves and the level of their extraction. As mentioned before, proved geological reserves are increasing annually, and the expected contraction of global production in 2023 shall lead to an increase in the supply of crude oil. This predetermines a natural drop in the price of oil.

Global oil trade covers export and import both worldwide and within individual regions and countries. The state of the world markets is mainly determined by the influence of a number of economic and political factors. The largest exporters in terms of value in 2023 are again the countries of the Persian Gulf and Russia. The International Energy Agency (IEA) projects global consumption of oil and other liquid fuels to range from 103 million barrels per day in 2023 to 105 mb/d in 2030 and around 125 mb/d in 2040.

In its 2023 annual report, the U.S. The Energy Information Administration (U.S. EIA, 2023) projects the change in crude oil prices in nominal dollars per barrel over the next 26 years to vary within the ranges shown in Figure 4.

It should be noted in Figure 4 the extremely wide interval since 2023 between pessimistic and optimistic forecast for the change in Brent crude oil prices.

According to the IEA (U.S. EIA, 2023), strategic development will focus on solving the following priority tasks:

- development of new oil and gas fields, necessary to ensure the ever-growing needs of energy raw materials;
- construction of new oil and gas pipelines to deliver energy raw materials to consumers;
- expanding international cooperation in view of attracting the necessary high-capital investment;
-improvement of mining and processing technologies with a view to improving economic and environmental efficiency;
- developing long-lasting and mutually beneficial relations between the countries producing energy resources and the countries consuming them;
- stabilisation of the international markets of energy raw materials with a view to guaranteeing global consumption;
- activation of interaction in ensuring the necessary safety of energy facilities;
- coordinating efforts and actions to overcome possible energy crises in the world economy, etc.

If oil prices rise, this will activate projects with a higher cost of extraction and processing of energy raw materials, which are not cost-effective at low prices.

All cartels succeed in raising crude oil prices, but only in the short term. In the medium and longer term, this could hardly be possible, and is not profitable for OPEC.

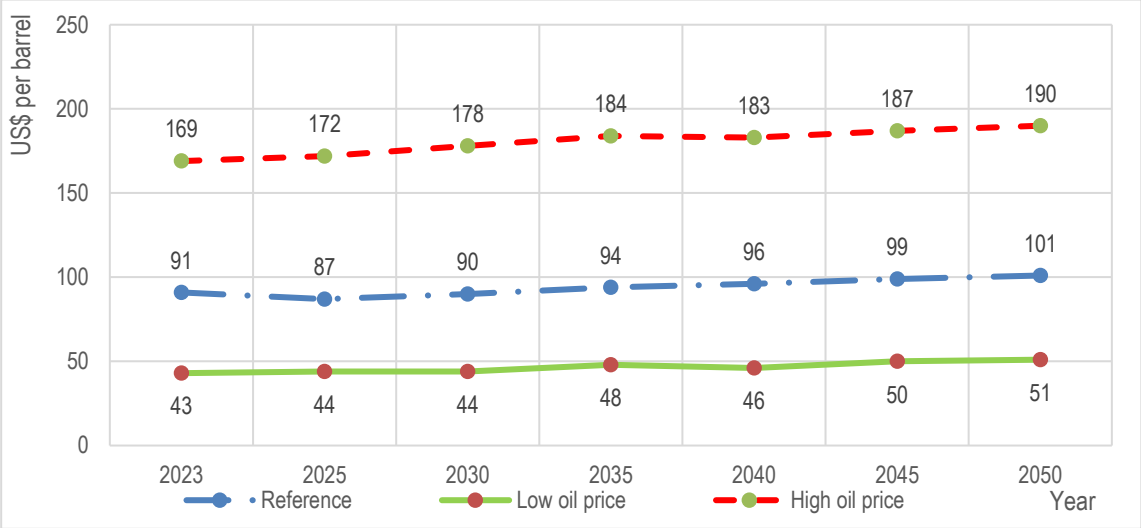


Fig. 4. Projection crude oil prices according to OPEC, (2023). 2022 World Oil Outlook 2045

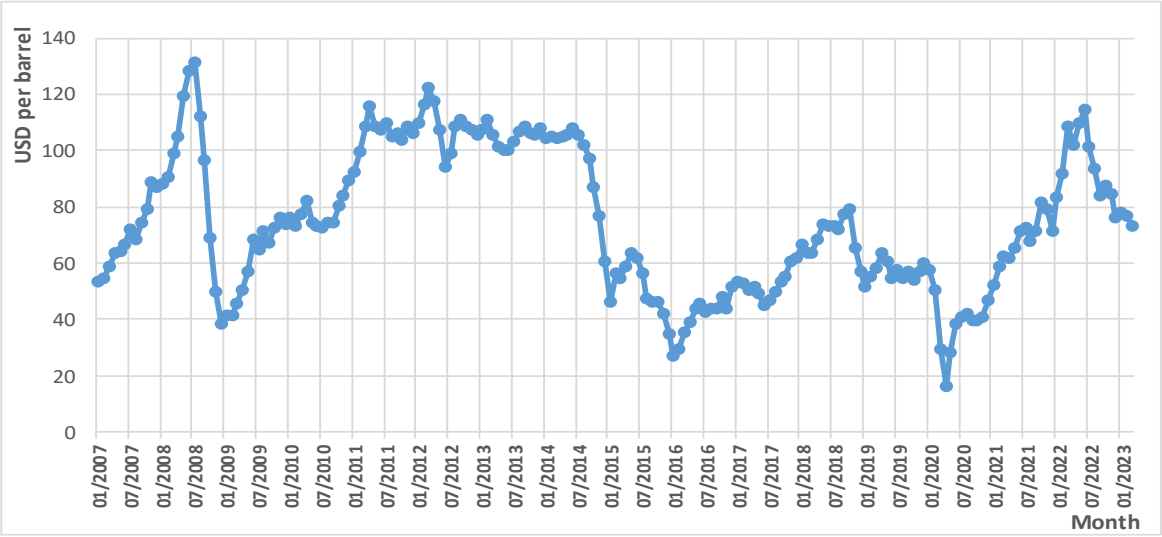


Fig. 5. Average monthly crude oil prices according to OPEC data for January 2007 ÷ March 2023.

Figure 5 shows the change in the average monthly prices of crude oil for the period January 2007 ÷ March 2019. The figure is based on OPEC data (OPEC Backed Monthly Price, 2023).

According to Mitev (2017, 2019), “the major factors affecting demand, supply, and prices of crude oil are extremely diverse. In the long term, oil prices are influenced by the following factors: the economic growth of the global economy; population growth; the change of proven geological reserves; international and regional military and political conflicts; OPEC production regulations and the cartel agreements to limit mining and to impose extraction quotas for member states over certain periods of time; the security of crude oil supplies for oil refineries; the imposing of an embargo and of import and export restrictions; climatic cataclysms; the effect of seasonality; the imposing of import duties and the like; world production and consumption of oil; market speculations; exchange rate fluctuations; intense competition, etc.”.

Conclusion

Demand for crude oil in the period 2010 ÷ 2022 increased by 15.0%, from 86.6 mb/d in 2010 to 99.7 mb/d in 2022. The situation with supply is similar.

The forecast of the U.S. IEA for 2023 and 2024 is for oil demand and supply to increase to levels of 104.4 mb/d by 2024, which is about 2.04% average annual production growth.

The average annual prices of crude oil during the 2004-2023 period are characterized by extremely high dynamics, mainly influenced by temporary surpluses or deficits of the volumes of commodity stocks, but also by local political or military conflicts, as well as economic crises. We also witnessed the first pandemic crisis and its negative effects.

If oil prices rise in the short term, this could boost shale production and other producers to gain market share at the expense of OPEC. This would again put downward pressure on prices due to the inclusion of less cost-effective production facilities and mining sites.

In the long term, global demand, supply, and prices of energy carriers highly depend on the growth rates of the world economy and individual sectors of the global economy, the growth of the planet's population, the geo-economic and geo-political situation, the volumes of explored and proved geological reserves, the mining, transport and processing capacities built in the various regions, and not so much on cartel agreements, which have a rather short-term effect.

Past practice has shown that no matter how well-founded the forecasts of the various international agencies and organizations are regarding the demand, supply and prices of the main energy sources, they have a high degree of uncertainty and need to be updated every three to six months.

References

Mitev, V. 2017. Analysis of the Production, Consumption, and Prices of Crude Oil. - *Journal of Mining and Geological Sciences*, 60, Part IV, 11-16.

Mitev, V. 2019. Analysis of the demand, supply, and prices of crude oil. - *Journal of Mining and Geological Sciences*, 62, Number 4, 37-42.

OPEC. 2013. *Annual Report 2012*. ISSN 0474-6317

OPEC. 2017. *OPEC Annual Statistical Bulletin*, 1965-2017, 52nd edition, ISSN 0475-0608, - https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/ASB2017_13062017.pdf. (accessed 22 March 2023).

OPEC. 2020. *Annual Report 2019*. Print Alliance HAV Produktions GmbH, ISSN 0474-6317.

OPEC. 2023. *2022 World Oil Outlook 2045.* ISBN 978-3-9504890-4-0

OPEC. 2023. OPEC Basket Price – https://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/40.htm. (accessed 22 March 2023).

U.S. Energy Information Administration. 2023. *Annual Energy Outlook*. U.S. Department of Energy, https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO2023_Narrative.pdf. (accessed 22 March 2023).

THE IMPACT OF THE INDUSTRIAL REVOLUTIONS IN THE TRANSITION FROM LINEAR TO CIRCULAR ECONOMY

Vessela Petrova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: vessela.petrova@mgu.bg

ABSTRACT. The Industrial Revolution marked a major turning point in history as it deeply influenced society, culture, and economy and significantly affected global economy and the way we produce, use, and dispose of the goods. One of the main consequences is linear economy based on the model “take, make, dispose”, and this paper discusses in brief the need of transition to circular economy aiming for resources to be used as long as possible and waste to be as less as possible. The present paper briefly considers the five individual phases of the industrial revolution, each marked by significant technological progress and changes in society. Historical levels of carbon emissions are discussed and compared to energy consumption. The analysis has confirmed the need of transition to a model of production and consumption that minimise the negative impact on the environment. The emergence of clean and green technologies is regarded as the next industrial revolution.

Key words: industrial revolutions, linear economy, circular economy.

ВЛИЯНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИТЕ РЕВОЛЮЦИИ В ПРЕХОДА ОТ ЛИНЕЙНА КЪМ КРЪГОВА ИКОНОМИКА

Весела Петрова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Индустриалната революция е повратна точка в човешката история, тъй като има дълбоко въздействие върху обществото, културата и икономиката и оказва значително влияние върху глобалната икономика и начина, по който произвеждаме, потребяваме и разполагаме със стоки. Една от основните последици е линейната икономика, основана на модела „вземи, направи, изхвърли”, като публикацията разглежда накратко необходимостта от преход към кръгова икономика, имаща за цел ресурсите да бъдат използвани възможно най-дълго и да сведат до минимум отпадъците. Настоящата публикация разглежда накратко петте отделни фази на индустриалната революция, всяка от които е белязана от значителен технологичен напредък и обществени промени. Разгледани са нивата на въглеродни емисии в исторически план и са съпоставени с потреблението на енергия. Анализът потвърждава необходимостта от преход към модел на производство и потребление, ограничаващ до минимизиране вредите върху околната среда. Счита се, че следващата индустриална революция ще е на чистите и зелени технологии.

Ключови думи: индустриални революции, линейна икономика, кръгова икономика.

Revolution and industrial revolution

The term “revolution” denotes a dramatic, comprehensive change, which does not necessarily take place quickly or suddenly (Vries, 2008). The term “industrial revolution” is defined as a transition from pre-industrial to industrial society (Abbadi et al., 2020). That period has transformed human life by the introduction of technological innovations in industries - going from hand production methods to power driven machines and rise of large factory systems. The industrial revolution needs natural resources, infrastructure, and financial resources for investments.

The past 250 years were marked by five industrial revolutions that occurred at uneven intervals of time (Fig. 1).

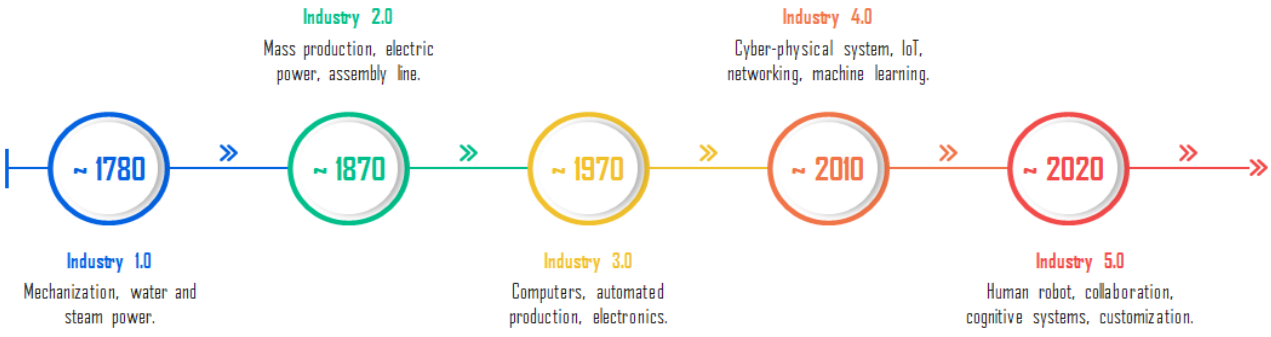


Fig. 1. Timeline of the industrial revolutions

The first three revolutions occurred at long intervals of time, while each revolution that followed came faster than the previous one due to introduction of technologies and digitalisation; what is more – there has been an overlapping between Industrial Revolutions 4.0 and 5.0.

The time before the first industrial revolution was marked by small, poor societies, high level of child mortality, and low life duration. During that period, nearly 60% of global wealth and power were concentrated in two Asiatic countries: China (33%) and India (25%). Great Britain and the United States compounded nearly 2% of the global wealth (Mohajan, 2021).

Brief analysis of industrial revolutions

At the end of the 18th and beginning of the 19th century (~ 1780-1840), significant socio-economic changes occurred, in Great Britain first, denoted in scientific references as the First Industrial Revolution. In its nature, that period was defined by immense progress of humankind, characterised by transition from human-driven power to technologies, growth of industrial processes, improvement of waterpower efficiency, use of steam power, development of machine instruments. Iron and textile occupied the decisive role in that process. The period was characterised by the improvement of steam engine, which was made of iron and fueled with coal. The growth of coal production had a decisive role in the First Industrial Revolution and consequently that resource was established as a reliable basic power source. The global energy consumption of coal during the First Industrial Revolution is presented in Fig. 2. The drastic increase of coal consumption at the end of the period was remarkable.

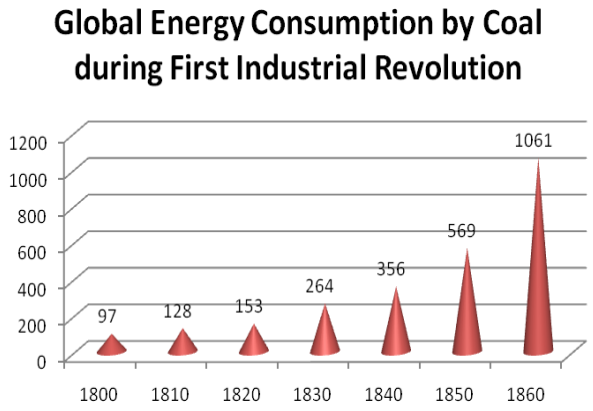


Fig. 2 Global energy consumption of coal during the First Industrial Revolution, in terawatt hour (TWh)

The Second Industrial Revolution (~ 1870-1900) was characterised by a large number of new technologies, the focus being on the introduction and development of electricity. That period had set the beginning of a continuous fast growing technological change, driven mainly by the development of new electricity-based production technologies. That revolution established a new economy with a higher growth of both rate of production and effectiveness.

The Third Industrial Revolution is considered to have begun around ~ 1970, to have reached its peak at the end of the 1990s, and to have continued in the years afterwards. At those times, mechanical and analogous technologies transited to digital electronics. Green buildings, electrical vehicles, and distributed production were introduced. It was based on energy transition, digital technologies and the Internet, and it was often referred to as “The Digital Revolution”.

Industrial Revolution 4.0 commenced around 2010; however, the term became widely popular during the World Economic Forum in Davos in 2016. Industrial Revolution 4.0 is an approach to describe a number of current and forthcoming transformations in the systems that surround us. Its nature is a new phase of human development, like the three previous industrial revolutions; however, it is mainly focused on extending interaction among innovative technologies. The locomotive of the Forth Industrial Revolution are the knowledge-based systems, established during the previous industrial revolutions, in particular the use of digital options, inherited by the Third Industrial Revolution (Schwab and Davis, 2018).

Nowadays, society is on the threshold of Industrial revolution 5.0. Industrial Revolution 5.0 is considered to allow end-users to receive products and services complying with their specific needs, improving human approach to production by a new technological progress (Özdemir and Hekim, 2018). That phase applies virtual technologies like the virtual and extended reality. It is focused on improving efficiency and productiveness and the main industrial component is the human brain. Human brain has automated the entire production process and it has allowed a new production approach. Collaboration between men and machines has been applied in order to meet the requirements of the end-user.

Rise of a linear economy

The industrial revolution defines times when machines have determined significant rise of production growth rate and relevant goods have become more plentiful, cheaper, and accessible compared to goods produced by hand tools.

A linear model of production and consumption has been dominating for at least the past 150 years, i.e. goods have been produced by resources, marketed, used, and got rid of by deposition or burning as waste. Industrial growth and technological progress supported industrial revolutions to increase productiveness of economy and contributed to an unprecedented prosperity of the entire humankind.

The linear economic model is built on two assumptions which are denied in the recent global context, namely the limitless availability of resources – energy and raw materials, and the limitless regenerative capacity of the Earth. Following the above logic means that the faster economic growth, the higher the need of raw materials for the production of goods; and on the other hand that will result in the generation of more waste.

Nowadays, the linear economic model has endangered the sustainable development of society, creating a need of an alternative economic model. Furthermore, by 2050, the population of the Earth is forecast to reach nine (9) milliard people, with expectations of prosperity and wealth. In order to comply with the above expectations, the economy will need three times higher quantity of raw materials than the raw materials that we use nowadays, or finding another model of economic growth. The above tendency is the reason for the fast increase of carbon dioxide emissions and greenhouse gases in the atmosphere, the so-called carbon footprint, which negatively affects the environment by changing the climate. Carbon dioxide emissions released from industrial processes

are illustrated in Fig. 3. The diagram treats the period from the First Industrial Revolution until now, while the dramatic increase after the Second Industrial Revolution is remarkable, and the increase after the Third Industrial Revolution is even more obvious.

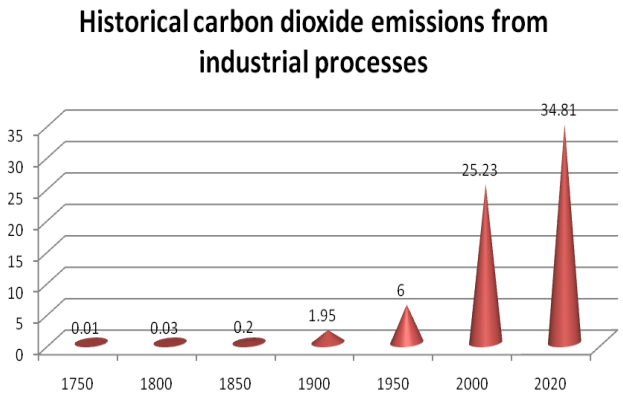


Fig. 3 Levels of carbon dioxide emissions released from industrial processes – since the First Industrial Revolution until now, in billion metric tons.

The topic of sources of carbon dioxide emissions is widely discussed in scientific references. (Hristova et al., 2023)

Kuznets (1955), Grossman and Krueger (1991) have analysed the relationship between air quality and economic growth in many cities around the world. In their publication, Grossman and Krueger (1991) have proved that beyond a certain level of development, the economic growth may reduce environmental degradation by transiting from an industrialised polluting economy to a cleaner economy, especially with regard to investments in cleaner technologies and enhancing the environmental consciousness, resulting from lifestyle improvement. The above principle is known in scientific references as “the environmental Kuznets curve”. That hypothesis was subjected to a number of investigations. Relationships between inequality of income and the environment have been compared during the years and outcomes have been rather contradictive. According to Berthe and Elie (2015), the variety of outcomes is mostly based on the endogenous variables used and an evident tendency of the impact on the environment has not been identified: emissions of CO_2, air pollution, and water pollution. Many authors, who carried out empirical investigations, have united around the theoretical analyses of Boyce (1994), Magnani (2000), Wilkinson and Pickett (2010), who are in the opinion that inequality of income effects negatively on the environment.

Consumption of different power sources for the past 20 years has been discussed in order to monitor the effect of renewable and non-renewable power sources on the CO_2, emissions.

Primary energy consumption by power source for the period 2000 – 2021 is indicated in Fig. 4. The differences in consumption of the most widely used power sources are shown. It is evident that consumption of coal, oil, and nuclear power has been reduced within the past 21 years. This is ~~a~~ the result of a wider use of renewable power sources ~~as~~ like wind, solar, modern biofuels and others – against the background of a continuous increase of power consumption.

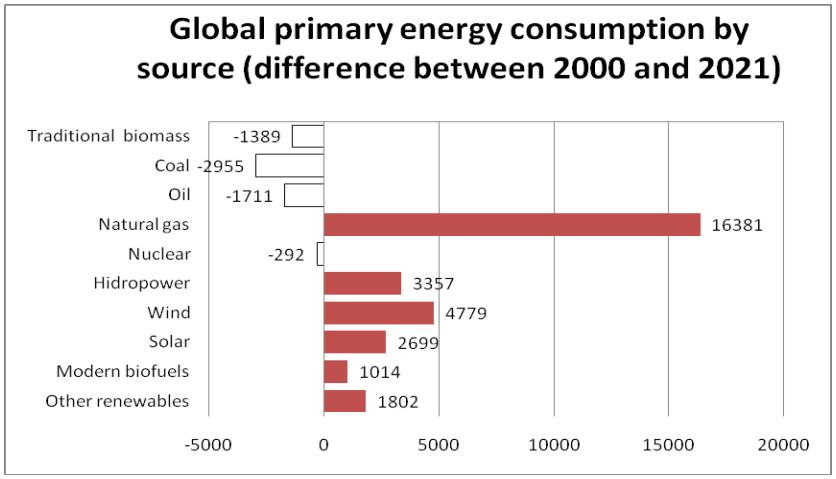


Fig. 4 Global energy consumption by power sources (difference between 2000 and 2021)

The structure of energy consumption has been investigated in detail in the scientific references with respect the engines of CO_2. Scientific investigations have proved the relationship between the consumption of renewable energy and the quantity of CO_2 emissions. Nevertheless, the present investigation may not support the above tendency. Fig. 4 marks the growth in the use of renewable power sources for the past 20 years or more and the significant reduction in coal consumption for the same period. However, Fig. 3 indicates a significant increase in carbon dioxide emissions for the same period. In that context, a higher share of renewable power sources does not result in a reduction of CO_2 emissions.

The need of transition to a new economic model

Both economic and technological processes have a key role in the fight against climate change. With regard to the above, the transition to a model limiting the waste to a minimum is required; a model beneficial for the environment, economy, and society, in general. That is the model of circular

economy and it is considered to guarantee the progress of society in a sustainable environmental-friendly approach.

Linear economy and circular economy mark two contradicting approaches which drive the industrial wheel of production. In the past years, supported by European Union legislation and a number of European Directives, the circular economy is moving forward with a significant inertia in response to the exhaustive linear system.

The objective of the transition to circular economy is the more effective use of resources. The major focus is maintaining the added value of raw materials, while completely eliminating or minimising waste. It has been confirmed that the circular economic model is concentrated on the use of products as raw materials. Thus, on the one hand, the circular model is more beneficial and less harmful to the environment, and on the other hand, the circular model has advantages related to sustainable economic growth, increased competitiveness, and new job opportunities.

Development and upgrading of industrial revolutions in time has also marked the increased emissions of carbon dioxide. Nowadays, efforts are focused on assessing the consequences of human activities and finding a solution to the above phenomenon before the occurrence of an irreversible degradation of ecosystems on our planet. The international efforts in the field of climate change are directed to the above objective. By signing the Paris Agreement on climate change in 2015, most of the countries have been bound to avoiding dangerous climate change by limiting global warming to “well below” 2°C above preindustrial levels and “pursuing efforts to limit it to 1.5°C”. In this framework, the European Union has the commitment to reduce greenhouse gas emissions by at least 40% compared to 1990 levels by 2030. The long-term strategy of the European Union is achieving a climate neutral economy by 2050 (European Commission, 2018).

This is the context of European Union legislation for promoting the renewable energy sources (wind power, solar power, waterpower, the power of the oceans, geothermal power, biomass and biofuel), which have been fast developing in the past 15 years. In that context, the European Union considers that the use of renewable energy sources will reduce greenhouse gas emissions.

The global consumption of renewable energy is shown in Fig. 5 (continuous line). It is evident that consumption has exponentially increased from 2000 to 2021.

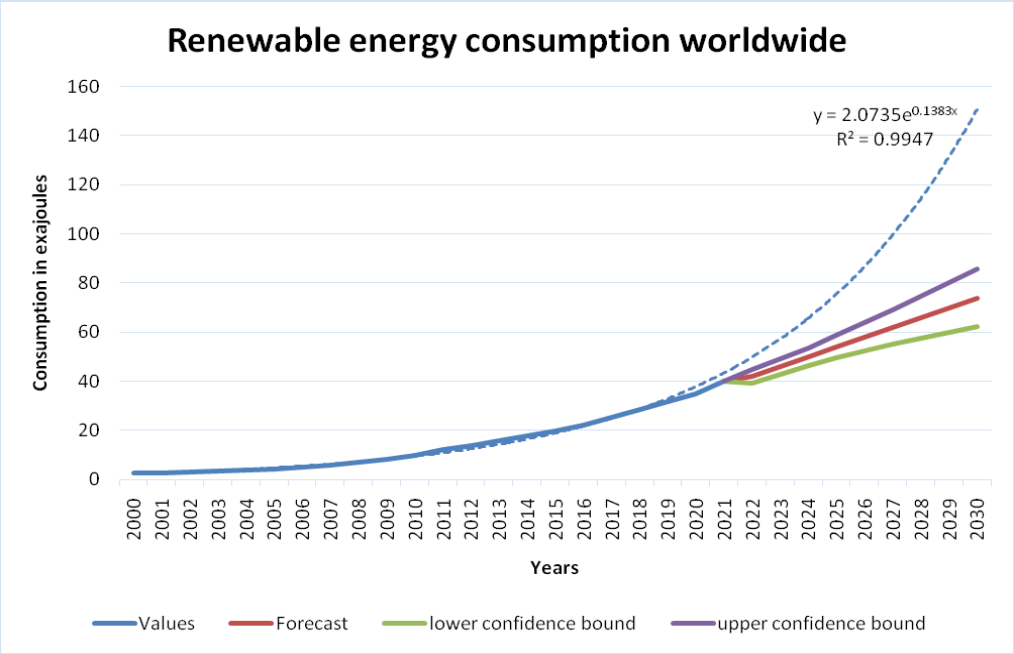


Fig. 5 Global renewable energy consumption for the period 2000 – 2030

The model describing the above dependence (dotted line) is also shown in the figure, as well as the coefficient of determination R^2=0.9947, which is the main indication of model precision. It is evident that the difference between actual consumption and model-read consumption is negligible. The model may be used as a means for prediction that if the rate of increase continues to be the same, renewable energy consumption will increase to nearly 85 (84,812) exajoules in 2025, and to 169,345 exajoules in 2030.

The present paper confirms the need and importance of the transition from the traditional logic of linear economic growth, comprising the principle “take, make, dispose” towards an economic growth, tending to limit the wasting of raw materials and the impact on the environment, and in the meantime increasing the effectiveness of all the stages of product economy. That is the principle of circular economy – a system of production and consumption based on recycling, re-use, repair, secondary production, and product share, changing consumption models and new business models and systems (European Commission, 2019). During the entire lifecycle of a product, the phase of production exerts the highest impact on climate change, exhaustion of mineral raw materials, negative impacts, and emissions of inorganic contaminants. In order to reduce the impact, the circular economy has the objective to apply various cyclic processes, including maintenance processes. In addition, those various production processes require the use of technologies reducing the impact on the environment. The above suggests that environmental innovations shall be the basis of production apparatuses for the commercial companies (Bakardzhieva, 2017). The above efforts have made, more than ever, the

means for introduction and distribution of those innovations a topical matter.

Findings

- The analysis of coal power consumption has confirmed the growth of that raw material during the First Industrial Revolution and the significant increase of consumption at the end of the period;
- Levels of carbon dioxide emissions have been rising and dramatically increased after the Third Industrial Revolution;
- A comparison of data about the levels of carbon dioxide emissions and global energy resource consumption for the past 20 years has indicated an increase of the use of renewable energy sources, but reduction of the consumption of coal, oil, and nuclear fuel. In spite of the above tendency, the levels of CO_2 emissions have not been reduced during the same period.
- The statistical analysis of global renewable power consumption may be used as a basis for predicting that if the rate of increase is preserved, renewable energy consumption in 2025 will increase to nearly 85 (84,812) exajoules, and to 169,345 exajoules in 2030.

Conclusion

Despite the tendency of environment improvement in the past two decades, the environmental and social pressure will continue to increase because of population growth, globalised markets, and increased consumption of mineral raw materials. Furthermore, much of the raw materials are becoming scarcer and dependence on them is higher. All of the above aspects have proved that the recent linear economic model, established by the industrial revolutions is unsustainable because it has increased the risk of interruption of raw material supply. Scientific references have already suggested about the forthcoming Sixth Industrial Revolution and there are tendencies that it will be focused on clean technologies and green and circular economy.

References

Abbadi, L., E. Samah, M. Said. 2020. *A Literature Review on the Evolution of Lean Manufacturing*. 10. 13-30. 10.33168/JSMS.2020.0402.

Bakardzhieva, R. 2017. *Korporativna sotsialna otgovornost na balgarskite firmi – savremenni tendentsii i evropeyski perspektivi*. Sofia: GoreksPres

Berthe, A., L. Elie. 2015. Mechanisms explaining the impact of economic inequality on environmental deterioration. - *Ecological Economics*, 116, (C), 191-200

Boyce, J. 1994. Inequality as a cause of environmental degradation. - *Ecological Economics*, Vol. 11, Issue 3, 169-178, ISSN 0921-8009, https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90198-8.

European Commission, 2018, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773

European Commission, 2019, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

Grossman, G., A. Krueger. 1991. *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*. National Bureau of Economics Research Working Paper, No. 3194. NBER, Cambridge. https://doi.org/10.3386/w3914

Hristova, T., N. Savov, N. Yanev. 2023. Municipal solid waste and non-hazardous waste processing for sustainable circular economy through blockchain. - *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 58, 3, 513-521

Kuznets, S. 1955. Economic Growth and Income Inequality. - *The American Economic Review*, 45(1), 1–28. http://www.jstor.org/stable/1811581

Magnani, E. 2000. The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution. - *Ecological Economics*, Vol. 32, Issue 3, 431-443, ISSN 0921-8009, https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00115-9.

Mohajan, H. 2021. *Third Industrial Revolution Brings Global Development*. 7. 239-251.

Özdemir, V., N. Hekim. 2018. Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, “The Internet of Things” and Next-Generation Technology Policy. - *OMICS: A Journal of Integrative Biology*. 22. 10.1089/omi.2017.0194.

Schwab, K., N. Davis. 2018. *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum.

Vries, P. 2008. *The Industrial Revolution*. In book: Encyclopaedia of the Modern World Volume 4, 158-161. Publisher: Oxford University Press.

Wilkinson R., K. Pickett. 2010. *The Spirit Level: Why Equality Is Better for Everyone*. London: Penguin, 347p., pbk - Volume 42 Issue 4 - CHRISTOPHER DEEMING.

APPLICATION IN ASSESSMENT OF THE TRAINING OF TRAINERS FROM THE UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY “ST. IVAN RILSKI” IN A MODULE ON DIDACTICS

Milena Purvanova, Marin Evgeniev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: Purvanova@mgu.bg, marin.evgeniev@mgu.bg

ABSTRACT. The article is in the field of didactics. It continues previous discussion on the training in a module on teaching methods conducted for university lecturers from Eastern and Southeastern Europe, incl. from the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, within the TrainESEE v.2 international project. The focus in the present material is knowledge assessment that a university lecturer wishes to organise and conduct. The objective is to promote what has been learned among the teaching staff of the UMG, to illustrate the applicability of the didactic principles presented and mastered, particularly of the constructive alignment, and to stimulate the work of young university lecturers that should be consistent with these principles.

Key words: didactics, teaching methods, constructive alignment, assessment, evaluation.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ОБУЧЕНИЕТО НА ПРЕПОДАВАТЕЛИ ОТ МГУ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“ В МОДУЛ ПО ДИДАКТИКА ПРИ ОЦЕНЯВАНЕ НА ЗНАНИЯТА

Милена Първанова, Марин Евгениев
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Статията е от областта на дидактиката. Тя е продължение на предходна дискусия върху обучение в модул по методика на преподаване, проведено за преподаватели от Източна и Югоизточна Европа, в т.ч. от МГУ „Св. Иван Рилски”, по международен проект TrainESEE v.2. Акцентът в настоящия материал е върху оценяването на знания, което университетският преподавател желае да организира и проведе. Целта е да се популяризира наученото сред преподавателската колегия на МГУ, да се илюстрира приложимостта на представените и усвоени дидактически принципи, по-специално този на конструктивната подредба, и да се стимулира работата на млади преподаватели, която да е съобразена с тези принципи.

Ключови думи: дидактика, методика на преподаването, конструктивна подредба, оценяване.

Въведение

Преподавателската квалификация не е задължителна при преподаване на технически дисциплини в инженерно ВУ, но при наличие на достатъчни и високи критерии за преподавателската дейност, която инженерният специалист извършва на работното си място, той осъзнато търси знания за принципите, методите, средствата, източниците на информация и др. за правилното преподаване на науката му по начини, водещи до това студентите в неговата инженерна област да докажат осмислянето на научни факти и владеенето на преподадените научни знания.

Настоящата разработка е продължение на предишни наши разработки в сферата на дидактиката – науката за преподаването (вж. Първанова и Евгениев, 2021; 2022). Фокусът в нея е алгоритъм на работа, преподаден в специализирано обучение за преподаватели в обучителен модул, подготвен и реализиран в 12 партниращи си инженерни висши училища като ускорителна програма по международен проект „TrainESEE v.2 - Обучение на преподаватели в Източна и Югоизточна Европа“ (повече на официалния сайт на проекта на: https://trainesee2.eu/)

Обект

Учебните дейности са насочени основно към колеги без педагогическа квалификация, които желаят да поставят дейността си на преподаватели на солидна научна основа, като: асистенти, млади преподаватели, които не са получили или току-що са получили ОНС „доктор“, колеги-инженери с известен стаж като университетски преподаватели, но с частични познания по преподаване, обикновено придобити чрез самостоятелно учене и по несистемен начин.

Цел

Общата ни цел е да разпространим знанията, получени в обучителния модул по проекта, до възможно по-голям брой колеги от МГУ „Св. Иван Рилски“. Конкретните ни цели са две:

– да представим теоретични постановки и да дадем практически пример за оценяване на знания и умения чрез прилагане на конструктивно подравняване;

– да запознаем колегите с метод за формулиране на резултати от обучението в своите курсове като задължителна стъпка при правилното планиране на оценяването.

Методика

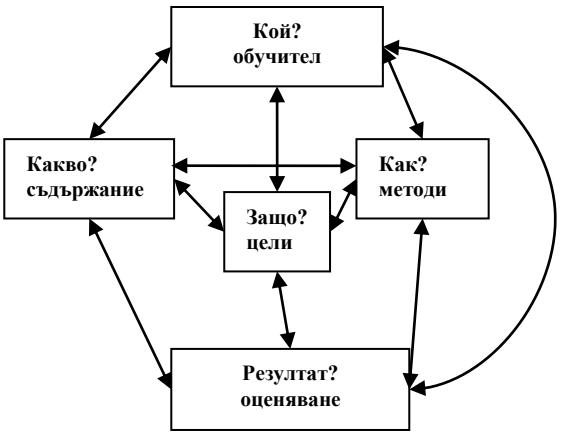
В статията споделяме опита си от обучение и практическа работа в проведен Модул 1 по „Методология на преподаването във ВУ“, организиран през м.VI-VII.2021 г. от Технически университет – Виена, Австрия/ TU Wien по проекта „TrainESEE v.2“. Занятията в Обучителен раздел 1: Основи на дидактиката, Аспект: Конструктивна подредба, се водеха от проф. д-р Елизабет Вебер, магистър по методика, ТУ – Виена, в платформа Zoom, а тези в Обучителен раздел 3: Дигитални компетенции за преподаване и оценяване се водеха от доц. д-р Спирос Папаефтимиу, Национален технически университет – Атина, Гърция – в платформа Webex. И двете платформи са предоставени от Центъра за електронно обучение/ELZ, E-Learning Center при ТУ – Виена (https://tuwel.tuwien.ac.at/). .

Дават се теоретични разяснения на понятия като „оценяване“, „функции на оценяването“, „количествено определяне на знания“, „резултати от ученето“; представят се теоретични постановки върху принципа на конструктивната подредба; прави се упражнение за включване на таксономията на Блум при формулиране и оценяване на резултатите от ученето; накрая се дава пример за правилно изпълнение на задачите по конструктивната подредба.

Алгоритъм на работа

Теоретична основа, понятия и работни дефиниции

Изхождаме от вече въвеждани понятия, които са компоненти на обучението и с връзките помежду си оформят вече дискутирана структура на дидактиката (фиг. 1).



Фиг. 1. Структура на дидактиката

Дейности

***I. Подготовка* – въвеждане на понятия.** По време на модула на обучаващите се преподаватели бяха представени темите за значението на оценяването за успеха на процеса на учене, начини за оценяване на знания и умения и количествени показатели на знанието (Assessment-evaluation HandoutsFile Uploaded 17/06/21 - https://bit.ly/3rHDant). Предложен бе и списък с 24 бр. материали (от печатни и електронни носители с линкове към същите) за допълнителна информация по трите подтеми: статии и видеоклипове (ReferencesFile Uploaded 17/06/21 - https://bit.ly/3rHDant).

1 Що е оценяване

Направи се преглед на развитието на идеята за преценка на достойнства и оценяване. Направи се и **исторически обзор** на прилагане на оценяването, започнало в Китай преди 4000 г., преминавайки към Глава I от библейската Книга на Данаил, стигайки до дефиницията на М. Скривън за еволюцията (1967 г.) (Wasserman et al., 2016), до първите стандартизирани тестове, въведени в САЩ (1897 г.), и до труда „Въведение в теорията за умствените и социални измервания“ на Торндайк (1904 г.)

Застъпени бяха **понятия**, свързани с оценяването на знание, особено актуални в дигиталната ера:

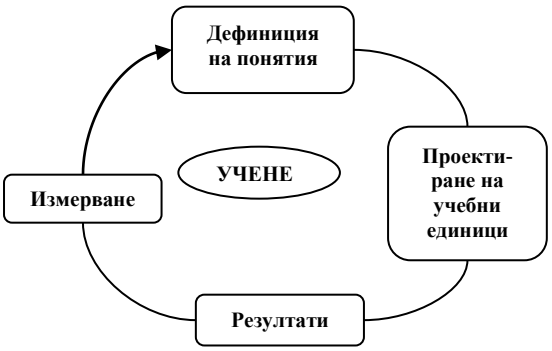
– знания – добити чрез опит осъзнаване на или запознатост с факт или ситуация;

– оценка – действие за оценяване на някого или нещо;

– плагиатство – практиката да се вземат работи или идеи на другиго и да се представят като собствени на вземащия ги „автор“;

– пиратство – всяко ограбване или друго действие, извършено без разрешение на обществените власти, водещо до лични облаги.

Представи се схема на **мястото на оценяването** в процеса на учене (фиг. 2):



Фиг. 2. Място на оценяването в процеса на учене

Същността на оценяването се определи като знание за онова, което знаят студентите.

Изтъкна се важността на разбирането за първоначалното/входното ниво на студентите по отношение правилността на последващото оценяване. Такова разбиране може да се получи чрез:

– тестове (напр. входен тест);

– стрийминг;

– двойна проверка – на студентите се дава тест за самооценка (какъвто се предлага напр. в платформата на Британския съвет, където обучаемите изпращат скрийншот на собствения си резултат); важно е да се знае, че мнението на околните води до пристрастност и неточност, затова такъв тип оценяване трябва да се прави самостоятелно и изолирано;

– задаване на уводни въпроси.

2 Как да се оценяват знания и умения?

Това зависи от отговора на всеки от следните въпроси към индивидуалния преподавател:

- Планира ли по-интерактивен курс?
- Приложил ли е вече на практика нови форми за оценка на знания и умения?
- Смята ли, че традиционните начини за оценяване (напр. тестове) са по-малко ефективни при отговаряне на съвременните изисквания към образованието?

Стандартните изпитна рамка и тестови формат включват:

а) тип – писмен или устен

б) период на провеждане – в/около края на семестъра или в рамките на семестъра.

А - Оценяване на знания

Подробно бе разгледан въпросът за **количественото определяне на знания.** Тяхното поставяне в правилни граници увеличава академичното мислене.

Изтъкна се, че като важна част от образователните дейности преподавателите трябва да се съсредоточат върху действия, които могат да повишат опита от знания на участниците в курса. Именно тези знания трябва да са обект на оценяване, защото чрез прилагането на такива знания студентите създават свой творчески начин за решаване на проблем. Оттук следва, че е нужно да се развива **критичното мислене** у студентите (фиг. 3).

Фиг. 3. Елементи на критичното мислене

Пример за стимулиране на критичното мислене е да се извърши проучване по въпрос, свързан с курса или с темата на занятието. Количествено определяне на знанията и уменията на студентите е да представят резултатите от проучването в написано резюме. Тогава ще знаем, че студентът може да пише (напр. малък текст с обем 50 думи; или по-обширен текст/теза с обем 3500 думи).

Обсъдиха се **тактики** за довеждане на знанието до студента:

● чрез <u>тактически средства:</u>

– разказване на история – според Харвардския университет това е най-ефективният начин заради включената емоция, окраска/отношение;

– обучение на работното място;

– менторство – важно е за нас преподавателите, които сме и инструктори;

– научени уроци;

– повторение;

– Wiki – много информативно;

● чрез <u>явен инструментариум/експлицитни средства:</u>

– документи;

– обучение на работното място;

– Wiki.

Б - Оценяване на умения

Изтъкна се, че в общия случай то е свързано с оценяване на студентското представяне чрез стандартни тестове. Припомниха се основните характеристики на **стандартните тестове**:

∗ валидност – оценява се точно онова, за което са предназначени;

∗ достоверност – те са последователни и съгласувани;

∗ употребимост – оценяват се резултати.

В - Инструменти за оценяване

Представен бе основен инструментариум за оценяване на конкретно знание и влиянието му върху крайната оценка.

Таблица 1.

∗ **симулация** ∗ **демонстрация** ∗ **казуси** ∗ **самооценка** ∗ **проекти** ∗ **тестове** ∗ **устни тестове**		знанието, разбирането, уменията имат *оформяща* функция	не влияят върху крайната оценка
		знанието, разбирането, уменията имат *сумираща* функция	влияят върху крайната оценка

Даде се пример за съотношение на 5 критерия за оценяване на работата на студентите в проект (фиг. 4):

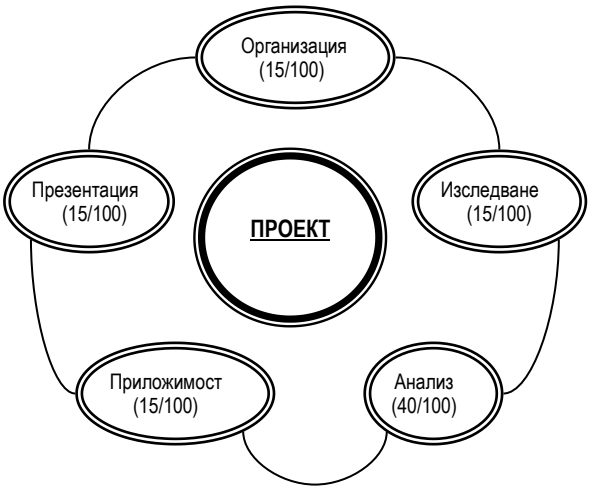
– организация – 15% - включва: разработване на структура и тема; планиране

– изследване – 15% - включва работа с източници: успешен синтез на материалите (напр. лекции, актуални източници); правилното им цитиране

– анализ – 40% - включва: идентифициране на ключови елементи на/свързани с темата; анализ и оценка на наличните ресурси посредством критично и творческо мислене

– приложимост – 15% - свързана е с нуждите и опита; абсолютно уместна по разглежданата тема

– презентация – 15% - тя се оценява според конкретни критерии: умела и точна употреба на езика; прецизност и добро представяне; зрителен контакт с аудиторията; увереност.



Фиг. 4. Примерно съотношение на 5 критерия за оценяване на работата на студентите в проект

В дискусия между обучаващите се преподаватели бе споделен опит от провеждането на презентации със студентите. Задължителен момент е най-напред да презентира преподавателят. Аудиторията трябва да се включва в презентацията – напр. чрез задаването към нея на въпроса „нали?“. Изтъкна се значението на умението да се презентира като най-важното за пазара. Отбеляза се, че понастоящем презентациите са въведени като елементи в по-ниските нива на обучение и се приемат много добре от студентите. Подчерта се, че презентирането е умение, което е нужно да се тренира, и че презентирането трябва да се повтори 10 пъти във вид на 10 различни презентации, за да се извърши правилно.

Наблегна се на значението на обратната връзка, която оценката трябва да даде на студента по отношение на: съдържание; обем; яснота; скорост на извършване на заданието; използване на минималния брой (напр. 10 бр.) източници. Обратната връзка трябва да е представена ясно и зримо – напр.

получени .....бр. т. от общо .....т. за дадения критерий

т.е.

2,44/ от 3 + **7**/от 7 = **9,44**/от 10 = Отл. (5,75)

Изводът, който се наложи, бе, че правилното оценяване е благотворно за самочувствието и увереността на студента.

II. Така логически се премина към дискусия на оценяването от гледна точка на ***конструктивната подредба.*** (Повече за конструктивните елементи и подредбата на функционалните връзки между тях вж. в Първанова и Евгениев (2022); https://www.unmc.edu/facdev/teaching/teaching-resources/teachingtips/Bloom Taxonomy_Learning Objectives .pdf.

В тази част на обучението се изтъкна, че оценяването е предизвикателство в сферата на дидактиката. То трябва да се извършва професионално, защото е задача с много изисквания поради факта, че обучаемите заслужават справедливо оценяване. В противен случай има опасност слабокомпетентни или некомпетентни студенти да попаднат в неправилната група от обучаеми или на грешното занятие. Лекторът проф. д-р Елизабет Вебер обърна внимание, че при оценяването фокусът сега не е върху изпитните модели, а върху това как нашите стратегии са подравнени с обучителните резултати. Важен момент е да се вземе обмислено решение за стратегиите за оценяване, да се информират студентите за стратегиите за оценяване, а методите за оценяване да са в една плоскост с обучителните резултати и с вкараното съдържание.

Разгледаха се **основни моменти на оценяването**:

Функция на оценяването

Тук бе наблегнато на изискването оценяването да е с център обучаемия и да се ръководи от обучителните резултати. Правилният избор на подходящата стратегия за оценяване дава важна обратна връзка в две посоки: и по отношение на нивото на студентите, и по отношение на нивото на университета. Откроиха се следните 4 функции на оценяването:

- дидактична функция – тя е значима, защото показва постигнатите обучителни резултати;
- формираща функция – дава обратна връзка;
- сумираща функция – предоставя основа за оценяване в края на семестъра;
- социална функция – осветлява социалния интерес към изпитването, напр. при избора на конкретни хора за извършването на конкретни задачи на съответното ниво.

Бяха споменати някои от формите на оценяване: наред със стандартните изпитни материали се включват и подготвянето и изнасянето на презентации, участието в дискусии, портфолио на студентите и др.

Изходен момент в разясненията бе, че при обучението трябва да се развиват конкретни умения/компетенции и преподавателят трябва да знае кои са те. Най-важният пункт, изтъкнат от лектора, бе, че всяка задача за изпит трябва да акцентира само върху едно умение.

III. Резултати от ученето – Матрица за изпитване. На вниманието на обучаемите преподаватели бе предложена матрица за изпитване.

Наблегна се на значението на матрицата, която прави изпитването по-прозрачно, защото чрез включената в нея таксономия на Блум се описва наблюдаваното поведение. В матрицата не се използват класическите глаголи „знаят“, „разбират“, „са информирани за“, „се интересуват от“, защото преподавателят се нуждае от доказателство за знанието на студентите си. Глаголите в таксономията на Блум пораждат действия, които могат да се наблюдават и измерят, т.е. предоставят свидетелство за това дали курсистите „знаят“.

Обучителната работа по/с матрицата протече при следните стъпки:

Стъпка 1 - Даде се пример с 5 обучителни резултати:

а) След завършване на този курс студентите могат да оценяват правилното приложение на методи X и Y.

б) След завършване на този курс студентите могат да наименуват 4 съществени фактора за A, B и C.

в) След завършване на този курс, студентите могат да изчислят даден пример, използвайки формула K,

г) След завършване на този курс, студентите могат да обяснят ключовите концепции за P и Q.

д) След завършване на този курс, студентите могат правилно да използват инструмент M/уред N.

Стъпка 2 - Обучаващите се преподаватели идентифицираха към кое таксономично ниво според таксономията на Блум принадлежи всеки от глаголите:

а) оценяват – ниво 5;
б) наименуват – ниво 1;
в) изчислят – ниво 4;
г) обяснят – ниво 2;
д) използват – ниво 3.

Таблица 2.

Обучителни резултати – изпитване - матрица | д-р Елизабет Фебер, маг. метод						
ОБУЧИТЕЛНИ РЕЗУЛТАТИ – ИЗПИТВАНЕ - МАТРИЦА						
Обучителен резултат	**Ниво 1 Запомняме**	**Ниво 2 Разбиране**	**Ниво 3 Прилагане**	**Ниво 4 Анализиране**	**Ниво 5 Оценяване**	**Ниво 6 Създаване**
	Наименуват, изброяват, …	**Обясняват, описват, …**	**Прилагат, пренасят, …**	**Отграничават, избират, …**	**Оценяват, преценяват,…**	**Планират, проектират, …**
а) След завършване на този курс студентите могат да оценяват правилното приложение на методи X и У.					✖	
б) След завършване на курса студентите могат да наименуват 4 съществени фактора за A, B и C.	✖					
в) След завършване на този курс, студентите могат да изчислят даден пример, използвайки формула K.			✖			
г) След завършване на курса, студентите могат да обяснят ключовите концепции за P и Q.		✖				
д) След завършване на курса, студентите могат правилно да използват инструмент M/уред N.			✖			

Стъпка 3 – В примерен въпросник, съдържащ 8 изпитни въпроса, обучаващите се преподаватели извършиха горното за всеки от осемте изпитни въпроси. Ето два примерни изпитни въпроса:

Примерен изпитен въпрос №1:

1а: Обяснете трите стъпки при прилагането на метод K,

1б: После приложете тези 3 стъпки в примера….

Следователно въпросите принадлежат към групата на обучителен резултат 1.

Примерен изпитен въпрос №2:

2: Избройте четирите ключови фактори за A.

Следователно въпросът принадлежи към групата на обучителен резултат 2.

Стъпка 4 – Осемте въпроса се разпределиха в матрицата, както е показано в таблицата долу:

Таблица 3.

Обучителни резултати – изпитване - матрица | д-р Елизабет Фебер, маг. метод						
ОБУЧИТЕЛНИ РЕЗУЛТАТИ – ИЗПИТВАНЕ - МАТРИЦА						
Обучителен резултат	**Ниво 1 Запомняме**	**Ниво 2 Разбиране**	**Ниво 3 Прилагане**	**Ниво 4 Анализиране**	**Ниво 5 Оценяване**	**Ниво 6 Създаване**
	Наименуват, изброяват, …	**Обясняват, описват, …**	**Прилагат, пренасят, …**	**Отграничават, избират, …**	**Оценяват, преценяват,…**	**Планират, проектират, …**
а) След завършване на този курс студентите могат да оценяват правилното приложение на методи X и У.		1а	1б		✖	
б) След завършване на курса студентите могат да наименуват 4 съществени фактора за A, B и C.	✖2					
в) След завършване на този курс, студентите могат да изчислят даден пример, използвайки формула K.			✖	7		
г) След завършване на курса, студентите могат да обяснят ключовите концепции за P и Q.		✖				
д) След завършване на курса, студентите могат правилно да използват инструмент M/уред N.			✖ 3, 5, 6, 7			
				4		

Стъпка 5 – Анализ на получените в горната матрица резултати и разпределения:

– **Пример а)**: не тества прецизно зададения обучителен резултат (от ниво 5); вместо това въпросите са на по-ниско ниво (съответно 2 и 3); следователно НЕ проверяват онова, което трябва да се проверява.

Решение:

∗ преформулираме обучителния резултат;

∗ преформулираме изпитния въпрос и увеличаваме трудността.

– **Пример в)**: изпитният въпрос е от по-високо таксономично ниво отколкото обучителния резултат, т.е. студентите би трябвало да дадат отговор, който е НАД предварително заложените обучителни резултати.

Решение:

∗ преформулираме въпроса и го правим по-лесен, на по-ниско ниво на обучителни резултати;

∗ преформулираме обучителния резултат, така че да принадлежи към по-висока таксономична група.

– **Пример г)**: не съществува въпрос във въпросника, с който да се провери този обучителен резултат. Следователно като екзаминатори не разполагаме с доказателства дали студентите са достигнали този обучителен резултат.

– **Пример д)**: Твърде много въпроси проверяват този конкретен обучителен резултат. Следователно е налице неравномерно разпределение на товара от въпроси.

– Накрая има и въпрос, който не е обвързан с никой от обучителните резултати.

Решение: да се адаптира въпросът, така че да влезе в обхвата на обучителен резултат от съответното ниво (ниво 4).

– Недостатък е и фактът, че във въпросника няма въпроси, които тестват по-ниските обучителни нива. Следователно ако съществува опасност някой студент да не мине изпита, преподавателят не може да каже дали студентът е имал недостатъчни основни знания или дали не си взема изпита, защото не се е справил с трудните задачи.

Стъпка 6 – Задача: Разработете или редактирайте въпросник за изпит по Вашата дисциплина

На обучаващите се преподаватели бе дадена задача според наличните им изпитни материали:

→ Ако не са разработвали досега изпитни въпроси

Работата включва следните етапи:

- В матрицата се попълват обучителните резултати от курса на преподавателя.
- Задава им се съответното ниво.
- Записват се съответните изпитни въпроси. При формулирането им се използва таксономията на Блум.
- При разработването на *въпросите* се обръща внимание те *да са на същото таксономично ниво като обучителните резултати*.

→ Ако вече са разработили изпитни въпроси

Работи се по следния алгоритъм:

- В матрицата се вкарват обучителните резултати от курса на преподавателя.
- Задава им се съответното ниво.
- Същото се прави и с изпитните въпроси – т.е. всеки изпитен въпрос се свързва със съответния обучителен резултат и таксономично ниво.
- Проверява се дали обучителните резултати и изпитният въпрос си съответстват. Подравнени ли са?
- Ако има несъответствия, преподавателят трябва да реши как да процедира оттук насетне:

а) Дали желае да адаптира изпитните въпроси качествено или количествено?

или

б) Дали иска да добави, премахне или адаптира образователния/те си резултат/и?

IV. Постигнати резултати. След изпълнението на дейностите по задачите в обучителния курс се констатира постигането на следните резултати:

- Запознаване с оценяването – същност, място в процеса на учене, функция, инструменти;
- Запознаване с критичното мислене като основа за оценяването на знания и умения;
- Оценяването на знания и умения се разгледаха в контекста на концепцията за конструктивната подредба; и таксономията на Бенджамин Блум;
- Вкарване на резултати от обучението в матрица за изпитване с цел измеримост, анализ и мониторинг;

Заключение

В настоящата статия споделихме опит от проведена практическата работа по обучението на преподаватели в модула по методология на преподаването в рамките на проект с международно участие „TrainESEE v.2“. Запознахме колегията с метод за формулиране на оценка на резултати от обучението, защото тази оценка е задължителен елемент при правилното планиране на собствени курсове.

Запознаването на колегите инженери и преподаватели с възможност за работа върху фундаменталния принцип на конструктивната подредба е полезна с оглед на правилния избор на метод за оценяване. Обучаващите се преподаватели анализират как действа този принцип и въз основа на неговото приложение разработват/редактират собствени матрици за оценяване.

Разбирането и интегрирането на конструктивното подравняване в етапа на оценяване на знанията и уменията, придобити в собствен курс на преподавателя, са ключови за успешната настояща и бъдеща професионална изява на младите колеги преподаватели и гаранция за предлагането на висококачествено обучение на курсистите ни.

Литература

Първанова, М., М. Евгениев. 2021. Участие в проект „TrainESEE V.2 – Обучение на преподаватели в Източна и Югоизточна Европа“, Модул 1 – Методика на преподаване. – *Известия по хуманитарни и социални науки на МГУ „Св. Иван Рилски“, 1(XXI)*/2021, 78-92.

Първанова, М., М. Евгениев. 2022. Приложение на обучението на преподаватели от МГУ „Св. Иван Рилски“ в модул по дидактика при планиране на семестър / проектиране на занятие – *Известия по хуманитарни и социални науки на МГУ „Св. Иван Рилски“, 2(XXII)*/2022, 69-89.

Assessment-evaluation HandoutsFile Uploaded 17/06/21 - https://bit.ly/3rHDant

https://trainesee2.eu/ - официален сайт на проекта

https://tuwel.tuwien.ac.at/

https://www.unmc.edu/facdev/teaching/teaching-resources/teachingtips/BloomTaxonomy_LearningObjectives.pdf [1]

ReferencesFile Uploaded 17/06/21 - https://bit.ly/3rHDant

Wasserman, E., W. Nurit. The Implementation of Innovative Formative Evaluation Tools for the Novice Teacher. In: *World Journal of Educational Research* ISSN 2375-9771 (Print) ISSN 2333-5998 (Online) Vol. 3, No. 2, 2016 available at: http://www.scholink.org/ojs/index.php/wjer

[1] Посочените материали, предоставени по време на обучението, може да се разгледат на следния адрес: https://bit.ly/3rHDant

PROFESSIONALLY SIGNIFICANT PERSONALITY CHARACTERISTICS FOR ENGINEERS IN THE MINING INDUSTRY

Ivanka Stavreva

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: vania.stavreva@mgu.bg

ABSTRACT: In everyday life, we often witness comments like: “This person is very disciplined and organised”, or “They are reliable and undertake the risk of doing...”, etc. All of those indicate the presence of certain personal characteristics of separate individuals. Along with the acquired knowledge and skills during their studies, it is necessary for a specialist to possess personal qualities that will support their professional realisation, i.e. professionally relevant qualities. A project to create professional charts of the most common occupations in Bulgaria, which started in 1994, was carried out by the National Employment Service (now the Employment Agency) and the Ministry of Labour and Social Policy on the part of Bulgaria and the Federal Employment Service of Germany. In it, professiograms were developed for the specialists-engineers from the mining industry who are offered specialised and engineering training at and get their degrees from the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”. After researching eight professiograms about that branch of the economy, 23 personal characteristics were found, conditionally divided into 5 groups: moral; volitional; qualities determining personal activity; communicative; and characteristics determining emotional stability. Qualities, such as responsibility, discipline, team work skills, organisation, and ability to make decisions on your own, stood out as professionally significant.

Key words: professiograms, personal characteristics, professionally significant qualities, mining industry.

ПРОФЕСИОНАЛНО ЗНАЧИМИ ЛИЧНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ИНЖЕНЕРИТЕ В МИННОДОБИВНАТА ПРОМИШЛЕНОСТ

Иванка Ставрева

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ: Често в ежедневието ставаме свидетели на коментари от рода на: „Този човек е много дисциплиниран и организиран“ и т.н. или „Може да поема/носи отговорност и поема риска да направи ...“. Всичко това е показателно за наличието на определени личностни характеристики на отделните индивиди. Наред с придобитите знания и умения по време на обучението си, за един специалист е нужно да притежава личностни качества, които ще подпомогнат неговата професионална реализация. Нарочен проект за изработване на професиограми на най-често срещаните професии в България се осъществява от Националната служба по заетостта (сега Агенция по заетостта) и Министерството на труда и социалните политики от страна на България и Федералната служба по заетостта на Германия, стартирайки през 1994 г. В него са разработени професиограми и за специалистите-инженери от миннодобивния отрасъл, за които МГУ „Св. Иван Рилски“ обучава специалисти. След изследване на осем професиограми за сектора, се установиха 23 личностни характеристики, условно разпределени в 5 групи: нравствени; волеви; качества, определящи личностната активност; комуникативни; и характеристики, определящи емоционалната устойчивост. Като професионално значими се обособиха качествата: отговорност, дисциплинираност, умения за работа в екип, организираност и способност за вземане на решения сам.

Ключови думи: професиограми, личностни характеристики, професионално-значими качества, миннодобивна индустрия.

Въведение

Същността на бъдещата професия е залегнала в редица научни изследвания, направени със студенти. Спецификата на работа изисква отлична подготовка за оцеляване в екстремни ситуации, които възникват за инженерите от миннодобивната и минерално суровинната промишленост в работния процес при сложната и опасна заобикаляща ги среда. За такава готовност не може да се съди само по теоретичната подготвеност на обучаващите се. Готовността на бъдещите специалисти се определя и от наличието на редица качества, които се проявяват в критични ситуации. Високото ниво на физическа подготвеност на випускници от технически ВУ, особено в специалности, свързани с опасни производства и видове дейности, се явява като необходимо условие в процеса на обучение (Vahnin, Vahnina, 2017). Иванов, Цолова и Игнатов (2016) търсят начини и методи към усъвършенстване на системата на физическо възпитание и спорт във ВУ, чрез насочването и адаптирането на студентите към изискванията на бъдещата им професионална дейност и предизвикателствата на съвременното общество. Такива са степента на развитие на двигателните качества, нивото на техните психически (психомоторни и интелектуални) качества, както и личностните характеристики на отделните индивиди. Доказателство за важността е и проект, стартирал през 1994 г. към Центъра за професионално развитие и ориентация към Националната служба по заетостта (преименувана по късно в Агенция по заетостта) и Министерството на труда и социалните грижи от българска страна, съвместно с помощта на Федералната служба по заетостта на Германия (седалище в Нюрнберг), за изработване на професиограми на най-често срещаните

професии у нас (Stavrev, 2013). Според Spasov (2004), професиограмата е документ, който пълно, компетентно и в развитие представя основните параметри на съдържанието на професиите и квалификациите, подпомага професионалното ориентиране, дейността за информиране и консултиране на личността при вземане на решение за избор и реализация на определена професия (специалност). В професиограмите се посочва, че за овладяването на една професия, освен знания и умения, са необходими още и физически и психически (психофизически) качества и личностни черти на характера. Stavrev (2011) изследва професиограми на икономически професии и установява 32 професионално значими личностни качества за икономическите професии. В друго изследване се прави сравнение на нивото на развитие на личностните качества на студенти от учебни групи и представителен отбор по баскетбол в УНСС (Stavrev, 2020). Stavrev, Moneva and Stavreva (2017) установяват, че по отношение на вариативността на личностните качества, изследваните студенти и студентки от групи по тенис на маса в УНСС са сравнително еднородни, с изключение на невротичността, при която и двете групи са нехомогенни и с нестабилни показатели. По отношение на нравствените качества, групата на студентките е сравнително еднородна, а тази на студентите е разнородна (нехомогенна). Статистически достоверни разлики се установяват между студентките и студентите при личностната тревожност и невротичността. Студентките са по-тревожни и невротични от студентите. Stavreva (2014) установява значимите за професията на инженера в минно-добивния отрасъл двигателни и интелектуални качества, след изследване на професиограми за специалисти в сектора. Направена е съпоставка на професионално значимите двигателни и интелектуални качества за специалисти от минно-добивната промишленост и икономическата професия, при което се установи голям брой съвпадения на качествата и при двете професии (Stavreva, Stavrev, 2015).

За установяване на професионално значимите личностни качества и характеристики за инженерите в минно-добивната промишленост са анализирани общо осем на брой документи. Изследване от такъв тип не е провеждано и се прави за първи път.

Цел, задачи и методика

Целта на изследването е да се определят професионално-значимите личностни качества, които подпомагат успешната реализация на студентите за практикуване на инженерните професии.

Задачи на изследването

1. Да се проучат и анализират 8 налични професиограми за инженери в минно-добивната промишленост;
2. Да се установят професионално-значимите личностни качества за инженерите в минно-добивната индустрия в тези специалности;
3. Да се установи степента на значимост на тези качества за инженерите в минно-добивната професия.

Методика

Изследването е проведено през 2019 година. Методите за изследване и установяване на качествата, които приложихме са:

- *проучване, анализ и обобщаване* на специализираната научно-методична литература – извършено е предварително проучване за установяване на източниците, които съдържат теоретичните професиограми за професиите в минно-добивната индустрия в България.
- *контент анализ* за разкриване, систематизиране и анализ на личностни качества от професиограмите за всяка специалност. Проучено е съдържанието на 8 папки, включващи професиограми на инженерни професии от сектора. Изработени са подробни таблици за всяка професия (таблица 1), в които са систематизирани всички професионално-приложни качества за упражняване на инженерните професии в минно-добивната индустрия.
- според принадлежността им, личностните качества са разпределени условно в 5 групи – нравствени, волеви, личностна активност, комуникативни и емоционална устойчивост (Попов, 1999).

Таблица 1. *Установени личностни характеристики в една професиограма*

ПРОФЕСИОГРАМА	
НА ИНЖЕНЕРНА СПЕЦИАЛНОСТ	
(МТСГ и Агенция по заетоста)	
Инженерна Минно-геоложка специалност	**Професионално-значими личностни характеристики/качества**
МИНЕН ИНЖЕНЕР	Прецизност
	Умение за работа в екип
	Търпение
	Упоритост
	Отговорност
	Коректност
	Лоялност
	Организираност
	Дисциплинираност
	Психическа устойчивост

Анализ на резултатите

Изследвахме и анализирахме осем професиограми за инженерни специалности в минно-добивната промишленост. Всички те са показани в таблица 2.

Таблица 2. *Наименование на изследваните инженерни специалности (професиограми)*

ИЗСЛЕДВАНИ ПРОФЕСИОГРАМИ	
№	**Изучавани инженерни специалности в МГУ "Св. Иван Рилски"**
1	Маркшайдер
2	Минен инженер
3	Инженер по индустриален мениджмънт
4	Инспектор по труда
5	Енергетик
6	Биотехнолог
7	Еколог
8	Геофизик

В тях изключително се насочихме към установяване на професионално значимите личностни характеристики. В таблица 3 са посочени установените професионално значими личностни качества, които условно се разпределят в 5 групи.

Таблица 3. *Установени личностни качества по групи и брой посочвания във всяка от осемте професиограми*

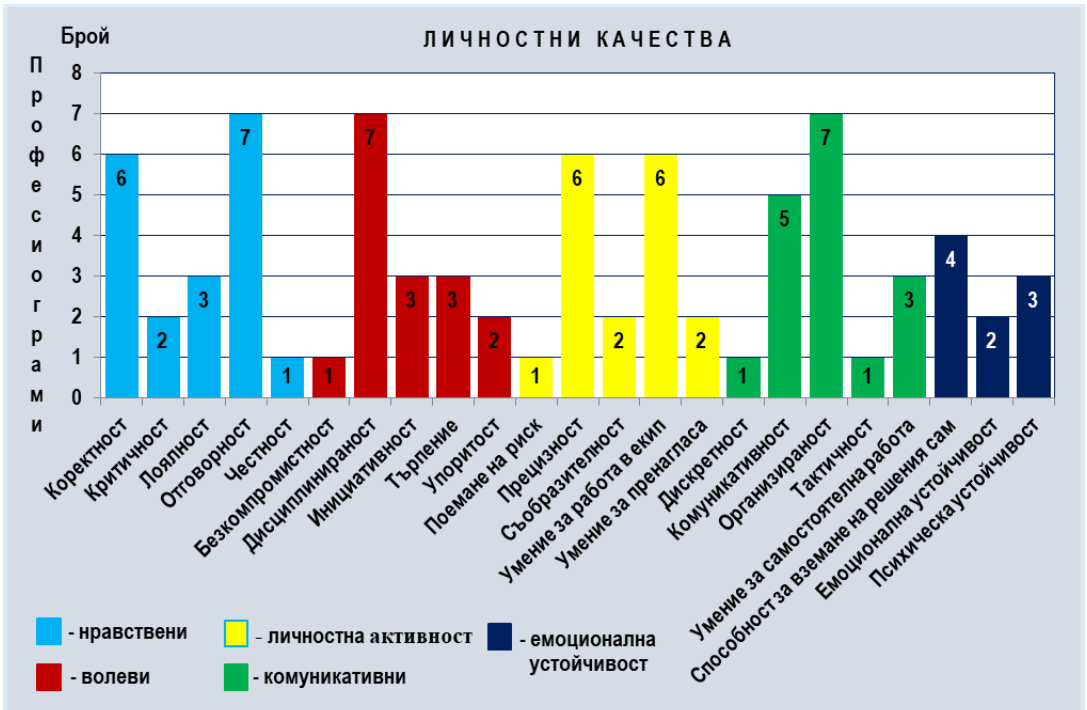
Групи личностни характеристики	Личностни качества към всяка група	Повторения
Нравствени	Коректност	6
	Критичност	2
	Лоялност	3
	Отговорност	7
	Честност	1
Волеви	Безкомпромисност	1
	Дисциплинираност	7
	Инициативност	3
	Търпение	3
	Упоритост	2
Личностна активност	Поемане на риск	1
	Прецизност	6
	Съобразителност	2
	Умение за работа в екип	6
	Умение за пренагласа	2
Комуникативност	Дискретност	1
	Комуникативност	5
	Организираност	7
	Тактичност	1
	Умение за самостоятелна работа	3
Емоционална устойчивост	Способност за вземане на решения сам	4
	Емоционална устойчивост	2
	Психическа устойчивост	3

Също така е установен броят повторения на изискваните качества във всяка една от осемте професиограми.

Професионално значимите личностни качества за успешно упражняване на разглежданите професии в миннодобивната промишленост в разглежданите от нас осем професиограми са 23 на брой. На фиг.1 са представени всичките посочени от експертите професионално значими личностни качества, разделени в групи. Всяка от първите четири групи включва пет професионално значими личностни качества. Това са групите на нравствените и волевите качества, качествата определящи личностната активност и комуникативните качества. Петата група от личностните характеристики се описва като емоционална устойчивост (темперамент) и включва в състава си 3 професионално значими личностни качества. Качеството *отговорност* от групата на нравствените е с най-голям брой посочвания – в 7 от осемте професиограми, следвано от *коректността*, която се изисква в 6 от изследваните инженерни специалности. От тази група е и качеството *лоялност*, посочено в 3 от професиограмите. В две от специалностите експертите са посочили качеството *критичност* като важно, а само в една от професиите се обособява задължително изискването за *честност.*

Дисциплинираността от групата на волевите качества е с най-голяма честота на повторение – в 7 от общо осемте професиограми и се очертава като най-значимо от тази група. *Инициативността* и *търпението* са следващите по повторяемост в професиограмите качества – 3. В две специалности е посочено качеството *упоритост*, а само в една професиограма се изисква *безкомпромисност* от специалистите.

Способността за работа в екип и *прецизността* от третата група се определят като професионално значими качества в 6 от професиите. В две от професиограмите се изисква *съобразителност* и *умение за пренагласа*, а *поемане на риск* е характеристика, посочена само веднъж от експертите.



Фигура 1. Личностни характеристики, установени в осемте изследвани професиограми

Четвъртата група са комуникативните качества. В нея се откроява качеството *организираност*, изисквано в 7 от осемте професиограми, следвано от *комуникативните способности* в 5. Като средна според експертите се определя необходимостта от *умение за самостоятелна работа*, изисквано в 3 професии. Посочени само в една специалност са качествата *дискретност* и *тактичност*.

От пета група – емоционална устойчивост, като професионално значими качества са посочени *способност за вземане на решения сам* – изисквано в 4 от разглежданите професиограми и *психическата устойчивост* – в 3. От тази група с най-малко упоменавания е емоционалната устойчивост, което за нас е изненадващо с оглед ситуациите, в които попадат инженерите от минно-добивната промишленост в ежедневната си трудовата дейност.

От направеният анализ по групи на професионално значимите личностни качества, изискващи се за инженерните специалности в минно-добивния отрасъл, може да заключим, че като най-съществени за инженерите в минно-геоложката професия се очертават групите на нравствените, волевите и комуникативните качества, както и групата на личностната активност.

Изводи

1. Установени са 23 професионално значими личностни качества за инженери в минно-добивната промишленост.

2. От всички установени професионално значими личностни качества с голяма повторяемост във всяка от осемте професиограми се откроиха *отговорност, дисциплинираност и организираност.*

3. Освен придобиването на подготовка и теоретични знания, важно за практикуващите професии в минно-добивния отрасъл е работа за подобряване на някои личностни характеристики с помощта на средствата и методите на физическото възпитание и спорт.

Литература

Вахнин, Н. А., Е. Г. Вахнина. 2017. *Валеолого-педагогическое сопровождение физического возпитание студентов технического вуза как фактор профессионалной подготовке творческого развития личности*. ТПФК, бр. 5. с. 15-16

Иванов, Й., В. Цолова, Г. Игнатов. 2016. Адаптация на физическото възпитание на студентите към екстремалните ситуации на бъдещата им професия. *Адаптация на физическото възпитание и спорта на студентите към изискванията на съвременното общество-Сборник научни доклади от юбилейна научна конференция по случай 60 години катедра ФВ и спорт-организирано спортно движение в МГУ и 80 години от рождението на проф. дн Михаил Бъчваров*. Зона Арт Принт ЕООД, НСА Прес, ИДК при НСА, София. с. 19-30.

Информационна папка М–007, Минен инженер (код 2146). 1996. Национална служба по заетостта, Център за професионално развитие и ориентиране.

Попов, Н. 1999. *Психология-обща психология*. София, НСА Прес. 297 стр.

Спасов, К. 2004. Професиология, наука и практика за професията и квалификацията. С., ЕТ ”Апис-Ромил Колев”. 277 стр.

Ставрев, С. 2011. „Личностни качества, необходими за практикуване на икономически професии”, *Международна научна конференция на ВТУ „Св. Св. Кирил и Методий”- „КИНЕЗИОЛОГИЯ’2011*”, ВТ, I&B LTD, с. 299-301

Ставрев, С. 2020. Сравняване на някои личностни характеристики на студенти от УНСС, практикуващи баскетбол в учебни групи и представителен отбор. *Научно списание „Педагогически алманах“, Том 28, брой 2,* Университетско издателство „Св. св. Кирил и Методий“, Велико Търново. с. 261-265

Ставрев, С. 2013. *Установяване и развиване на референтните психофизически качества, произтичащи от професиограмата на икономистите*. Дисертация, НСА “Васил Левски“.

Ставрева, И. 2014. Значими физически и интелектуални качества за специалисти в минно-добивната промишленост. *Годишник на Минно-геоложкия университет „“Св. Иван Рилски“-София, Том 57*, Свитък IV: Хуманитарни и стопански науки“, 104-106

Ставрева, И., С. Ставрев. 2015. Изисквания към двигателните и интелектуалните качества за специалисти от минно-добивната промишленост и икономическата професия и съпоставката им. *Международна научна конференция „Педагогическото образование – традиции и съвременност“, ВТУ „Св. Св. Кирил и Методи“, Педагогически факултет, Сборник доклади*., Ай анд Би, ISBN: 978-619-7281-01-9, S4_12.pdf

Stavrev, S., E. Moneva, I. Stavreva. 2017. Comparison of personal qualities and temperament characteristics between male and female students from training groups in table tennis at the university of national and world economy. *RESEARCH IN KINESIOLOGY, Vol. 45, №1*, Skopje. 85-87

INTEGRATING TRADITIONAL AND DIGITAL MARKETING IN PRESENT-DAY ECONOMIC CONDITIONS

Boryana Trifonova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: boryana.trifonova@mgu.bg

ABSTRACT. Though digital technologies have been around for several years, they have been on the rise within the past decade due to their ubiquitous use. The world experiences constant crises, whether of an epidemiological or military nature. The existence of humanity today is not possible without digital innovations. The most significant economic impact results from the mobile internet, knowledge automation, IoT, cloud technology, advanced robotics, and 3D printing. These technologies facilitate the development of many branches of the economy. In a period of transition and adaptation to the digital economy, a new marketing approach is needed to combine online and off-line interaction between companies and customers. In digital economy, online interaction alone does not suffice. Powerful differentiation is the result of the off-line connection with the customer. The aim of the report is to offer a comparative analysis of the impact of elements of traditional and digital marketing. Having examined in detail the characteristics of the two types of marketing, the conclusion drawn is that they have their place in contemporary economy when integrated.

Key words: traditional marketing, digital marketing, economic conditions, digital technologies.

ИНТЕГРИРАНЕ НА ТРАДИЦИОННИЯ И ДИГИТАЛНИЯ МАРКЕТИНГ В СЪВРЕМЕННИТЕ ИКОНОМИЧЕСКИ УСЛОВИЯ

Боряна Трифонова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Дигиталните технологии съществуват от няколко години, но в последното десетилетие те са в своя възход благодарение на повсеместното им използване. На светът му се налага да живее в постоянни кризи, било то епидемиологични или военни. Съществуването на човечеството днес, не е възможно без дигиталните иновации. Най-значимо икономическо въздействие имат: мобилния интернет, автоматизация на знанието, интернет на нещата, облачната технология, напредналата роботика и 3-D печата. Тези технологии помагат за развитието на много сектори в икономиката. В този период на преход и адаптация към дигиталната икономика е необходим нов маркетингов подход, който да комбинира онлайн и офлайн взаимодействието между компаниите и клиентите. В дигиталната икономика само взаимодействие онлайн не е достатъчно. Силната диференциация се налага чрез офлайн връзката с клиента. Целта на доклада е да направи сравнителен анализ на въздействието на елементите на традиционния и дигиталния маркетинг. След като се разгледат подробно характерните черти на двата вида маркетинг, изводът който се налага е, че интегрирани, те намират място в съвременната икономика.

Ключови думи: традиционен маркетинг, дигитален маркетинг, икономически условия, дигитални технологии.

Introduction

Digital technologies have been around for several years; yet, the past decade has seen their rise due to their ubiquitous use. The world experiences constant crises, be they of an epidemiological or military nature. The existence of humanity today is not possible without digital innovations. The most significant economic impact results from the mobile internet, knowledge automation, IoT, cloud technology, advanced robotics, and 3D printing. These technologies facilitate the development of many branches of the economy, such as retail trade (e-commerce), education (online courses), healthcare (e-prescriptions and medical records), transport (electronics in automobiles), and even social relationships (social networks). Major retailers are experiencing upheaval caused by the digitally empowered new market entrants like *Amazon* and *Netflix*. Even a breakthrough innovator like Apple's *iTunes*, whose advent has displaced physical music retailers, has had a problem. Following the entry of *Spotify* with its business model of music streaming, *Apple's* revenue from music sales dropped in the beginning of the 21st century. Thus, in 2015, *Apple* was prompted to launch its own music streaming service: *Apple Music*.

Newly emerging technologies not only inspire people as they lead to increased productivity, but also trigger fears about the possibility of people losing their jobs. 3-D printing offers opportunities for rapid innovation as it can reproduce/replicate almost anything, weapons even. Mobile Internet plays the most essential part since people feel permanently connected, informed, and even smarter due to it. However, the constant stare at mobile phones distracts people from what surrounds them, even suppresses their ability to feel empathy. It is necessary to find the ideal balance that enhances knowledge and at the same time does not harm relationships.

Shifting to digital marketing

Technology keeps developing. Not just that, but it does so very rapidly, regardless of anything happening in the world. The curve of its development points in an upper direction until, at

some point, we will not be able to predict any further. Increased computing power and advanced algorithms will make “smart” houses, cars, and cities possible. At some point, they will be able to simulate the work of the human brain. But then it is going to be difficult to assume what will happen, because those will merely go beyond the limits of human knowledge, of our capacities as a species, and of our worldview the way it has survived throughout human evolution. Logically, computers will one day turn out to be “smarter” than us, than all mankind put together - with all the conventionality of the term “smart”, because of which we keep using it in quotation marks as it is. This moment is called a “technological singularity” and was first employed by Ray Kurzweil (Director of Engineering Projects at *Google* since 2012). According to him, in 2029, technological systems will be able to recreate the work of the brain, and the technological singularity will ensue in 2045. Following its exponential development, technology will get to a point where it is so “smart” that we can only guess what will come next. (Karamanev, 2021)

In the current period of transition and adaptation to the digital economy, a new marketing approach is needed to guide us in predicting and employing revolutionary technologies (Kotler et al., 2020). The major shift is from product-oriented marketing (1.0), through customer-oriented marketing (2.0) and the emerging human-centered marketing (3.0). The marketing approach that combines online and off-line interaction between companies and customers is Marketing (4.0). In digital economy, online interaction alone does not suffice. Powerful differentiation is the result of the off-line connection with the customer. Despite the fact that brands need to be very flexible and adaptable due to the rapid development of technology, their originality has been more important than ever before. Another characteristic feature of Marketing 4.0 is that it incorporates artificial intelligence to improve productivity and enhance commitment through customer connectivity.

Traditionally, marketing begins with market segmentation, i.e. dividing the market into homogeneous groups based on their geographic, psychographic, demographic, and behavioural profiles. The next activity is targeting – selecting one or more segments that the company wants to pursue based on their attractiveness and in accordance with it. Segmentation and targeting are fundamental parts of marketing strategy that allow a company to effectively allocate its resources and position itself (Trifonova, 2023). However, these activities are related to the vertical relationship between the brand and its customers, as the decisions are made by the marketers without their customers’ consent. Customer participation is reduced to responses in marketing research, and they usually do not like this limited role.

In digital economy, customers are socially connected to one other in horizontal community networks. Currently, communities are the new segments (ibid.) Unlike the artificial segment formation, communities form by themselves. They define their own boundaries; therefore, they are immune to spam and irrelevant advertising. To engage a particular community of customers, brands must request permission. Seeking permission makes companies friends to the community because of the expected attitude when making a purchase decision. Similar to the Facebook mechanism, customers will have to make the decision to “confirm” or “ignore” the friend request. Thus, the horizontal relationship with customers is demonstrated. By staking on their transparency, companies can keep employing segmentation, targeting, and positioning.

The concept of brand is associated with the set of images (name, logo, slogan, etc.) which distinguishes the company’s product or service from those of its competitors. In recent years, we have adopted the brand because of the overall experience it provides us with. Since the 1980s, brand positioning has been associated with the battle for the customer’s mind. For greater effectiveness, the brand should be clear and manifest authentic differentiation. Brand positioning is essentially a compelling promise that companies make in order to win their customers’ minds and hearts. When these promises are kept, a customer’s trust is earned.

In digital economy, customers are facilitated and empowered to explore and evaluate every single promise of the company. Due to the advent of social media, brands cannot make false and unverifiable promises. New technologies are forcing ever shorter product life cycles and rapidly changing trends in preferences. What should remain unchanged are the corporate symbols and codes. A brand needs to keep its original idea,

Comparative analysis of traditional and digital concepts

A foundation concept in traditional economics introduced by McCarthy and Perreault back in 1987 is the “marketing mix”. Later, Kotler and Armstrong defined the mix as a set of controllable marketing variables that a firm blends in order to respond to the needs of a target market (Kotler et al., 1989). A classic marketing mix contains the **Four Ps of Marketing: product, price, place**, and **promotion**. The *product* is developed on the basis of marketing research on market demand. Out of a multitude of product manufacturing solutions, companies select which one is most efficient in view of their own capabilities. When determining the market *price*, the choice is between cost-based pricing, competition-based pricing, or customer value-based pricing. Once companies know what to offer (product and price), they have to decide on how to offer it (*place and promotion*). The product must reach the customers in the most appropriate manner at the right place and at the right time. Concurrently, companies have to inform their target audience about product benefits through public relations, advertising, and various promotions. The right combination of the Four Ps in the marketing mix guarantees customer satisfaction and company profits.

This classic concept, however, is already dated and **needs** to be given a radically new meaning. Researcher Constantinides has created a model called **“The 4S Web Marketing Mix Model”** or “The 4S Internet Marketing Mix”. This model involves four steps leading to the introduction of a new site or the improvement of an existing one. The four steps of the 4S Internet Marketing Mix Model (Constantinides, 2002) are as follows: **scope, site, synergy, system**. The first step is related to the *scope* of the project implementation, which also defines the vision for it. In order to accurately determine the scope, the following are taken into account: market situation, potential customers, internal analysis, and strategic analysis of online activities. The market situation outlines the market potential of the site and the main competitors. The output of potential customers is in the direction of their needs and interests, as well as basic issues to solve. The internal analysis gives a correct idea of whether the company has sufficient resources to create and maintain the site, as well as to answer all customer inquiries.

Determining the strategic role of online activities is related to answering the question whether the site has achieved the objectives for which it was created.

The second element is creating the *site* itself, which must be user-oriented. The activities within this step need to be strategically planned towards achieving a goal that is defined with precision. One such goal could be providing information, or communication with customers, or improvement of the brand image, or customer service, direct sales, etc. Issues like customers' personal data protection, uploading of correct information, layout and access to the site, etc. should be carefully pre-considered. The answers to all questions should be tailored to the company's objects and its conviction to develop and improve. Consequently, the third element is incorporated: *synergy*, i.e. the implementation of activities in mutual connection and interaction. Interaction should be among the front office, the back office, and third parties. The front office includes the selling points, or how communication with customers is carried out. The back office focuses on activities like order processing, customer service, and logistics. Third parties are partner companies, internet search engines, and advertising platforms, all of which may contribute to the site development. The model is completed by the fourth element: a *system* which is critical for the success of the model. The system specifies the organisation activities, e.g. who is going to build and maintain the site, who will administer and host it, how online transactions will be processed and data archived.

Another model that we can reckon among the revisionist transformations of the marketing mix is Brian Featherstonehaugh's **4E Model of the Marketing Mix**. Brian Featherstonehaugh, the author of the model, is the executive director of the *Ogilvy One Worldwide global advertising* agency. (Peteva, 2021) He considers the classic 4P model to be irrevocably dated and in need of a substitute. Featherstonehaugh points out that the consumer has long taken control, and that the consumer experience should be the basis of the marketing mix model (Featherstonehaugh, 2009). The modern consumer is super-informed, price- and time-hypersensitive, and utility- and access-oriented. Empowering consumers has rendered them particularly demanding of companies and their products. The ever-connected customers should be offered a first-class user experience, all through the stages of purchase decision making, even after the purchase. The requirement for the experience is that it be equally exciting, whether online, off-line, or a combination of both.

According to Featherstonhoe, the 4E model consists of the following elements: **experience, everyplace, exchange,** and **evangelism**. Their proper combination guarantees the success of the company marketing. An issue with one of the four components brings about a loss of competitive positions. The first element is *experience* that replaces the product element from the traditional marketing mix. Currently, customers are immersed in a vast ocean of information and can choose not just a better product, but a better offer. They use their experience with the brand, the company or the product in order to target the combination of utility and emotional appeal. The second element, *everywhere*, denotes that consumers have their own choice as to where they could purchase the product. The dated concept of distribution postulates that it is the company which determines the places for offering the products - physical shops, warehouses, online stores, etc. The interconnected consumers expect to obtain the product in a manner which is personally the most convenient. The company is supposed to be presented on multiple online and off-line channels so as to attract customers and offer them adequate experience with the brand.

The third element, *exchange*, represents consumers' new demands to brands and products. Incentives in the form of free gifts and discounts cannot generate differentiation in the long run. Present-day customers cherish companies which value their time, respect their priorities, and support important causes. The price is no longer rigidly fixed as it used to be in the past. Instead, it is flexible and contains not just the financial resources, but also the users' time, attention, and mental and emotional energy. The *evangelism* element corresponds to the promotion component of the older model. Creating an effective strategy for advertising, sales promotion, and public relations is no longer sufficient to achieve an exciting experience for the user. The reason is that the consumer journey during the purchase does not end with the purchase itself, but continues way afterwards. A satisfied customer is a source of positive information about product, brand, and company. They readily share their experience with their relatives and friends, even with the public. It is evangelism precisely that promotes and builds the brand image thanks to consumers. A company's best marketing success is to convince people that supporting and advocating for that business is a good cause.

The transformations of the variety of marketing mix concepts are summarised by Kotler, Kartajaya, and Setiawan in **the 4C digital marketing concept.** In a world of connected customers, the marketing model is changing to enable their involvement in the game. The traditional marketing mix **(the four P's)** should be re-defined as **the 4 C's: co-creation, currency, communal activation, and conversation** (Kotler et al., 2020). The new strategy in the digital economy is *co-creation* and early customer involvement at the conceptual stage of new product development. Co-creation also allows customers to customise products and services, thus bringing their best proposal to market. The digital era also requires the application of dynamic price-formation, i.e. setting flexible prices based on market demand and filled capacity. For several years, such pricing has been in use in hotel accommodation and airline transport, but new technologies have introduced it to other industries as well. Even online retailers are collecting arrays of data about their customers and offering personalised pricing. Therefore, price in digital economy is compared to *currency*, which varies according to market demand.

In the economy of sharing, where distribution is person-to-person, the channel concept is also undergoing a change. Companies like *Airbnb, Uber*, *Zipcar,* and *Lending Club* are making their way into the hotel, taxi, rental car, and banking industries. They provide customers with easy access to products and services owned by other customers. Such person-to-person spread will be accelerated due to the advent of 3D printing, whereby a consumer will receive the product within minutes, printed in front of them. In a world of connectivity, customers expect to access products and services in nearly an istant, which is achieved through *community activation*.

Traditionally, promotion has been monolateral with the company sending messages to customer audience. Currently, owing to a multitude of social networks, users can respond to these messages. What is more, in social networks, customers assist other customers in their choice. Rating systems, such as *TripAdvisor* and *Yelp*, have also emerged, wherein users converse about brands and rate those. In digital economy, companies can survive thanks to the connected marketing mix (the 4 C's). However, this mix also requires a shift in sales

techniques from passive to active. Increased customer *commitment* in the sales process is necessary.

Integrating traditional and digital marketing

In traditional economy, prior to the purchase, customers were treated as targets, and following the purchase they were regarded figuratively as royals. In digital economy, companies view them as equals. The shift is from a service strategy to a strategy of concern for them. This demands careful listening, tracking, responding, and fulfilling the conditions of both parties: company and consumers. In traditional services, service staff is responsible for the sales, whereas in the connected world, the key to success is customer care. Consumer involvement in the sales process is achieved through the use of self-service facilities.

Table 1. *Comparison of traditional and digital concepts in terms of consumer path*

The 4 P's	The 4 S's	The 4 E's	The 4 C's	Consumer path
product	scope	experience	co-creation	1. Awareness
				2. Attraction
price	site	exchange	currency	3. Application
place	system	everyplace	communal activation	4. Action
promotion	synergy	evangelism	conversation	5. Advocacy

Table 1 offers a comparison of traditional and digital concepts in terms of consumer path. The similarity among them is their main requirement: that the elements act in a system, i.e. interconnected, in order to bring about a synergistic effect. The essential difference is in their philosophy: it is expressed in the direction of marketing activities. Digital marketing models are primarily oriented towards consumer experiences and knowledge, while traditional marketing is aimed at satisfying consumer needs through products. Purchase decisions today are grounded on the so-called consumer journey: from the very first moment they come into contact with the product, through its purchase, and even beyond that. In reality, customers are willing to engage with the company on a deeper emotional level. They expect to be offered an emotional narrative that can easily be shared from mouth to mouth and thus act as free advertising, even reaching the stage of co-creation whereby products and services are customised and the best offer is presented on the market.

In contrast to the dated concept of distribution in physical and online stores, today's companies should be present on a multitude of online and off-line channels. Thanks to the advent of 3D printing, a consumer can obtain the product printed within minutes in front of them. The price is now flexible and contains not only the financial resources, but also the consumers' time, attention, mental, and emotional energy. Even online retailers are collecting arrays of data about their customers and offering personalised pricing. In the modern digital age, consumers are constantly in social networks, where they share their experiences and knowledge in the course of purchasing a certain product. To incorporate evangelism into their marketing mix, companies should target a high-quality customer experience. In this manner, they will win satisfied customers who will make repeat purchases and, above all, will recommend the product to other people and become active supporters of that product.

Conclusion

The conclusion to be drawn is that traditional and digital marketing have their places in the contemporary economy. They need to alternate their roles along the consumer path: from product concept, through appeal creation, desire to buy and actual purchase, until reaching the stage of advocacy. At the early stage of the interaction between company and consumer, traditional marketing plays the major part in creating awareness and interest. As the interaction progresses and as customers seek a closer connection, the role of digital marketing increases. It drives consumers to action and advocacy. The focus of the first type of marketing is to achieve results, whereas the newer type of marketing is aimed at initiating interaction with the customer. The expectation of digital marketing is to present the dynamic roles of both types of marketing in gaining consumer support. A company's best marketing success is to convince people that supporting and advocating for that business is a good cause. This result is achieved when consumers are provided with an adequate and memorable experience throughout the entire purchase decision process and beyond.

References

Constantinides, E. 2002. The 4S Web-Marketing Mix Model. *Electronic Commerce Research and Applications*, 1, ~~pp.~~ 57-76

Fetherstonhaugh, B. 2009. *The 4Ps are out, the 4Es are in*. (Online) Available from: http://www.ogilvy.com/on-our-minds/articles/the_4e_-are_in.aspx

Karamanev, G.. 2021. Singulyarnost: kogato kompyutrite stanat „po-umni“ ot nas. - *Journal InGlobo*, 34 (in Bulgarian).

Kotler, P., G. Armstrong. 1989. *Principles of Marketing*. 4th ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Kotler, P., H. Kartajaya, I. Setiawan. 2020. *Marketing 4.0: ot traditsionnoto kam digitalnoto*. Sofia, Lokus Publishing. (in Bulgarian)

Mason, B., M. Mayer. 1990. *Modern Retailing. Theory and Practice*. 5th ed., Boston: Irwin.

Peteva, V. 2021. Transformations of the Marketing mix in Conditions of the New Digital Reality. - *Izvestia* Journal of the Union of Scientists – Varna, t.10, №3, ~~pp.~~ 145-156 (in Bulgarian with English abstract).

Trifonova, B. 2023. *Menidzhmant na marketinga na visokite tehnologii*. Avangard Prima, Sofia (in Bulgarian).

WHY SHOULD YOGA BE STUDIED IN PHYSICAL EDUCATION AND SPORT CLASSES IN BULGARIAN UNIVERSITIES?

Vanya Tzolova
University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, E-mail: vania_tzolova@abv.bg

ABSTRACT: Physical education in the educational system as a social sphere of application of sports expands the boundaries of students' personal activity, on the one hand, and satisfies certain social needs as educational, cultural, health, etc., on the other hand. Undoubtedly, the leading social function of physical education among students is the health prevention function. It is aimed at the use of physical exercises in the educational process in “Physical Education and Sports” as a means of improving the psychophysical health and prevention of students. For this reason, many studies have been carried out in higher school in recent years, aimed not only at increasing the effectiveness of physical education and sport lessons in the regular educational process so that this function could be realised, but also aimed at transforming sports into an indispensable need for students in their free time.
The aim of the study is to justify scientifically why yoga should be studied in the classes of physical education and sport in Bulgarian universities. In view of this, we studied and analysed scientific publications from national scientific conferences held by Bulgarian Yoga Federation. This analysis was supplemented by the results of a focused group discussion with students who were trained at the Center for Postgraduate Studies at the “Vassil Levski” National Sports Academy for gaining a coaching qualification in yoga.

Key words: physical education, sport, social functions, students, universities.

ЗАЩО ЙОГА ТРЯБВА ДА СЕ ИЗУЧАВА В ЧАСОВЕТЕ ПО ФИЗИЧЕСКО ВЪЗПИТАНИЕ И СПОРТ В БЪЛГАРСКИТЕ УНИВЕРСИТЕТИ?

Ваня Цолова
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ: Физическото възпитание в образователната система като социална сфера на приложение на спорта от една страна, разширява границите на личностната активност на обучаваните, а от друга – удовлетворява определени техни социални потребности, в т.ч. образователни, културни, здравни, възпитателни и др. Несъмнено водещата социална функция на физическото възпитание сред учащите е здравно-профилактичната. Тя е насочена към използването на физическите упражнения в учебния процес по „Физическо възпитание и спорт“ като средство за подобряване на психофизическото здраве и за профилактика на обучаваните. Ето защо във висшите училища през последните години се провеждат множество изследвания, насочени не само към повишаване ефективността на редовния учебен процес по физическо възпитание за реализирането на тази функция, но и за превръщането на спорта в неотменна потребност за студентите в тяхното свободно време.
Целта на изследването е научно да обосновем защо йога трябва да се изучава в часовете по физическо възпитание и спорт в българските университети. За реализирането ѝ извършихме проучване и анализ на научни публикации, представени на национални научни конференции на Българската федерация по йога. Този анализ бе допълнен с резултатите от проведена дискусия във фокусна група със специализанти по йога за придобиване на треньорска квалификация в условията на Центъра за следдипломна квалификация при НСА „Васил Левски“.

Ключови думи: физическо възпитание, спорт, социални функции, студенти, университети.

Въведение

Физическото възпитание в образователната система се явява важна социална сфера на приложение на спорта. От една страна, то разширява границите на личностната активност на обучаваните, а от друга – удовлетворява определени техни социални потребности, в т.ч. образователни, културни, здравни, възпитателни и др. В този смисъл, според Бъчваров (2000), физическото възпитание е „интегрален процес, съчетаващ в себе си разнородни спортологични знания, средства, методи и подходи.“ Този процес има своите специфични цели и функции, тъй като в основата му стои целенасочената двигателна активност. Като стъпват на тази основа, Цолов и Иванов (1998, 2004) формулират интегралната цел на учебния процес по физическо възпитание във висшите училища по следния начин: „Даване на студентите на необходимите знания за ефективно използване на физическите упражнения и спорта в бита им, формиране у тях на практически умения и навици за занимания с физически упражнения и спорт, съдействане за подобряване на психофизическата работоспособност и общата им двигателна култура, укрепване на тяхното здравословно състояние, подготвяне за бъдещо изпълнение на трудово-професионалната им дейност и социализация в обществото“.

Несъмнено, водещата функция на физическото възпитание сред учащите, произтичаща от тази интегрална цел, е здравно-профилактичната. Тя е насочена към използването на физическите упражнения в учебния процес по „Физическо възпитание и спорт” като средство за подобряване на психофизическото здраве и за

профилактика на обучаваните. Ето защо във висшите училища през последните години се провеждат множество изследвания, насочени не само към намирането на методични подходи и средства (в т.ч. различни упражнения, видове спорт, познавателни и двигателни активности) за повишаване ефективността на редовния учебен процес по физическо възпитание за реализирането на тази функция, но и за превръщането на спорта в неотменна потребност за студентите в тяхното свободно време.

Цел, методи и анализ

Целта на изследването е научно да обосновем защо йога трябва да се изучава в часовете по физическо възпитание и спорт в българските университети.

За реализирането на целта извършихме проучване и анализ на научни публикации, представени на две национални научни конференции на Българската федерация по йога (БФЙ). Този анализ бе допълнен с резултатите от проведена дискусия във фокусна група със специализанти по йога за придобиване на треньорска квалификация в условията на Центъра за следдипломна квалификация при НСА „Васил Левски“.

Идеята за провеждане на такова изследване се зароди още през 2011 г. след първата национална научна конференция на БФЙ, организирана съвместно с Центъра за следдипломна квалификация. На нея бяха изнесени 23 научни доклада, публикувани в сборника „Йога – универсална система за самоусъвършенстване“ (2011). Още в уводния доклад тогавашният председател на федерацията Петя Стефанова (2011) посочи, че йога е не само вид целенасочена двигателна активност, но и наука за духовността, която води към единение за хармонично и интегрирано израстване и усъвършенстване на личността – едновременно на тялото, духа и ума. Йога е философска школа, подчертава тя, която е създала методико-практическа и психо-физиологична система, базирана на концепцията на Световната здравна организация за триединната същност на човешкия индивид – „организъм – психика – личност“ и на дефинираните пет вида здраве – физическо, емоционално, ментално, социално и духовно. На това, допълва Стефанова (2011) съответства и триединната структура на йога тренировъчния комплекс:

- *Яма и нияма* – хармония между вътреличностните процеси и междуличностните отношения.
- *Асана и пранаяма* – система от ставно-мускулни, стомашно-чревни и дихателни упражнения и техники, чието основно предназначение е превръщането на енергията на мускулите в енергия на мозъка.
- *Пратяхара, дхияна, дхарана и самадхи* – вид психотехники за себеидентифициране на автентичното „Аз“ и създаване на достоверен образ на действителността.

През 2016 г. бе проведена втора национална конференция с 14 научни доклада, публикувани в сборника „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето“ (2016). Докладите от двете конференции, отразяващи изследвания с различни възрастови и полови групи, включително и със студенти, категорично доказаха различни аспекти относно положителното влияние на йога за развитието на психофизическата дееспособност и здравето на практикуващите я.

Позитивното влияние на йога, отразено и доказано в изследванията от двете конференции, може да се систематизира в следните направления:

1. *Подобряване на устойчивостта и развитието на вниманието, логическото и позитивното мислене и концентрацията* (Величкова и Кънева, 2011; Вълчева и кол., 2011; Динкова и кол., 2011; Петрова и Найденова, 2011; Славова и кол., 2011). Общо пет са изследванията в това направление, проведени с различни възрастови групи, в т.ч. и със студенти. Те категорично доказват, че практикуването на йога се отразява изключително благоприятно върху устойчивостта на вниманието, в т.ч. върху съсредоточеността и интензивността му. Това съдейства за по-висока концентрация на вниманието на занимаващите се и за тяхното по-добро логическо и позитивно мислене.
2. *Подобряване на психофизическото състояние, концентрацията и ефективността на студентите в условията на техния учебен процес* (Иванов и Станков, 2011; Маринов и кол., 2016 и др.). В унисон с позитивното влияние на йога, изразено по-горе, е фактът, че системното практикуване съдейства значително за подобряване на концентрацията и цялостното психофизическо състояние на студентите, което от своя страна води до по-голяма ефективност на учебния процес. Нещо, което е изключително важно не само за обучението по физическо възпитание, но и по другите учебни дисциплини.
3. *Понижаване и овладяване на тревожността, гнева, агресията и предлагане на стратегии за справяне със стреса* (Виденова и кол., 2001; Даскалова и кол., 2011; Димитрова-Денкова и кол., 2016; Димитров и кол., 2016; Михайлова и кол., 2011; Серафимова., 2011; Русева и кол., 2011). Изследванията в това направление доказват, че йога упражненията, съчетани със специфичните дихателни техники, релаксацията и медитацията в хода на практиките, повлияват положително на процесите, свързани с понижаване на тревожността, гнева и агресията. Важен момент е фактът, че практикуващите системно йога имат по-съвършена структура на стратегиите за справяне със стрес. Водещи при тях са стратегиите – „Позитивно преосмисляне и развитие“ и „Активно справяне“ (Даскалова и кол., 2011).
4. *Развитие на волята, темперамента, характера, възприятията и формиране на умения за овладяване на конфликтни ситуации* (Булба и кол., 2011; Димитров и кол., 2016; Парикатева и кол., 2011; Пелова и кол., 2011; Кузманова и кол., 2011). Резултатите от изследванията тук са в диалектическа връзка с тези от предходното направление. Те по безспорен начин доказват, че системното практикуване влияе положително върху развитието на волята, темперамента и изграждането на характера. Това съдейства за по-бързото и комплексно формиране на умения за справяне с конфликти в трудни ситуации (Парикатева и кол., 2011). В немалка степен това се дължи и на „дихателния модел“ в йога практиките,

който влияе положително върху емоционалното състояние на занимаващия се, което пък предизвиква определени физиологични промени в тялото му.

5. *Развитие на физическите качества гъвкавост и мускулна сила* (Борисов и кол., 2016; Маринов, 2016; Цолова и кол., 2016). Изследванията доказват позитивното въздействие на заниманията с йога за развитието на някои физически качества на практикуващите и конкретно за развитието на гъвкавостта и мускулната сила. Обект на изследванията тук са преобладаващо жени, но може да се предполага, че ефектът и при мъжете е подобен.
6. *Превенция и лечение на някои заболявания, в т.ч. астма и бронхит, контузии в тазобедрената става, болки в гръбната област и положително повлияване на определени кожни заболявания* (Винчева и кол., 2016; Вълчев и кол., 2016; Колева и кол., 2016; Николчева и кол., 2016). Относно профилактичния и лечебен ефект на заниманията с йога проведените изследвания доказват, че те имат голяма полза при заболявания като астма и бронхит, както и при някои контузии, свързани с болки в кръстно-поясната област и ставите.
7. *Комплексно влияние на йога за здравословен начин на живот* (Кръстева и кол., 2011; Кузманова и кол., 2011; Липчева и кол., 2011; Маринов, 2016; Серафимова., 2011; Стоева и кол., 2011). Комплексното влияние на йога заниманията за водене на здравословен начин на живот е отразено в шест целенасочени изследвания. Доказано е, че йога практиките влияят положително за подобряване на двигателната активност и спазване на определен хранителен режим (Маринов и кол., 2016). Съдействат за намаляване влиянието на вредните навици (тютюнопушене и употреба на алкохол). Намаляват теглото, понижават телесната маса и повишават дихателния капацитет (Стефанова и кол., 2011). Оказват комплексно положително влияние върху дейността на дихателната и сърдечносъдовата система и пр. (Серафимова, 2011).

За допълване на аналитичната информация по изследвания проблем проведохме дискусия във фокусна група със специализанти по йога, включени в обучение за придобиване на треньорска квалификация в условията на Центъра за следдипломна квалификация. В нея се включиха дванадесет лица с висше образование, които дискутираха относно това дали йога трябва да се изучава в часовете по физическо възпитание в българските университети. Трябва да подчертаем, че почти всички, изразиха мнението си за необходимостта това да бъде реализирано на практика. Мотивите за утвърдителното им становище бяха свързани с убедеността, произтичаща не само от наблюденията и тренировъчния опит, но и от познанията им в резултат на различни научни изследвания, че системните занимания с йога съдействат активно за водене на здравословен начин на живот, за по-пълноценно участие на студентите в учебния процес, както и при подготовката им за бъдещата трудова дейност..

Заключение

Както посочихме вече през последните години във висшите училища се провеждат множество изследвания за намиране на методични подходи и средства за ефективно реализиране на целта на учебния процес по физическо възпитание. В този смисъл може убедено да подчертаем, че изследванията, анализирани тук, категорично доказват необходимостта йога да бъде въведена в изборно-задължителната и факултативната форма на редовния учебен процес по физическо възпитание в българските университети. Комплексният здравно-профилактичен, психосоциален, учебно-образователен, градивен и възпитателен ефект от заниманията с йога са изключителна необходимост не само за цялостния учебен процес на българските студенти, но и за превръщането на спорта като неотменна потребност в тяхното всекидневие.

Литература

Борисов, Л., М. Георгиева, Н. Денина, Н. Сотирова, Д. Бъчварова. 2016. Състояние на гъвкавостта при жени, практикуващи йога. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето“*, 47-53.

Булба, Ю., В. Инджова, Е. Йончев. 2011. Развитие на волевите качества чрез практикуване на йога. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване“*, 46-51.

Величкова, Св., М. Кънева. 2011. Въздействието на йога практиките върху развитието на вниманието. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване“*, 31-36.

Виденова, Б., И. Ангелова, М. Николова, Л. Дренски. 2011. Изследване на ефективността на практикуването на йога за овладяване на агресията. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 60-63.

Винчева, Л., К. Вълкова, Т. Иванова, Т. Генова, Е. Николова. 2016. Възможности на йога за превенция и лечение на някои заболявания на тазобедрената става. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 283-89.

Вълчева, Ан., М. Маркова, Н. Марков. 2011. Изследване влиянието на йога практиката върху устойчивостта на вниманието при деца от 7 до 10 години. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 25-30.

Вълчев, В., П. Пенева, Св. Лазарова. 2016. Кожни заболявания при хора, практикуващи йога. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 90-92.

Даскалова, Д, Г. Тошева, В. Стоилчева, Д. Богоева-Илиева. 2011. Изграждане на стратегии за справяне със стреса чрез практикуване на йога. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 52-55.

Димитров, В., И. Велкова, М. Петришка. 2016. Въздействие на практиките по йога върху проявите на тревожност и депресия. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 22-30.

Димитров, В., В. Цолова, Д. Илиева. 2016. Практикуване на йога като превенция срещу стреса и депресивността. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 41-46.

Димитрова-Денкова, Ал. Г. Славчева, Ж. Димитрова, М. Петрова, Т. Донева. 2016. Влияние на йога за намаляване на агресията. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 13-21.

Иванов, Й., Ст. Станков. 2011. Роля на йогийското дишане за повишаване концентрацията и ефективността на учебния процес на студентите. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 124-130.

Колева, Р., Н. Попова, М. Чолакова, М. Бангюзова. 2016. Въздействие на йога в лечебен и профилактичен аспект върху болките в кръста. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето“*, 74-82.

Кръстева, А., П. Николова, Р. Илиева. 2011. Йога като начин на живот. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 105-110.

Кузманова, Б., Г. Огнянова, Р. Димитрова. 2011. Развитие на характера чрез практикуване на йога. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 82-86.

Липчева, Л., Г. Дойчинова, И. Аргирова, В. Манова, М. Танас. 2011. Влиянието на йога практиките върху здравето и хранителните навици. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 97-106.

Маринов, Т., Т. Пейчев, В. Русева, С. Вакинова. 2016. Йога и здравословен начин на живот. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 6-12.

Маринов, Т. 2016. Взаимовръзки между мускулната сила и гъвкавостта при жени, практикуващи йога. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 60-66.

Михайлова, В., Д. Стефанова, К. Тотева, А. Антонов. 2011. Развитие на позитивното мислене чрез йога практики. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 56-59.

Николова, П., Р. Стоянова, Ан. Костадинова. 2011. Въздействието на йога върху развитието на логическото мислене. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 37-40.

Николчева, В., Н. Попова, Н. Желева, Р. Янева. 2016. Някои йога практики като част от комплексното лечение на астма и хроничен бронхит. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 67-73.

Парикатева, Д., Н. Леви, Хр. Митовска. 2011. Формиране на умения за преодоляване на конфликти чрез практикуване на йога. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 70-73.

Пелова, Н., Л. Петрова, М. Алипиева, Ю. Савова. 2011. Изследване на темперамента на практикуващите йога. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 41-45.

Петрова, Д., К. Найденова. 2011. Развитие на позитивното мислене чрез йога практики. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 41-45.

Русева, П., Р. Панова, Т. Димитрова. 2011. Понижаване на тревожността чрез практикуване на йога - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 64-69.

Серафимова, Б. 2011. Психо-социален профил на лица от класове по йога. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 111-115.

Стефанова, П. 2011. Йога – универсална система за усъвършенстване. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 7-8.

Стефанова, Л., Ц. Ангелова, М. Видева, К. Павруджиева. 2011. Промени във физическото развитие при прилагане на йога практики. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 87-92.

Стоева, В., А. Цачева, Е. Гергинова. 2011. Изследване ефективността на методика за визуализация върху развитието на гъвкавостта при практикуването на йога. - *Сб. доклади „Йога – универсална система за усъвършенстване*“, 120-123.

Цолов, Б., Й. Иванов. 1998. *Управление на учебно-тренировъчния процес по футбол във ВУЗ.* Информаинтелект, София, с. 79.

Цолов, Б. 2008. *Основи на маркетинга в спорта.* Болид инс. София, 287.

Цолова, В., Й. Иванов. 2013. *Физическо възпитание във висшите училища – нов методичен подход.* БПС, София, с. 107.

Цолова, В., С. Йорданов, П. Борисова, Л. Тодорова. 2016. Изследване на силовите възможности на жени, практикуващи йога. - *Сб. доклади „Влиянието на йога върху психиката, физическите качества и здравето*“, 54-59.

Цолова, В. 2017. *Физическо възпитание във висшите училища. Теория и научно-приложни изследвания.* НСА ПРЕС, София, с. 171.

UNIVERSITY OF
MINING AND GEOLOGY
"ST. IVAN RILSKI"

www.mgu.bg