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

Том 65

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

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

Volume 65

София 2022

Sofia 2022

ГОДИШНИК

НА

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ

„СВ. ИВАН РИЛСКИ“ – СОФИЯ

ТОМ 65

ANNUAL

OF

UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY

"ST. IVAN RILSKI" – SOFIA

VOLUME 65

2022

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, 2022
Publishing House "St.Ivan Rilski", Sofia, 2022

СЪДЪРЖАНИЕ

CONTENTS

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

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИЯ И ПРОУЧВАНЕ НА МИНЕРАЛНИ И ЕНЕРГИЙНИ РЕСУРСИ
SECTION GEOLOGY AND EXPLORATION OF MINERAL AND ENERGY RESOURCES

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

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

СЕКЦИЯ

ДОБИВ И ПРЕРАБОТКА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ

SECTION

MINING AND MINERAL PROCESSING

ZINC SOLVENT EXTRACTION – PRINCIPLE, MECHANISMS, AND REAGENTS

Ivanka Valchanova

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

ABSTRACT. Solvent extraction is one of the most important and widely used processes of separation and concentration in hydrometallurgy. It uses selective organic reagents called extractants to extract valuable metal from an aqueous solution, rejecting the impurities and simultaneously increasing the metal concentration. The solvent extraction process finds application in the recovery of uranium, copper, cobalt, nickel, zinc, manganese, molybdenum, vanadium, gallium, germanium, rare earths, precious metals, and platinum group of metals. In the case of zinc, solvent extraction is an advance process option for the processing of both primary and secondary sources of zinc as it eliminates the losses of the metal, typical for conventional purification methods, and produces highly purified electrolyte for zinc electrowinning. In this review, the basic principle, mechanisms involved and extraction chemistry by acidic extractants have been discussed. Also, available commercial extractants for zinc solvent extraction in sulfate media have been presented.

Key words: zinc, solvent extraction, purification, extractant

ТЕЧНА ЕКСТРАКЦИЯ НА ЦИНК – ПРИНЦИП, МЕХАНИЗМИ И РЕАГЕНТИ

Иванка Вълчанова

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

РЕЗЮМЕ. Течната екстракция е един от най-важните и широко използвани процеси за разделяне и концентриране в хидрометалургията. При този процес се използват селективни органични реагенти, наречени екстрактанти, които извличат ценния метал от даден воден разтвор, отстраняват примесите и в същото време повишават концентрацията на метала. Течната екстракция намира приложение при извличане на уран, мед, кобалт, никел, цинк, манган, молибден, ванадий, галий, германий, редкоземни елементи, благородни метали и металите от групата на платината. Цинковата течна екстракция е добре разработен модерен процес за преработка на първични и вторични източници на цинк, защото елиминира загубите на метал, характерни за конвенционалните методи за пречистване, и продуцира електролит с висока чистота за цинковата електролиза. В този преглед са дискутирани основният принцип на процеса, както и механизмите и химията на извличане с киселинни екстрактанти. Представени са и съществуващите комерсиални екстрактанти за течна екстракция на цинк в сулфатна среда.

Ключови думи: цинк, течна екстракция, пречистване, екстрактант

Въведение

Над 80% от цинка в световен мащаб се произвежда чрез конвенционалния процес пържене-излужване-електролиза (Roast-Leaching-Electrowinning), който е разработен за третиране на сулфидни руди, основно сфалерит (Sinclair, 2005). Други източници на цинк са първични оксидно-карбонатни руди, които съдържат около 10-20% цинк (Deep and Carvalho, 2008) и вторични материали, като прахове от филтриращи съоръжения при пирометалургични процеси, шламове, кекове, утайки, вторични цинкови оксиди от Waelz пещи и т.н. Понастоящем приблизително 30% от световното производство на цинк е от вторични източници, но използването им в конвенционалния процес е сравнително ограничено поради съдържащите се в тях метални примеси и халогениди (флуориди и хлориди), които се натрупват в електролита (Diaz et al., 2010). Примесите имат негативен ефект върху отлагането на цинка, чистотата и морфологията на катодите и затова процесът на очистка с цел тяхното отстраняване е от огромно значение за качеството на получавания краен продукт и икономическата ефективност на процеса. При конвенционалната очистка на електролита, включваща етапи на химично утаяване и циментация, голяма част от примесните йони се отстраняват, но въпреки това, известно количество от тях остава в него и е трудно да се достигне висока степен на пречистване. Освен това, тези процеси консумират голямо количество реагенти, което е икономически неизгодно.

Напоследък, като алтернатива на този подход все по-голямо приложение намира процесът на течна екстракция, при който се извършва селективно извличане на цинка и последващото му концентриране с използване на подходяща органична фаза.

Течна екстракция

Общи положения

Течната екстракция е процес на селективно извличане на даден компонент (метален йон, киселина и др.) от разтвор с помощта на органичен реагент. В индустриалната практика процесът е често използван метод за концентриране, разделяне и получаване на голям брой метали с висока чистота от руди, отпадъци и разредени водни разтвори (Cox, 2004). Flett (2005) и Ritcey (2006) са прегледали подробно приложенията на течната екстракция в хидрометалургията за извличане на метали от първични и вторични източници, или пречистване на отпадъчни води при преработка на мед, никел, кобалт, цинк, уран, молибден, волфрам, ванадий, цирконий, хафний, ниобий, редкоземни елементи, галий, германий и платиновата група метали. Медната течна екстракция е един от най-добре разработените процеси и е широко използвана при преработката на сулфидни и оксидни медни руди, както и на мед-съдържащите отпадни материали (Tsekov et al, 2003; Angelov et al., 2013; Angelov et al., 2015; Григорова, Нишков, 2016; Янкова, 2021).

Принцип

Течната екстракция се основава на принципа на масообмен между две несмесващи се течности – водна и органична. Водната фаза съдържа компонента, който ще се екстрахира, а органичната фаза - екстрактант, който извършва екстрахирането. След интензивен контакт между двете фази, компонентът се разпределя между тях и се установява равновесие, т.е. концентрациите му в едната и другата фаза остават постоянни. Компонентът се екстрахира от водната в органичната фаза (екстракция) и след това се трансферира обратно в друга водна фаза в пречистена и концентрирана форма (реекстракция) (Fox and Feather, 1994). Разделянето на двете несмесващи се фази е основано на разликите в тяхната плътност и може да бъде оптимизирано чрез контролиране на някои операционни условия, като концентрация на екстрактант, температура, pH, контактно време и концентрация на метала във водната фаза.

Механизми и реагенти

В повечето случаи разпределението на метала между двете фази е химично по природа и при екстракционния процес протичат различни химични реакции. Във водния разтвор металът съществува като хидратиран или солватиран йон и вероятността да се трансферира в неполярната органична фаза е много малка. За да се осъществи процес на екстракция, зарядът на йона трябва да се неутрализира и солватираната му обвивка да бъде заменена с хидрофобни молекули или йони. Налице са три основни механизма, чрез които се осъществява екстрахирането на даден метал: (1) Катионен механизъм – взаимодействие на метален катион от водната фаза с анион на дисоциирана органична киселина и образуване на неутрален комплекс, (2) Анионен механизъм - образуване на йонна двойка между органична молекула и отрицателно зареден метален комплекс във водната фаза и (3) Солватен механизъм - заместване на хидратираните водни молекули във вътрешната координационна сфера на метален йон с органични - солватация на металния йон. Органичните молекули, участващи в горните механизми са основните реагенти в процеса на течна екстракция и се наричат екстрактанти (Cox, 2004).

За да може течната екстракция да работи ефективно, екстрактантът трябва да отговаря на редица критерии, най-важните от които, обобщени от Sudderth and Kordosky (1986) са: да се реекстрахира лесно; да бъде стабилен, за да се използва многократно; да бъде негорим, нетоксичен, неканцерогенен и т.н.; да бъде разтворим в немного скъп органичен разтворител или самият той да действа като разтворител; да позволява екстрахирането и реекстрахирането на метала с достатъчно голяма скорост, за да се намали контактното време; да не генерира стабилни емулсии; да не пренася примеси от реекстракцията към екстракцията; да има приемлива цена.

Следователно, ключов елемент за успешното провеждане на течната екстракция е изборът на подходящ органичен екстрактант за желания метал. По принцип екстрактантът рядко се използва в чиста форма. Същият обикновено се разрежда в органичен разтворител, при което се получава т.нар. органична фаза. Екстракцията на метала в органичната фаза се влияе и от физичните свойства на разтворителя: плътност, вискозитет, диелектрична константа и параметри на разтворимост (Reichardt, 2003). За да е комерсиално успешен един разтворител, той трябва да има много ниска разтворимост във водната фаза, ниска летливост, висока точка на възпламеняване, ниско повърхностно напрежение и трябва да е икономичен и леснодостъпен. Освен това, някои органични системи съдържат и трети компонент, познат като модификатор. Модификаторите се използват, за да подтиснат образуването на трета фаза и да подобрят физичните характеристики на органичната фаза, например фазовото разделяне. Те са или алифатни (мастни) алкохоли (напр. изодеканол и 2-етилхексанол), или ароматни алкохоли (напр. p-нонилфенол).

Използването на течната екстракция обаче не се определя единствено от свойствата на органичните реагенти, а и от природата на металите във водната фаза, които се извличат (Ritcey and Ashbrook, 1984).

Видове екстрактанти

Ritcey and Ashbrook (1984) и Cox (2004) разделят екстрактантите на три групи в зависимост от механизма на екстракция: 1) Киселинни (катионен механизъм) – органофосфорни, карбоксилови киселини; 2) Основни (анионен механизъм) – соли на първични, вторични, третични или кватернерни амини; 3) Неутрални (солватен механизъм) – кетони, висши алкохоли, етери.

Най-често използваните екстрактанти за извличане на цинк са киселинните екстрактанти, тъй като цинкът е под формата на двувалентни катиони след излужване в сулфатна среда.

Киселинни екстрактанти

Едни от най-широко използваните киселинни екстрактанти за разделяне и пречистване на метали в хидрометалургията са семейството на органофосфорните екстрактанти, включващи: D2EHPA - фосфорна киселина, известна от 1949 г.; PC-88A - фосфонова киселина, въведена в индустрията от Daihachi Chemical Industry Co през август 1978 г. (Preston, 1982) и CYANEX - реагенти на базата на фосфинови киселини, разработени през 1980 г. от American Cyanamid Co, сега част от Solvay.

D2EHPA е търговското наименование на ди-2-етилхексил фосфорна киселина и механизмът на екстракция с нея включва следните етапи: 1) Депротонизация, при която се образува хидрофобен анион; 2) Свързване на хидрофобния анион с метален катион от водната фаза, при което се образува разтворим в органичната фаза комплекс.

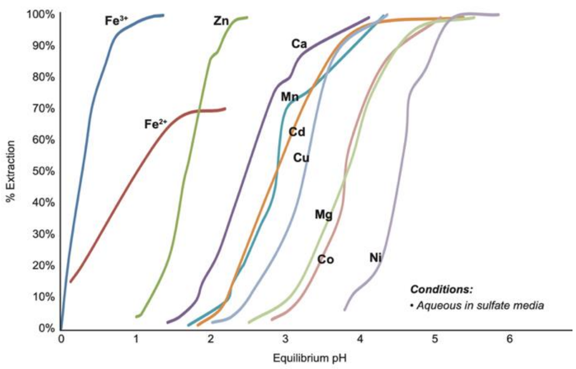
Основното уравнение за екстракция на метален катион M^{2+} с D2EHPA е:

$$M^{2+} + 2RH \leftrightarrow R_2M + 2H^+, \quad (1)$$

където R е анионът на D2EHPA, а M е метален катион.

Както се вижда от уравнение (1), екстракцията на даден метален катион зависи от pH и следователно равновесието може да се измести в двете посоки в зависимост от киселинността на разтвора. При етапа на екстракция, реакцията се измества надясно. Отделянето на протони понижава pH на разтвора и за поддържане на реакцията е необходимо неутрализиране на отделените водородни йони чрез добавяне на неутрализиращ реагент, което благоприятства извличането на метала. Обратно, при реекстракцията, реакцията се измества наляво към образуването на D2EHPA и освобождаването на метални йони във водната фаза и затова в практиката като реекстрахиращ агент се използва силно кисел разтвор.

На фигура 1 са показани екстракционните криви на някои метали с D2EHPA в зависимост от pH. Тъй като извличането на металите се извършва при различни стойности на pH, селективността на този реагент зависи от pH на системата. D2EHPA намира приложение за извличане на голям брой метали (желязо, кобалт, никел, цинк, берилий, галий, ванадий, молибден, редкоземни елементи), като отговаря на етикета “универсален екстрактант“ (Sing et al., 2009).



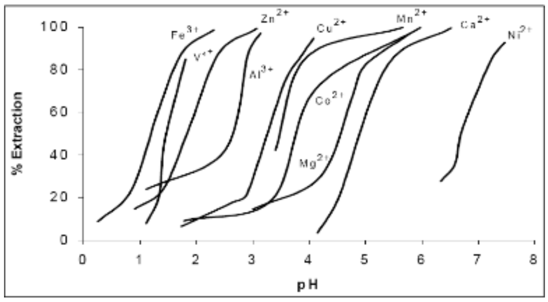
Фиг. 1. Екстракционни криви за D2EHPA (D2EHPA Technical Data Sheet, 2017)

Успешното използване на D2EHPA в индустриален мащаб се дължи на високия ѝ екстракционен капацитет, химическа стабилност, ниска разтворимост във водната фаза, бърза кинетика на екстракция и ниска цена (Ritcey et al. 1971; Grimm and Kolarik, 1974; Cheng, 2000).

Други използвани киселинни органофосфорни екстрактанти са PC-88A, търговско наименование на 2-етилхексил фосфонова киселина моно-2-етилхексил естер и CYANEX 272, търговско наименование на бис(2,4,4-триметилпентил фосфинова киселина. Известни са и киселинни екстрактанти, получени от фосфинова киселина, съдържащи сяра - CYANEX 301 и CYANEX 302, но те са с ограничено промишлено приложение.

PC-88A е органофосфонова киселина, която намира приложение в течната екстракция главно за разделяне на кобалт и никел (Flett, 2004). Zhang et al. (1998) докладват използването на PC -88A като екстрактант за разделяне на кобалт и литий, съдържащи се в разтвори, получени при излужване на отработени батерии.

CYANEX 272 е органофосфинова киселина, специално създадена за разделяне на кобалт и никел чрез течна екстракция (Rickelton et al., 1983; Feather and Cole, 1996; Cole, 2002). Въпреки че CYANEX 272 е селективен за кобалт в присъствие на никел, редица други катиони също могат да бъдат екстрахирани в зависимост от pH на разтвора. Екстракционните криви за CYANEX 272 при различни pH стойности са дадени на фигура 2:



Фиг. 2. Екстракционни криви за Cyanex 272 (Roux et al., 2007)

CYANEX 272 притежава важно предимство в това, че е единственият екстрактант от органофосфорните киселини, който екстрахира кобалт преимуществено преди калций, като по този начин се минимизират или елиминират проблеми, свързани с последващо утаяване на гипс (Rickelton and Boyle, 1988).

Съществува и друга група киселинни екстрактанти, които са получени от карбоксилни киселини, като например неодеканова киселина с търговско наименование Versatic acid 10 и формула: $R_1R_2CH_3CCOOH$, където R_1 и R_2 са въглеводородни вериги със седем въглеродни атома. Versatic acid 10 е екстрактант, използван за селективно разделяне на кобалт и никел от магнезий и калций в сулфатна среда (Tsakiridis and Agatzini, 2004), за екстракция на никел от разтвори с висока концентрация на магнезий след излужване на латеритни руди (Preston and Du Preez, 1995), за извличане на магнезий и калций в неутрална и слабо алкална pH среда (Preston, 1985).

Екстрактанти за цинк от сулфатни разтвори

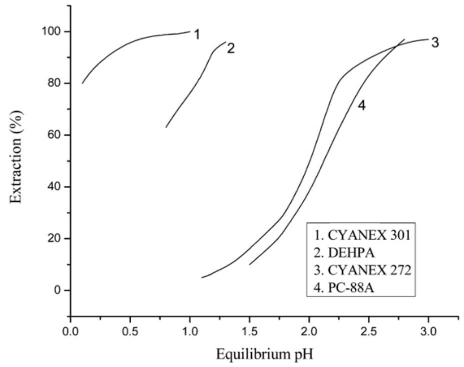
За екстракция на цинк от сулфатни разтвори практическо приложение намират разгледаните два типа киселинни екстрактанти – органофосфорни и карбоксилови киселини. Най-широко използваните екстрактанти за извличане на цинк от сулфатни разтвори са органофосфорните киселини, като D2EHPA, CYANEX 272, PC-88A и CYANEX 301 (Deep and Carvalho, 2008). Поради катион-обменния механизъм при киселинните екстрактанти, вероятността за екстрахиране на аниони е много малка. Това е особено важно за извличането на цинк от някои вторични суровини и комплексни руди, които съдържат хлориди или флуориди.

Органофосфорните киселини образуват комплекс с цинковия катион (Cole and Sole, 2003):

$$Zn^{2+}_{aq} + mHR_{org} \leftrightarrow ZnR_2(m\text{-}2)HR_{org} + 2H^+_{aq} \quad (2)$$

където HR е екстрактант и m е броят на молекулите на екстрактанта, участващи в реакцията, m варира от 2 до 4.

pH на разтвора е основен параметър при оценка на ефективността и селективността на процеса на течна екстракция, контролиран от катион-обменния механизъм. Фигура 3 показва екстракционните криви на Zn с DEHPA, PC- 88A, CYANEX 272, and CYANEX 301 като функция на pH:



Фиг. 3. Екстракционни pH изотерми на цинк с DEHPA, PC-88A, CYANEX 272 и CYANEX 301 (Deep and J. M. R. de Carvalho, 2008)

През последните десетилетия, голям брой публикации разглеждат свойствата на горните екстрактанти и представят експериментални данни за тях - (Forrest and Hughes, 1978; Rickelton and Boyle, 1988; Owusu, 1998; Pereira et al., 2006; Nathsarma and Devi, 2006; Qin et al., 2007; Vahidi et al., 2009; Gouvea and Morais, 2010; Gharabaghi at al., 2013; Asadi at al., 2018) и редица други.

Тъй като DEHPA и CYANEX 272 се характеризират с висока селективност към цинк и лесна реекстракция с умерени концентрации на сярна киселина (1-2 M H_2SO_4), те се използват за отделяне на цинк от кобалт- и никел-съдържащи разтвори (Cole and Sole, 2003).

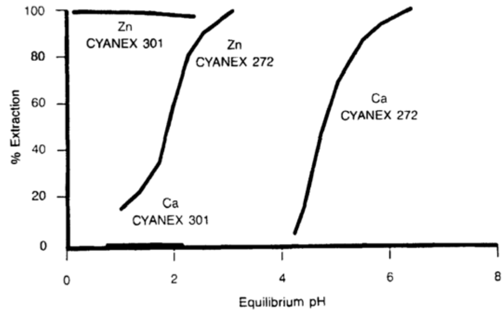
Използването на D2EHPA при сравнително ниски pH стойности) осигурява висока степен на екстракция на цинк (Rice and Smith, 1975) и минимизира ко-екстракцията на мед, кадмий, кобалт, никел. В същото време ко-екстракцията на желязо (III) не може да се избегне, защото D2EHPA притежава по-висока селективност към него в сравнение с цинка (A. Deep and Carvalho, 2008). Проблем в сулфатна среда е и ко-екстракцията на калций поради ниската разтворимост на неговите соли.

Особено ценни са проучванията с използване на D2EHPA, които са насочени към електролизата на цинка и получаване на изключително чисти разтвори на цинков сулфат, без примесни йони - мед, кадмий, кобалт, никел, хлориди, флуориди (Anderson and Reinhart, 1979; San Lorenzo et al.,1982; Huang and Juang, 1986; Cole and Sole, 2002). Изборът на D2EHPA като екстрактант в случая осигурява не само отстраняване на примесите, но и концентриране на цинка от сравнително разреден разтвор (30 g/L) до богат електролит, съдържащ над 90 g/L цинк, който е подходящ за електролиза (Cole et al., 2005).

Редовете на селективност за екстракция на метални йони от сулфатни разтвори с D2EHPA, CYANEX 272 и CYANEX 301 са представени по-долу: (Sole and Cole, 2002):

D2EHPA: Fe(III) > Zn > Ca > Mn > Cu > Mg > Co >> Ni
CYANEX 272: Fe(III) > Zn > Cu > Mn > Co > Mg > Ca > Ni
CYANEX 301: Cu > Zn > Fe(III) > Co~Ni >> Mn >>> Mg~Ca

От Amer et al. (1995) е установено, че D2EHPA не е селективна за цинк в присъствие на калций. Разделяне на цинк и калций може да бъде постигнато с екстрактант CYANEX 272, но при контрол на pH около 3 за пълно извличане на цинка. За разлика от него, CYANEX 301 е по-силна киселина и е селективен за цинк спрямо калций и магнезий, като пълна екстракция на цинк е възможна при pH 1-2 (Rickelton and Boyle, 1988; Deep and Carvalho, 2008). На фигура 4 са дадени екстракционните криви за цинк и калций с CYANEX 272 и CYANEX 301:



Фиг. 4. Сравнение на разделянето на цинк и калций с CYANEX 272 и CYANEX 301 (Rickelton and Boyle, 1988)

Недостатък на органофосфорните екстрактанти е преимуществената екстракция на желязо (III) и образуването на по-стабилни комплекси с желязото, отколкото с цинка (Anderson and Reinhart, 1979). Желязо (III) може лесно да се реекстрахира от PC-88A и CYANEX 272 със сярна киселина (Santos et al., 2006), обаче при D2EHPA това не е възможно (Musadaidzwa and Tshiningayamwe, 2009). При D2EHPA желязото се натрупва прогресивно в органичната фаза, ограничавайки капацитета на екстрактанта за цинк. За преодоляване на този проблем, известен брой изследвания са проведени и са предложени методи за реекстракция на желязо (III) от органичната фаза. Verbeken et al. (2000) представят електроредукционен процес за реекстракция на желязо от D2EHPA, при който реекстракционният разтвор, представляващ 2M H_2SO_4, непрекъснато се рециклира през електрохимична клетка, където желязо (III) се редуцира до желязо (II).

Друга опция за реекстрахиране на желязото е редукция на желязо (III) до желязо (II) в органичната фаза с използване на SO_2 във водната фаза (Majima et al., 1985) или с водород при 101°C и 2.76 MPa, след което се реекстрахира лесно с разредена киселина (Demopoulos and Gefvert, 1984). Lupi and Pilone (2000) са използвали редукционна реекстракция на желязо (III) от D2EHPA във вакуум с цинков прах като редуктор при стайна температура и налягане 80 kPa. Галванична реекстракция на желязо (III) пък е предложена от O'Keefe et al. (2002) с използване на железен или цинков прах като редуктори в екстрактанта D2EHPA и протичане на окислително-редукционната реакция (циментация) в органична фаза.

Най-използваният подход за отстраняване на желязото е чрез въвеждане на регенерационен етап, в който част от бедната органична фаза контактува с разтвор на солна киселина. По този начин се минимизира замърсяването с желязо на електролита и се поддържа висока ефективност по ток (Cole and Sole, 2003).

Подходящият екстрактант в киселинна сулфатна среда би трябвало да осигури висок трансфер на пренос на цинк в един екстракционен етап. CYANEX 301 отговаря на това условие, но високо концентрираната сярна киселина, необходима за реекстракция и по-ниската селективност за цинк спрямо кобалт и никел го правят неподходящ за цинковата течна екстракция. PC-88A и CYANEX 272 също не са опция поради сравнително високите pH стойности за провеждане на цинкова екстракция (Cole and Sole, 2003).

В заключение, от разгледаните екстрактанти, D2EHPA намира най-голямо приложение при екстракция на цинк. При внимателен контрол на pH е възможно да се минимизира ко-екстракцията на пречещите йони и да се повиши цинковото извличане. В случай на екстрахирани в органичната фаза примеси, има опция за тяхното отстраняване чрез въвеждане на етапи на физическа и химическа промивка на органичната фаза преди реекстракционния етап. Освен това, чрез различни отношения на водната и органичната фаза може да се регулира тяхната концентрация във водните разтвори. По този начин, използването на селективен екстрактант като D2EHPA и стриктен контрол на параметрите, гарантира получаване на изключително чист разтвор на цинков сулфат, подходящ за електролиза на цинк.

Литература

Amer, S., J. M. Figueiredob, A. Luis. 1995. The recovery of zinc from the leach liquors of the CENIM-LNETI process by solvent extraction with di (-2-ethylhexyl) phosphoric acid. – In: *Hydrometallurg, 37*, 323-337.

Anderson, S., H. Reinhart, 1979. Hydrometallurgical recovery process. – In: *International Solvent Extraction Conference, 11,* 798–804.

Angelov T., G. Savov, A. Tsekov, I. Grigorova, I. Nishkov, 2013. Ionexchange operations for copper and zinc recovery and arsenic removal at the Devnya Waste Treatment Plant, Bulgaria. – In: *Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress*, Bulgaria, 860-863.

Angelov, T., G. Savov, A. Tsekov, I. Nishkov, 2015. The Successful Commercial Implementation of The Combined Leach–Ion Exchange–Solvent Extraction-Electrowinning Process at the Bucim Copper Project. - In: *ALTA Conference*, Australia.

Asadi, T., A. Azizi, J. Lee, M. Jahani, 2018. Solvent extraction of zinc from sulphate leaching solution of a sulphide-oxide sample using D2EHPA and Cyanex 272. – In: *Journal of Dispersion Science and Technology, 39*, 9, 1328-1334.

Cheng, C. Y., 2000. Purification of synthetic laterite leach solution by solvent extraction using D2EHPA. – In: *Hydrometallurgy, 56*, 3, 369–386.

Cole, M., K. C., Sole, M. Angus, P. Feather. 2005. Solvent extraction in southern Africa: An update of some recent hydrometallurgical developments. – In: *Hydrometallurgy, 24*, 52-78.

Cole, M., 2002. The introduction of solvent-extraction steps during upgrading of a cobalt refinery. – In: *Hydrometallurgy, 64*, pp. 69 – 77.

Cole, M., K. C. Sole. 2002. Solvent extraction in the primary and secondary processing of zinc. -In: *Proceeding of The Intenational Solvent Extraction Conference (ISEC),* Cape Town, South Africa, 863-870.

Cole, M., K. C. Sole, 2003. Zinc solvent extraction in the process industries. -In: *Mineral Processing & Extractive Metallurgy Review, 24*, 2, 91–137.

Cox, M., 2004. Solvent extraction in hydrometallurgy. – In: *Solvent Extraction Principles and Practise, 2nd edition ed*., New York, USA, Marcel Dekker, 455-458.

D2EHPA *Technical Data Sheet*, 2017.

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

Demopoulos, G. P., D. L. Gefvert. 1984. Iron (III) removal from base-metal electrolyte solutions by solvent extraction. – In: *Hydrometallurgy, 12*, 299- 315.

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

Feather, A. M., P. M. Cole. 1996. The separation of cobalt from nickel ammonium sulfate solution by solvent extraction. -In: *Value Adding Though Solvent Extraction, Proceedings of ISEC'96*, *1*, Melbourne, 511-516.

Flett, D., 2004. Cobalt-Nickel Separation in Hydrometallurgy. A Review. – In: *Chemistry for Sustainable Development*, *12*, 81-91.

Flett, D. S. 2005. Solvent extraction in hydrometallurgy: the role of organophosphorus extractants. -In: *Journal of Organometallic Chemistry, 690*, 10, 2426-2438.

Forrest, C., M. A. Hughes. 1978. The separation of Zn from Cu by D2EHPA – An equilibrium study. – In: *Hydrometallurgy, 3*, 327–342.

Fox, M. H., A. M. Feather. 1994. Solvent extraction miniplants. – In: *SAIMM Hydrometallurgy SchooL Mintek, Randburg, South Africa, Johannesburg,* South African Institute of Mining and Metallurgy.

Gharabaghi, M., M. Irannajad, A. R. Azadmehr. 2013. Separation of nickel and zinc ions in a synthetic acidic solution by solvent extraction using D2EHPA and CYANEX 272. – In: *Physicochemical Problems of Mineral Processing, 49,* 1, 233−242.

Gouvea, L. R., C. A. Morais. 2010. Development of a process for the separation of zinc and copper from sulfuric liquor obtained from the leaching of an industrial residue by solvent extraction. – In: *Minerals Engineering, 23*, 492-497.

Grimm, R., Z. Kolarik. 1974. Acidic organophosphorus extractants. XIX. Extraction of copper(II), cobalt(II), nickel(II), zinc (II), and cadmium(II) by bis(2ethylhexyl) phosphoric acid. – In: *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, 36*, 1, 189-192.

Huang, T. C., R. S. Juang. 1986. Kinetics and mechanism of zinc extraction from sulfate with Di-2-ethylhexyl phosphoric acid. – In: *Journal of Chemistry Japan, 19*, 5, 379- 386.

Jha, M. K., V. Kumar, R. J. Singh. 2001. Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes. – In: *Resources Conservation & Recycling, 23*, 1- 22.

Lupi, C., D. Pilone. 2000. Reductive stripping in vacuum of Fe(III) from D2EHPA. – In: *Hydrometallurgy, 57*, 201–207.

Majima, H., T. Izaki, S. Sanuki. 1985. Reductive stripping of Fe(III)-loaded D2EHPA with the aqueous solutions containing sulfur dioxide. – In: *Metall. Trans. B, 16*, 187-194.

Musadaidzwa, J. M., E. I. Tshiningayamwe. 2009. Skorpion Zinc Solvent Extraction: The Upset Conditions. – In: *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Base Metals Conference*, 245-256.

Nathsarmaa, K. C., N. Devi. 2006. Separation of Zn(II) and Mn(II) from sulphate solutions using sodium salts of D2EHPA, PC88A and CYANEX 272. – In: *Hydrometallurgy, 84, 3–4*, 149–154.

O'Keefe, T., M. O'Keefe, R. Fang, J. Sun, E. Dahlgren. 2002. Novel electrochemical processing using conventional organic solvents. – In: *Proceedings of the International Solvent Extraction Conference, ISEC, 1*, 459–466.

Owusu, G. 1998. Selective extractions of Zn and Cd from Zn-Cd-Co-Ni sulfate solution using di-2-ethylhexyl phosphoric acid extractant. – In: *Hydrometallurgy, 47*, 205-215.

Pereira, D. D., S. D. Ferreira Rocha, M. B. Mansur. 2006. Recovery of zinc sulphate from industrial effluents by liquid–liquid extraction using D2EHPA (di-2-ethylhexyl phosphoric acid). – In: *Separation and Purification Technology, 53*, 1, 89–96.

Preston, J. S. 1985. Solvent extraction of metals by carboxylic acids. – In: *Hydrometallurgy, 14*, 171-188.

Preston, J. S., A. C. Du Preez. 1995. The solvent extraction of nickel and cobalt by mixtures of carboxylic acids and pyridinecarboxylate esters. – In: *Solvent Extraction and Ion Exchange, 13*, 465-494.

Preston, J. S. 1982. Solvent extraction of cobalt and nickel by organophosphorus acids I. Comparison of phosphoric, phosphonic and phosphonic acid systems. – In: *Hydrometallurgy, 9*, 2, 115-133.

Qin, W., W. Li, Z. Lan, G. Qiu. 2007. Simulated small-scale pilot plant heap leaching of low-grade oxide zinc ore with integrated selective extraction of zinc. – In: *Minerals Engineering, 20*, 7, 694–700.

Reichardt, C. 2003. Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry. *Weinheim/Germany: Wiley-VCH*.

Rice, N. M., M. R. Smith. 1975. The recovery of zinc, cadmium and mercury (II) by solvent extraction. -In: *Journal of Applied Chemistry and Biotechnology, 25*, 379– 402.

Rickelton, W. A., D. S. Flett, D. W. West. 1983. Cobalt-nickel separation by solvent extraction with dialkylphosphinic acid. – In: *Proceedings of ISEC'83*, 195-196.

Rickelton, W. A., R. J. Boyle. 1988. Solvent Extraction with Organophosphines-Commercial&Potential Applications. – In: *Separation Science and Technology, 23*, 12-13, 1227-1250.

Ritcey, G. M., B. H. Lucas. 1971. Purification of manganese solutions containing copper and zinc by liquid-liquid extraction, using bis (2- ethylhexyl) phosphoric acid. – In: *Can. Metall. Quart., 10*, 3, 223–228.

Ritcey, G. M. 2006. Solvent Extraction in Hydrometallurgy: Present and Future. – In: *Tsinghua Sci. Technol., 11*, 137-152.

Ritcey, G. M., A. W. Ashbrook. 1984. *Solvent extraction: principles and applications to process metallurgy*. New York, Elsevier Science Publishers.

Roux, L. M., E. Minnaar, P. J. Cilliers, M. Bellino, R. Dye. 2007. Comparison of solvent extraction and selective precipitation for the purification of cobalt electrolytes at Luilu refinery, DRC. – In: *Fourth Southern African Conference on Base Metals, Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Johannesburg, 343–364.

San Lorenzo, D. M., J. M. R Vega, E. D. Nogueira. 1982. Process for the production of electrolytic zinc or high purity zinc salts from secondary zinc raw materials. *U.S. Patent*: 130.

Santos, S. M. C., M. R. C. Ismael, P. F. M. Correia, M. J. N. Correia, M. T. A. Reis, A. Deep, J. M. R. Carvalho. 2006. Extraction of iron and other metals from a zinc sulphide leach solution. Iron Control Technologies. – In: *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum* (Eds. Dutrizac, J. E., Riveros, P. A.). Montreal, Quebec, Canada, 557–569.

Sinclair, R.J. 2005. *The extractive metallurgy of zinc*. Australian Institute of Mining and Metallurgy Victoria.

Sing, S. K., S. K. Misra, M. Sudersanan, A. Dakshinamoorthy. 2009. Studies on the Recovery of Uranium from Phosphoric Acid Medium by D2EHPA/n-Dodecane Supported Liquid Membrane. – In: *Separation Science and Technology, 44*, 1, 169-189.

Sole, K. C., P. M. Cole. 2002. Purification of Nickel by Solvent Extraction. – In: *Ion Exchange and Solvent Extraction, 15*. New York: Marcel Dekker.

Sudderth, R. B., G. A., Kordosky. 1986. Some Practical Considerations in the Evaluation and Selection of Solvent Extraction Reagents. Chemical Reagents in the Mineral Processing Industry. – In: *S.M.E.* (Eds. Malhotra and Riggs). Littleton Colorado, 181-196.

Tsakiridis, P. E., S. L. Agatzini. 2004. Process for the Recovery of Cobalt and Nickel in the Presence of Magnesium and Calcium from Sulphate Solutions by Versatic 10 and Cyanex 272. – In: *Minerals Engineering, 17*, 4, 535–543.

Tsekov, V., G. Savov, V. Kanev, T. Garvanov, T. Angelov, V. Kovacheva-Ninova. 2003. Production of Copper Cathode by Leaching-SX/EW Method in Tzar Asen. In: *Proceedings of the X Balkan Mineral Processing Congress*, 706-710.

Vahidi, E., F. Rashchi, D. Moradkhani. 2009. Recovery of zinc from an industrial zinc leach residue by solvent extraction using D2EHPA. – In: *Minerals Engineering, 22*, 2, 204−206.

Verbeken, K., M. Verhaege, E. Wettinck. 2000. Separation of iron from zinc sulfate electrolyte by combined liquid-liquid extraction and electroreductive stripping. – In: *The Minerals, Metals & Materials Society, 72*, 779-788.

Zhang, P., T. Yokoyama, O. Itabash, T. Suzuki, K. Inoue. 1998. Hydrometallurgical Process for Recovery of Metal Values from Spent Lithium-Ion Secondary Batteries. - In: *Hydrometallurgy, 47*, 2-3, 259-271.

Григорова, И., И. Нишков. 2016. *Преработка и рециклиране на техногенни суровини*. Изд. къща „Св. Иван Рилски“, София.

Янкова, Т. 2021. *Технологии за извличане на цветни и благородни метали от междинни металургични продукти*. Изд. къща „Св. Иван Рилски“, София.

PLAN FOR THE TREATMENT OF THE RECYCLED, STABILISED, AND RESIDUAL FRACTION OF THE WASTE INSTALLATION AND OF THE COMPOSTING INSTALLATIONS IN THE KOSTINBROD AREA

Krasimir Debelyashki, Marina Nikolova

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

ABSTRACT. The current study covers the municipalities of the Kostinbrod Regional Waste Management Association. It includes the municipalities of Kostinbrod, Bozhurishte, Svoge, Slivnitsa, Godech, and Dragoman and aims to prepare an appropriate plan for maximum utilisation of waste fractions. Waste is perceived as an environmental, social, and economic problem, and growing consumption and "consumer" behaviour of society continue to generate large amounts of waste. The reality is that great and diverse efforts are needed to prevent waste formation. Waste also represents a loss of material resources (through metals and other recyclable materials), and at the same time it has a potential as an energy source. The challenge to waste management is great! The implementation of waste treatment activities, such as reuse and recycling, are environmentally friendly, leading to the diversion of waste from landfills.

Key words: waste, management, environment.

ПЛАН ЗА ТРЕТИРАНЕ НА РЕЦИКЛИРАНАТА, СТАБИЛИЗИРАНАТА И ОСТАТЪЧНАТА ФРАКЦИЯ ОТ ИНСТАЛАЦИЯТА ЗА ТРЕТИРАНЕ НА БИТОВ ОТПАДЪК И НА ИНСТАЛАЦИИТЕ ЗА КОМПОСТИРАНЕ В РСУО - КОСТИНБРОД

Красимир Дебеляшки, Марина Николова

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

РЕЗЮМЕ. Настоящото проучване обхваща общините от Регионално сдружение за управление на отпадъци Костинброд. В него са включени общините Костинброд, Божурище, Своге, Сливница, Годеч и цели изготвяне на подходящ план максимално оползотворяване на отпадъчните фракции. Отпадъците се приемат като екологичен, социален и икономически проблем, а нарастващото потребление и „консуматорското“ поведение на обществото продължават да произвеждат големи количества отпадъци. Реалността е, че са необходими големи и разнородни усилия за предотвратяване на образуването им. Отпадъците представляват и загуба на материални ресурси (чрез метали и други материали, които могат да се рециклират), а в същото време имат и потенциал като енергийни източници. Предизвикателството пред управлението на отпадъците е голямо! Прилагането на дейностите по третиране на отпадъци като повторна употреба и рециклиране са благоприятни за околната среда, водещи до отклоняване на отпадъци от депата.

Ключови думи: отпадък, управление, околна среда.

Introduction

Waste is perceived as an environmental, social, economic problem and the growing consumption and "consumer" behaviour of society continues to generate large amounts of waste. The reality is that great and diverse efforts are needed to prevent their formation. Waste represents a loss of material resources (through metals and other recyclable materials) and at the same time it has a potential as an energy source. The challenge for waste management is great! The implementation of waste treatment activities, such as reuse and recycling, are environmentally friendly, leading to the diversion of waste from landfills.

The Waste Management Act (WMA) introduces the requirements of the Waste Framework Directive 2008/98/EU into Bulgarian legislation and regulates measures and control for the protection of the environment and human health by preventing or reducing the harmful effects of waste generation and management, as well as by reducing the overall impact of resource use and by increasing the efficiency of this use. Article 52 of the WMA requires that municipalities develop and implement waste management programs for the territory of the municipality for a period that should coincide with the period of the National Waste Management Plan and the National Waste Management Program as its essential part, and develop them in accordance with the structure, objectives, and provisions of the NWMP. In addition, the WMA requires that municipal waste management programs include the necessary measures to meet the obligations of municipalities arising from the same law.

1. Main steps of the process of pre-treatment of mixed collected household waste:

The pre-treatment process comprises the following main steps:

- collection of waste from the source and its transportation to the regional waste management system;
- site for unloading of waste before the next stage of separation of the fraction;

- separation of a fraction up to 80 mm in size from the total collected mixed household waste;
- separation of recyclable waste from the total collected mixed household waste;
- compacting of the already separated waste, intended for transfer to another company/organisation for recovery;
- storage of recyclable waste;
- stabilisation of the bio-degradable fraction before disposal;
- disposal of residual fractions that cannot be recovered.

By passing mixed municipal waste through a pre-treatment plant, or more precisely passing the waste through one of the processes - physical, thermal, chemical or biological, including sorting, the characteristics of the waste are changed in order to reduce its volume or their dangerous properties in order to facilitate their further treatment or to increase their gold content. According to the definition of "pre-treatment", the fulfilment of at least one of the objectives of the requirement to change the characteristics of the waste is sufficient to consider the operation as pre-treatment.

2. Detailed mass balance prepared on the basis of the morphological composition of the waste from all member municipalities of the Regional Association for Waste Management - Kostinbrod:

According to the Law on Waste Management, the municipalities have prepared analyses that show the morphological composition and quantities of the generated and deposited waste on their territories. Based on the prepared Detailed Mass Balance, the following table presents the forecasts for the amount of generated municipal waste by 2025 for each of the municipalities, which is part of the Regional Association for Waste Management:

Table 1a. *Forecasts for the generated waste on the territory of RWMS - Kostinbrod for the period 2022-2025.*

FRACTION		MUNICIPALITY OF KOSTINBROD				MUNICIPALITY OF BOZHURISHTE			
year		2022	2023	2024	2025	2022	2023	2024	2025
Household waste in total		12951,78	12977,45	13003,53	13029,78	3204,46	3241,34	3279,38	3316,32
Population		16 843	16 702	16 565	16 431	8432	8441	8452	8460
Accumulation rate		769	777	785	793	380	384	388	392
Paper and cardboard	t/year	2 508,76	2 513,73	2 518,78	2 523,87	229,44	232,08	234,80	237,45
Plastic	t/year	1 839,15	1 842,80	1 846,50	1 850,23	239,37	242,13	244,97	247,73
Glass	t/year	470,15	471,08	472,03	472,98	273,34	276,49	279,73	282,88
Metal	t/year	546,57	547,65	548,75	549,86	118,57	119,93	121,34	122,70
Wood	t/year	642,41	643,68	644,98	646,28	40,70	41,17	41,65	42,12
Rubber	t/year	177,44	177,79	178,15	178,51	10,57	10,70	10,82	10,94
Textiles and leather	t/year	547,86	548,95	550,05	551,16	141,32	142,94	144,62	146,25
Hazardous household waste	t/year	306,96	307,57	308,18	308,81	2,88	2,92	2,95	2,98
Inert waste	t/year	1 616,38	1 619,59	1 622,84	1 626,12	1 119,64	1 132,52	1 145,82	1 158,72
Biodegradable waste	t/year	7721,85	7737,16	7752,70	7768,35	1158,73	1172,07	1185,82	1199,18
Green waste	t/year	1 831,38	1 835,01	1 838,70	1 842,41	588,34	595,11	602,09	608,88

As can be seen from the data provided on the composition of the waste, the goals of reducing the amount deposited by at least 50% of the input plant will be achieved with the construction of the pre-treatment plant.

Based on the morphological analyses, a forecast mass balance of waste has been prepared, which shows the indicative quantities of waste that will fall at the entrance of the installation, which in turn determines the capacity of the installation.

Table 1b. *Forecasts for the generated waste on the territory of RWMS - Kostinbrod for the period 2022-2025 (cont'd).*

FRACTION		MUNICIPALITY OF DRAGOMAN				MUNICIPALITY OF SLIVNITSA			
year		2022	2023	2024	2025	2022	2023	2024	2025
Household waste in total		2173,73	2178,88	2177,82	2176,38	2591,57	2583,06	2570,93	2561,70
Population		4994	4952	4905	4858	8 758	8 639	8 513	8 399
Accumulation rate		435	440	444	448	296	299	302	305
Paper and cardboard	t/year	276,72	277,37	277,24	277,05	343,12	342,00	340,39	339,17
Plastic	t/year	101,30	101,54	101,49	101,42	297,77	296,79	295,40	294,34
Glass	t/year	119,77	120,06	120,00	119,92	174,93	174,36	173,54	172,91
Metal	t/year	26,30	26,36	26,35	26,33	316,69	315,65	314,17	313,04
Wood	t/year	135,21	135,53	135,46	135,37	116,88	116,50	115,95	115,53
Rubber	t/year	17,82	17,87	17,86	17,85	4,15	4,13	4,11	4,10
Textiles and leather	t/year	83,69	83,89	83,85	83,79	101,59	101,26	100,78	100,42
Hazardous household waste	t/year	17,61	17,65	17,64	17,63	10,88	10,85	10,80	10,76
Inert waste	t/year	400,40	401,35	401,15	400,89	399,88	398,57	396,69	395,27
Biodegradable waste	t/year	1448,79	1452,22	1451,52	1450,56	1336,47	1332,08	1325,83	1321,07
Green waste	t/year	721,46	723,17	722,82	722,34	557,45	555,62	553,01	551,02

Table 1c. *Forecasts for the generated waste on the territory of RWMS - Kostinbrod for the period 2022-2025 (cont'd).*

FRACTION		MUNICIPALITY OF GODECH				MUNICIPALITY OF SVOGE			
year		2022	2023	2024	2025	2022	2023	2024	2025
Household waste in total		2122,15	2102,11	2084,38	2067,59	6449,36	6398,97	6343,23	6288,15
Population		4750	4661	4571	4485	19633	19274	18935	18604
Accumulation rate		447	451	456	461	328	332	335	338
Paper and cardboard	t/year	228,56	226,40	224,49	222,68	1 000,94	993,12	984,47	975,92
Plastic	t/year	226,01	223,87	221,99	220,20	828,10	821,63	814,47	807,40
Glass	t/year	155,77	154,29	152,99	151,76	351,49	348,74	345,71	342,70
Metal	t/year	60,69	60,12	59,61	59,13	125,76	124,78	123,69	122,62
Wood	t/year	60,69	60,12	59,61	59,13	474,67	470,96	466,86	462,81
Rubber	t/year	6,37	6,31	6,25	6,20	115,44	114,54	113,54	112,56
Textiles and leather	t/year	75,34	74,62	74,00	73,40	267,00	264,92	262,61	260,33
Hazardous household waste	t/year	29,29	29,01	28,76	28,53	50,55	50,55	50,11	49,68
Inert waste	t/year	460,29	455,95	452,10	448,46	650,10	645,02	639,40	633,85
Biodegradable waste	t/year	1146,17	1135,35	1125,77	1116,71	4194,02	4161,25	4125,00	4089,18
Green waste	t/year	581,04	575,56	570,70	566,11	1 231,18	1 221,56	1 210,92	1 200,41

Analysis for each of the fractions (by type of waste) that are expected to be separated as a result of the operation of the pre-treatment plant. According to the National Report on the State and Protection of the Environment, the household waste submitted for recovery represents approximately 1/3 of the generated quantities on the territory of the country, while those for disposal are at 70 percent (Fig. 1).

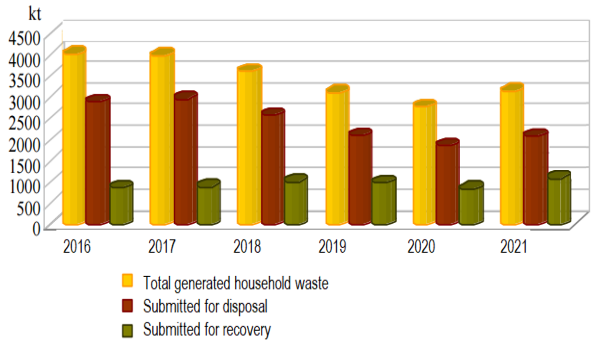


Fig. 1. Share of treated waste on average for the country, compared to the generated waste

According to the latest Eurostat data on the level of material recycling of municipal waste for Europe (EU - 28) and those for the country, it is clear that we are approaching the European average (Fig. 2).

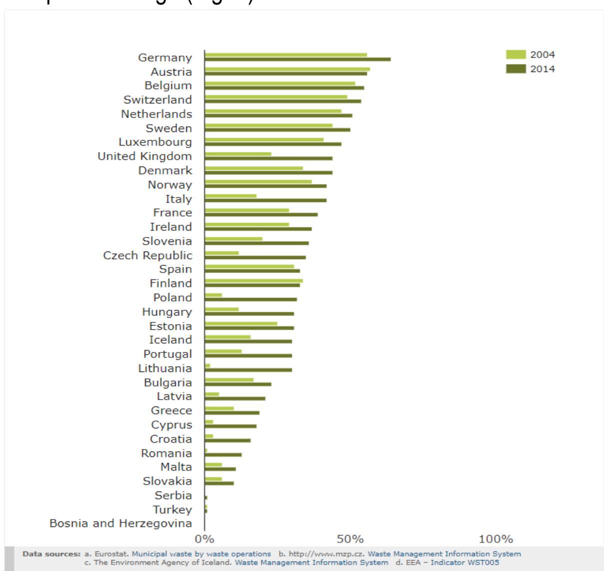


Fig. 2. Municipal waste recycling in 34 European countries (2004 and 2014)

"Proper" management of municipal waste changes waste management practices. The benefits are not limited to more efficient use of resources and reducing the burden of waste on the environment. Waste management is also a tool to reduce greenhouse gases emitted by landfills as a result of an increase in the share of recovered waste and a decrease in the share of landfilled biodegradable waste.

The general tendencies for the country are also observed for the considered region, according to the presented morphological composition of the mixed household waste intended for recycling.

In connection with the high percentages of recyclable fraction available in the composition of mixed municipal waste, it follows that it is necessary to take action for its separation and recovery.

The pre-treatment plant will process the mixed household waste, marked with code 20 03 01, according to the list of waste from the Ordinance on waste classification.

The proposed technology and organisation of the site will provide an opportunity to separate the following types of waste fractions:

• paper;
• cardboard;
• PET (polyethylene terephthalate);
• LDPE (low density polyethylene);
• HDPE (high density polyethylene);
• PR (polypropylene);
• RS (polystyrene);
• PVC (polyvinyl chloride);
• Al (aluminum);
• Fe (iron);
• glass
• leather and textiles.

As a result of the operation of the installation, the following will also be separated:

• Waste organic fraction of the size of less than 80 mm;
• Rubber;
• Inert waste;
• Hazardous household waste.

The treatment of the above, representing the next stage after the collection and transportation stage and the previous stage of recovery, will include primary waste treatment activities according to item 1, after their collection, in order to increase the amount of waste to be recovered, as well as to increase the efficiency of recovery.

The ways and techniques for the separation and treatment of the fractions are in accordance with the type of waste and the possibilities for its utilisation.

- *Dimensional sorting* is the sorting of the waste by granulometric classes. The means by which dimensional sorting is performed is a sieve with geometrically arranged openings, the diameter of which can be changed. No tools are provided for fine-grained, wet, fibrous or sticky waste. By means of such a technique, a waste organic fraction of the size of less than 80 mm will be separated;
- *Magnetic sorting* is often used for initial sorting of metal objects from other wastes, processed or not, whereby he size of the elements is not limited;
- *Sorting at the entrance* will be applied at the entrance of the installation for bulky waste, incl. and for rubber;
- *Manual sorting* is the classic method and in most cases the safest for sorting waste. It aims to separate recyclable materials, depending on the colour or type of material;
- *Stabilisation* is a process of biodegrading and stabilisation of the waste organic fraction of the size of less than 80 mm in order to meet the requirements of the regulations for stabilised organic fraction.

Possibilities and forecasts for use or transfer for further treatment. According to the technology for pre-treatment, large-sized waste will be separated upon receipt of mixed collected waste on the unloading site. Such waste can be tires, construction waste, household waste (when replacing furniture, etc.). Household and construction waste will be disposed of and, depending on the structure, will be transported to a landfill or processed. The tires will be temporarily stored until a sufficient amount is accumulated (one truck) and will then be sold to companies and organisations for recycling or recovery at market prices.

According to the proposed technology and organisation of the site, opportunities can be provided for separation of the following types of waste fraction:

- paper;
- cardboard;
- PET (polyethylene terephthalate);
- LDPE (low density polyethylene);
- HDPE (high density polyethylene);
- PR (polypropylene);
- RS (polystyrene);
- PVC (polyvinyl chloride);
- Al (aluminum);
- Fe (iron);
- glass;
- leather and textiles.

This waste should be sold at market prices to companies holding the necessary permits for recycling or recovery of this waste. The leading criterion in determining the price per ton of waste will be the distance to the centre and the conditions of transportation.

The following figures indicate the points/locations of enterprises that would buy the separate recyclable fraction.

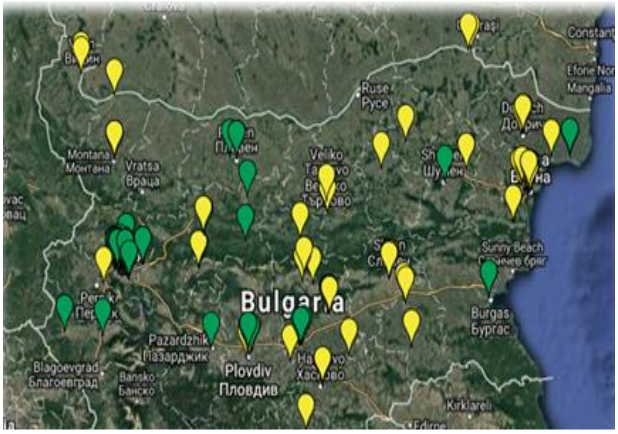


Fig. 3. Map of Bulgaria with designations of points/locations for the purchase of secondary raw materials

Fig. 4. Map of Sofia region with designations of points/locations for the purchase of secondary raw materials.

3. Stabilisation and application of fractions of up to 80 mm.

According to the "Guidelines for pre-treatment before waste disposal in the Republic of Bulgaria", approved by Order № RD - 664 of 29.08.2014 of the Minister of Environment and Water, fractions of up to 80 mm are subject to stabilisation.

Following the technology for pre-treatment of mixed municipal waste, the waste organic fraction of the size of less than 80 mm is obtained after sieving with a sieve with a hole size of 80 mm and directing the material to a machine for the separation of ferrous metals. The residual material (fine fraction of the size of 80 mm) is planned to be subjected to additional decomposition in order to meet the requirements of the regulations for stabilised organic fraction.

As a percentage of the total amount of landfilled waste, this so-called "sieve fraction" represents 35% -40% of the total amount of input plant, according to morphological analyses.

In order to reduce the amount of landfilled waste, this fraction will be stabilised by composting, according to the proposed technology. The final product of the composting process will be used to clog the landfill.

4. Treatment of aggregate

Aggregates are a wide range of coarse materials used in construction. Aggregates include sand, gravel, crushed stone. Much of this material will be less than 80 mm in size, so it will undergo the process of stabilising the sieve fraction.

5. Treatment of hazardous waste from households

A large percentage of household waste disposed of, if properly treated, does not pose a danger to human health and the environment. However, there is 1% of household waste~~,~~ whose composition, quantity, or properties contain substances that pose a danger to humans and nature. This is called hazardous waste. If not disposed of, it can seriously pollute nature and endanger human health.

Hazardous waste from households that may be part of the mixed municipal waste at the entrance of the pre-treatment plant are:

- mercury and mercury-containing devices;
- lacquer and paint materials;
- household preparations and chemicals;
- inks, contaminated packaging, etc .;
- oil filters, brake fluids and anti-freeze;
- pharmaceutical products;
- others.

A service for the disposal of the above-mentioned waste is offered by enterprises that collect directly from homes, through mobile collection points in different areas of the cities served or after the separation of hazardous waste during pre-treatment.

6. Treatment of residual fraction

Waste that is unfit for recycling and recovery will remain at the "exit" of the installation. Its amount will be less than 50% of the total amount of "input" pre-treatment plant. This amount is provided for the disposal of the Regional Landfill for Non-Hazardous and Inert Waste for the municipalities of Kostinbrod, Svoge, Slivnitsa, Bozhurishte, and Godech.

7. Control and accountability

The installation will be continuously monitored from the "entrance" to the "exit". Reporting books on the waste of the installation, a book on the quantities and types of separated fractions, a book on those handed over for recovery and/or recycling will be kept.

8. Composting

The type of composting plant is in open rows covered with a membrane and controlled aerobic system. The main goal of the construction of the composting plant is to reduce the amount of landfilled waste in general through separate collection of clean green and wood waste from public green areas, private yards, and gardens in the municipalities of the Regional Association for Waste Management - Kostnibrod.

In order to obtain quality compost, the following key elements of quality management and documentation during the work process must be strictly observed, namely:

- delivery and acceptance of incoming material;
- storage of incoming material;
- pre-treatment;
- construction of piles/rows of compost;
- control and management of the process during the fermentation stage;
- checking the quality of compost;
- documenting compost customers.

Depending on the structural material, the composting process will produce large particles that have failed to decompose during the composting process. They will be separated from the finished compost by sieving. This fraction can be used to homogenise the new batch of incoming waste and re-go through the composting process, or be transported to the Regional Landfill for landfill.

Conclusions

In accordance with the national and European objectives for reducing the quantities of deposited waste and based on the presented data on their management in the municipalities of Kostinbrod Area, the following conclusions are drawn:

- It is necessary to implement a system for separate collection of green and biodegradable waste on the territory of the municipalities and for the construction of composting plants for biodegradable and/or green waste;
- The pre-separation of the mixed collected municipal waste will separate the recoverable components from the total flow and at the same time will reduce the quantities intended for depositing. In this regard, the construction of a pre-treatment plant will also extend the service life of the existing regional landfill;
- It is necessary to take action on the treatment of construction waste in the region. The establishment of a temporary storage site will greatly facilitate their further management.

The construction of a pre-treatment installation for mixed municipal waste and composting installations, as well as proper waste management measures will contribute to reducing the environmental impacts caused by the generated waste, improving resource efficiency, increasing the responsibilities of polluters, and stimulating investment in the field of waste management.

References

Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste (in Bulgarian)

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (in Bulgarian)

Guide for determining the number and type of necessary containers and machinery for waste collection and transportation, Sofia, 2011 (in Bulgarian)

Ordinance for separate collection of bio-waste and treatment of bio-degradable waste, Promulgated, State Gazette № 20/25.01.2017 of the Constitutional Court of the Republic of Bulgaria (in Bulgarian)

National Statistical Institute (www.nsi.bg) (in Bulgarian)

National Waste Management Plan 2014 – 2021 (in Bulgarian)

Waste Management Act, Promulgated, State Gazette № 53/13.06.2012, amended by Judgment № 81/15.10.2019 of the Constitutional Court of the Republic of Bulgaria (in Bulgarian)

European Environment Agency (https://www.eea.europa.eu/)

SAFE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY DISPOSAL OF LIQUID TECHNOLOGICAL WASTE

Ljupcho Dimitrov, Margarita Vassileva, Ivan Nishkov

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

ABSTRACT. Economic development and advances in science and technology predetermine the mining industry's accelerated growth, hence the volume of the produced waste. Tailings from the ore extraction and processing of mineral raw materials in the form of dilute slurry are traditionally stored in large surface hydrotechnical facilities - tailings ponds. Various construction types of tailings storage facility are discussed according to the topography and deposition methods. Due to the risk of failure and accidents of conventional TFS, alternative technologies for safe and more environmentally friendly facilities are designed worldwide. The new technologies are discussed that include the deposition of dewatered tailings and the implementation of an integrated facility for the storage of mine waste.

Key words*:* conventional tailings pond, alternative technologies

БЕЗОПАСНО И ЕКОЛОГОСЪОБРАЗНО ДЕПОНИРАНЕ НА ТЕЧНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ ОТПАДЪЦИ

Люпчо Димитров, Маргарита Василева, Иван Нишков

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

РЕЗЮМЕ. Икономическото развитие и напредъкът на науката и технологиите предопределят ускорения растеж на миннодобивната промишленост и нарастването на обема от натрупваните отпадъци. Технологичните отпадъци от добива и преработката на минерални суровини под формата на разредени суспензии, традиционно се складират в големи повърхностни хидротехнически съоръжения – отпадъкохранилища. Разгледани са различните видове отпадъкохранилища, в зависимост от техния конструктивен тип и релефа на местността и методите за депониране на отпадъка. Поради риска от повреди и аварии на конвенционалния тип отпадъкохранилища, в световен мащаб се разработват алтернативни технологии за безопасни и екологосъобразни съоръжения. Разгледани са новите технологии, включващи депонирането на предварително обезводнени флотационни отпадъци и внедряването на интегрирани съоръжения за съхраняването на минни отпадъци.

Ключови думи: конвенционални отпадъкохранилища, алтернативни технологии

Въведение

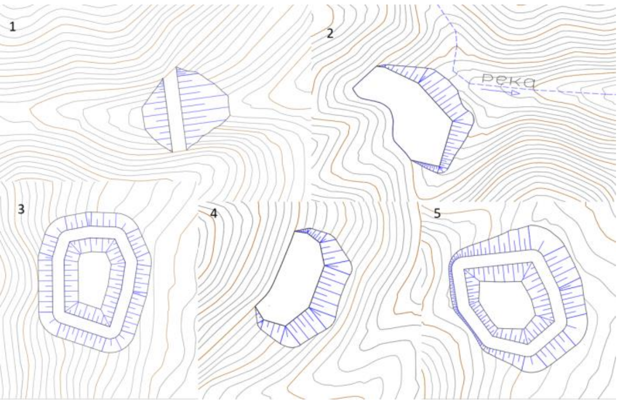
Икономическото развитие и високото качество на живот, напредъкът на науката и технологиите, предопределят ускорения растеж на миннодобивната промишленост, което води до нарастване на обема от натрупваните технологични отпадъци (Yankova, 2020). Отпадъците от добива и преработка на минерални суровини под формата на разредени суспензии, със съдържание на твърда фаза от 25 до около 45%, най-често се складират в големи повърхностни хидротехнически съоръжения – отпадъкохранилища. Традиционното хидравлично депониране на отпадъците в конвенционалните отпадъкохранилища, в много случаи води до повреди и аварии на съоръженията с тежки екологични последици, икономически щети и човешки жертви. С цел спазване на най-високите стандарти за безопасност и стабилност на съоръженията и предотвратяване на авариите, в световен мащаб се разработват алтернативни технологии за заместване на класическия тип отпадъкохранилища.

Видове конвенционални отпадъкохранилища в зависимост от релефа и конструктивния тип. Методи за депониране на флотационния отпадък

Видове конвенционални отпадъкохранилища, в зависимост от релефа на местността

Депонирането на технологичните отпадъци се извършва в изкуствени или естествени природни водоеми – оградени участъци от реки и езера. Местоположението и конструктивният тип на съоръженията се избират в зависимост от релефа на местността, геоложките и хидрогеоложки условия, климат, сеизмична активност, икономическа целесъобразност и др. (Watson et al., 2010). Изборът на местоположението на съоръжението следва да осигурява неговия капацитет, необходим по време на експлоатацията на дадения рудник и обогатителната фабрика към него.

Релефът предопределя вида на отпадъко-хранилищата, като съоръженията се разполагат най-често в негативни релефни форми – долини, дерета, оврази и др. поради по-ниските разходи за изграждане на насипните стени. Когато това е невъзможно или икономически неизгодно, се изграждат и съоръжения в равнинни местности. В зависимост от релефа на територията, на която се изграждат съоръженията, се разграничават няколко основни типа отпадъкохранилища – равнинен тип, долинен тип, скатен тип, овражен тип, речен тип и др. (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на основните типове конвенционални отпадъкохранилища, в зависимост от релефа – 1) овражен тип;2) в речна тераса; 3) равнинен тип; 4) скатен тип; 5)овражно-равнинен тип

***Равнинен тип**.* Отпадъкохранилищата се разполагат в равнинен терен, като се изграждат насипни стени пръстеновидно по целия периметър на съоръжението (фиг. 1, 2).

Фиг. 2. Равнинен тип конвенционално отпадъкохранилище, медно находище Желазни Мост (Zelazny Most), Полша

В образувания изкуствен водоем се складират флотационните отпадъци, а избистрената вода се използва като оборотна вода за обогатителната фабрика или се насочва към разположен в близост естествен водоем. Този тип отпадъкохранилища предлага най-голяма гъвкавост при избора на местоположение. Те обикновено могат да бъдат разположени в близост до обогатителната фабрика, а експлоатацията им може да бъде преустановена без значителни разходи. Важно предимство на равнинния тип отпадъкохранилища е отсъствието на необходимостта от изграждане на скъпоструващи водосборни съоръжения за повърхностния воден отток, което улеснява управлението на водите. Преимущество на равнинния тип отпадъкохранилища с пръстеновиден дизайн е ограничената възможност за изтичане на замърсени води от отпадъците. Известни недостатъци на този тип съоръжения са сравнително ограничения обем на отпадъкохранилищата и необходимостта от голямо количество строителен материал за насипните стени.

***Долинен тип**.* Долинният тип отпадъкохранилища са най-широко използвани. Естествените негативни релефни форми предоставят възможност за по-малка дължина на насипните стени, по-малко количество на необходимия строителен материал и съответно по-ниски разходи за изграждане на съоръженията (фиг. 3).

Фиг. 3. Долинен тип конвенционално отпадъкохранилище, меднопорфирно находище Highland Valley, Британска Колумбия, Канада (https://www-tailings)

При наличие на долинен релеф е възможно изграждането на единично отпадъкохранилище с една защитна насипна стена или на няколко на брой съоръжения, разположени последователно едно след друго. Отпадъкохранилищата от този вид са склонни към преливане, в резултат на обилни валежи и увеличени водни потоци, подложени са на риск от ерозия и втечняване на отпадъка поради големия обем вода в съоръженията. За редуциране на риска от втечняване, може да се построи вътрешна дренажна система с цел подобряване отделянето на водата и консолидацията на отпадъка. За предотвратяване и ограничаване на смесването на водите от отпадъка с подземните води, се поставя противофилтрационен екран на дъното на съоръжението - геомембрана или глинест слой.

***Скатен тип**.* Този тип отпадъкохранилища се разполагат върху склоновете на възвишения, като се заграждат от трите страни с насипни стени, а от четвъртата страна се намира естествения склон на възвишението (фиг. 1). Отделяната вода, както и тази от атмосферните валежи, се отстраняват с водосборни съоръжения за избистрена вода или чрез специални дренажни канали. Изграждането на скатен тип съоръжения е най-подходящо за терени, в които наклонът не надвишава 10%. При по-стръмен склон, количеството на строителния материал за изграждане на съоръжението се увеличава, а обемът на отпадъка, който може да бъде складиран намалява (Vick, 1990).

***Овражен тип**.* Отпадъкохранилищата се разполагат в дере или дол, чиито изход е преграден с насип (фиг. 1). В този случай в съоръжението се събират води не само от отпадъка, но и тези от валежи и наводнения, количеството на които може да бъде значително. Насипната стена се строи напречно от едната до другата страна на дерето и съоръжението е подобно на тези за водоснабдяване (Vick, 1990). Овражният тип отпадъкохранилища се използват най-често, тъй като могат да се построят във всяко дере или дол, като изграждането им в дерета със стръмни откоси е нецелесъобразно, поради по-голямото количество материал за насипната стена и сравнително по-малкия обем за съхраняване на отпадъка. Язовири, отклонителни канавки и преливници могат да бъдат от голямо значение за заустване и отклоняване на водните потоци.

В речни тераси. Отпадъкохранилищата се строят в заливните тераси на реки като се обграждат с насипни стени от трите страни. Необходимо е да се предприемат мерки, предотвратяващи просмукването на вода през защитната дига на отпадъкохранилището към реката. Насипната стена, разположена от страна на реката, има сравнително сложна конструкция, обезпечаваща стабилността и целостта на съоръжението, което увеличава разходите за изграждане и експлоатация (фиг. 1).

Речен тип. Изграждат се в долините на реки, като коритото на реката се преграждa с бент. Съоръженията от този тип са най-скъпи и сложни и се използват рядко, в изключителни случаи, когато поради особеностите на релефа е невъзможно изграждането на друг тип отпадъкохранилища.

Освен изброените няколко типа съоръжения, при силно пресечен релеф е възможно използването на комбиниран тип отпадъкохранилища – равнинно-овражен (фиг. 1) и др.

Котлованен тип. При този метод на депониране, флотационният отпадък се съхранява в котлованите на открити, отработени рудници с изчерпани рудни запаси. Методът е безопасен, екологичен и икономически изгоден, тъй като отработеното пространство може да бъде запълнено с ниски разходи, а изграждане на насипна стена не е необходимо или се извършва с минимални разходи. С отпадането на необходимостта от насипни стени, рискът от аварии е редуциран, като следва да се проверява устойчивостта на бордовете на рудника. При складирането на отпадъци, съдържащи сулфиди, е необходимо да се поддържа по-високо водно ниво над отпадъците, за да се ограничи достъпът на кислород и окислението и да се предотврати образуването и дренажа на киселинни води. Друга възможност е покриването на отпадъците със стерилна скална маса. В случаите когато подстилащите скали в рудника са напукани, порести или водопропускливи, се препоръчва покриване на дъното на котлована със слой от глина или геомембрана.

За съхраняване на отпадъците могат да бъдат използвани и изкуствени котловани, специално изградени за тази цел. Този тип отпадъкохранилища са сходни с равнинния тип съоръжения с пръстеновидно изградени насипни стени и имат същите предимства, включително гъвкавост при избора на местоположението.

Конструктивни типове конвенционални отпадъкохранилища

В световната практика се използват три основни методи за изграждане на класическия вид отпадъкохранилища: възходящо надстройване (upstream construction method); низходящо надстройване (downstream construction method) и централна конструкция (centerline construction method) (Димитров, 2021). Тези три основни методи на конструиране са в зависимост от посоката, в която спрямо стартовата защитна стена се изграждат поетапно последващите защитни стени. Обикновено като строителни материали за изграждане на насипите се използват скални материали, груби фракции от отпадъка или комбинация от двата вида материали. Методът с *възходящо надстройване* се основава на якостните характеристики на отпадъка и е най-евтин, но с най-висок риск (58%) от повреди и разрушаване, особено в райони със сеизмична активност или с обилни валежи (Lyu et al., 2019). Методът с *низходящо надстройване* е най-скъп, но осигурява структурна безопасност и стабилност на съоръженията и е подходящ и за райони с повишена сеизмична активност. Методът с *централна конструкция* на изграждане на отпадъкохранилищата представлява междинен вариант между горните два конструктивни типа – възходящо и низходящо надстройване. Използва се и *модифицирана централна конструкция* - междинен вариант между двата конструктивни типа – възходящо надграждане и централна конструкция.

Методи за депониране на флотационния отпадък

В конвенционалните отпадъкохранилища, транспортирането на флотационния отпадък се извършва чрез пулпопроводи, разположени обикновено по протежение на насипната стена на съоръжението. Депонирането на отпадъка може да се извършва субаерално от една или повече точки или от централно място в съоръжението, както и подводно.

Субаерално депониране. Субаералното депониране се прилага много по-често от подводното депониране на отпадъка. Флотационният отпадък представлява течна суспензия и при субаералното депониране грубата фракция се отлага най-близко до точката на разтоварване, докато фините частици се отлагат на по-голямо разстояние. Влияние върху сегрегацията на материала оказва и дебитът на флотационния отпадък. При субаералното депониране, сегрегацията води до образуването на плаж, наклонен към утаечното езеро. Според Vick (1990) в повечето отпадъкохранилища наклонът на плажа е 0.5 – 2.0 % и колкото по-висока е плътността на отпадъка, толкова по-стръмен е наклонът на плажа. Промяната в точките на разтоварване на отпадъка в различни части на съоръжението, дава възможност на отложения отпадък да се консолидира и изсъхне, докато в други части на отпадъкохранилището може да продължи извършването на депониране.

Подводно депониране. Този метод се използва, когато флотационният отпадък съдържа сулфиди, с възможност за окисление и образуване на киселинни води (фиг. 4). Трайното депониране на отпадъка под вода ограничава достъпа на кислород и предотвратява окислението на сулфидните минерали, с което се редуцира вероятността за дренирането на киселинни води. Подводно депониране е приложено за флотационния отпадък от оловно-цинковото находище Лишийн (Lisheen), Ирландия. В това отпадъкохранилище, отпадъкът е депониран под слой от вода, с дебелина от 1 до 1,3 m през различните сезони, което води до съхраняването на значителен обем вода. При подводното депониране на флотационния отпадък се образуват значително по-стръмни откоси, в сравнение със субаералното депониране, които могат да надхвърлят 10%. Поради тази причина точките на депониране следва да бъдат равномерно разпределени в съоръжението.

Фиг. 4. Подводно депониране на отпадък в конвенционално отпадъкохранилище
(**https://www.tailings.info/disposal/deposition.htm)**

***Депониране чрез разпределителен тръбопровод (spigots*).** Това депониране се извършва най-често субареално, като флотационният отпадък се отлага по периферията на отпадъкохранилището, с разпределителен тръбопровод с цел да се създаде плаж между преградната насипна стена и утаечното езеро (фиг. 5).

Фиг. 5. Субаерално депониране на отпадък чрез разпределителен тръбопровод в конвенционално отпадъкохранилище
(**https://www.tailings.info/basics/tailings.htm)**

Местата, от които се отлага отпадъкът в съоръжението, се сменят, за да може той да се консолидира преди да продължи депонирането на същото място. Разстоянията между разтоварващите точки се определят по експериментален път, за да могат да бъдат определени ширината и ъгъла на наклона на плажа. Неточното оразмеряване на разстоянията може да доведе до образуването на вълнообразен плаж и неефективно депониране. Обикновено тръбите, които се захранват от главния разпределителен тръбопровод, имат по-малък диаметър и при неподходяща скорост на суспензията могат да се запушат. При подходящи условия - скорост на суспензионния поток, съдържание на твърда фаза и място на депониране, се постига равномерно разпределение на отпадъка в съоръжението.

***Депониране в единична точка*.** При този метод депонирането на флотационния отпадък се осъществява от главния пулпопровод, в който отсъстват разклонения за отлагане на материала на повече места. Прилагането на метода може да доведе до образуването на значителни слоеве от отпадък, които могат да останат в наситено, неконсолидирано състояние в продължение на години, ако не бъдат изсушени преди последващото депониране. Този метод може да се използва при подводното депониране на отпадъци, както и в райони с ниски температури, и при затруднено или невъзможно депониране по друг метод (Dixon-Hardy and Engels, 2007).

***Депониране с хидроциклони*.** Хидроциклоните се използват за разделяне на флотационните отпадъци на два продукта – долен продукт от груба фракция пясъци и горен продукт от фина фракция. За изграждане на земно-насипната стена се използват пясъците, а фината фракция се транспортира с пулпопровод до съоръжението. Подходящи за класиране с хидроциклон са флотационните отпадъци, в които съдържанието на твърдите частици с големина под 0,074 mm е по-малко от 60%.

Алтернативни подходи за заместване на конвенционалните отпадъкохранилища

Конвенционалните отпадъкохранилища са изложени на риск от скъсване на защитните стени, повреди и разрушаване, вследствие конструктивни дефекти, превишена проектна височина на дигите, вътрешна ерозия и просмукване на вода, повишено водно ниво от обилни атмосферни валежи и преливане, надвишен капацитет на съоръжението и претоварване, слаб фундамент, земетресения и др. (Григорова и др., 2014; Luy et al., 2019).

С оглед предотвратяване на авариите и спазване на най-високите стандарти за безопасност на съоръженията, в световен мащаб се развиват два основни подхода за заместване на класическия тип отпадъкохранилища (Григорова и др., 2014; Димитров, 2021). По-старият подход, въведен в практиката, включва депонирането на обезводнени в различна степен флотационни отпадъци до получаването на краен продукт с ниско съдържание на влага – уплътнен, пастообразен и сух отпадък. Този тип съоръжения обикновено са по-скъпи от конвенционалните поради по-високата консумация на енергия при обезводняването на отпадъка и специфичното оборудване.

Вторият подход се основава на съвместното складиране на минните и флотационни отпадъци в едно и също съоръжение и е прилаган засега предимно за някои въглищни, диамантени и златни мини. Използвани са различни методи за депониране – депониране на хомогенна смес от флотационни и минни отпадъци; изпомпване на суспензия от двата вида отпадъци с големина на частиците до 10 cm; отлагане на отпадъците в алтерниращи слоеве; складиране на минните отпадъци в единия край или на определени места под формата на вътрешни берми в отпадъкохранилищата от класически тип и др. (https://mineclosure.gtk.fi/co-disposal-of-waste-rock-with-tailings/).

Разработената най-нова иновативна технология включва изграждането на интегрирани съоръжения за съхранение на минните отпадъци ИССМО (Integrated mine waste facility - IMWF), в които съвместно се съхраняват отпадъците от добива и преработката на руда – минни отпадъци (стерилна скална маса) и обезводнен (пастообразен) технологичен отпадък.

Депониране на флотационен отпадък след неговото обезводняване.

Депониране на уплътнен (сгъстен) отпадък (thickened tailings). Уплътненият флотационен отпадък представлява обезводнен в значителна степен материал, представляващ хомогенна, несегрегираща суспензия, със съдържание на твърда фаза 50-60% (Григорова и др., 2014). Обезводняването обикновено се постига с използването на сгъстители или комбинация от сгъстител и филтър преса. Технологията за депониране на уплътнени отпадъци се прилага предимно за отпадъкохранилища с малък до среден капацитет при наличие на сух, горещ климат и оскъдни валежи в равнинни терени, както и в терени със слаб фундамент.

Депониране на пастообразен отпадък (paste tailings). С термина пастообразен отпадък се означава несегрегираща, вискозна суспензия със съдържание на твърда фаза 70-75%, която може да се изпомпва и не се утаява (Григорова и др., 2014; Димитров, 2021). Според Watson et al. (2010) получаването на пастообразен продукт е възможно при съдържание над 15% на фини твърди частици в отпадъка, с размери под 20 μm, а според други автори – над 20-30%. Пастообразното състояние на обезводнения отпадък се постига с използването на конвенционални или високоскоростни сгъстители, като за оптимизиране на процеса се прилагат флокуланти. Складирането на пастообразните отпадъци може да се извършва върху земната повърхност или много по-често – подземно, за запълване на отработени при рудодобива пространства. Пастовото запълване на отработените пространства при подземния рудодобив, е въведено през 2010 г в рудник Челопеч, „Дънди Прешъс Металс Челопеч“ ЕАД (Григорова и др., 2014; Димитров, 2021). Технологията позволява оползотворяването на голяма част от флотационния отпадък, стабилизира подземните изработки и скалния масив и намалява количеството на депонираните отпадъци на повърхността. Запълващата смес е съставена от обезводнен флотационен отпадък, получен след сгъстяване и филтруване и свързваща добавка от цимент (Григорова и др., 2014).

Депониране на сух отпадък (dry stacks). Депонирането на сух отпадък със съдържание на твърда фаза 75-85% се прилага все по-широко през последните 10-20 години. Сухият отпадък се получава с използване на вакуумна филтрация или лентова филтрация под налягане, като най-добри резултати се получават с помощта на филтърни преси. Сухият отпадък се транспортира до мястото на депониране с камиони или конвейр, където се складира и уплътнява, като образува т.н. „сух куп”. Този тип съоръжения са подходящи за райони с висока сеизмична активност, сух или студен климат, в близост до населени места и др. (Димитров, 2021).

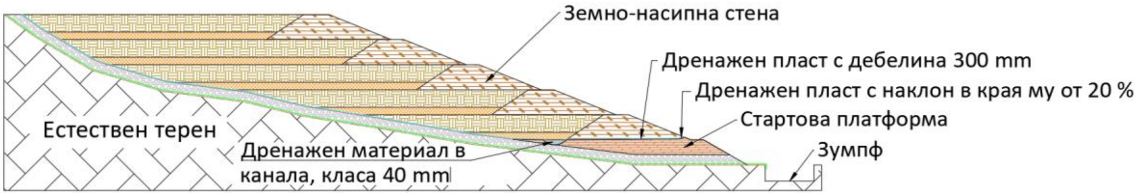
Интегрирано съоръжение за съхраняване на минни отпадъци ИССМО (Integrated mine waste facility IMWF).

Най-новата, съвременна технология, отговаряща на най-високите стандарти за безопасност и стабилност, е изграждането на интегрирани съоръжения за съхраняване на минните отпадъци – ИССМО (Integrated mine waste facility - IMWF). При тази технология се извършва съвместното депониране на отпадъците от добива и преработката на руда - стерилна скална маса и обезводнен технологичен отпадък. В сравнение с конвенционалните съоръжения, тези от интегриран тип имат редица предимства, някои от които са следните: максимална безопасност и стабилност на съоръженията при минимално заемана площ, минимален риск за околната среда, намалено количество на водата за технологични цели, както и на разходите за мониторинг и поддръжка, паралелна рекултивация, едновременно с експлоатацията и др. (Григорова, 2011; Aleksandrova et al., 2021; Димитров, 2021).

Технологията на изграждане и конструктивните параметри на съоръженията от интегриран тип се различава съществено от тези на конвенционалните отпадъкохранилища. Интегрираното съоръжение за съхраняване на минни отпадъци включва основна площадка, съставена от минен отпадък (стерилна скала) и дренажна система, и от стъпала, изградени от уплътнена насипно образувана стена, зад която се складират обезводненият флотационен отпадък и стерилна скала. Дренажната система служи за отвеждане на водата, отделяна при консолидирането на флотационния отпадък. Схематичен профил на интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци е представен на фигура 6, а конструктивните елементи на стъпало на съоръжението са показани на фиг. 7

Първото и засега единствено в страната ни интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци (ИСДМО - Integrated mine waste facility IMWF) е в експлоатация от 2019 г. и е изградено от „Дънди Прешъс Металс Крумовград“ ЕАД (Grigorova and Koprev, 2020; Aleksandrova et al., 2021; Димитров, 2021). За изграждане на съоръжението са избрани две площадки в две малки дерета, като е предвидено първоначално да се експлоатират поотделно, а впоследствие да бъдат обединени в едно. Изградени са клетки от минни отпадъци (стерилни скали), в които се депонира флотационният отпадък от преработката на златосъдържаща руда от находище „Ада тепе”, обезводнен до пастообразно състояние. Клетките са покрити с геотекстил и с тънък слой от пясък и се запълват с 30 до 50% отпадък и 50 до 70% скална маса (Eldridge et al., 2013). За предотвратяване просмукването на вода под съоръжението е поставена геомембрана. Дренажната система, разположена в дъното на съоръжението събира водата, отделяна при консолидацията на пастообразния отпадък, както и от атмосферните валежи и ги отвежда във водоем. Важно предимство на комбинираното отпадъкохранилище е, че заема по-малка площ, вследствие отпадането на необходимостта от изграждането на две отделни съоръжения за складиране на минни и на флотационни отпадъци. Според Eldridge et al. (2011) при поотделното складиране на минните и флотационни отпадъци е необходима площ от 96 ha, докато площта за комбинираното депо е само 41 ha, т.е с 60 % по-малко. Съоръжението е изградено по метода на възходящото надстройване (Eldridge et al., 2011).

Известен недостатък на съоръженията от интегриран тип, са относително по-високите експлоатационни разходи и невъзможността за използване на депонирания отпадък като техногенна суровина, които се компенсират от високата структурна сигурност и безопасност, минимизирането на риска за околната среда и разходите за поддръжка и мониторинг на съоръженията и др.



Фиг. 6. Схематичен профил на интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци

Фиг. 7. Конструктивни елементи на стъпало на интегрирано съоръжение за депониране на минни отпадъци

Заключение

Конвенционалните отпадъкохранилища с хидравлично депониране на флотационните отпадъци са най-евтини и до неотдавна широко използвани в миннодобивната практика, но не са достатъчно безопасни, поради риска от повреди и инциденти с тежки последствия за околната среда, икономически щети и човешки жертви. През последните няколко години две от най-тежките екологични катастрофи за цялата история на Бразилия, са предизвикани от скъсването на стените на отпадъкохранилищата Самарко (2015 г.) и Брумадиньо (2019 г.) в щат Минас Жераис. И двете отпадъкохранилища са изградени по метода на възходящо надстройване, който е най-евтин и широко използван. След тези две катастрофални аварии е взето решение всички съществуващи съоръжения, изградени по метода на възходящо надстройване в Бразилия, да бъдат изведени от експлоатация. В Чили, Перу, Бразилия и Еквадор е забранено строителството на съоръжения от този тип. Поредните бедствия, свързани с авариите на отпадъкохранилища, потвърждават необходимостта от разработването на нови иновативни подходи за безопасни и екологосъобразни съоръжения. Най-добрите налични съвременни технологии включват депонирането на предварително обезводнени флотационни отпадъци и внедряването на интегрирани съоръжения за съхраняването на минни отпадъци.

Литература

Aleksandrova, E., L. Dimitrov, D. Kaykov. 2021. Operational sequence for constructing an combined mine waste facility – *XVI International conference of the open and underwater mining of minerals, 6-10 September 2021*, Varna, Bulgaria.

Dixon-Hardy, D. W, J. M. Engels. 2007. Methods for the disposal and storage of mine tailings. - *Land Contamination & Reclamation, 15,* (3), 301-317.

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

Eldridge, T., M. Kissiova, B. Wickland, I. B. Ahmed, J-F.Laurin. 2013. Integrated Mine Waste Storage Facility, Krumovgrad Gold Project, Bulgaria. - *Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, 2013,* 232 – 934.

Grigorova, M., I. Koprev. 2020. Mining and technical conditions in open pit “Khan Krum” gold mine in Southeastern Bulgaria. - *Proceedings of 6th International Scientific Conference Geobalcanica 2020*, 119-126.

Lyu, Z., J. Chai, Z. Xu, Y. Qin, J. Cao. 2019. A comprehensive review on reasons for tailings dam failures based on case history. – *Advances in Civil Engineering*, 1-18.

Vick, S. G. 1990. Planning, *Design and Analysis of Tailings Dams*. BiTech Publishers Ltd, Vancouver, B. C. Canada, 381.

Watson, A. H., P. G. Corser, E. E. Garces Pardo, T. E. Lopez Christian, J. Vandekeybus. 2010. A comparison of alternative tailings disposal methods – the promise. - *Mine Waste* (Eds. Fourie, A. B., R. J. Jewell), 499 – 514.

Yankova, T. 2020. Mineral processing waste utilization. - *Proceedings of the XX International Multidisciplinary Scientific GeoConference*, 2020, Bulgaria, 821-828.

Григорова, И., М. Ранчев, И. Нишков. 2014. Трайни тенденции при депониране на крайни технологични отпадъци от преработката на минерални суровини. – *Минно дело и геология, 9-10*, 37-41.

Григорова, И. 2011. *Гравитационни технологии при управление на минни отпадъци*. Изд. Ритт, Силистра.

Димитров, Л. 2021. Видове отпадъкохранилища при преработката на минерални суровини – предимства и недостатъци. *Геология и минерални ресурси, 9-10*, 5-11.

https://www-tailings

https://www.tailings.info/basics/tailings.htm

https://www.tailings.info/disposal/deposition.htm

https://mineclosure.gtk.fi/co-disposal-of-waste-rock-with-tailings/

STRESSES IN A TRANSVERSELY ISOTROPIC ROCK MASS AROUND A CIRCULAR OPENING

Malina Ivanova

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

ABSTRACT: The article considers the issue of determining the stresses in the transversely isotropic rock mass. The isotropy plane is horizontal. A circular opening is made in the rock mass. The problem is solved by the method of complex variable functions.
The paper proposes to take into account the behaviour of the rocks within a time interval since the opening of the hole. For this purpose, the method of variable modules is applied. The stresses along the contour of the hole at both ends of the time interval are determined.
A numerical example of a real rock mass is given. The values of the stresses in the horizontal and vertical points of the contour of the opening are calculated.

Key words: method of complex variable functions, method of variable modules, stresses.

НАПРЕЖЕНИЯ В ТРАНСВЕРЗАЛНО-ИЗОТРОПЕН СКАЛЕН МАСИВ ОКОЛО КРЪГОВА ИЗРАБОТКА

Малина Иванова
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София.

РЕЗЮМЕ: В статията се разглежда въпросът за определяне на напреженията в трансверзално-изотропен масив. Равнината на изотропия е хоризонтална. В масива е прокарана кръгова изработка. Задачата се решава с метода на функции на комплексна променлива.
В работата се предлага да се отчете поведението на скалите след определено време от прокарване на отвора. За това се прилага метода на променливите модули. Определени са напреженията по контура на отвора в двата края на интервала от време.
Даден е числен пример за реален масив. Изчислени са стойностите на напреженията в хоризонталните и вертикални точки от контура на отвора.

Ключови думи: метод на функции на комплексна променлива, метод на променливи модули, напрежения.

Introduction

A large number of studies have been published on the issue of stresses around a circular hole. Many of them apply a linear homogeneous medium as a model and use linear equations in the theory of elasticity. To solve this problem, the complex function method is applied (Muskhelishvili, 1953; Lekhnitskii, 1963; Guz et al., 2007; Lu et al., 2007). The model is complicated when the array has an isotropy plane (Minchev, 1960; Hefny, 1999).

The movement of rocks over time is reported with the theory of heredity. According to this, the relationship between stresses and strains is given by integral operator equations. In many problems of the mechanics of underground facilities, the method of variable modules, developed by Amusin (Amusin et al., 1974) can be applied. The method is applied to an array composed of parallel isotropic layers whose thickness is small (Trifonova-Genova, 2012).

The current work focuses on determining the analytical expressions for the stresses in time around a circular opening passing through a transversely isotropic array.

Methods

1. Formulation of the problem

At a depth of H , a work with a radius of r_o was drilled in a transversely isotropic array. The plane of isotropy is horizontal. For this class of problems, the behavior of the array is described by the partial differential equation of the stress function (Muskhelichvili, 1953; Lekhnitskii, 1963; Guz et al., 2007). This equation is of the fourth order.

2. Creep of the rock mass

The problem of the hereditary theory of elasticity can be considered as a problem of the theory of elasticity. Temporary functions are written in it instead of physical and mechanical constants. For an array with a horizontal plane of isotropy, these functions have the form (Trifonova-Genova, 2012):

$$E_{k,t} = E_k\left(1+\Phi_k\right)^{-1}\ ; \qquad G_{2,t} = G_2\left(1+\Phi_2\right)^{-1};$$
$$\Phi_k = \delta_k t^{1-\alpha_k}\left(1-\alpha_k\right)^{-1}\ ; \qquad (1)$$

$$\mu_{2,t} = E_{1,t}\left(\frac{\mu_2}{E_1} - \frac{1}{2E_2} + \frac{1}{2E_{2,t}}\right); \qquad k = 1,2;$$

$$\mu_{1,t} = \mu_2\left(1 + \frac{E_2}{E_1}\right) + \mu_1 - \mu_{2,t}\left(1 + \frac{E_{2,t}}{E_{1,t}}\right),$$

where

t is the time,[s];

α_k; δ_k are creep parameters;

$E_{1,t}$ is Young's modulus in the isotropy plane, [MPa];

$\mu_{1,t}$ is Poison's ration in the the isotropy plane;

$E_{2,t}$ is Young's modulus in a plane perpendicular to the isotropy plane, [MPa];

μ_{2t} is Poison's ration in a plane perpendicular to the isotropy plane;

$G_{2,t}$ is shear modulus in a plane perpendicular to the isotropy plane, [MPa].

A time interval (t_0, t_f) is considered to study creep. Two tasks are solved for these boundaries. They use the physical and mechanical characteristics corresponding to the specific moment.

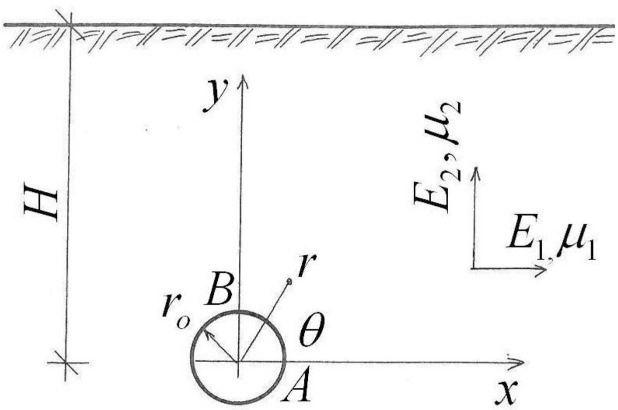


Fig.1. Calculation scheme

3. Stress

The characteristics of equation (1) participate in the expressions for the coefficients of the partial differential equation. This equation is a function of stress. To determine it, the characteristic equation is written (Vucheva et al., 2020):

$$b_{11,t}s^4 + b_{17,t}s^2 + b_{33,t} = 0, \tag{2}$$

where

$b_{17,t} = 2b_{13,t} + b_{55,t}$.

The coefficients in this equation are a function of time and have the following form (Ivanova et al., 2018):

$$b_{jl,t} = a_{jl,t} - \frac{a_{j2,t}a_{l2,t}}{a_{22,t}}; \; j,l = 1,3,5. \tag{3}$$

For the selected array, the strain coefficients of equation (3) have the form (Trififonova-Genova, 2019):

$$a_{11,t} = \left(E_{1,t}\right)^{-1}; \; a_{22,t} = \left(E_{1,t}\right)^{-1}; \; a_{33,t} = \left(E_{2,t}\right)^{-1};$$
$$a_{55,t} = \left(G_{2,t}\right)^{-1}; \tag{4}$$
$$a_{12,t} = -\frac{\mu_{1,t}}{E_{1,t}}; \; a_{13,t} = -\frac{\mu_{2,t}}{E_{1,t}}; \; a_{23,t} = -\frac{\mu_{2,t}}{E_{2,t}}.$$

The roots of equation (2) are:

$$s_{1,t} = \beta_{1,t}i; \; s_{2,t} = \beta_{2,t}i; \; s_{3,t} = -\beta_{1,t}i;$$
$$s_{4,t} = -\beta_{2,t}i. \tag{5}$$

Here, i is an imaginary unit.

The type of stress function depends on these roots. The detailed type of this function can be found in the special literature (Minchev, 1960; Lekhnitskii, 1963). This function expresses the stresses around the opening.

There are no radial and tangential stresses along the contour of the hole. Normal tangential stresses along the contour of the circular fabrication at any moment t have a form analogous to that of (Minchev, 1960):

$$\sigma_{\theta,t} = \frac{Q}{e_1}\left(e_2 + e_3 + e_4\right), \tag{6}$$

where

$$e_1 = d_{1,t}d_{2,t}\beta_{3,t}; \qquad e_2 = \beta_{1,t}d_{1,t}d_{2,t}\beta_{3,t};$$
$$e_3 = d_{3,t}d_{2,t}\beta_{4,t}; \qquad e_4 = d_{4,t}d_{1,t}\beta_{5,t};$$
$$\beta_{3,t} = \beta_{1,t} - \beta_{2,t}; \qquad \beta_{4,t} = \beta_{2,t} - \lambda;$$
$$\beta_{5,t} = \lambda - \beta_{1,t}; \qquad \lambda = \frac{\mu_2}{1-\mu_1}; \qquad Q = \gamma H.$$

The other coefficients in the above equation depend on the angle. For $\theta = 0, \pi$, the coefficients of (6) are:

$$d_{1,t} = \beta_{1,t}^2; \; d_{2,t} = \beta_{2,t}^2; \; d_{3,t} = -\beta_{1,t};$$
$$d_{4,t} = -\beta_{2,t}. \tag{7}$$

For $\theta = \pi/2, 3\pi/2$, the coefficients from (6) have the form:

$$d_{1,t} = 1; \; d_{2,t} = 1; \; d_{3,t} = -\beta_{1,t}^2; \; d_{4,t} = -\beta_{2,t}^2. \tag{8}$$

4. Numerical example

A circular opening with radius r_o is drawn to a depth of H. The array is transversely isotropic. Its characteristics are (Trifonova-Genova, 2012):

$$E_{1,0} = 0.397.10^4 MPa\ ;\ E_{2,0} = 0.1523.10^4 MPa\ ;$$
$$\mu_{1,0} = 0.143\ ;\quad \mu_{2,0} = 0.198\ ;$$
$$G_{2,0} = 0.0805.10^4 MPa\ ;\ \gamma = 2.47.10^{-2} MN / m^3 .$$

The characteristics of the time interval are $t_0 = 0$ and $t_f = 5 days \approx 1.296.10^7 s$.

Creep parameters are:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0.67\ ;\qquad \delta_1 = 0.33.10^{-2} s^{\alpha-1}\ ;$$
$$\delta_1 = 0.307.10^{-2} s^{\alpha-1} .$$

The given characteristics of the scales are used to determine the stresses at the initial moment (t_0). The coefficients of equations (4), (3), and (2) are calculated. The roots of the last equation are given in Table 1 at time t_f.

Table 1. *Roots of a characteristic equation in two moments*

t	β_{1t}	β_{2t}
t_0	0.7565	1.9207
t_f	0.2034	1.8559

According to the method of variable modules, the characteristics of the array for the moment t_f are calculated:

$$E_{1,f} = 0.0943.10^4 MPa\ ;$$
$$E_{2,f} = 0.0496.10^4 MPa\ ;\qquad \mu_{1,f} = -0.3613\ ;$$
$$\mu_{2,f} = 0.7014\ ;\qquad G_{2,f} = 0.0266.10^4 MPa .$$

The coefficients of equations (4), (3) and (2) are calculated with the obtained characteristics. The roots of the last equation are placed in the last row of Table 1.

The vertical stress in the undisturbed array is $Q = 2.47 MPa$ and the coefficient of lateral resistance is $\lambda = 0.3375$.

For moment m1, the $\beta_{j,0}$ ($j = 3,4,5$) coefficients from equation (6) are calculated first. The normal tangential stresses are then determined at points A and B of Figure 1. For the first point, the coefficients $d_{k,0}$ ($k = 1 \div 4$) of equation (7), e_k, and the stress $\sigma_{\theta,0}^A$ of (6) are calculated sequentially. For the second point, $d_{k,0}$ from (8), e_k and the stress $\sigma_{\theta,0}^B$ from (6) are determined. The results obtained for both points are given in Table 2.

The described steps are repeated for moment t_f. The results are given in the last row of Table 2.

Table 2. *The normal tangential stresses in two moments*

t	$\sigma_{\theta,t}^A$	$\sigma_{\theta,t}^B$
t_0	-5.8403	-0.5099
t_f	-11.3163	-1.2867

The table shows the values of the normal tangential stresses at two points in time. It is noticed that the values of the stresses at the final moment are several times higher than those at the initial moment. Thus, this increase along the horizontal axis is 1.94 times, and along the vertical axis is 2.52 times.

5. Key finding

The article describes an algorithm for determining the stresses along the contour of a circular opening.

The stresses were received at two points in time: Immediately after digging the hole and after 150 days. The increase in stresses along the vertical axis is greater than those along the horizontal axis.

Conclusion

The article discusses the problem of the mechanics of underground facilities. The boundary conditions of the task are constant. The hereditary theory of elasticity is used to determine stresses.

The presented solution is a supplement to the existing analytical methods, which determine the stresses along the contour of a circular hole. This solution can be extended to other types of openings.

For the application of analytical methods in practice, it is important to determine the values of the physical and mechanical characteristics of the rocks. This is done according to certain standards, which are constantly evolving and enriching. These developments allow the determination of the characteristics in a transverse and isotropic array (Hakala et al., 2007). Thus, the final solution takes into account more precisely the real properties of the rocks around the opening.

References

Amusin, B., A. Linkov. 1974. About using of variable modulus for solution of class of problems of linear creep. - *Proceedings of Academy of Sciences USSR, Mechanics of Solid Body*, 6, 162-166.

Guz, D., Y. Ruchitchkii. 2007. O monograficheskom naslednii G. N. Savina. - *Prikladnaya mehanika*, *43*, kn.1. (in Russian)

Hakala, M., H. Kunla, J. A. Hudson. 2007. Estimating the transversely isotropic elastic rock properties for in situ stress measurement data reduction: A case study of the Olkilioto mica gneiss Finland. - *International Journal of Rock Mechanic and Mining Science*, *400*, Number 1, 14-46.

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. Protecting the people drawing an elliptic opening in transverse isotropic rock. - *Processing in Annual University Scientific Conference,* National Military University “V. Levski”, 25-26 October, 2018, 656-660 (in Bulgarian with English abstract).

Lekhnitskii, S. G. 1963. *Theory of elasticity of an anisotropic elastic 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. 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. 2012. *Napregnato sastoyanie v naplasten masiv okolo krugla izrabotka*. - Sofia: I. K. “Sv. Ivan Rilski”, 132p. (in Bulgarian).

Trifonova-Genova, V. 2019. Stress and strain in transversely isotropic rock-1. - *Proceedings in Annual University Scientific Conference*, National Military University “V. Levski”, 27-28 June, 2019, 403-411 (in Bulgarian with English abstract).

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).

NEW SOLUTIONS FOR PROVIDING INDIVIDUAL TEMPERATURE COMFORT IN THE CONDITIONS OF OVERHEATING MICROCLIMATE IN THE UNDERGROUND MINING OF MINERALS

Alexander Krilchev

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

ABSTRACT: Providing comfortable work conditions for workers in overheated microclimate the underground mining of minerals is an important and complex technical problem. As a solution, it is necessary to apply different approaches and methods which are related to the management and control of the physical parameters of the air in the working environment and to provide personal comfort through the use of personal protective equipment.

Key words: underground mine, microclimate conditions, heat protection, hydrogel, overheating microclimate

НОВИ РЕШЕНИЯ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ИНДИВИДУАЛЕН ТЕМЕРАТУРЕН КОМФОРТ В УСЛОВИЯТА НА ПРЕГРЯВАЩ МИКРОКЛИМАТ ПРИ ПОДЗЕМНИЯ ДОБИВ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ

Александър Крилчев

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

РЕЗЮМЕ: Осигуряването на комфортни условия на труд на работниците в условия на на прегряващ микроклимат при подземния добив на полезни изкопаеми е важна и сложна технически задача. За решаването й е необходимо прилагане на различни методи и подходи, свързани с управлението и контрола на физическите параметри на въздуха в работната среда и осигуряване на персонален комфорт чрез използване на лични предпазни средства.

Ключови думи: подземен рудник, микроклиматични условия, топлинна защита, хидрогел, прегряващ микроклимат

Въведение

При подземния добив на полезни изкопаеми всички работници в различна степен са подложени на въздействието на различни фактори на работната среда – шум, вибрации, прах, газове, осветление, лъчения. Тези въздействия създават риск за увреждане на здравословното състояние на работниците или предпоставки за възникване на различни по вид производствени аварии. Поради тази причина е необходимо да се извършва строг контрол на параметрите на работната среда с цел минимизиране на риска за здравето и безопасността на работниците. В тази връзка се прилагат различни по своята същност мероприятия (технически, технологични и организационни), свързани с елиминиране или намаляване влиянието на тези фактори до нормативно установените нива. Най-голямо значение за намаляване на вредностите до санитарно-хигиенните норми е адекватната вентилация. За правилното проветряване на изработките и експлоатация на тези системи е необходимо да се извършват периодични проверки и контролни измервания за установяване на режима на проветряване на изработките и ефективността на работа на системите за местна вентилация (Наредба № 3, 2001). В сложните (разклонени) вентилационни системи се проявяват различни по вид, характер и поведение процеси и явления, които оказват влияние върху работата на системата. Други процеси, обаче, може да провокират сериозни нарушения на работата на системата – пожари, експлозии, рязка промяна на аеродинамични съпротивления. Поведението на системата в такива случаи е трудно предвидимо, а в реална аварийна ситуация трябва да се действа по предварително очертан план (ISO 7730, 2005). Всички тези процеси и явления могат да окажат влияние върху функционалното състояние на човешкия организъм. Като пример, при работа в условията на прегряващ микроклимат се нарушават процесите, свързани с регулирането на температурата на организма, вследствие на което се появяват първите признаци на прегряване – главоболие, гадене, повръщане и т.н. Продължителната работа в такива условия неминуемо води до различни топлинни увреждания на организма като дехидратация, топлинен удар, колапс и др. Крайният резултат от тези увреждания винаги е свързан с опасност за живота и здравето на работниците. Освен изброените въздействия могат да настъпят и различни психични изменения – нарушаване на концентрацията, забавяне на реакциите, настъпване на умора и т.н., което създава предпоставки за възникване на злополуки и аварии поради неадекватни или грешни решения при изпълнение на различни производствени задачи. За да не се допусне това е необходимо създаване на комфортни условия на труд, посредством контрол и управление параметрите на околната среда и функционалното състояние на организма на работниците.

Мероприятия за контрол и управление на микроклиматичните условия при подземния добив на полезни изкопаеми

Осигуряването на комфортни условия на труд на работниците, извършващи различни производствени дейности при подземния добив на полезни изкопаеми в условията на прегряващ климат, е важна и отговорна задача за целия ръководен и инженерно-технически персонал. Чрез контролиране на микроклиматичните параметри на работната среда се осигуряват оптимални условия на труд, при които работниците изпълняват задълженията си, без това да оказва влияние върху живота и здравето им. Поддържането на микроклиматични условия, отговарящи на санитарно-хигиенните изисквания, се осъществява посредством различни технологични и организационни мероприятия. Към тях се отнасят:

1. Рационални схеми за разкриване и експлоатация на находището, позволяващи постъпването на въздуха в забоите по най-краткия път с цел намаляване на конвективното му загряване.
2. Ефективна вентилация.
3. Предварителен топлинен дренаж на масива.
4. Топлоизолация на скалите и минните изработки.
5. Използване на стационарни и нестационарни уредби за охлаждане на въздуха.
6. Оценка на риска от въздействие на неблагоприятни фактори на работната среда и трудовия процес върху здравето и работоспособността на хората.
7. Въвеждане на физиологичен режим на труд и почивка (Динчев, 2017).

Освен предлаганите мероприятия, важно значение за подържане на добра терморегулация в условия на високи топлинни въздействия имат поносимостта на организма към топлинно натоварване и използване на средства за колективна и индивидуална защита. Поносимостта на организма към топлинно натоварване се определя от индивидуалната му поносимост и аклиматизация на човека към топлинни въздействия. Индивидуалната защита на работниците в условия, различни от комфортните, може да се осъществи чрез различни видове топлозащитни облекла. В зависимост от защитаваната част те се разделят на две групи:

1.Облекла за частична топлинна защита.

2.Облекла за цялостна защита на тялото.

Първата група облекла са предназначени за изпълнение на производствени дейности с леко и умерено натоварване при невисоки температури на околната среда. Облеклата от втората група се използват при тежка и уморителна работа при високи температури – за спасителни операции и ликвидиране на последствия от бедствия и аварии (Динчев, Власева и Костадинова, 2018). За осигуряване на индивидуален температурен комфорт при подземния добив на полезни изкопаеми, интерес представляват облеклата за частична защита на тялото.

Съществуват различни видове охлаждащи облекла (жилетки) по отношение на конструкцията и охлаждащия елемент.

- ⇨ *С водно-ледено охлаждане;*
- ⇨ *С конвективно - радиационно охлаждане;*
- ⇨ *Със сух лед.*

Основните недостатъци при използване на тези жилетки са:

- ⇨ *Непосредствен допир на охлаждащия елемент до човешкото тяло (при някои видове жилетки);*
- ⇨ *Възможност за покриване със скреж на охлаждащите елементи при температура на топлоносителя под 0℃ при използване на тънък изолиращ слой. Недостатъкът при по-дебелия слой е намаляване ефективността на охлащдане;*
- ⇨ *Омокряне на топлоизолиращите елементи от потта на работещия при работа с повишен енергоразход. В резултат на това те действат като студен компрес на тялото.*

Всички изброени недостатъци водят до повишаване на риска от увреждане на здравето на работниците поради риск от различни простудни заболявания – пневмонии, радикулити, междуребрени невралгии и др. Друг съществен недостатък на охлаждащите облекла е, че някои от тях са със сложна конструкция (многослойните облекла на фирма Дрегер), при която подържането им е сложно и изисква специална подготовка. Освен това, при работа в условия на високи температури, продължител-ността на действие на охлаждащите жилетки е приблизително около четири часа. Следователно за една работна смяна са необходими минимум два броя жилетки за всеки работник. За съхранението и транспортирането на охлаждащите елементи на голяма част от тези средства за защита, обаче, е необходимо наличие на фризер, хладилна чанта или хладилник, което също създава неудобство при използването им (Крилчев, 2013). В миналото в нашата страна са правени опити за използване на охлаждащи жилетки в условията на прегряващ микроклимат в някои от рудниците на СМОК „ ГОРУБСО”. Недостатъците, обаче, свързани с подготовката, съхранението и транспортирането на използвания в жилетките охлащдащ агент (лед), както и неефективното му охлаждащо действие по време на работа, водят до отхвърляне на това индивидуално защитно средство. Понастоящем в нашата страна липсват данни за използване на охлаждащи жилетки като средство за индивидуална температурна защита, при подземния добив на полезни изкопаеми.

Използване на полимерни хидрогелове за създаване на индивидуални комфортни условия на труд в условията на прегряващ микроклимат

За да се повиши ефективността и продължителността на защитното действие на използваните облекла за частична топлинна защита, бе разработен прототип на охлаждаща жилетка, с използване на полимерен хидрогел като топлоизолиращ елемент. Той представлява натриева сол на полиакрилната киселина и има способността да сорбира многократно по-голямо количество вода от собственото си тегло. Заради това уникално свойство, тези вещества са наречени суперабсорбенти.

Понастоящем на пазара от ограничен брой производители се предлагат три типа суперабсорбер. В таблица 1 са дадени техните структурни формули и CAS (Chemikal Abstracts Services) регистрационния им номер.

Таблица 1

СУПЕРАБСОРБЕР	CAS №	Структурна формула
Полиакриламид	9003-05-8	[-CH2-CH(CONH2)-]n
Натриев полиакрилат	9003-04-7	[-CH2-CH(COONa)-]n
Калиев полиакрилат	25608-12-2	[-CH2-CH(COOK)-]n

Първият представен абсорбер - полиакриламидът не се влияе от съдържанието на соли във водата за разлика от другите два суперабсорбера. Тази разлика в поведението му се дължи на наличието на амидна (NH2) група в структурата му, докато натриевият полиакрилат и калиевия полиакрилат имат съответно натриев (Na+) и калиев (K+) йон в структурата. Натриевият и калиевият йон работят по-ефективно за събиране и натрупване на вода в структурата на гела, поради което натриевият полиакрилат и калиевия полиакрилат имат 4÷5 пъти по-голяма абсорбционна способност към дестилираната вода. Производителите на полиакриламид дават различни срокове на съществуване – от 18 до 36 месеца. Продуктът намира приложения за събиране на нефт при разливи, като флоакулант и за разделяне на макромолекули с различно молекулно тегло, за пречистване на отпадни води.

Натриевият полиакрилат има следните приложения:

1. В продукти за пране като сгъстител в разтвори на хипохлорид, използван в избелващи смеси.
2. В хранителната индустрия – като абсорбент на течности в материали, които влизат в контакт с храна; като диспергатор за минерални пигменти или пълнители; за производството на захар.
3. При производство на пластмаси.
4. В медицината – като охлаждащо средство при травми (Moore, 2021).

Калиевият полиакрилат се използва най-често в селското стопанство, но намира широко приложение и в :

1. Химическа промишленост.
2. Металургия;
3. Производство на горива.
4. Производство на хартия и др.

Натриевият и калиевият полекрилат се използват и за гасене на пожари и предпазване на дървени конструкции от пожари. Освен това успешно се използват и за гасене на горски пожари, пожари от нефтопродукти и събиране на разливи от нефт (нефтени петна) (Yankov, Vladkova, 2018). В комбинация с различни противопожарни средства, суперабсорберът намира приложение при защита на пожарниците и за спасяване на хора с противопожарни одеяла, предварително обработени със суперабсорбер.

На пазара суперабсорберът се прилага в три размера:

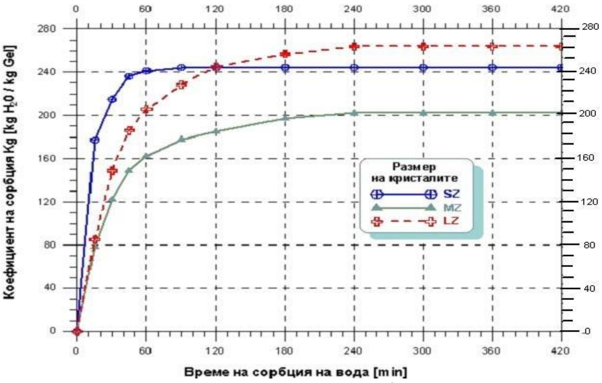
- ⇨ Малък размер (SZ)- под 1000 μm, с преобладаваща фракция +800 ÷1000 μm ;
- ⇨ Среден размер(MZ)- от 850μm до 2000μm, с преобладаваща фракция +1÷2mm;
- ⇨ Голям размер (LZ)- от 1700μm до 4000μm, с преобладаваща фракция +2÷4mm;

Насипната плътност на суперабсорбера се изменя от 718 до 770 кg/m3 (таблица 2). Коефициентът му на разбухване е определен по общоприетата методика при плътност на абсорбера $\rho = 13250 \pm 12$ кg/m^3.

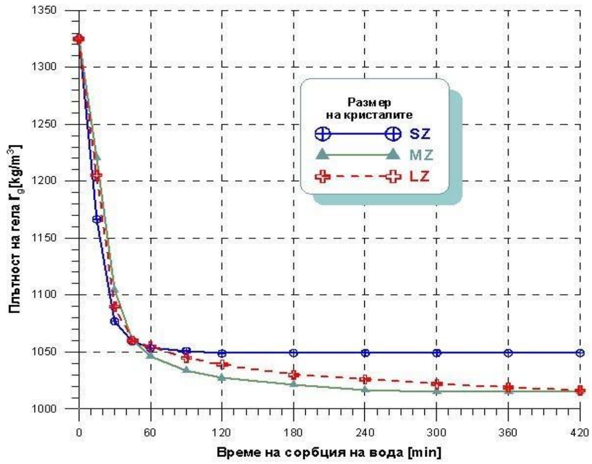
Таблица 2

Размер	Код	Зърнометри-чен състав, [μm]	Насипна плътност [kg/m^3]	Коефициент на разбухване
Малък	SZ	- 1000	785.6 ± 20.98	1.69
Среден	MZ	+850 - 2000	718 ± 15.4	1.85
Голям	LZ	+1700 - 4000	769 ± 18.78	1.72

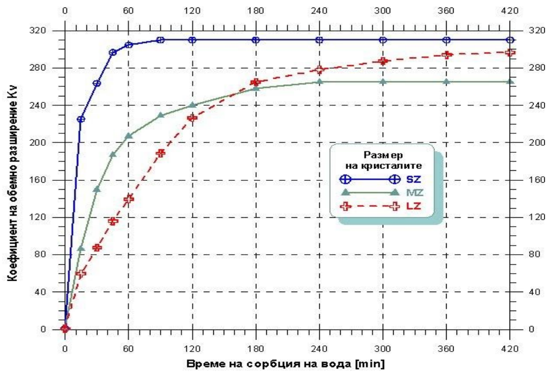
Изменението на коефициента на сорбция (фиг. 1), коефициентът на плътност (фиг. 2), и обемно разширение (фиг. 3) на трите типоразмера абсорбер при насищане с вода са определени експериментално.



Фиг. 1. Изменение коефициента на сорбция



Фиг. 2. Коефициент на плътност на абсорбера



Фиг. 3. Коефициент на обемно разширение

Проведените експерименти показват, че с увеличаване на размера на кристалите максималната сорбция намалява. Времето за насищане на кристалите с вода нараства с намаляване на размера на кристалите. Това време се колебае от 45 до 60 минути за най-малкия SZ размер до повече от 7 часа – за най-големия LZ размер. Нарастването е нелинейно и се приближава до квадратична зависимост (НАРЕДБА № 15, 1999).

За изследване скоростта на дехидратация на предлаганите защитните средства при комфортни условия и в условия на повишен риск от прегряване се проведоха два експеримента.

Подготовка на експериментите

Основание за провеждане на експериментите бяха резултатите, получени от пилотните експерименти, свързани с изследване на охлаждащия ефект на връзки с полимерен хидрогел в условията на високо температурно натоварване. Данните и резултатите от експеримента са показани в статията „Изследвания за подобряване условията на труд в среди с високи температури” с автори гл. ас. д-р А. Крилчев и проф. д-р М. Михайлов.

Началният етап на разработване бе свързан с избора на материал и модел на жилетката. Използваният материал при изработването ѝ бе със съдържание на памук 80% и полиестер 20%. Площта на жилетката бе разделена (пикирана) на квадрати с размери 100/100mm. Преди поставяне на абсорбера в отделните клетки, бе изчислено теглото му с цел осигуряване на добър контакт с тялото на човека след водонасищането му. По този начин общото тегло на използваният абсорбер стигна 0,100 kg. Общият вид на жилетката е показан на фиг. 4.

Фиг. 4.

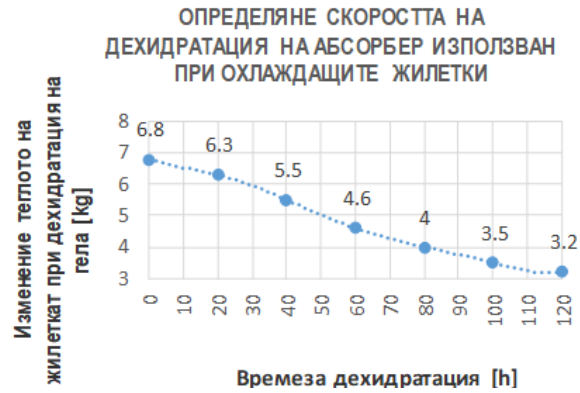
След зашиване на квадратите, готовата жилетка бе поставена в съд с вода за постигане на хидратация на абсорбера. След пълното насищане с вода теглото достигна 6,900 kg

Провеждане на експеримент № 1

Целта на експеримента бе да се определи скоростта на дехидратация на абсорбера и степента на защита на човешкия организъм при нормални условия.

За определяне на тази скорост, жилетката бе поставена в среда с относително постоянна температура и влажност на въздуха в периода на измерване. Промяната на температурата се колебаеше в относително тесни граници от 17°C до 16,5° C, а на влажността – от 65% до 63%.

От графиката на фиг. 5 се вижда, че скоростта на дехидратация е линейна функция, зависеща от времето. Промяната на теглото на жилетката през периода на измерване показа способността на гела да задържа относително голямо количество вода за продължително време при постоянна температура и влажност. Това е пряко свързано с времето ѝ на защитно действие.



Фиг. 5. Скорост на дехидратация на гела при използване на ЛПС

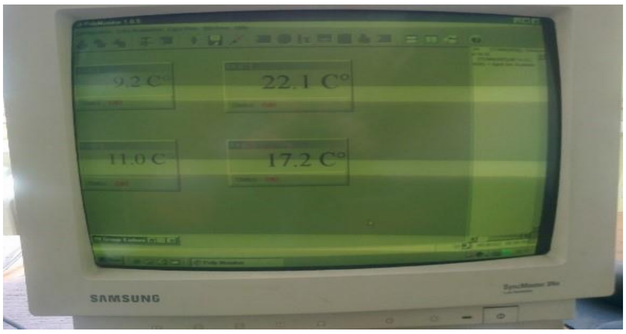
Провеждане на експеримент № 2

За изследване на ефективността на охлаждащата жилетка в условията на високотемпературно натоварване, бе проведен експеримент чрез нагряване на предлаганото защитно средство с помощта на източник на инфрачервена радиация с мощност 1500W, разположен на един метър от жилетката (фиг. 6).

Фигура 6

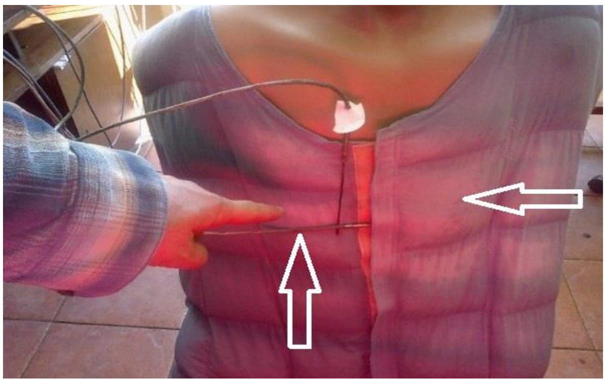
Целта бе да се определи разликата в температурите на поддрешното пространство и по повърхността, подложена на нагряване. За целта бяха поставени два броя термодвойки (фиг. 7) на предварително определени места, чиито показания се следяха и регистрираха с помощта на подходящ за целта софтуер (фиг. 8).

Фиг. 7.



Фиг. 8.

Преди включване на източника на нагряване бяха измерени температурата на повърхността на жилетката – 13,9°C и температурата на използвания за целта манекен – 18,5 °C. Както е видно от регистрираните данни, нямаше голяма разлика между двете температури. Началното тегло на жилетката бе 6,900 kg. След завършване на подготвителните действия и измервания бе включен източникът на инфрачервена радиация. На двадесетата минута по повърхността на жилетката започна появата на светли петна (фиг. 9). Това бе белег за активно изпарение на водата от гела, което продължи до прекратяване на опита. Общата продължителност на експеримента бе 60 минути.



Фигура 9

След приключване на опита отново бяха измерени двете контролни температури:

- ⇨ На повърхността на жилетката – 40,8°C;
- ⇨ На повърхността под жилетката – 30,5°C.

Изменението на температурата по време на провеждане на опита е показано на фиг. 10. **К1** е кривата, която показва изменението на температурата под вътрешната част на жилетката, а **К2** е кривата, която показва изменението на температурата на повърхността на жилетката.

Фиг. 10.

Получените резултати показват, че въпреки интензивното нагряване на повърхността на жилетката, размахът между двете температури след 2,5 минути от началото на опита остава относително постоянен 10÷12°C. Тази разлика се запазва до края на експеримента. Измереното тегло на жилетката след опита бе 6,750 kg. Получените резултати дават основание да се счита, че предлаганото ново защитно средство показва добър изолиращ и охлаждащ ефект при сравнително ниска загуба на тегло в резултат на изпаряване на влагата от гела.

Изводи:

Получените данни от проведените експерименти в лабораторни условия показват, че:

1. Дехидратацията на гела се определя от температурата и влажността на въздуха и протича по линейна зависимост. С увеличаване на температурата и намаляване на влажността на въздуха скоростта на дехидратация ще нарасне и обратно – с намаляване на температурата на въздуха и увеличаване на влажността скоростта на дехидратация ще намалее.
2. Продължителното топлинно натоварване не влияе върху разликата в температурите на повърхността на жилетката и поддрешното пространство.
3. Резултатите от опита показват, че разликата в теглото на жилетката преди и след експеримента е незначителна. Тази разлика се дължи на изпарението на водата от охлаждащия агент, което оказва влияние върху времето на защитно действие.

Заключение

Получените данни от проведените експерименти на предлаганите нови защитни облекла показаха редица предимства по отношение на охлаждащия им ефект спрямо индивидуалните средства, използвани до момента. Предимствата им се дължат основно на използвания нов охлаждащ агент, чието действие се определя от способността му да поема голямо количество вода за кратко време. По този начин времето на защитно действие на жилетката значително се увеличава. Освен това ако преди употреба температурата на охлаждащия агент се намали с няколко градуса (чрез охлаждане), това ще доведе до още по-дълъг период на защита в условията на повишено температурно натоварване.

Като основен недостатък на жилетката се оказва високото й тегло, което би довело до дискомфорт и умора на работещия при нейното използване. Това наложи създаването на нови модели жилетки и експериментиране ефективността им при използване на по-малко количество охлаждащ ефект. Целта е да се създаде универсално защитно средство (по отношение на размера й), което може да се използва от всички работници при подземен добив, извършващи дейности в условията на високи физически и топлинни натоварвания, независимо от индивидуалните им особености - височина и тегло.

Литература

ISO 7730 от 2005 г. – Ергономия на топлинната околна среда.

Moore, Sydni. 2021. The Fireproofing Abilities of Sodium Polyacrylate in the Form of a Gel, Water Based Paint, and Spray. – *Journal of the South Carolina Academy of Science*: *Vol. 19: Iss. 1, Article 8.*

Yankov St., Bl. Vladkova. 2018. Emergency actions and neutralization of oil spills. – *Annual of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”*, Sofia, Bulgaria. ISSN 2535-1176, pp. 89-96.

Динчев, З. 2017. Контрол на системи за местно проветряване. *Годишник на Минно-Геоложкия университет „Св. Иван Рилски“ том 60, свитък II, Добив и преработка на минерални суровини*. София.

Динчев, З., Е. Власева, Н. Костадинова. 2018. Нови възможности за моделиране на процеси във вентилационни системи. *Шеста национална научно-техническа конференция “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”*, Девин.

Крилчев, А. 2013. *Изследвания върху управление на риска от ендогенни пожари в насипища, складове и бункери*. София, 78 стр.

Наредба № 15 от 13.05.1999 г. за условията, реда и изискванията за разработване и въвеждане на физиологични режими на труд и почивка по време на работа.

Наредба № 3 от 19.04.2001 г. за минимални изисквания за безопасност и опазване на здравето на работещите при използване на лични предпазни средства на работното място.

THERMODYNAMIC METHOD OF THE DESCRIPTION OF THE SYMBIOTIC RELATIONSHIP BETWEEN HUMANITY AND THE ENVIRONMENT

Mihai Petrov

University “Prof. Dr. Assen Zlatarov”, 8010 Burgas; E-mail:galantusgratus@abv.bg

ABSTRACT. Human beings are not only complex physiological systems but also social ones. The normal state of a human being is ensured by the complex symbiosis between the Society in general and the Biosphere as the sources of continuous development and improvement, being in a process of permanent symbiotic interaction. A human being is a complex thermodynamic system and the application of the laws of thermodynamics gives the special expression of the energy consumption per day that is of the order of 10700 (kJ). The recovery of the respective energy expenses is performed by the food consumption in the form of qualitative lipids, fats and proteins, otherwise it quantitatively leads to the development of various diseases. Most diseases come precisely from air pollution, as well as from the consumption of poor quality food, both being the negative factors that lead to deviation from the stationary state and the equilibrium of the symbiosis with the Biosphere. Anthropogenic pollutants have negative effects on atmospheric composition. Carbon dioxide is one of the largest components of all pollutants with a negative effect on the human respiratory system. Polluting aerosol particles have the same negative effects. The modern task remains to always find an optimal solution to reducing anthropogenic pollutants in the atmosphere and biosphere.

Key words: human being, energy consumption, Biosphere, carbon dioxide, anthropogenic pollutants.

ТЕРМОДИНАМИЧЕН МЕТОД ЗА ОПИСАНИЕТО НА СИМБИОТИЧНА ВЗАИМОВРЪЗКА НА ЧОВЕЧЕСТВОТО И ОКОЛНАТА СРЕДА

Михай Петров
Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, 8010 Бургас

РЕЗЮМЕ: Човекът е не само сложна физиологична система, но и сложна социална. Нормалното състояние на човека се осигурява от сложната симбиоза между Обществото като цяло и Биосферата и те са като източници на непрекъснато развитие и усъвършенстване, намиращи се в процес на постоянно симбиотично взаимодействие. Човекът е сложна термодинамична система и прилагането на законите на термодинамиката се описва количествено чрез израза на консумацията на енергия на ден, която е от порядъка 10000 (kJ). Възстановяването на съответните енергийни разходи се осъществява от консумацията на хранителни вещества под формата на качествени липиди, мазнини и протеини, иначе в противен случай води количествено до развитие на различни заболявания. Повечето заболявания идват именно от замърсяването на въздуха, както и от консумацията на некачествени храни, които са негативните фактори и водят към отклонението от стационарното състояние и равновесие за симбиозата с биосферата. Антропогенните замърсители имат отрицателен ефект върху състава на атмосферата. Въглеродният диоксид е един от компонентите с най-голям дял от всички замърсители с отрицателен ефект върху дихателната система на човека. Замърсяващите аерозолни частици имат същите отрицателни ефекти. Съвременната задача винаги остава да се намира оптималното решение за намаляване на антропогенните замърсители в атмосферата и биосферата като цяло.

Ключови думи: човек, изразходване на енергия, биосфера, въглероден диоксид, антропогенни замърсители.

Introduction

Human beings play a great role in the existence and maintenance of the ecosystem and of the biosphere as a whole. From this environment, human beings use a lot of natural resources and the most important components providing the existence of a normal physiological state of human beings. Without the biosphere, humanity cannot exist and act normally if that biosphere is depleted or destroyed. Recently, this biosphere has been subjected to a destructive action leading to the ecological catastrophe.

Human beings as a whole are the integrative component of this system and therefore there is a symbiosis with this environment. The symbiosis must be stable for a long time guarantee the future generation the normal existence of this system. This symbiosis between humanity, the sphere of material goods created by the people, and the biosphere can be represented by the diagram (Fig. 1). The diagram shows the interaction between the components of this system by the arrows. The corresponding interaction between people and the material goods is explained trivially as follows: people use them to guarantee their normal physiological, physical, and spiritual satisfaction as vital elements to ensure a long vital period for their existence. The biosphere, as a huge mass of plants, animals, and natural resources, provides, directly or indirectly, the use of these elements to ensure a normal life process. At the same time, the task of man is to ensure the existence of this component of the system. Water as a major vital component ensures the existence of the whole subsystem by maintaining a natural plant population and existence of humanity in general. Today's current situation is such that the biosphere, reaching its maximum evolutionary development in symbiosis with the human being, is exposed to risk factors as a result of human activity of the achievement of modern technologies. Waste products originating from anthropogenic activity become problematic sources of pollution of the ecosystem and the final result is that the air contains larger amounts of pollutants.

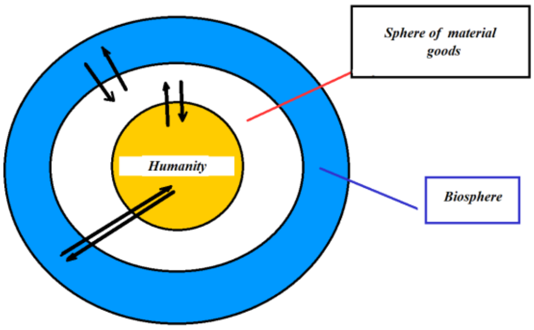


Fig. 1. Diagram reflecting the existence of the equilibrium and steady state of the complex system: Humanity-Material products-Biosphere

The substances that are the most common air pollutants are:

- Carbon dioxide;
- Carbon monoxide;
- Hydrocarbons;
- Aldehydes;
- Radioactive substances and heavy metals;
- Sulphur dioxide - Sulphur dioxide SO_2 is a colourless gas, which is a product of volcanic eruptions and various industrial processes. Sulphur dioxide is usually released during the combustion of coal and oil. Further oxygen enrichment and reactions with water lead to the production of H_2SO_4 (sulphuric acid) and acid rain;
- Nitrogen oxides.

The consequences of air pollution are as follows:

- Greenhouse effect,
- Dust particles,
- Increased ultraviolet radiation,
- Acid rain,
- Increasing ozone concentrations,
- Increase in nitric oxide levels

The origins of pollutants are:

1. Natural sources:

- Volcanic eruptions;
- Fires;
- The process of decay and respiration of humans and animals;
- Processes below the earth's surface.

2. Pollutants as a result of human activity

- Motor vehicles - cars, planes;
- Power plants, , factories, and other industrial enterprises;
- Burning of wood for heating;
- Oil stations;
- Organic waste that releases methane;
- Chemical, biological, and nuclear weapons.

Pollution from diesel engines: Emissions from motor vehicles are among the biggest factors for air pollution. Carbon monoxide is poisonous and, if inhaled in large quantities, can cause suffocation or death. Sulphur oxide and nitric oxide are also poisonous gases. In larger doses, carbon dioxide makes it difficult for animals and humans to breathe. The accumulation of this gas in the atmosphere also leads to general warming of the planet (greenhouse effect). In high-traffic settlements and other places where fuels are burned, the air contains large amounts of carbon dioxide, carbon monoxide, and other polluting gases that pose a threat to human health.

Air polluted with nitric oxide and sulphur oxide dissolves well in the small water droplets forming the clouds, which result in acid rain and affects plants, corrodes metals, and destroys rocks, buildings, cultural monuments. When such rain falls over rivers and lakes, some of the animals in them die. Pollution from human waste is the biggest problem for the ecosystem. About 150 million tones of plastic float in our oceans, and another 12 million tonnes are added each year - 500,000 tonnes from Europe alone. This is equivalent to huge amounts of plastic, enough to fill the 180 trucks that are dumped into our waters every day. Landlocked countries are not excluded: for example, about 40 tonnes of plastic make their way from Austria across the Danube to the Black Sea each year. These data are presented by Rinku Verma, K.S. Vinoda, M. Papireddy, A.N.S. Gowda (2016). We are surrounded by plastic which is a disposable package. These ineffective materials are described by Hannah Ritchie, Max Roser (2018). In the first decade of this century, more plastic was made than all plastic for the past 2,000 years. And every year, tons of plastic end up in the world's oceans. Studies estimate that there are now 15 trillion pieces of plastic in the world's oceans. The problem is growing into a crisis. Urgent action is needed to tackle the global epidemic of plastic pollution.

Bioeconophysical entropic approach for describing the equilibrium and steady state of the components of the complex system of the biosphere

The physical law of the conservation of energy is not only a pure physical law for the explanation of the phenomena from pure physical thermodynamic point of view. It has a much more universal character which is the basis for all processes and phenomena in nature and the biosphere as a whole. The latest integration scientific platforms, which include a whole arsenal of all scientific fields, try to explain deeply the processes of socio-economic phenomena in symbiosis with the humanity and the natural resources in the biosphere. This explanation is given by Tei, Chung and Săvoiu (2018).

The equilibrium processes in nature and society can be explained by thermodynamic aspects leading to the development of the new scientific platform - bioeconophysics (*ibid.*). It uses the entropic approach that serves as a parameter for qualitative and quantitative assessment of the current state of this complex system: Humanity-Material and spiritual goods-Biosphere. According to this entropic bioeconophysical concept, the following points and goals are proposed to be taken into account:

- The Earth has limited resources and energy reserves;
- Production is governed by the complex transformational efficient process of limited supply of raw materials and energy;
- The laws of conservation of principles and conservation of energy are fundamental.

The rapid development of society over the past 400 years implies a disturbance of the balance and equilibrium of the components of the biosphere. An elementary example when describing the process of photosynthesis in plants is the following: the whole mass of carbon dioxide is derived from the corresponding mass of plants in the biosphere and if the amount of carbon dioxide in the air does not change over time, then the corresponding balance and equilibrium is maintained.

Entropy is not just a pure thermodynamic quantity that explains the reversibility of the process from thermodynamic point of view. It also shows an evolutionary process or development of this complex system. From a statistical point of view, entropy also depends on the number of components in a given system. An increase in the number of components of this system leads to an increase in entropy. The purely thermodynamic description of entropy says that for a closed system, the entropy remains unchanged and in principle the processes have properties of reversibility.

If applied to the complex system Humanity-Material and spiritual goods-Biosphere, then this system is closed with respect to the open space of the great distance from the Earth (distance where the humanity has reached by spacecraft) and can be distinguished by some "mental barrier" or "membrane" that closes this system and then, according to the thermodynamic theory, the processes are in equilibrium in this complex closed system; then the respective entropy is maximum and stable with the same average value over time.

This is true when the technological and production process has reached a high level of development and there is no development in the evolutionary plan for some improvement. The other elements of this complex system "adapt" or "get used" to this level and the system as a whole is in a stationary state. The corresponding levels and quantities of the plant world are set to an average value and the other components, such as the animal world, are accordingly "adjusted" to this level. This is one of the complex philosophical aspects for the explanation of the processes in nature in general. The corresponding component of material goods increases its quantity of the components for the case of evolutionary progress in the technological aspect and the resulting entropy, which consists of the three components, can in principle increase, decrease, or be the same level. The resulting entropy may decrease due to of the large decrease of the entropy of Biosphere because of the presence of pollutants and of the destruction of the natural population of animals and plants. Each component of this complex system is characterised by the amount of structural components and natural resources. The concept of entropy of this complex system, that *de facto* means an approach for the explanation of evolution or development over time and the reversibility of processes, has the following expression:

$$\frac{dS}{dt}=\frac{dS_{h.b.}}{dt}+\frac{dS_{m.p.}}{dt}+\frac{dS_{b-ra}}{dt} \quad (1)$$

The indices are: h.b. - human being or human population; m.p. - the sphere of material goods (products); b-ra - biosphere.

When we discuss human entropy, the following can be clarified: the respective entropy is taken into account not only as a large number of populations, but also as the health status of human beings. From a biophysical point of view, a human being is an open system with respect to the other components of this complex system. For a person to appear in a normal physiological state and to exist for a long time, it is necessary to have a constant exchange in terms of intake of quality nutrients and also of material goods (housing, clothes, etc.) and spiritual development (education, art, training, spiritual performing, etc.).

These important human aspects can exist at a normal rate if the relevant components of this complex system are at least in a steady state, if not in an equilibrium state.

Excessive overproduction in the conditions of over market competition leads to an increase in the corresponding entropy of material products. There may be a situation where a part of this area will not be used effectively, and only some important structural elements can be used effectively by human beings. There are also such paradoxical moments as: "something is used once for a short time and then discarded ...", or when we talk about bottled products in the form of plastic, then this part which is a pollutant for the seas and oceans will be inefficiently used. Recently, the process of recycling of waste products has been used in order to reduce environmental pollution.

The corresponding evolutionary entropy component of material products, *de facto*, consists of two parts: the effective part and the inefficient part:

$$\frac{dS_{m.p.}}{dt}=\frac{dS_{eff}}{dt}+\frac{dS_{ineff}}{dt} \quad (2)$$

The effective part of the material goods in this area ensures the normal state of health of the person:

$$\frac{dS_{eff}}{dt}=\frac{dS_{h.b.}}{dt} \quad (3)$$

The corresponding biosphere is accumulated with inefficient waste and then the entropy component of the biosphere will again consist of two subcomponents:

$$\frac{dS'_{b-ra}}{dt}=\frac{dS_{b-ra}}{dt}-\frac{dS_{ineff}}{dt} \quad (4)$$

The minus sign of S_{ineff} means that the biosphere as a whole is depleted (destroyed) due to the presence of waste products in the environment, and then the residue part of the natural biosphere may decrease over time. If S_{ineff} for example consists of carbon dioxide, then a certain amount of this carbon dioxide can be used during the process of photosynthesis and the condition of stationary state $\frac{dS'_{b-ra}}{dt}=0$ gives the expression:

$$\frac{dS_{b-ra}}{dt}=\frac{dS_{ineff}(CO_2)}{dt} \quad (5)$$

This is the case when the amounts of carbon dioxide are within normal values for the ambient air and the corresponding amount of the population of the plants is maintained at the normal values. The case when the amount of carbon dioxide exceeds some critical value, then:

$$\frac{dS_{ineff}(CO_2)}{dt}\geq\left(\frac{dS_{b-ra}}{dt}\right)_{crit} \quad (6)$$

Then, it is the case of the cumulative accumulation of the excess carbon dioxide that, over time, leads to the greenhouse effect. Its value, respectively, leads to the gradual slowing down of the self-destruction of the biosphere (some species of plants, populations of animals, marine animals and fish, etc. disappear over time). The multi-step process of photosynthesis is usually represented by a summary equation:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{h\nu} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

The resulting entropy of the process of glucose formation during the photosynthesis is negative. This description is given by Costanzo, E. and Rubbino, A. (1979), as well as in *Entropy and Biology photosynthesis* (2021).

The decrease of the entropy during the photosynthesis is related to the complex process of the transformation from an aggregate gaseous state in the form of carbon dioxide to a solid state as the form of glucose. In fact, we know from the thermodynamic point of view that the entropy decreases with the transition into the solid state. According to expression (5), if the inefficient part decreases over time due to the fact that the respective quantity of this part decreases, then: $\frac{dS_{ineff}(CO_2)}{dt} < 0$ and then the evolution of the entropy of the component of biosphere is negative $\frac{dS_{b-ra}}{dt} < 0$, showing the thermodynamical aspect of the transformation from gas into a solid state as the form of glucose. For the cases when there is an accumulation of plastic waste in the environment, it decomposes slowly. There is no natural mechanism for bioconversion of plastic waste to any final product that will be useful (efficient) for the biosphere. Rather, it will always remain an inefficient product with a destructive effect on the biosphere. Therefore, the initial task at the legislative level is to develop regulations in order to prevent the presence of plastic waste in the environment or, rather, to stop the production of these plastic materials in the near future.

Energy based on chemical fuels is the biggest pollutant of the atmosphere. As a result, in addition to carbon dioxide and sulphur dioxide, the type of the acid rain is formed. Acid rain is the precipitation that is abnormally acidic due to the elevated levels of acidity (pH<7). It often has a detrimental effect on the plants, marine life, and infrastructure. Acid rain originates from the emissions of sulphur dioxide and nitric oxide~~,~~ which react with the water molecules in the atmosphere and form acids. This is described by Carter N. Lane (2003).

All chemical fuels contain a higher percentage of sulphur. Hydrogen sulphide that is obtained from the decomposition of organic matter reaches 100 million tons. Sulphur is also found in oil. Sulphur in the atmosphere exists in the form of compounds - hydrogen sulphide, sulphur dioxide, sulphur trioxide. These gases dissolved in water droplets are found in clouds and fog and form sulphuric acid. This is how acid rain is produced. Nitrogen oxides (formed under the influence of high temperature in internal combustion engines) are an integral part of car flue gases and automotive gases. In the same way, when they react with water vapour in the clouds, they form nitric acid, which in turn is another component of acidic rain.

The destructive effect of sulphur dioxide has the result of the dead forest, especially in areas where thermal power plants or heavy machinery companies operate. Sulphur dioxide also acts directly on plants, passing through the leaves and dissolves in the vital juices, oxidising them to form sulphuric acid which is harmful to living matter. Initially, sulphur dioxide damages the cells.

Another type of pollutant is the material particles. Fine dust particles are part of atmospheric dust. The current definition comes from the National Air Quality Standard for Particulate Matter (PM) introduced in 1987 by the US Environmental Protection Agency (PM-Standard). This is described by James H. Vincent. The original definition of fine particulate matter was based on the 1959 Johannesburg Convention and assumed a particle diameter limit of 5 µm. These aspects are described in "Air quality criteria for particulate matter".

Fine dust particles affect human health and are responsible for increasing cases of allergies, asthma attacks, respiratory disorders, lung cancer, and an increased risk of otitis media in children that are described by Lee YG, Lee PH, Choi SM, An MH, Jang AS.(2021).

Substituting expression (3) into (2) and (2) into (1), respectively, we obtain:

$$\frac{dS}{dt} = 2.\frac{dS_{h.b.}}{dt} + \frac{dS_{ineff}}{dt} + \frac{dS_{b-ra}}{dt} \quad (7)$$

Expression (4) gives:

$$\frac{dS_{b-ra}}{dt} = \frac{dS'_{b-ra}}{dt} + \frac{dS_{ineff}}{dt} \quad (8)$$

The substitution of (8) into (7) gives:

$$\frac{dS}{dt} = 2.\frac{dS_{h.b}}{dt} + 2.\frac{dS_{ineff}}{dt} + \frac{dS'_{b-ra}}{dt} \quad (9)$$

The condition of the whole system being stationary is valid when the entropy of this whole complex system is constant over time:

$$\frac{dS}{dt} = 0 \quad (10)$$

Then:

$$\begin{aligned} &2.\frac{dS_{h.b}}{dt} + 2.\frac{dS_{ineff}}{dt} + \frac{dS'_{b-ra}}{dt} = 0 \\ &2.\frac{dS_{h.b}}{dt} = -2.\frac{dS_{ineff}}{dt} - \frac{dS'_{b-ra}}{dt}; \\ &\frac{dS_{h.b.}}{dt} = -\frac{dS_{ineff}}{dt} - \frac{1}{2}.\frac{dS'_{b-ra}}{dt} \end{aligned} \quad (11)$$

The entropy human being can be considered to be almost unchanged (slightly changed) for a wide interval of time, of the order of ten years, and is shown by Carlos Silva and Kalyan Annamalai (2008), (2009) (Fig. 2).

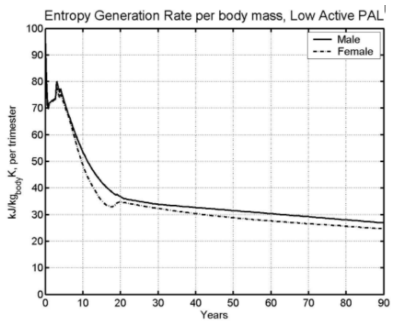


Fig. 2 The rate of generation of entropy of human being (by Carlos Silva, Kalyan Annamalai)

Then $\frac{dS_{h.b.}}{dt} = 0$ and the respective expression is:

$$-\frac{dS_{ineff}}{dt} - \frac{1}{2}.\frac{dS^{/}_{b-ra}}{dt} = 0; \; -\frac{dS_{ineff}}{dt} = \frac{1}{2}.\frac{dS^{/}_{b-ra}}{dt} \tag{12}$$

$$\frac{dS^{/}_{b-ra}}{dt} = -2.\frac{dS_{ineff}}{dt} \tag{13}$$

Expression (13) points to a very important moment: when the inefficient part decreases with time as a quantity (S_{ineff}<0), then ($S^{/}_{b-ra}$ >0), i.e. there is at least a double increase for the biosphere component in the parameters that describe the state of the biosphere. This is described in the World disaster report as: "The United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) announced early 2001 that the Earth's atmosphere would warm twice as fast as ten years ago."

Another example that shows twice the amount of the structural element of the biosphere is described by David Wallace-Wells, (2017) as: "The permafrost in the Arctic contains 1.8 trillion tons of carbon, at least twice as much as is currently in the atmosphere."

The condition of stationarity of the whole system (10) with the direct application of expression (1) gives the following:

$$\frac{dS_{h.b.}}{dt} + \frac{dS_{m.p.}}{dt} + \frac{dS_{b-ra}}{dt} = 0 \tag{14}$$

The maintaining of the life of the human being $\frac{dS_{h.b.}}{dt}$ is based on these two components: material products $\frac{dS_{m.p.}}{dt}$ and the biosphere

$$\frac{dS_{b-ra}}{dt} : \frac{dS_{h.b.}}{dt} = -\frac{dS_{m.p.}}{dt} - \frac{dS_{b-ra}}{dt} \tag{15}$$

Throughout one’s life, one consumes the important elements of the biosphere (oxygen, water, natural resources, etc.), as well as in the sense of accumulating of material goods to maintain one’s normal physiological and spiritual state. Cumulative entropy reaches the plateau for the rest of one’s life. In childhood and youth, the condition is characterised by an increase in the value of cumulative entropy (Fig. 3).

Quantitatively, the following result is observed from expression (15).

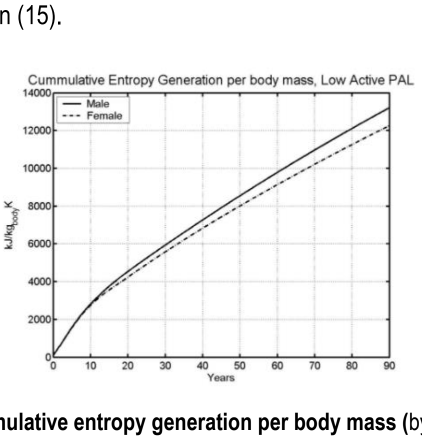


Fig. 3 Cumulative entropy generation per body mass (by Carlos Silva, Kalyan Annamalai**)**

If there is a depletion of the biosphere for an elementary time interval, then dS_{b-ra}<0 and the material products related to that can decrease $dS_{m.p.}$<0, then $dS_{h.b.}$>0 and relating to this we get that human entropy increases.

The increase in human entropy also occurs for the cases when the person is ill or manifests a pathological condition for a long period of time (development of chronic diseases) due to the fact that the biosphere contains more and more poor quality elements.

With the increase of the age of a human being, the sphere of material goods becomes more and more insignificant and it loses its important role, and the achievement of the plateau in Fig. 3 is reached. The mediators or enzymes for motivation, stimuli for life and human activity throughout life, are serotonin, dopamine, norandrenaline which are described by Dfarhud, Malmir and Khanahmadi (2014).The reduction of these mediators leads to a lack of motivation and human activity and the result is the increasing of entropy.

Quantitative expressions in the field of material goods have been described in detail in scientific works with the application of the concept of bioeconophysics by M. Petrov (2019), (2020), (2021). This is based on the physiological state of a human being of the receptor interaction of the relevant organs with the intake of substances with different molar masses in the form of nutrients and drugs by the application of the laws of thermodynamics with a complex econophysical approach. The energy necessary for a human being that is expressed in J/moles depends on the molar mass *M* of the substance (food, medicals, water, air, etc.), the quantity in moles of the receptors $\nu_{rec} \approx m_{body}/M_{body}$, pre-exponential factor *A* in hours minus one (h^{-1}), dose interval *τ* for the receiving of substances in hours, dose mass or food m_f in grams.

$$P_{mole} = \frac{2.M \cdot R \cdot T \cdot m_{body}}{m_f.M_{body}.\ln 2}.\ln\left(\frac{A.\tau}{4.\ln 2}\right); \text{ [J/mole]} \tag{16}$$

Numerical values of the respective kinetic parameters: A = 0.53 h^{-1}; τ ≈ 6 h; m_f = 500 g (m_f - average mass of nutrients and other components).The average molar (effective) mass of the human body is about 20 (g/mol) that is described by Helmenstine and Anne Marie (2020). The number of moles of nutrients per intake is $\nu = m_f/M$ and the corresponding total value of *P* is:

$$P = P_{mole} \cdot \nu = \frac{2.R.T.m_{body}}{M_{body}.\ln 2}.\ln\left(\frac{A.\tau}{4.\ln 2}\right) \tag{17}$$

Interestingly, the substitution of the numerical values for the corresponding parameters into (17) are: m_{body} = 70 kg = 70000 g, A = 0.53 h^{-1}; τ = 6 h, M_{body} = (20 g/mol) we get P = 10700233 (J) = 10700.233 (kJ). The values for the energy expenses for the human body for a single day are of the order of 10000 kJ. Reimbursement of the corresponding energy expenses is performed by the intake of food in the form of lipids, fats, and proteins, provided that ineffective harmful components in food are missing; otherwise this quantitatively leads to increased human entropy and, in turn, to the development of various diseases. Exposure to dangerous chemicals is also a problem, which is mentioned by Almada, Golden, Osofsky and Myers (2017).

Humans can be exposed to a wide range of dangerous chemicals. The volume of chemicals used today and the continued growth of chemical production show that their impact on humans and the environment will continue to grow. This raises concerns about the health consequences of exposure to chemical mixtures throughout our lives, especially during vulnerable stages of life, such as early childhood, pregnancy, old age, with the development of allergic states.

It is very important to mention that the described expressions are the ideal cases when the human physiological system works only with the consumption of effective substances that ensure a standard and normal physiological state.

Conclusions

The state of ecosystems in symbiosis with a human being is in an evolutionary state with the change of the entropy of both the biosphere and the human being. The number of new diseases increases with time. New epidemics with unknown aetiologies appear and all these new epidemics are based on the current state of the ecosystem which is polluted with more and more increasing quantity of ineffective elements.

Human health is influenced by a number of very complex factors. The elements of the biosphere and the components of material products exert influence on human health. In fact, a perfectly healthy person can be characterised by minimum possible entropy. This minimum value is obtained when the human being consumes more increasing effective elements like qualitative foods and water and employs a varied planning of activities: trips, rest in the fresh air in tourist complexes, sports, hobbies, etc. All of the above-mentioned additional effective elements give higher values of entropy (increasing variety of useful activities) and, respectively, the human being will have more or less entropy.

References

Almada, A. A., C. D. Golden, S. A. Osofsky, S. S. Myers. 2017. A case for Planetary Health/GeoHealth, GeoHealth, 1, doi:10.1002/2017GH000084.

Air quality criteria for particulate matter, v. 1,2,3, Document of united states Environmental Protection Agency. EPA/600/p-95/001 bF. https://ofmpub.epa.gov › eims › eimscomm.getfile.

Carlos Silva, Kalyan Annamalai. 2008. Entropy Generation and Human Aging: Lifespan Entropy and Effect of Physical Activity Level, Entropy, 100-123; https://doi.org/10.3390/entropy-e10020100

Carlos A. Silva, Kalyan Annamalai. 2009. Entropy Generation and Human Aging: Lifespan Entropy and Effect of Diet Composition and Caloric Restriction Diets. – *Journal of Thermodynamics, vol. 2009*, 10 pages. https://doi.org/10.1155/ 2009/ 186723

Carter N. Lane. *Acid Rain: 2003. Overview and Abstracts*. Nova Science Publishers, ISBN 1-59033-461-2.

Costanzo, E., A. Rubbino. 1979. Entropy changes in the energy bioconversion. Nuov Cim B 53, 45–58. https://doi.org/10.1007/BF02739301.

David Wallace-Wells. 2017. The Uninhabitable Earth, Famine, economic collapse, a sun that cooks us: What climate change could wreak - sooner than you think”, https://nymag.com/intelligencer/2017/07/climate-change-earth-too-hot-for-humans.html.

Dfarhud D, Malmir M, Khanahmadi M. 2014. Happiness & Health: The Biological Factors- Systematic Review Article. Iran J Public Health. 43(11):1468-77. PMID: 26060713; PMCID: PMC4449495.

Entropy and Biology Photosynthesis, Last Updated 09.03.2021, https://www.ecologycenter.us/population-dynamics-2/entropy-and-biology-photosynthesis.html.

Hannah Ritchie, Max Roser. 2018. Plastic Pollution. *Published online at OurWorldInData.org.*

Helmenstine, Anne Marie, 2020. Elemental Composition of the Human Body by Mass. ThoughtCo, thoughtco.com/ elemental-composition-human-body-by-mass-608192.

James H. Vincent. *Aerosol Sampling – Science, Standards, Instrumentation and Applications*. John Wiley & Sons, Chichester, ISBN 978-0-470-02725-7, pp 321.

Lee YG, Lee PH, Choi SM, An MH, Jang AS. 2021. Effects of Air Pollutants on Airway Diseases. Int J Environ Res Public Health. doi: 10.3390/ijerph18189905. PMID: 34574829; PMCID: PMC8465980.

Petrov, M. 2019. The basis of pharmaceutical bioeconophysics of drug's administration. – *7-th Congress of Pharmacy with International Participation*. https://eprints.ugd.edu.mk/23105/4/congress2019Program_ENG.pdf

Petrov, M. 2020. The branch of econo-biophysics as a prerequisite of the development of the conception of electronic currency. – *International Conference on complex systems*. https://zenodo.org/ record/4419178#.x_vxgvkzbiu

Petrov, M. 2021. Aspekti na bioikonofizichna farmakologiya v lechenieto na zaharen diabet. – *Upravlenie i Obrazovanie . 2021, Vol. 17 Issue 6*, 198-205. https://web.s.ebscohost.com/ abstract?direct=true

Rinku Verma, K. S. Vinoda, M. Papireddy, A. N. S. Gowda. 2016. Toxic Pollutants from Plastic Waste. – *A Review, Procedia Environmental Sciences, Volume 35,* 701-708, https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069.

Tei, Y., U. Chung, G. Săvoiu. 2018. From Bioeconomics to Bioeconopysis in the Context of (Bio)Diversity and Modern Morality. – *Amfiteatru Economic, 20(49),* pp. 754-770. DOI: 10.24818/EA/2018/49/754

Ulanowicz, R. E., B. M. Hannon, 1987. Life and the Production of Entropy. – *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *232*(1267), 181–192. http://www.jstor.org/stable/36217

www.ifrc.org/Global/Publications/disasters/WDR/21400_WDR2001.pdf, World disasters report 2001.

INCREASING METHANE YIELD DURING ANAEROBIC DIGESTION BY AN OUTSIDE INTEGRATED MICROBIAL ELECTROLYSIS CELL

Mariya Popova, Polina Velichkova, Anatoliy Angelov

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

ABSTRACT. An integrated anaerobic reactor-microbial electrolysis cell system has been created, which has been moved out of the reactor volume. This has several advantages over the one integrated inside the anaerobic reactor: it does not disturb the working volume and is easier to operate and control. The kinetics of biogas production was monitored by comparing the data obtained from the hybrid system and the stand-alone anaerobic reactor. The results show an increased methane yield (from 75 to 88 %), better biodegradability of organic matter (from 66 to 89 %), and purification of ethanol stillage from sulphates in the integrated system (from 860 mg/l to <1 mg/l). In addition, the process of generating biogas in the hybrid system is more stable.

Key words: biomethane, microbial electrolysis cell, anaerobic digestion, ethanol stillage.

ПОВИШАВАНЕ ДОБИВА НА МЕТАН ПО ВРЕМЕ НА АНАЕРОБНО РАЗГРАЖДАНЕ ЧРЕЗ ИНТЕГРИРАНА ВЪНШНА МИКРОБНА ЕЛЕКТРОЛИЗНА КЛЕТКА

Мария Попова, Полина Величкова, Анатолий Ангелов

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

РЕЗЮМЕ. Създадена е интегрирана система анаеробен реактор-микробна електролизна клетка, която е изнесена извън обема на реактора. Предимствата пред интегрирана в обема на анаеробния реактор са няколко – не се нарушава работният обем, процесът е по-лесен за работа и управление. Кинетиката на производството на биогаз беше наблюдавана чрез сравняване на данните, получени от хибридната система и самостоятелния анаеробен реактор. Резултатите показват повишен добив на метан (от 75 до 88 %), по-добра биоразградимост на органичната материя (от 66 до 89%) и пречистване на спиртната шлемпа от сулфати (от 860 mg/l до <1 mg/l) в интегрираната система. Освен това процесът на генериране на биогаз в хибридната система е по-стабилен.

Ключови думи: биометан, микробна електролизна клетка, анаеробно разграждане, спиртна шлемпа.

Introduction

The treatment of wastewater from various industries is an important step in protecting the environment. The ethanol stillage is a liquid waste obtained after ethanol distillation from alcoholic fermentation of starch-containing raw materials. It is a potential environmental pollutant because of its high acidity (low pH), organic load (COD), and sulphates, which disrupt soil structure and water quality. Due to the high content of reducing sugars and volatile fatty acids, it can be subjected to additional fermentation to generate bioethanol, but anaerobic digestion (in particular methanogenesis) would be most suitable for waste disposal because it also generates energy in the form of biogas (Choonut et al., 2015; Fuess and Garcia, 2015). The resulting biogas is a renewable energy source. After further purification of its methane from CO_2, H_2S, and other gases, it can be used for electricity and heat, as well as for automotive fuel.

In recent years, work has been done to optimise the process in order to reduce the cost of biogas treatment and increase methane production in it. One of the promising technologies is the integration of bioelectrochemical systems (BES) into the anaerobic reactor (Xie et al., 2021). They eliminate the disadvantages of conventional anaerobic digestion (AD), such as sensitivity to changes in environmental conditions, accumulation of volatile fatty acids, and others. CH_4 yield and biodegradability in AD remain low and in most processes only 50% to 60% of organic materials are converted to biogas, while the rest is converted to CO_2 and other intermediates.

In a microbial electrolysis cell (MEC), the organic substrate is oxidised by electrochemically active bacteria, which leads to the production of protons and electrons at the anode. Electrons are transferred to the anode surface by exoelectrogenic bacteria and protons are released into the solution. Thus, the electrons pass through the outer circuit to the cathode (Arvin et al., 2019). Previous studies have reported that applied voltages can increase COD removal, accelerate the conversion of volatile fatty acids, increase methane content, increase methane production, and maintain optimal pH levels for methanogenic growth (Guo et al., 2013). A hybrid AD-MEC system has high efficiency, low cost and is easier to operate. The MEC as a biosensor can be employed to monitor a biogas fermentation process by measuring a volatile fatty acids concentration (Yu et al., 2018).

Literature abounds in articles on integrated microbial fuel and electrolysis cells in the volume of an anaerobic reactor (Adekunle et al., 2019; Arvin et al., 2019; Bajracharya et al., 2017; Cerrillo et al., 2018; Cheng and Kaksonen, 2017; Logan and Rabaey, 2012; Pham et al., 2006), but there is no information on exported MECs outside the reactor volume.

This report presents an integrated microbial electrolysis cell outside the volume of an anaerobic digester and compares the biogas production kinetics between the AD-MEC hybrid plant and an unmodified stand-alone reactor.

Materials and methods

An integrated AD-MEC system outside the reactor volume

The scheme and photograph of a laboratory installation is shown in fig.1. The anaerobic reactor is made of stainless steel with a working volume 5 dm^3. Graphite plates measuring 100 × 100 × 6 mm were used for the electrodes. Recirculation pumps moved the flow. Biogas was collected in gas bags which were attached on the top of the anaerobic reactor. The cathode and anode electrodes were connected to the power supply, with an external resistance of 10 Ω.

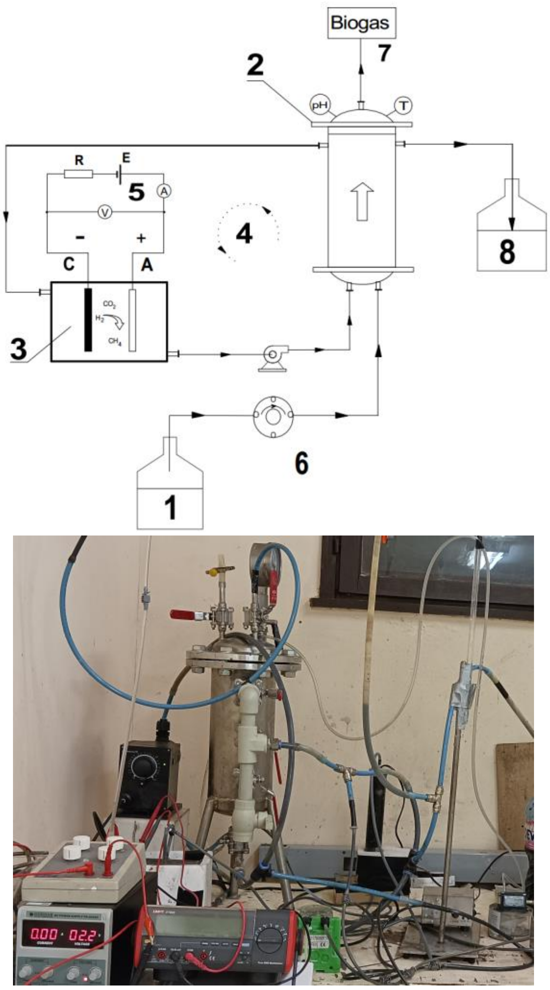


Fig. 1. The technological scheme and photograph of an integrated AD-MEC system.
Legend: 1- substrate input, 2-anaerobic reactor bioreactor (UASB), 3-microbial electrolysis cell (MEC), 4-recirculation flow, 5-load chain of the MEC, 6- substrate inlet pump, 7-biogas, 8- reactor outlet.

It was proved that the supplied voltage had positive effects on COD removal. Microorganisms can be inhibited when exposed to high electrical potential (> 1.0 V). Results indicated that the higher voltage (> 0.8 V) led to lower growth rate, lower metabolic activity, decrease of COD removal efficiency and methane yield. In conclusion, the optimal applied voltage for wastewater treatment was 0.8 V. Information provided will be useful to design a reactor and maintain industry practice (Ding et al., 2016). Ding et al. found that COD removal efficiency increased at 0.8 and 1.0, but it was more economical to apply 0.8 V due to costs. Therefore, we apply 0.8 V to the AD-MEC system.

Wastewater and activated sludge

Wastewater (ethanol stillage) was obtained from an ethanol plant in the village of Svetovrachene, Bulgaria. After obtaining the ethanol stillage, it was stored in a cool place at 4°C. Before using it, the wastewater was neutralised to pH 7.5 with NaOH.

The activated sludge was taken from a working methane tank in “Almagest”, the village of Verinsko, Bulgaria.

Analytical methods

Chemical oxygen demand (COD) was measured with a Hanna instruments kit. The contents of CO_2, CH_4, H_2S, and H_2 in the generated biogas were measured using a portable "Draeger X-am 7000" gas analyser. The biogas production was measured by Milli-gascounter MGC-1, Ritter. The sulphate concentration was determined employing the spectrophotometric method at λ 420 nm with the use of $BaCl_2$ as a reagent. The pH was measured using a pH meter (Hanna instruments) and was maintained around 7 with a solution of NaOH.

Results and discussion

Fig. 2 shows a comparative graph between the kinetics of biogas production from an ethanol stillage in an anaerobic reactor with and without MEC. The inoculum represents 10% of the volume of the wastewater in the reactor. The process of biogas generation was monitored for 15 days in a continuous mode of wastewater supply. The composition of the biogas was measured daily and chemical analysis was periodically performed - determination of COD and sulphates at the inlet and outlet of the installation, dissolved hydrogen sulphide in the liquid phase leaving the reactor.

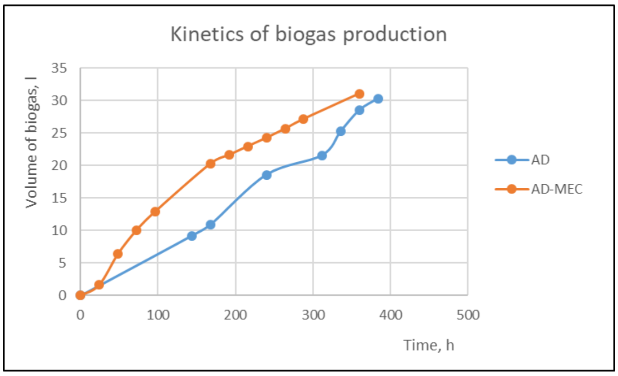


Fig. 2. Comparison between the kinetics of biogas production in an anaerobic reactor with and without MEC

As can be seen from the graph (fig. 2), in the combined AD-MEC system on the 7th day (168th hour), the biogas produced is almost twice as much as in the anaerobic reactor without MEC - 20 and 11 litres respectively. Then, the kinetics begins to slow down and equalise with that in a system without MEC, reaching a point of intersection after the 15th day (360th hour) - around 30 l. It is also noted that the process of generating biogas from the hybrid system is more stable than in a process without a MEC.

In fig. 3, the gas composition of the produced biogas in both modes is shown. The methane production has increased from 75 to 88 % with the integration of a MEC into the reactor. The methane generated in the course of 15 days is 21.392 l in a system without a MEC and 27.320 l in an AD-MEC system. The CO_2 content decreases from 4,848 l to 3,105 l after external voltage application, and along with hydrogen, they are converted into methane. Hydrogen sulphide disappears in the AD-MEC system, unlike the presence of 0.048 l in AD without a MEC. Also, hydrogen is measured as 1.140 litres in a system without a MEC, while when an external voltage is applied, it disappears. So, with the AD-MEC system, CO_2 and H_2 have been converted to methane.

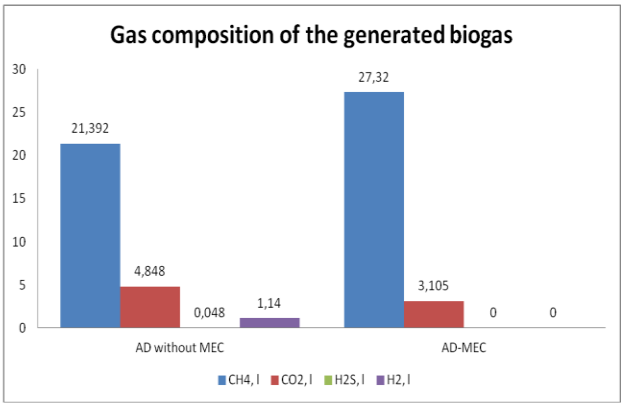


Fig. 3. Gas composition of the biogas generated from AD-MEC and AD-only systems

In table. 1, data on COD and sulphates at the entrance and exit of the installations are given. The data show that the biodegradability of organic matter (from 66 to 89 %) and the purification of ethanol stillage from sulphates (from 860 to <1 mg/l) in the integrated system has increased. H_2S in liquid phase is <1 mg/l at the outlet of the integrated system vs. 300 mg/l in an AD-only system. This means that, in addition to increasing the methane content in biogas, the ethanol stillage has been successfully purified from hydrogen sulphide. H_2S is a very dangerous, toxic and explosive gas. High concentrations of it are toxic to plants and inhibit their growth.

Table 1. *Characteristics of reactor inlet and outlet in two modes: with and without a MEC*

Parameters / System	COD input, g/l	COD output, g/l	SO_4^{2-} input, mg/l	SO_4^{2-} output, mg/l
AD without MEC	99.44	34.08	847.45	450
AD-MEC	87.36	9.76	859.76	<1

The obtained results correspond to those obtained by Ding et al. (2016) at an internal MEC. COD removal efficiency and methane yield are better in a combined AD-MEC system than in a non-MEC system (*ibid*).

Conclusion

It can be concluded from the obtained data that the integration of a MEC outside the volume of an anaerobic reactor increases the methane yield in the generated biogas, purifies the ethanol stillage from sulphates, and reduces organic pollution by up to 89%. This system can be used mainly for the first 168 hours in a periodic biogas generation process and then the process can continue without external voltage. The obtained results overlap with those for an internal MEC, which means that the way of connecting a MEC to AD does not affect the stability of the process and operating parameters. A system with an external MEC has several advantages over an internal one, related to improving the work and controlling the process. Besides, it does not reduce the working volume of the reactor.

Acknowledgements. The Bulgarian National Science Fund, Grant № KP-06-M47/3 from 26.11.2020, supports this research.

References

Adekunle, A., V. Raghavan, B. Tartakovsky. 2019. A comparison of microbial fuel cell and microbial electrolysis cell biosensors for real-time environmental monitoring. - *Bioelectrochemistry, 126,* 105-112.

Arvin, A., M. Hosseini, M. Amin, G. Darzi, Y. Ghasemi. 2019. A comparative study of the anaerobic baffled reactor and an integrated anaerobic baffled reactor and microbial electrolysis cell for treatment of petrochemical wastewater. - *Biochem. Eng. J., 144,* 157-165.

Bajracharya, S., K. Vanbroekhoven, C. Buisman, D. Strik, D. Pant. 2017. Bioelectrochemical conversion of CO2 to chemicals: CO2 as a next-generation feedstock for electricity-driven bioproduction in batch and continuous modes. - *Faraday Discuss., 202,* 433-449, https://doi.org/10.1039/c7fd00050b.

Cerrillo, M., M. Vinas, A. Bonmatı. 2018. Anaerobic digestion and electromethanogenic microbial electrolysis cell integrated system: increased stability and recovery of ammonia and methane. - *Renewable Energy*, *120,* 178-189.

Cheng, K., A. Kaksonen. 2017. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Elsevier, pp. 191-221.

Choonut, A., T. Yunu, N. Pichid, K. Sangkharak. 2015. Ethanol Production from Reused Liquid Stillage. - *Energy Procedia*, *79,* 808-814, https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.570.

Ding A., Y. Yang, G. Sun, D. Wu. 2016. Impact of applied voltage on methane generation and microbial activities in an anaerobic microbial electrolysis cell (MEC). - *Chemical Engineering Journal*, *283,* 260–265.

Fuess, L., M. Garcia. 2015. Bioenergy from stillage anaerobic digestion to enhance the energy balance ratio of ethanol production. - *Journal of Environmental Management*, *162,* 102-114, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.046.

Guo X., J. Liu, B. Xiao. 2013. Bioelectrochemical enhancement of hydrogen and methane production from the anaerobic digestion of sewage sludge in single-chamber membrane-free microbial electrolysis cells. - *Int. J. Hydrogen Energy*, *38,* 1342–1347.

Logan, B., K. Rabaey. 2012. Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. - *Science*, 337, 686-690, https://doi.org/10.1126/science.1217412.

Pham, T.H., K. Rabaey, P. Aelterman, P. Clauwaert, L. De Schamphelaire, N. Boon, W. Verstraete. 2006. Microbial fuel cells in relation to conventional anaerobic digestion technology. - *Eng. Life Sci*., *6* (3), 285-292.

Xie, J., Y. Chang, J. Xie, M. Adams, D. Zhao, C. Chen, Ji Ma, G. Zhu, T. C. Zhang. 2021. Insights into the mechanism, performance and electrode modification of BES-AD combined systems for refractory wastewater treatment: A review, - *Journal of Water Process Engineering*, *40*, 101895, https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101895.

Yu Z., X. Leng, S. Zhao, J. Ji, T. Zhou, A. Khana, A. Kakde, P. Liu, X. Li. 2018. A review on the applications of microbial electrolysis cells in anaerobic digestion. - *Bioresource Technology*, *255,* 340–348.

STRESSES AROUND A CIRCULAR OPENING EXCAVATED IN LAYERED AND SLIDING ROCK MASS

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 focuses on the issue of determining the stresses in a steeply layered rock mass around a circular opening. The rock mass consists of homogeneous isotropic layers. The boundary between them is steeply inclined to the horizon. The influence of stresses due to the drawing of the opening extends to a square area. The specified class of problems is solved by the method of complex variable functions and the mechanics of layered media. This problem has been solved in previous works of the authors’.

In this paper, it is proposed to take into account the behaviour of the rocks around the hole over time. Here, the hereditary theory of elasticity, or more precisely the method of variable modules, is used. The rock mass consists of two layers. The expressions for the mechanical constants and the expressions for the stresses in each layer after a certain time are obtained.

The results are applied to a real rock mass. Mechanical constants are calculated at two points in time. Two diagrams of the normal tangential stresses for points from the contour of the hole are given. The first diagram shows the stresses at the initial point of time. The stresses after a certain time are shown in the second diagram.

Key words: method of complex variable functions, mechanics of layered media, method of variable modules.

НАПРЕЖЕНИЯ ОКОЛО КРЪГОВА ИЗРАБОТКА, ПРОКАРАНА В НАПЛАСТЕН И ПЪЛЗЯЩ МАСИВ

Виолета Трифонова-Генова, Гергана Тонкова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София,

РЕЗЮМЕ: В статията се разглежда въпросът за определяне на напреженията в стръмно напластен масив около кръгова изработка. Масивът се състои от хомогенни изотропни пласта. Границата между тях е стръмно наклонена спрямо хоризонта. Влиянието на напреженията, дължащи се на прокарването на изработката се простира в квадратна област. Указаният клас задачи се решава с методите на функции на комплексна променлива и на механика на среди с пластове. Тази задача е решена в предишни работи на авторите.

В тази работа се предлага да се отчете поведението на скалите около отвора във времето. Тук се използва наследствената теория на еластичността или по-точно метода на променливите модули. Масивът се състои от два пласта. Получени са изразите за механичните константи и изразите за напреженията във всеки пласт след определено време.

Резултатите са приложени за реален масив. Изчислени са механичните константи в два момента от време. Дадени са две диаграми на нормалното тангенциално напрежение за точки от контура на изработката. На първата диаграма са представени напреженията в начален момент от време. Напреженията след определено време са изобразени на втората диаграма.

Ключови думи: теория на функции на комплексна променлива, механика на напластените среди, метод на променливи модули.

Introduction

Analytical methods exist for determining the stresses around a circular mine opening. In most studies, researchers consider the rocks to be isotropic. The solution of the problem is complicated when taking into account the presence of different layers and their deformation over time. There are developments for an array that consists of parallel and homogeneous layers. Their thickness is commensurate with the opening of the working. The theory of layered media is applied to this class of problem (Trifonova-Genova, 2012). This theory has been extended to the thicker layers (Trifonova-Genova, 2018). This change in stresses over time is investigated by the linear theory of hereditary elasticity (Amisin et al., 1974). Part of this theory is the method of variable modules. It is applied to study the stresses around an opening passing through thin and parallel layers (Trifonova-Genova, 2012).

The aim of the present work is to extend this solution to an array consisting of thicker layers. The latter are isotropic and homogeneous. The opening is circular.

Methods

1. Formulation of the problem

An environment consisting of two isotropic steep layers is considered. The boundary between them is inclined at an angle α to the horizon (fig.1). The influence of stresses extends to a square area. The coordinate system is polar (r, θ). The considered area is loaded with vertical (Q_1, Q_2) and

($\lambda_1 Q_1$, $\lambda_2 Q_2$) horizontal stresses. Their analytical expressions are given in (Trifonova-Genova, 2017). The opening is in a circular form with radius r_o.

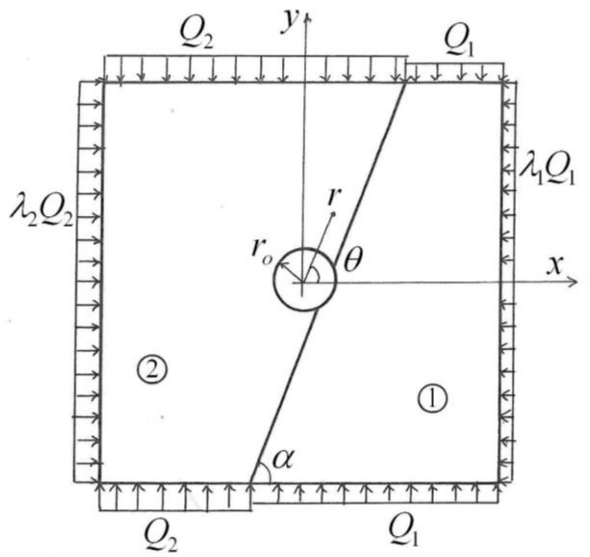


Fig.1 Computational scheme

2. Stresses in randomly located layers

According to the theory of layered environments, researchers replace the layered medium with an equivalent medium. For that, the stress state is obtained after the analytical method of Kolosov and Muskhelishvili (Muskhelishvili, 1966). This method of complex variable functions are further developed by Savin and Lekhnitski (Savin, 1961; Lekhnitski, 1963). The stresses in polar coordinates, volumetric weight, physical and mechanical characteristics of the medium are given in (Trifonova-Genova, 2018). The stresses in an equivalent medium participate in stresses in each layer.

3. Behavior of rock mass over time

The calculation of stresses and strains over time is of practical interest. The theory of hereditary creep is applied. It studies the mechanical constants of the medium and replaces them with temporary integral operators with a creep core. The difficulty in solving problems with this theory lies in the decipherment of operator expressions. These difficulties are circumvented when using the methods of variables modulus developed by Amusin and Linkov (Amusin et al., 1974). In this method, the integral operators of the Young's modulus and Poisson's ration are replaced by their own time functions (Trifonova-Genova, 2012; Dimitrov, 2009). For an isotropic medium, these functions have the form:

$$E_t^{(k)} = E^{(k)}\left(1+\Phi^{(k)}\right)^{-1}; \qquad k = 1,2;$$

$$\mu_t^{(k)} = 0,5 - \frac{0,5-\mu^{(k)}}{1+\Phi^{(k)}}; \quad \Phi^{(k)} = \frac{\delta_k t^{1-\alpha_k}}{1-\alpha_k}, \qquad (1)$$

where

t is the moment of time, [s];

δ_k and α_k are creep parameters;

k is number of layer;

$E^{(k)}$ is Young's modulus, [MPa];

$\mu^{(k)}$ is Poison's ration;

$\Phi^{(k)}$ is the creep function.

These functions are used to determine the coefficients of deformations of Hooke's generalised law. They also express the stresses in a generalised homogeneous medium and those in the individual layer.

4. Stresses in layers, functions of time

Stresses along the contour of the opening are of practical interest (Trifonova-Genova, 2018):

$$\sigma_{r,t}^{(k)} = 0;$$

$$\tau_{r\theta,t}^{(k)} = 0; \qquad (2)$$

$$\sigma_{\theta,t}^{(k)} = \left\{\left[B_{1,t}^{(k)}c^2 + B_{2,t}^{(k)}s^2\right]s^2 + c^4 + 0,5s_2^2\right\}\sigma_{\theta,t}^{(o)},$$

where

$$c = \cos\beta; \qquad s = \sin\beta; \qquad s_2 = \sin(2\beta);$$

$$\beta = \theta - \alpha; \qquad A_{*,t} = \left[A_1E_t^{(1)} + A_2E_t^{(2)}\right]^{-1};$$

$$A_{**,t} = \mu_t^{(1)}E_t^{(2)} - \mu_t^{(2)}E_t^{(1)}; \qquad k = 1,2;$$

$$B_{1,t}^{(k)} = -A_k.A_{**,t}.A_{*,t}; \qquad B_{2,t}^{(k)} = -A.A_{*,t}.E_t^{(k)}.$$

Here:

A is the total area of the square, [m2];

A_1 and A_2 are the areas of two layers.

The stresses in the homogeneous medium, due to the creep of rock mass, are:

$$\sigma_{\theta,t}^{(o)} = -2\gamma^{(o)}H\left(\lambda_{1,t} - 2\lambda_{2,t}\cos 2\theta\right), \qquad (3)$$

where

$$\lambda_{1,t} = 0,5\left(1+\lambda_t^{(o)}\right);$$

$$\lambda_{2,t} = 0,5\left(1-\lambda_t^{(o)}\right);$$

$$\lambda_t^{(o)} = \frac{\mu_t^{(o)}}{1-\mu_t^{(o)}};$$

$\gamma^{(o)}$ is volumetric weight of generalised medium, [MN/m3];

$\mu_t^{(o)}$ is Poison's ration of generalised medium;

H is the depth of circular opening, [m2].

For this medium the functions of Young's modulus and Poison's rations are:

$$E_t^{(o)} = \frac{\sum_{k=1}^{2} E_t^{(k)} A_k}{\sum_{k=1}^{2} A_k}; \quad \mu_t^{(o)} = \frac{\sum_{k=1}^{2} \mu_t^{(k)} E_t^{(k)} A_k}{\sum_{k=1}^{2} A_k E_t^{(k)}}. \qquad (4)$$

In moment $t_o = 0$, expressions (2), (3), and (4) acquire the form given in (Trifonova-Genova, 2016, 2018).

5. Numerical example

A circular opening with radius $r_o = 1.5m$ is passed to the depth of $H = 100m$. Young's modulus, Poisson's rations, and volumetric weights for two layers are given in table 1.

Table 1. *Physical and mechanical characteristics in layers*

k	$E^{(k)}$	$\mu^{(k)}$	$\gamma^{(k)}$
dimension	MPa		MN/m^3
multiplier	10^4		10^{-2}
1	0.595	0.237	2.8
2	0.148	0.15	2.5
o	0.3986	0.2228	2.668

The vertical stresses along the contour of considered area of fig. 1 are:

$Q_1 = 2.8MPa$,

$Q_2 = 2.5MPa$.

The coefficients of lateral pressure $\lambda_1 = 0.3106$ and $\lambda_2 = 0.1763$ participate in the expressions for the horizontal stresses.

The total area of the square area is: $A = 324\ m^2$. The area of layer 1 is $A_1 = 181.656\ m^2$, and of layer 2 is $A_2 = 142.314\ m^2$.

The creep parameters are listed in table 2.

Table 2. *Creep parameters*

k	α_k	δ_k
dimension	-	$s^{\alpha-1}$
multiplier	-	10^{-2}
1	0.726	0.5715
2	0.670	0.3277

A time interval is considered with limits:

$t_o = 0$,

$t_f = 352 days = 3.05.10^7 s$.

Two tasks are solved for these boundaries. For the first task, the physical and mechanical characteristics are given in table 1. The same characteristics are calculated for second task. The results are shown in table 3. The characteristics were obtained for two generalised environments. Their values are given in the last rows of Table 1 and 3. The volumetric weight of the media is given in table 1.

Table 3. *Physical and mechanical characteristics when crawling on rocks*

k	$E^{(k)}$	$\mu^{(k)}$
dimension	MPa	-
multiplier	10^4	-
1	0.1777	0.4215
2	0.0376	0.4112
o	0.1162	0.4200

Thirteen points are selected along the contour of the circular opening. Their angular coordinates are determined for them.

The normal tangential stresses in the two generalised media are calculated. These stresses are related to vertical stress in a generalised medium before digging the hole ($Q_1^o = \gamma^o H$). The relative normal tangential stresses at contour points are obtained. They are listed in table 4.

Table 4. *Relative normal tangential stresses in generalised media at both ends of a considered time interval*

point	θ	$\frac{\sigma_{\theta,0}^{(o)}}{Q_1^{(o)}}$	$\frac{\sigma_{\theta,t}^{(o)}}{Q_1^{(o)}}$
dimension	$[°]$	-	-
1	0	-2.7	-2.3
2	24˚47’	-2.3	-2.1
3	60	-0.6	-1.4
4	90	0.1	-1.1
5	120	-0.6	-1.4
6	150	-2.0	-2.0
7	180	-2.7	-2.3
8	210	-2.0	-2.0
9	240	-0.6	-1.4
10	270	0.1	-1.1
11	293˚07’	-0.3	-1.3
12	330	-2.0	-2.0
13	360	-2.7	-2.3

Table 4 shows a decrease in the maximum tangential stress at the end of the interval. In the vertical points, this stress from the tensile at the initial moment passes into the pressure at the end of the considered time interval.

The results of the table are illustrated in figure 2 with two curves.

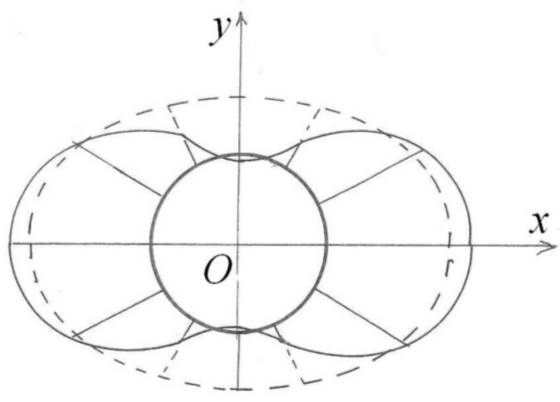


Fig.2. Diagrams of relative normal tangential stresses in generalised media at both ends of the considered time interval.

The solid line gives the relative normal tangential stress at the initial time. The other curve corresponds to the stresses at the end of the interval. Some authors use the solutions in table 4 in pre-design.

The relative normal tangential stresses in two layers, for two times interval limits, are given in table 5. The table shows a change in the maximum relative normal tangential stress in the layers. Thus, in layer 1, this stress decreases and in layer 2, it increases at the final moment.

Table 5. *Relative normal tangential stresses in layers at both ends of considered time interval*

Point	θ	$\frac{\sigma_{\theta,0}^{(1)}}{Q_1^{(o)}}$	$\frac{\sigma_{\theta,0}^{(2)}}{Q_1^{(o)}}$	$\frac{\sigma_{\theta,t}^{(1)}}{Q_1^{(o)}}$	$\frac{\sigma_{\theta,t}^{(2)}}{Q_1^{(o)}}$
dimension	$[\circ]$	-	-	-	-
1	0	-3.7		-3.2	
2	24˚47’	-2.6	-2.0	-2.3	-1.9
3	60		-0.6		-1.5
4	90		+0.1		-1.2
5	120		-0.5		-1.2
6	150		-0.8		-0.7
7	180		-1.4		-1.1
8	210		-1.6		-1.7
9	240		-0.6		-1.5
10	270		+0.1		-1.2
11	293˚07’	-0.3	-0.3	-0.7	-1.2
12	330	-2.9		-3.0	
13	360	-3.7		-3.2	

It can be seen form the values in the table that there is a change in the stress jump at points on the boundary between the two layers. The jump in point 2 is a difference of 23% at the beginning. It decreases to 17% at the end. At point 11, there is no jump at time (t_0). The stress jump increases to 47% at the end of the interval (t_f).

The relative normal tangential stress, at the vertical points of the contour, changes. It goes from tensile in the initial moment to pressure in the final moment.

Using the data from table 5, the diagrams in figure 3 are constructed. The solid line shows the relative normal tangential stresses at time t_0 .The stresses at the end are given with a broken line.

A comparison the two curves in the figure shows a change in shape. The relative stresses at the horizontal points decrease and at the vertical points increase. Thus, the creep of the array needs to be taken into account.

6. Key finding

Analytical expressions of stresses in each layer are applied in layers whose slope is greater than half the right angle.

In this article, stress expressions are a summary of stress expressions in layers (Trifonova-Genova, 2018). The proposed expressions take into account the behaviour of the rock mass over time.

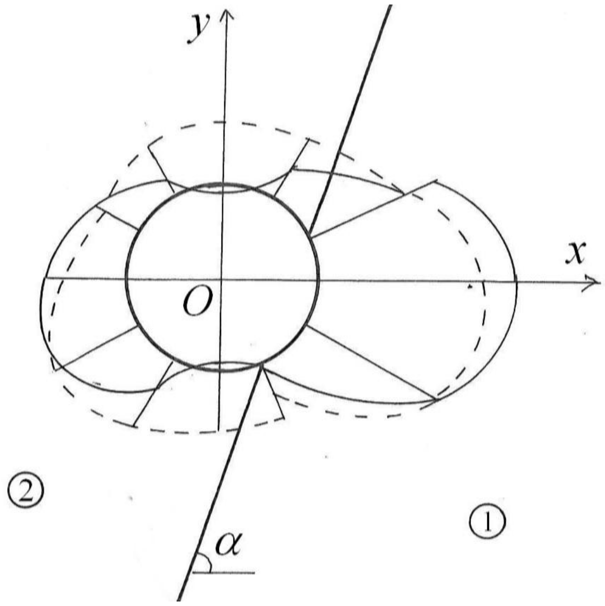


Fig.3. Diagrams of relative normal tangential stresses in the layers at both ends of the considered time interval.

Conclusion

The calculations make the following advantages in solving this class of tasks:

1. The method described in this article is very simple to be implemented.
2. The method makes it possible to summarise many layers. The solution described in the article is part of a generalised methodology for calculating stresses in an array consisting of many layers.

References

Amusin, B., A. Linkov. 1974. About using of variable modulus for solution of class of problems of linear creep. *Proceedings of Academy of Sciences USSR, Mechanics of Solid Body, Vol. 6*, 162-166.

Bulychev, N. S. 1982. *Underground construction mechanics*. Nedra, Moskow, 271p. (in Russian)

Dimitrov, U. 2009. Investigation of the rheological behaviour of an array around a structure with a direct exit to the surface. In: *Conference with international participation "Open and underwater mining“, Varna, Bulgaria*. (in Bulgarian with English abstract)

Lekhnitskii, S. G. 1963. *Theory of elasticity of an anisotropic elastic body*. Holden-Day, San Francisco.

Muskhelishvili, N. I. 1953. *Some basic problems of the Mathematical Theory of Elasticity*. Nordhoft, Gromingen, 706.

Savin, G. N. *Stress concentration around Hole*. Pergamon, London.

Trifonova-Genova, V. 2012. *Napregnato sustoyanie v naplasten masiv okolo krugla izrabotka*. I. K. “Sv. Ivan Rilski”, Sofia, 132p. (in Bulgarian)

Trifonova-Genova, V. 2016. One approach to determining the stresses in stratified field around opening. In: *Proceedings of the VII International Geomechanics Conference, 27 June-01 July, Varna, Bulgaria,* 246-251. (in Bulgarian with English abstract)

Trifonova-Genova, V. 2018. On the determination of stresses in stratified rock around a horizontal opening with a circular cross section. In: *Proceedings of the VII International Geomechanics Conference, 1-6 July, Varna, Bulgaria*, 59-64. (in Bulgarian with English abstract)

SYNTHESIS AND BIOFUNCTIONALISATION OF SILVER NANOPARTICLES

Aleksandar Chanachev

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

ABSTRACT. Nanoparticles are widely used in various studies in chemistry, biology, pharmacy, and medicine. Their specific chemical and physical properties make them excellent carriers of biomolecules and proteins, which creates a very good environment for the development of drugs for targeted delivery, biosensors, systems for monitoring various enzyme reactions, as well as for the development and improvement of a number of diagnostic methods. Silver nanoparticles are of special scientific interest both because of their bactericidal properties and because of their ability to be biofunctionalised with various proteins. This allows this type of nanostructures to be used in the cosmetics and pharmaceutical industries as carriers of various proteins and leads to significant interest both in optimisation and research of synthesis methods and in the study of their surface biofunctionalisation and stabilisation of molecules.

Key words: silver nanoparticles, biofunctionalisation, nanomaterials

СИНТЕЗ И БИОФУНКЦИОНАЛИЗИРАНЕ НА СРЕБЪРНИ НАНОЧАСТИЦИ
Александър Чаначев
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Наночастиците намират широко практическо приложение в различни изследвания от областта на химията, биологията, фармацията и медицината. Техните специфични химични и физични свойства ги правят отличен носител на различни биомолекули, което създава много добра среда за създаването на лекарствени носители за целева доставка, биосензори, системи за проследяване на различни ензимно-каталитични химични реакции, както и за развиването и усъвършенстването на редица диагностични методи. Сребърните наночастици са обект на особен научен интерес както заради техните бактерицидни свойства, така и поради възможността да бъдат биофункционализирани с различни протеини. Това дава възможност този тип наноструктури да бъдат използвани в козметичната и фармацевтична индустрия като носители на различни протеини и води до съществен интерес както към оптимизиране и изследване на методите за синтез, така и към изследване на тяхната повърхностна биофункционализация и стабилизация на молекулите.

Ключови думи: сребърни наночастици, биофункционализиране, наноматериали.

Introduction

Silver nanoparticles (AgNPs) have been the subject of numerous studies due to their specific properties which make them suitable for various purposes in chemistry, biology, medicine, pharmacy, and agriculture. Their surface allows them to make varied complex compounds by coordinating a large number of ligands around them. This allows them to be used both as drug delivery systems and in the diagnosis of various types of cancer. Studies show that they have antibacterial and antiviral properties and improve the activity of many antibiotics. Due to the constant growth of multi-drug resistant bacterial and viral strains, scientists are looking for new drug systems that show better results in fighting such infections. The successful use of AgNPs in such systems, due to their antibacterial properties and their ability to inhibit the growth of many infectious bacteria, has generated a huge amount of research in this area (Silver, 1996; Jones et al., 2004; Siddiqi et al., 2018).

Due to these specific properties and applications, the synthesis of AgNPs, and especially the green synthesis of AgNPs, has been the subject of extensive research in recent years. The green synthesis of nanomaterials is based on their production by various micro-organisms and plants and occupies an important place in the methods of synthesis of AgNPs due to its efficiency and environmental friendliness (Kanimozhi et al., 2022).

Silver nanoparticles can be functionalised with bacitracin, peptides, and other molecules as their size can be optimised and they can be used for external wound healing because of their substantially low silver content with reduced toxicity and good antibacterial and antibiofilm activity (Singh and Mishra, 2022).

The synthesis and functionalisation of silver nanoparticles are fields of continuous scientific research due to their unique chemical properties that allow them to be excellent systems for targeted drug delivery, and interest in them is growing continuously.

Synthesis of silver nanoparticles

Due to the fact that silver nanoparticles are obtained through chemical, physical and biological processes, the methods for their synthesis can be divided into chemical, physical, and biologica (Vishwanath and Negi, 2021).

They differ both in their basic principles and in their impact on the environment. Chemical methods are the most common, but correspond to the least extent to the concept of green synthesis. Physical methods are closer to this concept. However, biological methods apply the ideas of green synthesis to the greatest extent (Ijaz et al., 2020; Aisidaet al., 2021a b; Vishwanath and Negi, 2021).

Physical methods

The most common physical methods for the synthesis of silver nanoparticles are evaporation-condensation and laser ablation. The former is based on obtaining particles by tube furnace under atmospheric pressure. Its disadvantages are the huge amount of energy the process consumes and the slow time it takes for the synthesis to take place. With the laser ablation method, nanoparticles are synthesised by nucleation and growth of vaporised species through laser in attendance of gas. Due to the possibility to control the size of the particles, the purity of the obtained silver nanoparticles and the lack of use of chemical reagents, this type of synthesis is ecological and very efficient. The laser ablation method, however, has a few disadvantages. Its use requires very high temperatures, which requires the consumption of a lot of energy, and due to its low productivity, it cannot be imposed in industry (Vishwanath and Negi, 2021).

Chemical methods

There are many chemical methods for obtaining silver nanoparticles. They are based on similar principles and what they have in common is that the reaction always needs a metal precursor, reducing, and stabilising agents. These three reactant components are required for the chemical syntheses of silver nanoparticles (*ibid.*).

One of the interesting syntheses of silver nanoparticles was proposed by Fang, Zhang and Mu (2005) and it is based on the use of silver nitrate to which solution of trisodium citrate is added and after heating, the solution is allowed to cool with vigorous stirring. They have an absorption maximum at 420 nm because of their surface plasmon resonance peak and scanning electron micrographs show an average particle size of 21.22 ± 5.17 nm.

The majority of simple methods for the synthesis of silver nanoparticles use the reduction of silver nitrate in aqueous solution under the action of reducing and stabilising agents. A number of substances can be used as reducing agents, like citrate, ascorbate, borohydride, etc, while surfactants, ligands, or polymers with specific functional groups are used as stabilising agents. An example of such a specific group is polyvinylpyrrolidone. The sizes of the obtained nanoparticles depend to a great extent on the concentration and ratio of these three components - silver nitrate, stabilising, and reducing agent (Gudikandula and Maringanti, 2016; Vishwanath and Negi, 2021).

The main principles of the syntheses of silver nanoparticles are schematically presented in Fig.1.

An interesting approach to obtain silver nanoparticles is the polyol process. In this method, silver nitrate is reduced in the presence of ethylene glycol. In this method, silver nitrate is reduced in the presence of ethylene glycol, with the compound acting as both a stabilising agent and a solvent. The size and shape of the nanoparticles can be regulated by the reducing agents, as well as by other chemical reagents involved in the synthesis.

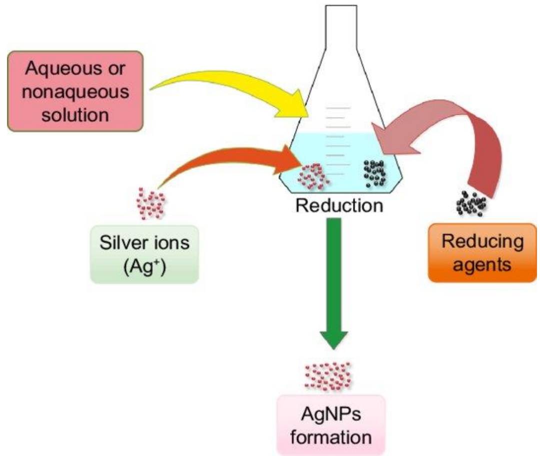


Fig. 1. Schematic representation of silver nanoparticle synthesis methods (Ullah Khan et al., 2018)

Examples of the influence of such reducing agents are sodium citrate and sodium borohydride. Due to the weaker reducing action of the former, the obtained nanoparticles have a larger size than those obtained under the action of sodium borohydride, which has a stronger reducing effect (Vishwanath and Negi, 2021).

Methods for the synthesis of silver nanoparticles lead to the production of particles of a certain size and shape. These characteristics of the particles, as well as the monodispersity of the solution, have an extremely important role for their application as drug delivery systems, as well as for any of their applications in pharmacy or diagnostics.

Chemical methods for the synthesis of silver nanoparticles have both their advantages and disadvantages. The advantages of chemical methods are low cost and a wide variety of syntheses, as well as the possibility of adjusting the size, shape, and monodispersity of the system (*ibid.*).

Significant problems and shortcomings in the chemical methods for the synthesis of silver nanoparticles are the dangers that the reagents used create for both the environment and human health. In this respect, the chemical methods for obtaining silver nanoparticles have a low rating in the sense of “greenness”. Due to the use of many toxic reagents in the syntheses, the preparation of silver nanoparticles by chemical methods contains many risks when using them as a drug delivery system. Examples of toxic chemicals that are used in these reactions are ethylene glycol, liquid paraffin, oleyl amine, etc., as oleyl amine has a harmful effect on marine flora and fauna (*ibid.*).

.

Biological methods

Biological methods for the synthesis of silver nanoparticles show the best results in terms of environmental and health impact. Due to the fact that they do not use toxic chemicals and large amounts of energy, they are an excellent alternative to other syntheses.

Biological synthesis methods use living organisms to produce silver nanoparticles. This process is presented in Fig.2. Such organisms are plants, algae, microbes, fungi and even animals.

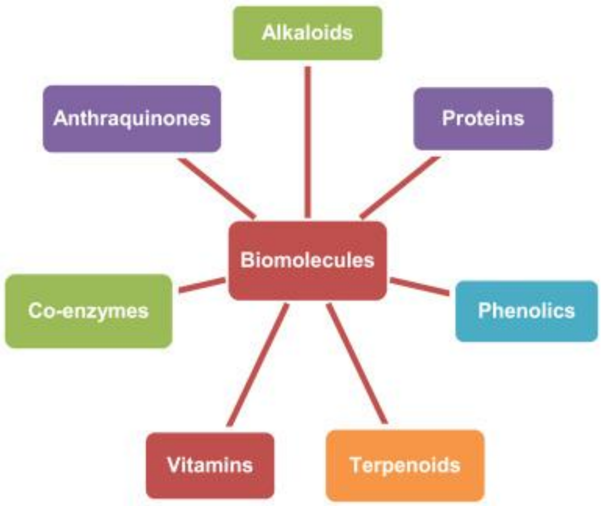


Fig. 2. Chemical compounds that are produced by living organisms and used in the synthesis of silver nanoparticles (Vishwanath and Negi, 2021)

Nanoparticles obtained by such methods can achieve a large degree of monodispersity and can also be obtained with certain sizes and shapes. They have the lowest residual synthesis toxicity and are therefore particularly suitable for drug delivery systems. They correspond to the greatest extent to the basic principles of green chemistry (Vishwanath and Negi, 2021).

The process of obtaining nanoparticles from plants is called phytosynthesis and is a preferred technique among other biological methods because of its qualities in industrial use. Apart from it, other synthesis methods used are from microbes, agrowaste, and metabolites of animals. An example of the use of animal metabolites is spider webs. They are rich in a variety of amino acids including alanine, glycine, and pyrollidine and although the method is not widespread it is efficient and very ecological (*ibid.*).

Biofunctionalisation of silver nanoparticles

Appropriate methods for the biofunctionalisation of silver nanoparticles are the first step towards their use as drug carriers or as sensors, as well as in most of the fields in which they find application. This also defines different strategies by which they can be linked to different biomolecules and these approaches can be divided into four main groups: binding of the molecule to the surface of the inorganic particle core through ligand; electrostatic interactions between positively charged biomolecules to negatively charged nanoparticles; covalent binding and a noncovalent affinity-based receptor-ligand system (Ravindran et al., 2013).

Different biofunctionalising molecules are used to make the interaction between the surface of the nanoparticle and the molecule. They can be as small molecules - lipids, vitamins, peptides, sugars, or larger ones, such as natural polymers including proteins, enzymes, DNA, and RNA (*ibid.*).

Different chemical functional groups create the connection between the surface of the silver nanoparticles and the molecule that functionalizes it. One such group is the thiol group as can be seen in Fig.3.

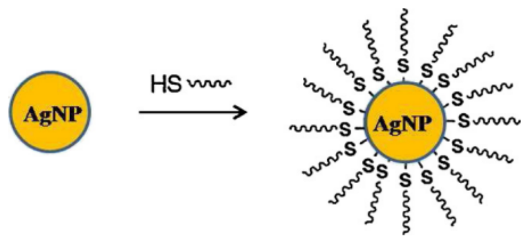


Fig. 3. Schematic representation of the chemical binding of thiol groups to silver nanoparticles (Ravindran et al., 2013)

The reason is that the thiol group has a strong affinity to the surface of both silver and gold nanoparticles, which makes it possible to bind molecules to the surface of the particle through it (*ibid.*).

After the biofunctionalisation of silver nanoparticles, due to their interaction, an aggregation or deaggregation process can occur. For example, the interaction of silver nanoparticles with cysteine leads to a rapid aggregation of the particles (*ibid.*).

Silver nanoparticles can be biofunctionalised with protein, antibodies, and peptides. Also, DNA-based nanoparticle systems can be built with their help. The systems thus obtained are used in various fields of science. Biofunctionalised silver nanoparticles can be used as bioanalysers. These are colorimetrically based nanosensors. Because of their simplicity, rapidity, high sensitivity, and ease of measurement, they have attracted strong attention from the scientific community and research on their capabilities has become a growing field in nanoparticle research (*ibid.*).

Biomedical applications of functionalised silver nanoparticles are undoubtedly the most actively investigated possibilities of silver nanoparticles due to the promising results they have shown in recent decades both in the pharmaceutical industry and in the development of more complex drug delivery systems. An example of such a system is glutathione stabilised water soluble silver nanoparticles bind covalently with a model protein BSA (Qingzhi et al., 2008; Ravindran et al., 2013).

Silver nanocrystals show excellent capabilities as antibiotic and antiviral agents in biological systems. Their antibacterial properties remain their trademark and are widely used in the pharmaceutical industry (Ravindran et al., 2013).

References

Aisida S. O., K. Ugwu, A. C. Nwanya, A. K. H. Bashir, N. U. Nwankwo, I. Ahmed, F. I. Ezema. 2021a. Biosynthesis of silver oxide nanoparticles using leave extract of Telfairia Occidentalis and its antibacterial activity. - *Mat. Today Proceedings., 36* (2), 208-213

Aisida S. O., K. Ugwu, P. A. Akpa, A. C. Nwanya, P. M. Ejikeme, S. Botha, I. Ahmad, F. I. Ezema. 2021b. Morphological, Optical and antibacterial study of green synthesised silver nanoparticles via Vernonia amygdalina. - *Mat. Today Proceedings, 36*, 199-203

Fang, J., Zhang, C., Mu, R. 2005. The study of deposited silver particulate films by simple method for efficient SERS. - *Chem Phys Lett., 401*, 271–275.

Gudikandula K., S. C. Maringanti. 2016. Synthesis of silver nanopartices by chemical and biological methods and their antimicrobial properties. - *J. Exp. Nanosci., 11* (9), 714-721.

Ijaz I., E. Gilani, A. Nazir, A. Bukhari. 2020. Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterisations and applications of nanoparticles. - *Green Chem. Lett. Rev., 13* (3)

Jones, S. A., P. G. Bowler, M. Walker, D. Parsons. 2004. Controlling wound bioburden with a novel silver-containing Hydrofiber dressing. - *Wound Repair Regen,12*, 288–94.

Kanimozhia, S., R. Durgaa, M. Sabithasreea, A. Vimal Kumara, A. Sofiavizhimalarb, Avinash Ashok Kadamc, Rajakrishnan Rajagopald, Rengasamy Sathyae, Nur Izyan WanAzelee. 2022. Biogenic synthesis of silver nanoparticle using Cissus quadrangularis extract and its invitro study, Journal of King Saud University. – *Science, 34*, 4, 101930

Qingzhi W., C. Huaqiang, L. Qiuying, Z. Jiyong, W. Zhao, H. Jamie, A. Warner, A. R. Watt, 2008. Biomolecule-assisted synthesis of water-soluble silver nanoparticles and their biomedical applications. - *Inorg. Chem. 47* (13) 5882–5888.

Ravindran, A., Chandran, P., Khan, S. S., 2013. Biofunctionalized silver nanoparticles: Advances and prospects. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 105, 342–352.

Siddiqi, Khwaja Salahuddin, Azamal Husen, Rifaqat A. K. Rao. 2018. A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties. - *Journal of Nanobiotechnology*

Silver, S., L.T. Phung. 1996. Bacterial heavy metal resistance: new surprises. - *Annu Rev Microbiol., 50*, 753–89.

Singh, Sanjay, Prashant Mishra, 2022. Bacitracin and isothiocyanate functionalised silver nanoparticles for synergistic and broad spectrum antibacterial and antibiofilm activity with selective toxicity to bacteria over mammalian cells. - *Biomaterials Advances, 133*, 112649

Ullah Khan, Shahid, Tawfik A. Saleh, Abdul Wahab, Muhammad Hafeez Ullah Khan, Dilfaraz Khan, Wasim Ullah Khan, Abdur Rahim, Sajid Kamal, Farman Ullah Khan, Shah Fahad. 2018. Nanosilver: New ageless and versatile biomedical therapeutic scaffold. - *International Journal of Nanomedicine, 13*, 733-762.

Vishwanath, Ramya, Beena Negi. 2021. Conventional and green methods of synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial properties. - *Current Research in Green and Sustainable Chemistry, 4,* 100205.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PROCESSING OF PRIMARY SULPHIDE COPPER ORE

Teodora Yankova, Irena Grigorova

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

ABSTRACT. Technological investigations have been conducted for the processing of primary sulphide copper ore from a porphyry-copper deposit. In previous studies, the chemical, mineral and particle size composition and grindability of the same sulphide copper ore from a technological ore sample provided were studied. Phase analysis has been performed for determining the forms of copper presence in the ore. A collective-selective flotation flowsheet has been developed, including three cycles: collective flotation, copper-pyrite selection, and pyrite flotation. The optimal technological parameters for each individual flotation cycle have been experimentally determined. The results of the conducted technological investigations have shown that the developed collective-selective scheme of flotation, with obtaining copper and pyrite concentrate, is effective for the ore from the analysed technological sample. The following products and parameters were obtained: copper concentrate with a content of 21.3% Cu, 25% S, 0.33% Mo, respectively with the recovery of Cu - 88.17% Cu, S - 26.8%, and Mo - 73.4%; pyrite concentrate with a content of 50.2% S and the recovery of total S - 66.5%

Ключови думи: primary sulphide copper ore, scheme of collective-selective flotation

РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБОГАТЯВАНЕ НА ПЪРВИЧНИ СУЛФИДНИ РУДИ

Теодора Янкова, Ирена Григорова
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Проведени са технложки изследвания за обогатяване на първична сулфидна медна руда от меднопорфирно находище. При предишни изследвания са изучени химичният, минерален и зърнометричен състав и смилаемостта на същата сулфидна медна руда от предоставена техноложка рудна проба. С фазов анализ са определени формите на присъствие на медта в рудата. 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%

Ключови думи: първична медна сулфидна руда, схема на колективно-селективна флотация

Въведение

Меднопорфирните находища осигуряват около 75% от световния добив на метала мед, който широко се използва в енергийната инфраструктура, зелените технологии и др. (Tsekov et al., 2003; Angelov et al., 2013). Добиват се също значителни количества от молибден и злато, а от някои находища – важни метали като рений, сребро, платиноиди, селен, телур и др. (Sillitoe, 2010; John and Taylor, 2016).

В настоящата разработка се привеждат резултати от извършените техноложки изследвания за обогатяване на първична сулфидна медна руда от меднопорфирно находище. За изучаване на химичния, минерален, зърнометричен състав и смилаемостта на рудата, са извършени предшестващи изследвания на предоставена техноложка проба (Янкова и др., 2021). С фазов анализ са определени и формите на присъствие на медта в рудата.

Данните от извършените химични анализи на руда от техноложката проба, показват съдържание на 0.215 % Cu, 0.0041 % Mo и 0.06 g/t Au. Установяват се повишени съдържания на компонентите SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, K_2O, Na_2O, и др. вследствие присъствието на нерудни фази, съпътстващи орудяването (Янкова и др., 2021). В количествено отношение в анализираната рудна проба преобладават нерудните фази (93%), представени главно от скалообразуващи минерали от вместващите скали и в много по-малка степен – от съпътстващи орудяването гангови минерали. Рудните фази съставляват около 6% и са представени от магнетит (3%), пирит (2%) и халкопирит (1%). В най-голямо количество от нерудните минерали е застъпен кварцът (42%), следван от мусковит (14%), албит (12%), микроклин (9%), клинохлор (9%), диопсид (5%). Нерудните фази, придружаващи рудната минерализация са преимуществено кварц и много по-рядко калцит (1%) и барит (1%).

Фазовият анализ, извършен за определяне формите на присъствие на медта в рудата – мед, разтворима във вода, свободна и свързана оксидна мед, първични и вторични медни сулфиди показва, че основната част от медта - 80.36 % е представена от първични сулфидни минерали (халкопирит) и в много по-малка степен от вторични медни сулфиди – 15.62 %. Сравнително ниско е съдържанието на оксидна мед (3.6 %) и на разтворима във вода мед (0.44 %), (Янкова и др., 2021). Фазовият анализ потвърждава, че технохожката проба е съставена предимно от първична медна сулфидна руда.

Изследвана е смилаемостта на рудата и е определен енергийният индекс на Бонд, които показват, че рудата е лесно смилаема. Определена е и степента на разкриване на рудните минерали, в зависимост от степента на смилане (Янкова и др., 2021).

Анализът на получените данни дава основание да се направят следните изводи:

- Медта основно се съсредоточава в класа „- 0.080 mm", сярата – в класа „-0.20+0.04 mm", докато молибденът е разпределен относително равномерно в класата под 0.200 mm;
- Може да се приеме, че P65 „– 0.080 mm" е оптималната 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 се разкрива напълно при едрина на зърната под 0.080 mm.

Методи и материали

Като се имат предвид веществения състав и физико-механичните свойства на технохожката проба, както и тенденциите в световната практика на обогатяване на бедни, меднопорфирни руди, бе приета схема на колективно – селективна флотация за осъществяване на технохожките изследвания.

Схемата на флотация включва три цикъла: колективна флотация, медно-пиритна селекция и пиритна флотация, като схемите и технологичните режими за отделните цикли са самостоятелно определяни.

Основните параметри на колективна флотация, оказващи съществено влияние върху технологичните показатели са изучени чрез серия от лабораторни експерименти.

С установените оптимални стойности на изследваните параметри са проведени опити в затворен цикъл за определяне технологичните показатели на колективната флотация.

Разработени са схеми и технологичен режим за определяне технологичните показатели на медно-пиритната селекция и пиритната префлотация на сулфидната руда. Технохожките изследвания са проведи със следната апаратура:

1. Топкова мелница за смилане на 1 kg руда с полезен обем 7 l;
2. Топкова мелница за смилане на 0.33 kg руда и обем 3.3 l;
3. Топкова мелница за досмилане с размери 100 x 150 mm;
4. Механична флотационна машина „Denver" с обем на камерата 3 l, 1.5 l и 0.75 l;
5. Лабораторна вибрационна ситова машина Analysete 3;
6. Пехаметър

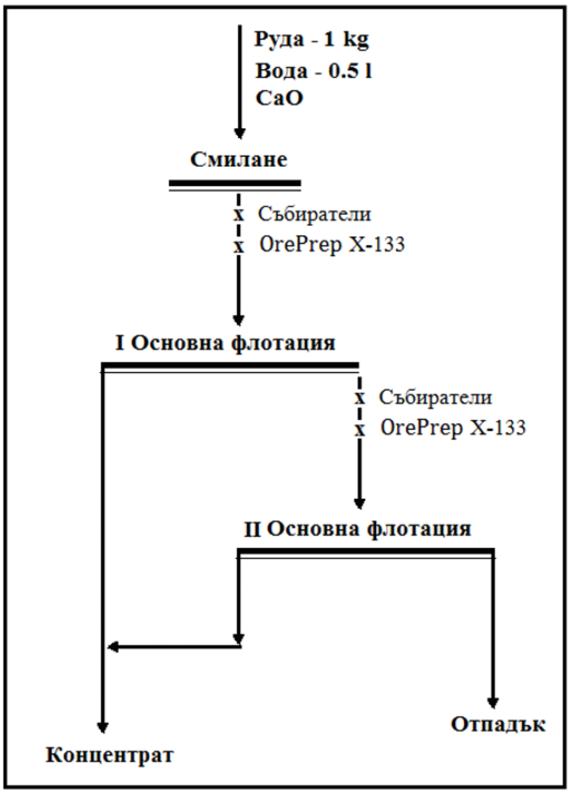
Използваните реагенти са подавани в следните концентрации:

1. Реагент регулатор на средата – вар – химически чист натурален CaO.
2. Реагент събирател – смес от изобутилов и изоамилов ксантогенат (1:1) + Hostaflot 7257 – 0,1% разтвор.
3. Реагент пенообразувател – OrePrep X-133 – 0.1% разтвор.
4. Реагент регулатор - депресор – водно стъкло – 1% разтвор;
5. Сярна киселина – 5% разтвор.

Резултати и дискусия

Определяне оптималните условия на основна колективна медно-пиритна флотация

Лабораторните експерименти бяха проведени по схемата, представена на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема и технологичен режим на опитите за определяне оптималните условия на основна колективна флотация

Въз основа на серия от лабораторни тестове бяха определени оптималните условия на основната колективна медно-пиритна флотация: степен на смилане - 65 % клас „-0.08 mm", разход на CaO – 450 g/t, разход на събиратели – 30 g/t, разход на пенообразувател OrePrep X-133 – 9 g/t и време на флотация 11 min.

Определяне технологичните показатели на колективна медно-пиритна флотация

За определяне технологичните показатели на колективната медно-пиритна флотация са извършени лабораторни експерименти в затворен цикъл по открито-циклова схема. Схемата включва основна колективна медно-пиритна флотация, пречистна и контролна флотация на пречистната. Тя се осъществява при относително едро смилане на рудата, като полученият колективен концентрат при необходимост може да бъде досмлян, до степен на пълно разкриване на срастъците. По този начин се постига висока производителност на процеса на смилане и максимално извличане на ценните компоненти в рудата.

Технологичният режим на опитите в затворен цикъл беше определен въз основа на установените оптимални условия за основна колективна флотация. Тестовете бяха проведени по схемата показана на фиг. 2.

Фиг. 2. Схема и технологичен режим на опитите в затворен цикъл на открито-циклова схема на колективна флотация

Получените резултатите показват, че по открито-цикловата схема за изследваната технологична проба се получава 91-93 % извличане на Cu, 91-93 % извличане на S и 81-85 % извличане на Mo. Съдържанието на ценните компоненти в колективния концентрат е както следва – 6 % Cu, 22 % S и 0.11-0.13 % Mo.

Въз основа на получените резултати от проведените изследвания, като оптимални за колективния цикъл могат да се приемат следните стойности на технологичните параметри:

- смилане – 0.65 % клас „-0.08 mm”;
- разход на регулатор (CaO) в смилането за постигане в основна колективна флотация на pH-9 – 450 g/t руда;
- разход на събирател (смес от изобутилов и изоамилов ксантогенат 1:1 и Hostaflot) в основна колективна флотация – 30 g/t руда;
- разход на пенообразувател OrePrep X-133 – 9 g/t руда;
- продължителност на основна колективна флотация – 10-12 min;
- продължителност на пречистна флотация - 5 min;
- продължителност на контролна на пречистна флотация – 5 min;
- разход на керосин в основна колективна флотация – 30 g/t руда.

За изучаване на веществения състав на продуктите от колективния цикъл на флотация са извършени химични, зърнометрични и минераложки анализи.

От зърнометричния анализ на отпадъка от основна флотация бе установено, че загубите на Cu и S са съсредоточени в класата „+0.125 mm”. При добив на класата 16,06 %, в нея се намират около 31 % от загубите на Cu и около 33% от загубите на S с отпадъка. Минераложкият анализ показва, че тези загуби се дължат на фини срастъци на сулфидите с нерудните минерали. Замърсяването на колективния концентрат със скалообразуващи минерали се дължи на класата „+0.125 mm”, в която са съсредоточени едри срастъци между сулфидните минерали и нерудните фази.

Определяне технологичните показатели на медно-пиритна селективна флотация

За определяне показателите на медно-пиритната селективна флотация е преработено известно количество руда по технологичната схема и реагентен режим, показани на фиг. 2, до получаване на колективен концентрат. След това по схемата на фиг. 3, включваща досмилане на колективния концентрат, агитация, основна и контролна медно-молибденова флотация и две пречистни операции, е получен меден концентрат, със съдържание на 21 % Cu при извличане от цикъла на селекция 97 - 98%.

Като основни фактори на медно – пиритната селекция, чието влияние беше проверено, бяха приети: досмилане на колективния концентрат и остатъчната концентрация на свободен CaO. Всички останали елементи на схемата и на технологичния режим – агитация, време на флотация и брой пречистни операции – бяха приети и уточнени по време на опитите без да се изучава тяхното влияние върху процеса.

Веществeният състав на крайните продукти от цикъла е изучен чрез химични, ситови и минераложки анализи.

Беше установено следното:

1. При досмилане на колективния концентрат до 85% клас „-0.08 mm” и остатъчна концентрация на CaO съответно в медно-молибденова флотация 500 - 550 g/m^3 и в I (първа) пречистна флотация 700 g/m^3 се получава меден концентрат със съдържание на 20.2% Cu и извличане 98.3% в цикъла на селекция. При досмилане на колективния концентрат до 95 % клас „-0.08 mm” и остатъчна концентрация на свободен CaO в основна медно-молибденова флотация 700 – 750 g/m^3, а в I пречистна флотация 850 – 900 g/m^3 се получава меден концентрат със съдържание на 21.3% Cu при извличане 97.2% в цикъла на селекция.

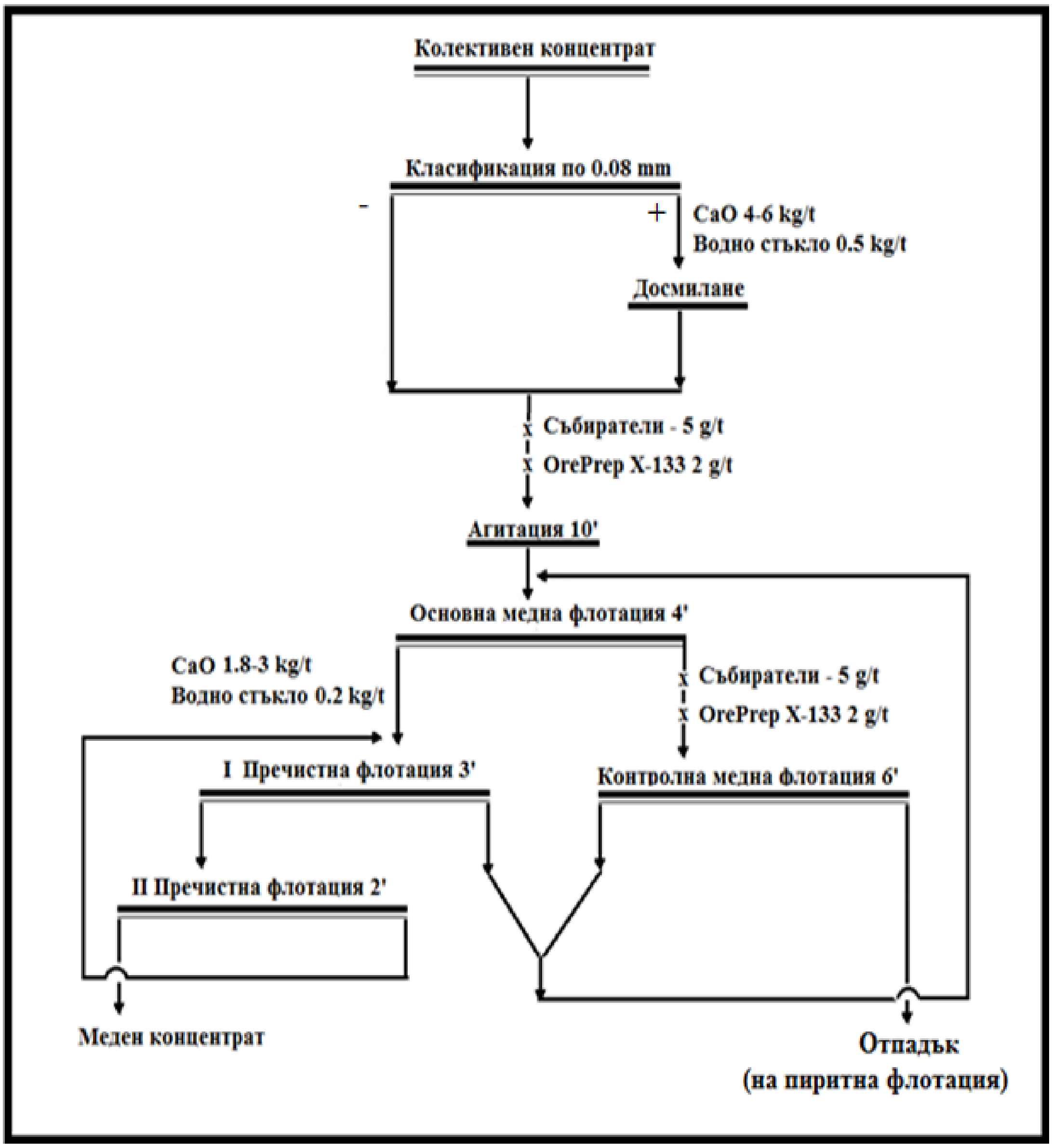
2. Получените медни концентрати са със средно съдържание на 20.8 % Cu и 25.1 % S (60% халкопирит, 8% пирит и 32% нерудни минерали).

3. Замърсяването на медния концентрат се дължи предимно на фини срастъци на халкопирита и пирита със скалообразуващи минерали (в класа „+0.08 mm”).

4. Загубите на Cu в отпадъка от селекцията се дължат на фини срастъци между халкопирита и

скалообразуващите минерали и на шламове във фините класи.

5. Съдържанието на Mo в медния концентрат е 0.35 %. Извличането на Mo от цикъла е задоволително – 88.5 – 89.9%.



Фиг. 3. Схема и технологичен режим на опитите в затворен цикъл за медно-пиритна селекция

Определяне технологичните показатели на пиритна флотация

Проучванията показват, че е възможно получаване на пиритен концентрат от изследваната сулфидна руда при високо извличане от цикъла на пиритна префлотация.

За определяне технологичните показатели на пиритната флотация на изследваната рудна проба, бяха извършени опити в затворен цикъл по схемата, представена на фиг. 4.

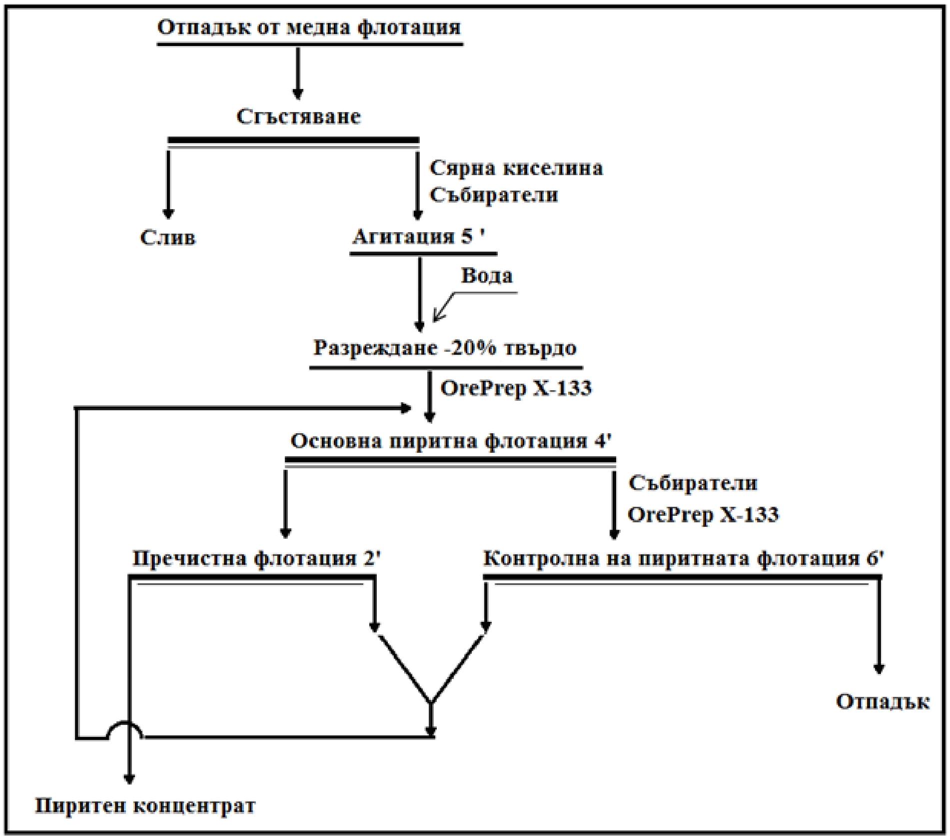
За активатор на пирита е използвана сярна киселина, като разходът й бе променян с оглед получаване на pH около 7.5 в основна флотация.

Резултатите от проведените опити потвърждават възможността за получаване на пиритен концентрат със съдържание на S над 50%, при извличане от цикъла 95 – 96 %

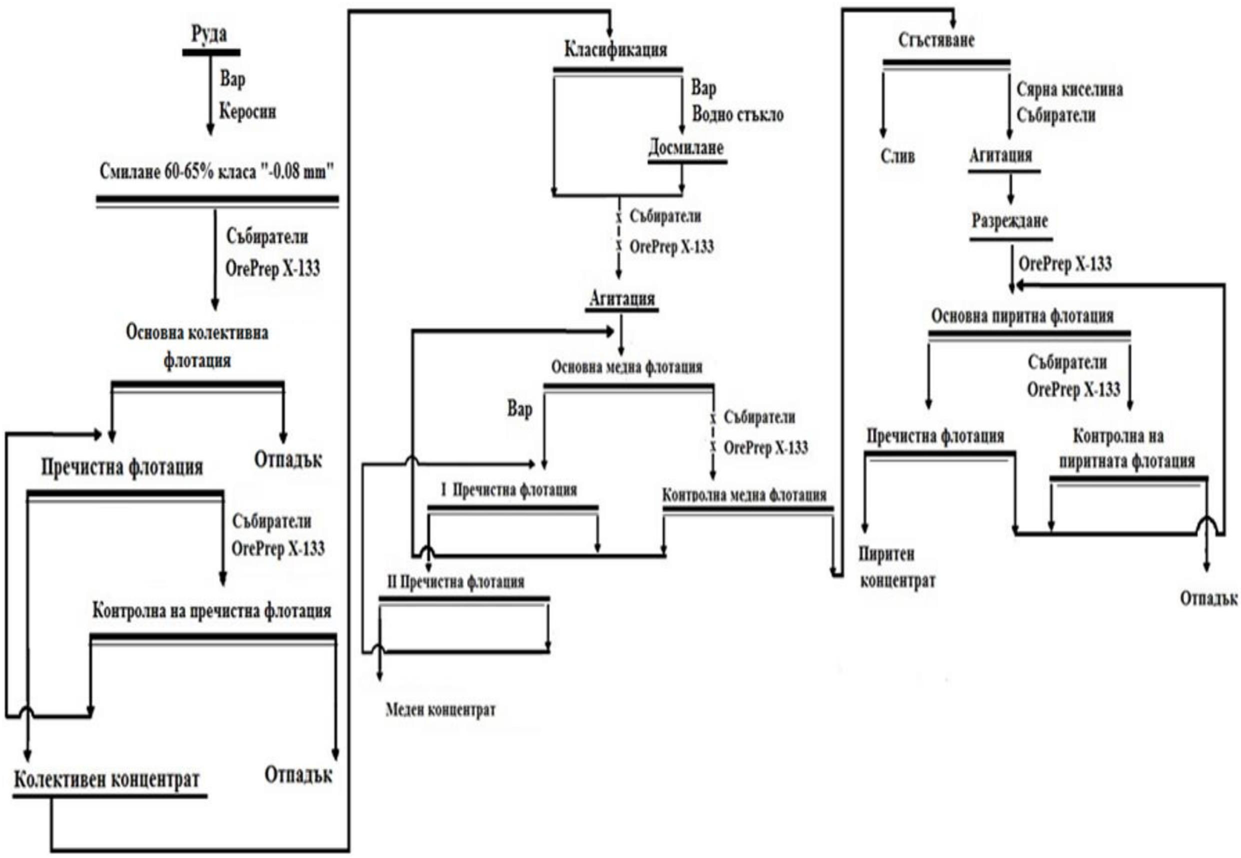
Резултатите от извършените ситови и минераложки анализи на пиритен концентрат показват, че в класите с едрина над 0.040 mm са съсредоточени 56 % от онечистванията с Cu, под формата на редки сраствания с халкопирит.

В по-фините класи Cu се разпределя равномерно.

Разработената колективно-селективна схема и технологичен режим за обогатяване на изследваните първични сулфидни руди са представени на фиг. 5.



Фиг. 4. Схема и технологичен режим на опитите по пиритна флотация



Фиг. 5. Колективно-селективна схема и технологичен режим за обогатяване на първични сулфидни руди

Заключение

Проведените технологични флотационни изследвания доказват, че разработената колективно-селективна схема на флотация с получаване на меден и пиритен концентрати е рационална за предоставената рудна технложка проба.

По тази схема в лабораторни условия са получени следните продукти и показатели:

- меден концентрат, със съдържание на 21.3 % Cu, 25% S и 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 %.

Литература

Angelov T., Savov G., Tsekov A, Valchanova I., 2013. Operating Experience from the Buchim Copper Project, In: *Proceedings of XII National Conference with international participation of the open and underwater mining of minerals*, June 26-30, 2013, Varna, Bulgaria, 402-407.

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.

Tsekov V., Savov G., Kanev V., Garvanov T., Angelov T., Kovacheva-Ninova V., 2003. Combined Complex Processing of Tzar Asen Pit, In: *Proceedings of the X Balkan Mineral Processing Congress*, Varna, June 15-20, 2003, 715-717.

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.

СЕКЦИЯ

ГЕОЛОГИЯ И ПРОУЧВАНЕ НА МИНЕРАЛНИ И ЕНЕРГИЙНИ РЕСУРСИ

SECTION

GEOLOGY AND EXPLORATION OF MINERAL AND ENERGY RESOURCES

ASSESSMENT OF THE ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE CHERNA MESTA RIVER SYSTEM DURING THE FLASH FLOOD OF MID-2019

Yanko Gerdzhikov, Zornitsa Dotseva, Dian Vangelov

Sofia University “St. Kliment Ohridski”, 1504 Sofia; E-mail: janko@gea.uni-sofia.bg

ABSTRACT. The lower parts of the Cherna Mesta river watershed are often affected by flash flood events. While anthropogenic structures have negligible size when compared to the length of the river, they significantly influence river behaviour at times of floods. Based on field data and analysis of satellite and aerial imagery, we have analysed how structures, such as water intakes and artificial banks, have affected river-related processes, such as erosion and sedimentation, at the time of the mid-2019 flash flood event. The highest artificial construction - the water intake for the Belmeken artificial lake - is situated at an elevation of 1,900 m. This structure not only limited the water power but also acted as a site of deposition of debris transported by the stream. Another water intake structure is located just below the confluence of the three main tributaries (the Sofan Dere, the Dautitsa, and the Leevshtitsa rivers) and supplies water to the power plant located at 1,080 m a.s.l. This facility is situated at a place where the river gradient is drastically reduced. As a result, like in the case of the Belmeken water intake, the water catchment acted as an important depocenter during the flash flood. Another common feature is the enhanced erosion in those parts of the river channels that are situated just below the water intake constructions. This erosion is related to the most destructive effects of the flood. The lowermost part of the Cherna Mesta valley, where it crosses the urban area of the village, is channelised by the construction of concrete leeves. These bank protection measures restrict the area of the floodplain and increase water speed during flooding. As a result, during the mid-2019 event, part of the main road Razlog-Velingrad collapsed due to the increased bank erosion.

Key words: the Cherna Mesta river, flash floods, anthropogenic impact, erosion

ОЦЕНКА НА АНТРОПОГЕННОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ ВОДОСБОРА НА РЕКА ЧЕРНА МЕСТА ПО ВРЕМЕ НА РЕЧНОТО ПРИИЖДАНЕ ОТ СРЕДАТА НА 2019 г.

Янко Герджиков, Зорница Доцева, Диан Вангелов

Софийски университет „Св. Климент Охридски“, 1504 София

РЕЗЮМЕ. Долните части на водосбора на река Черна Места често са засегнати от внезапни наводнения. Докато антропогенните структури имат незначителен размер в сравнение с дължината на реката, те значително влияят върху поведението на реката по време на наводнения. Въз основа на полеви данни и анализ на сателитни и въздушни изображения, ние анализирахме как структури като водохващания и речни корекции са повлияли на процеси като ерозия и седиментация, на примера на наводнението от средата на 2019 г. На 1900 м надморска височина е разположена най-високата изкуствена конструкция - водохващането за яз. Белмекен. Тази структура не само ограничава силата на водният поток, но действа и като място за отлагане на кластичен материал. Друга водовземна структура се намира точно под сливането на трите основни притока (реките Софан дере, Даутица и Леевщица), която захранва с вода централата, разположена на 1 080 m н.в. Това съоръжение е разположено на място, в което речният градиент драстично намалява. В резултат на това, подобно на случая с водохващането за яз. Белмекен, водосборът е действал като важен депоцентър по време на внезапното наводнение. Друга обща характеристика е засилената ерозия в частите на речните канали, които се намират непосредствено под водовземните конструкции. С тази ерозия са свързани и най-разрушителните последици от наводнението. Най-долната част на долината на река Черна Места, където тя пресича урбанизираната зона на селото, е канализирана чрез изграждане на бетонови ограничителни диги. Тези брегозащитни мерки ограничават площта на заливната низина и увеличават скоростта на водата по време на наводнения. В резултат на събитието от средата на 2019 г. част от главния път Разлог-Велинград се срутва поради засилената ерозия на брега.

Ключови думи: Река Черна Места, внезапни наводнения, антропогенно въздействие, ерозия

Introduction

River floods and related damages are among the most destructive natural hazards. In the mountain environments, such events are important geological and geomorphological processes that transfer sediments from headwaters to valley floors. It is well-documented that natural processes, as well as anthropogenic impact (construction of flood-protection facilities, water intake facilities, etc.), can disturb sediment delivery to the downstream channel network (Ondráčková and Máčka 2019, Lucas-Borja et al. 2021). Traditional flood-mitigation measures aim to reduce river slope and decrease the amount of sediments transported as bed load (Eisbacher and Clague, 1984). Water intake structures have similar effects, and as a prime consequence reduced sediment supply from headwater areas results in changes in river behaviour: Areas of the most intensive river erosion (channel scouring) and aggradation (bed load sedimentation) are shifting their position. These processes often lead to channel avulsions, can pose an erosional risk to the road infrastructure, and can degrade arable land.

The Cherna Mesta watershed is well-known for the flash flood-related damages and most of them are related to the capacity of the river to transport a large amount of bed load at the time of increased water levels. Due to the relatively easy field access and well-defined satellite imagery (available via Google Earth Pro software) of depositional areas, this watershed provides the possibility to study the geological and geomorphological changes related to the recent flash flood events. The most recent such event occurred in mid-2019 and caused severe damage to forestry road infrastructure, degraded arable land, and compromised the function of several water intake systems, including the water supply system of the village of Cherna Mesta.

The objective of this study is to determine how human activities influenced the behaviour of the Cherna Mesta river at the time of the 2019 flood event. We have managed to identify the erosional-depositional effects related to the construction of water intake facilities, as well as recently-built artificial banks in the area of the village of Cherna Mesta. Other, probably important, anthropogenic impacts, such as narrowing the valley floor and the construction of a dense network of forestry roads, are not subjects of this study. The presented data and analyses are based on post-event fieldwork (August 2019 - October 2021), processing of satellite and aerial imagery, digital elevation models and change detection (comparison of imagery taken before and after the event) based on Google Earth imagery.

Geological and geomorphological setting. Mid-2019 event.

The Cherna Mesta watershed is situated on the south-eastern slopes of the Rila Mountain. The river is formed by the confluence of three tributaries – the Sofan Dere, the Leevshtitsa, and the Dautitsa rivers. All of them have their headwaters located in wide, formerly glaciated valleys (Fig. 1). The hydrological regime is typical of high water flow during spring snowmelt. During the period May-September, floods, including flash floods, are rather common because of convective storms.

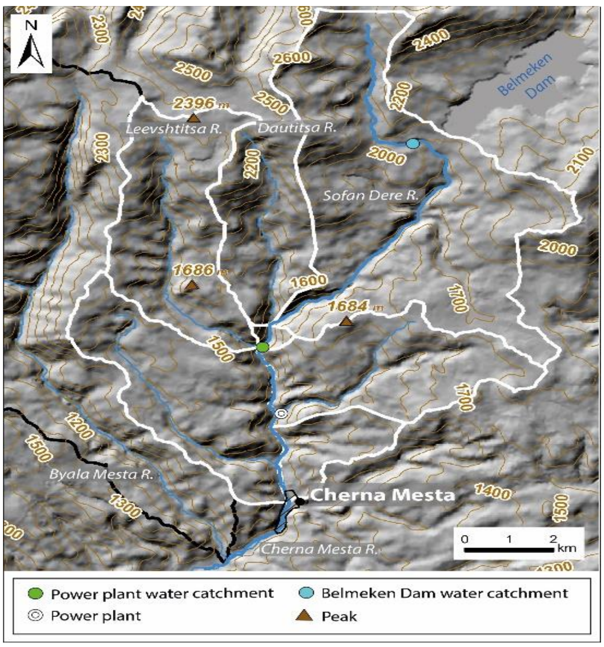


Fig. 1. Location map of the Cherna Mesta watershed and studied facilities.

The geological substrate is rather homogeneous, represented by the granitoids of the Rila - West Rhodope batholith (Dimitrova and Katzkov, 1990; Sarov et al., 2008; 2011). Various Quaternary deposits are also common, ~~as~~ and alluvial and colluvial sediments are the most important for the lower part of the catchment. The Leevshtitsa and the Dautitsa rivers have smaller catchments and there are no data for flood-related damages, except for the lower course of the Dautitsa river.

The description of the geomorphology is restricted to the Sofan Dere – the Cherna Mesta river system because they are the parts of the watershed that are affected by damages during flash floods. A more detailed description is provided by Gerdjikov et al. (submited to CR Acad. Sci. Bulg.). The valley morphology varies significantly and based on the number of active/inactive channels and valley cross-section geometry, several segments can be distinguished. Above 1,900 m a.s.l., the valley is open, most often weakly incised in glacial and post-glacial Quaternary cover. Between 1,900 and 1,610 m a.s.l., the valley is narrow and deeply incised, most often in bedrock. The uppermost larger alluvial accumulations are located in this segment. Between 1,450 and 1,610 m a.s.l., the river gradient is lower, the valley floor is wider and is occupied by more than one active/inactive channel. Below 1,450 m a.s.l., the Sofan Dere river forms a deep canyon where erosional and transportation processes dominate. Further downstream, below 1,280 m a.s.l., the valley has all features of a braided river, e.g. consists of a network of individual channels separated by small, often temporary, islands. The lowermost segment of the valley is dominated by an alluvial plain which is dozens of meters wide (up to 150 m). It is situated below 1,100 m a.s.l. and is characterised again by a braided pattern of active and inactive channels. The main approach to the river catchment is on a dirt road, which runs along the river between the village and the confluence of the three main tributaries. In the text below, we refer to it as the main access road. This road is of key importance for the sustainable human activity in the catchment and a part of it is strongly affected by the river floods.

Local people remember well the flash floods from 2005, 2010, and the last large one from 2019. On the night of the 22nd July 2019, heavy rain-induced severe flood affected mainly the catchments of the Sofan Dere and the Cherna Mesta (s.s.) rivers. Highly elevated water flow, coupled with bed load transport of a huge amount of clasts and sand, caused damage and subsequent closure of the road Razlog-Velingrad. The water supply system for the village of Cherna Mesta was strongly damaged, along with approximately 2.5 km of the unpaved road above the Cherna Mesta powerplant. It is important to note that the mid-2019 flood was not a clearwater flood event. Numerous field data indicate that the flood was related to intense bed load transport. Our post-flood fieldwork has provided arguments to describe the event as dominated by debris flood and hyper-concentrated flow (Brenna et al., 2020, Church and Jakob, 2020). The flood event of 22/23 July generated a plethora of erosional and depositional features, including channel widening and scouring and aggradation-related features, such as the formation of new depositional units, deposition on the floodplain, etc.

Results

Two types of anthropogenic structures affect the river-related processes in the Cherna Mesta watershed: water intake facilities and artificial banks.

The impact of water intake facilities

In both described cases, the water intake is represented by a dam (weir), constructed orthogonal to the main river channel. Upstream, above the weirs, there are artificially made flat surfaces (stonemasonry or concrete) that cover the whole channel. These places act as sediment traps.

The Belmeken dam water intake facility

The weir of this facility is located at 1,920 m a.s.l. (Fig. 1). The site was visited two months after the flood event of 22/23 July. There were clear signs that the space behind (upstream) from the weir has been recently filled with sediments. About 10 meters above the site, the river channel is filled with freshly-deposited clasts, and some of them are forming lateral levees (Fig. 2A). Considering the field criteria of (Brenna et al., 2020) and the low gradient of the river upstream of the weir, we interpret these sediments as a product of debris flood. Also, features such as sandy deposits at the level and above the crest of the weir, and yellow-rusty stains on the weir wall (Fig. 2B) testify to the long presence of wet debris and fresh cuts on the stonemasonry indicating a rather recent activity of the excavator. About 100 m below the facility, there is a bridge and below it, the river channel is starting to incise not only in Quaternary cover but also in the bedrock. Field data, such as fresh soil erosion and freshly polished bedrock, testify to the strong impact of the mid-2019 event in this part of the Cherna Mesta watershed.

Fig. 2. (A) Deposition related to mid-2019 flood event just above the water intake for the Belmeken dam. Photo taken in September 2019. (B) The water intake weir for the Belmeken dam. Stains related to the accumulation of wet sediments are marked with red arrows. (C) The main river channel side erosion. The main access road for the Cherna Mesta catchment, above the power plant. (D) Partial collapse of road II-84 (Velingrad – Razlog). Photos (C) and (D) were taken on 23 July 2019 and were provided by the Yakoruda manicipality.

The Cherna Mesta power plant water intake facility

This facility is located at 1,180 m a.s.l. and is situated at the confluence of the rivers that form the Cherna Mesta river. During the 22/23 July flash flood, the function of the structure was severely disturbed. The area behind the weir acted as a depocenter and the water intake system was completely clogged. According to the report from the guard of the power plant, it took one week of work of an excavator to clean the facility from the boulders, cobbles, and sand, deposited during the flash flood. This implies that at the time of the flood, the river deposited dozens of cubic metres of sediments.

The section between the water intake and the power plant is characterised by various processes and morphological forms related to the flood of 2019. Both erosion and sedimentation processes have been active, which has led to significant modifications of the geometry and morphology of the braided channel system that occupies the valley bottom. Undoubtedly, the segment of the river between the water intake facility and the power plant is the most strongly affected by the damages. Here, the main destructive agent was lateral stream erosion (Fig. 2C). According to the Yakoruda Forest Service, the main access road was destroyed at a distance of 2.5 km. Lateral river erosion has thus mobilised hundreds of cubic metres of clastic material subsequently deposited down the river valley.

Artificial banks at the village of Cherna Mesta

For the aims of flood prevention, the parts of the village situated to the east of the river are protected by artificial banks/ levees (Fig. 3). The 22/23 July flash flood nearly overtopped these banks: flood-related stains on the recently-built concrete walls were found to be just 20-30 cm below the upper wall surface. The lower part of the village is not protected, and houses situated next to the river were flooded. In this sector of the river, there is evidence both of erosion and deposition. Erosional processes are strictly localised in the area below the end of the artificial banks (Fig. 3). The II-84 national road (Velingrad - Razlog) was closed due to the collapse of one of the lines (Fig. 2D).

Fig. 3. Aerial imagery of the village of Cherna Mesta showing the position of the artificial banks (their beginning is marked with /1/; their end - with /2/); some areas affected by the mid-2019 flood event are also marked: (3) – location of photo 2D; (4) – location of the imagery on Fig. 4. Image from Agricultural State Fund.

Enhanced river erosion also causes partial removal of older alluvium further downstream. Two factors triggered this enhanced erosion capability of the river: the increased water speed due to the narrowing of the channel during the artificial banks construction, and the significant amount of bed load. Despite the low gradient of the river in the area of the village, the flash flood was able to carry a significant amount of sand and clasts. The deposits within the channelised part of the river are informative for the river capacity to carry bed load. Because during the recent construction of the artificial banks (2013-2017) all sediments on the riverbed were cleaned, it is easy to estimate of the volume and size of the clasts transported/deposited during the 22/23 July event. Field inspection conducted two weeks after the flood documented the presence of fresh deposits that were several dozens of meters long and up to 20 m wide, represented by coarse clasts reaching 0.5 m in diameter and abundant in sand sheets.

Conclusions

For centuries people have attempted to control river floods in mountainous catchments by constructing different facilities. The century-long experience in the case of the Alps (Eisbacher and Clague, 1984) is particularly impressive. Unlike the highly populated Alps, the studied watershed of the Cherna Mesta river is almost uninhabited and the aerial extent of the anthropogenic influence is rather limited.

Fig. 4. The newly-formed depocenter immediately before the channelised part of the river in the area just north of the village of Cherna Mesta. Satellite imagery from Google Earth Pro: A – before the event (from 2016), B – after the event (2020).

The results presented here indicate that both water intake facilities and artificial riverbanks influenced the river behaviour at the time of the mid-2019 flash flood. These anthropogenic structures affected the coarse sediment connectivity in the river system, created new sediment accumulation, and led to enhanced erosion. New depocenters formed and obstructed the work of the water intake structures. Also, new sediment accumulation formed immediately above the newly-constructed artificial banks protecting the northernmost part of the village. The position of this depocenter is not occasional - the case of the Glazne river alluvial fan is similar (Gerdjikov et al., 2021). Water intake structures play a role similar to the check dams and thus they are supposed to stabilise the river channel system (Lucas-Borja et al., 2021). In the studied case, an important effect of both such facilities is the increased erosion in the river reaches located downstream. In the case of the Cherna Mesta power plant, the effect of this erosion was particularly damaging for the main access road, other infrastructure, and arable land. Such intensive localised scouring of the river channels is known as the “hungry water effect” (Kondolf, 1997; Ondráčková and Máčka, 2019; Lucas-Borja et al., 2021). All these data are a reminder to forecast all possible consequences well in advance when planning any structure that will alter the normal river behaviour. As (Davies and McSaveney, 2006) stated, these structures “must be designed to maintain the pre-modification sediment transport capability of the river”. These days, there is a communal consensus that the management of mountain rivers has to pay special attention to upstream/downstream connections, thus allowing sediment connectivity (Wohl, 2006; Lucas-Borja et al., 2021).

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 Resolution of the Council of Ministers № 577/17.08.2018 and supported by the Ministry of Education and Science of Bulgaria (Agreement № D01-279/03.12.2021). The authors would like to thank Dzemal Sharanski for sharing his knowledge and his support during field trips.

References

Brenna, A., N. Surian N, M. Ghinassi, L. Marchi. 2020. Sediment–water flows in mountain streams: Recognition and classification based on field evidence. - *Geomorphology,* 107413.

Church, M., M. Jakob. 2020. What Is a Debris Flood? - *Water Resources Research, 56*.

Davies, T. R., M. McSaveney. 2006. Geomorphic constraints on the management of bedload-dominated rivers. - *Journal of Hydrology (New Zealand), 45*, 111–130.

Dimitrova, R., N. Katzkov. 1990. Geological map of Bulgaria in scale 1:100 000, Map sheet Velingrad. Sofia.

Eisbacher, G. H., J. J. Clague. 1984. Destructive mass movements in high mountains: hazard and management. Geological Survey of Canada.

Gerdjikov, I., Z. Dotseva, A. Gikov, D. Vangelov, G. Yanchovichin. 2021. Alluvial fan of Glazne river, Bansko town, SW Bulgaria. - *Review Bulg Geol Soc*., 82, 1, 47–61 (in Bulgarian with English abstract)

Kondolf, G. M. 1997. PROFILE: Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. - *Environmental Management, 21*, 533–551.

Lucas-Borja, M. E., G. Piton, Y. Yu, C. Castillo, D. Antonio Zema. 2021. Check dams worldwide: Objectives, functions, effectiveness and undesired effects. - *CATENA, 204*, 105390.

Ondráčková, L., Z. Máčka. 2019. Geomorphic (dis)connectivity in a middle mountain context: Human interventions in the landscape modify catchment-scale sediment cascades. – *Area*, *51*, 113-125.

Sarov S., E. Voynova, I. Georgieva, D. Nikolov, K. Naydenov, N. Petrov. 2008. Explanatory Note to the Geological Map of the Republic of Bulgaria, Scale 1:50 000. Map Sheet K-34-72-G (Velingrad). Sofia, Ministry of Environment and Water, Bulg. Nat. Geol. Survey (in Bulgarian)

Sarov S., S. Moskovski, T. Zhelezarski, E. Voinova, D.Nikolov, I. Georgieva. 2011. Explanatory Note to the Geological Map of the Republic of Bulgaria, Scale 1:50 000. Map Sheet K-34-72-V (Yakoruda). Sofia, Ministry of Environment and Water, Bulg. Nat. Geol. Survey (in Bulgarian)

Wohl, E. 2006. Human impacts to mountain streams. - *Geomorphology, 79*, 217–248.

SEISMIC EXPLORATIONS IN THE AREA OF THE STRUMICA FIELD, THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

Blagica Doneva, Marjan Delipetrev, Gorgi Dimov

University of Goce Delchev, Faculty of natural and technical sciences, 2000 Shtip, Macedonia, blagica.doneva@ugd.edu.mk

ABSTRACT. The main goal of these researches is, based on the previous and newly performed geophysical measurements, more precise definition of the potential micro-localities for construction of future geothermal boreholes or artesian boreholes for water supply of the population and irrigation of the Strumica Field. Or, based on the analysis and possibilities of individual geophysical methods, to provide guidelines for the application of the most appropriate methods in future research.
These surveys are performed as basic surface and in-depth surveys on one or two profiles with a total length of 1 km. Refractive surveys are performed in order to obtain data for the subsurface layers to a depth of 30 - 50 m, as necessary for performing the interpretation of in-depth reflective surveys and for defining the structural and physical-mechanical condition of the subsurface layers. Reflective surveys are performed as basic for defining the deeper structural-geological structure of the terrain with full coverage of tertiary sediments and the surface part of the basic rocks, granites or other rocks. The research was performed with continuous measurements of two profiles located in the areas of the villages Petralinci and Borievo.

Key words: Strumica, seismic, reflection, refraction.

СЕИЗМИЧНИ ПРОУЧВАНИЯ В РАЙОНА НА СТРУМИШКОТО ПОЛЕ, РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЯ

Благица Донева, Марян Делипетрев, Горги Димов
Университет „Гоце Делчев”, Факултет по природни и технически науки, 2000 Щип, Македония

РЕЗЮМЕ. Основната цел на настоящото изследване е въз основа на предишни и настоящи геофизични измервания да се направи по-точно определяне на потенциалните микроместоположения за изграждане на бъдещи геотермални сондажи или артезиански сондажи за водоснабдяване на населението и за напояване на Струмишкото поле; или въз основа на анализа и възможностите на отделните геофизични методи да се дадат насоки за прилагане на най-подходящите методи при бъдещи изследвания. Тези проучвания се извършват като основни повърхностни и дълбочинни заснемания на един или два профила с обща дължина от 1 km. Рефракционните проучвания се извършват с цел получаване на данни за подповърхностните слоеве до дълбочина 30 - 50 m, които са необходими за интерпретация на дълбочинни отразяващи снимки и за определяне на структурното и физико-механичното състояние на подповърхностните слоеве. Отразяващите проучвания се извършват като основни при определяне на по-дълбокия структурен и геоложки строеж на терена с пълно покритие на терциерните седименти и повърхностната част на основните скали, гранитите или други скали. Изследването е извършено с непрекъснати измервания на два профила, разположени в районите на селата Петралинци и Бориево.

Ключови думи: Струмица, сеизмичен, отражение, рефракция.

Introduction

Reflections and refractions of seismic waves at geologic interfaces within the Earth were first observed on recordings of earthquake-generated seismic waves. The basic model of the Earth's deep interior is based on observations of earthquake-generated seismic waves transmitted through the Earth's interior (e.g. Mohorovičić, 1910).

The refractive seismic method studies the propagation of elastic waves that are refracted at boundary surfaces. The refractive method is performed by placing geophones from the source of the elastic waves along the measuring profile line at a certain distance. Geophones are connected by cables to the seismic apparatus. At the moment when the seismic waves hit a boundary area that separates two different elastic media, they are refracted and, as such, the feedback signals are registered. The geophones placed on the surface of the ground convert the mechanical oscillations into electrical pulses that are transmitted to the seismic apparatus. The seismograms record the time of arrival of the elastic wave as well as the moment of excitation of the ground. Based on the seismograms, diagrams are constructed that determine the dependence between the distance of the geophone from the point of excitation as well as the time of arrival of the seismic oscillations to each geophone placed. Such diagrams are also called hodochrones.

The refractive seismic method successfully determines horizontal, vertical, and steep boundary surfaces, provided that in each deeper layer the propagation velocity of the elastic waves is higher than the velocity in the previous one. However, when this condition is not met or in cases where the differences in the elastic properties of the media are not sufficiently pronounced and when the boundary surfaces are located at great depths, the application of the refractive method is ineffective. Due to the fact that the length of the refractive seismic profiles should be 3 to 5 times longer than the depth at which the boundary surface is located, seismic examinations are significantly more difficult for several reasons:

- When the length of the test profile is large, more explosives must be used to excite the ground;
- When using more explosives, the hole in which an explosive is placed should have a greater depth, which significantly complicates the operation procedure;
- Using more explosives significantly increases the possibility of damage to the surrounding buildings.

For these reasons, since 1929, the reflective method has been used instead of the refractive one in certain seismic examinations.

Seismic reflection provides information about the subsurface stratigraphy and allows geoscientists to makes inferences regarding the geologic structure. Seismic reflection works off of the basic principle of impedance contrasts between two different geologic units, where either the density, velocity, or both, is different between the two structures. This lesson introduces the concepts of frequency, period, and wavelength, and their relationships to velocity and density structure.

Seismic Explorations

The investigated terrain is located in the southeastern part of the Republic of North Macedonia, in the area of the Strumica field. In tectonic sense, the research site belongs to the Serbian - Macedonian massif and is located near the western border with the Vardar zone.

Investigations were aimed to determine the existence, quantity, and quality of underground water.

The geological structure of the research area is represented by rocks from the Precambrian, the Paleozoic, the Mesozoic, and the Quaternary. The Precambrian rocks are presented with biotite gneisses, the Paleozoic rocks are represented by two-mica granite-gneiss, the Mesozoic is represented by rhyolites and porphyries, and the Quaternary is represented by diluvial and proluvial deposits, organic-marsh sediments, and upper terrace sediments (Fig. 1).

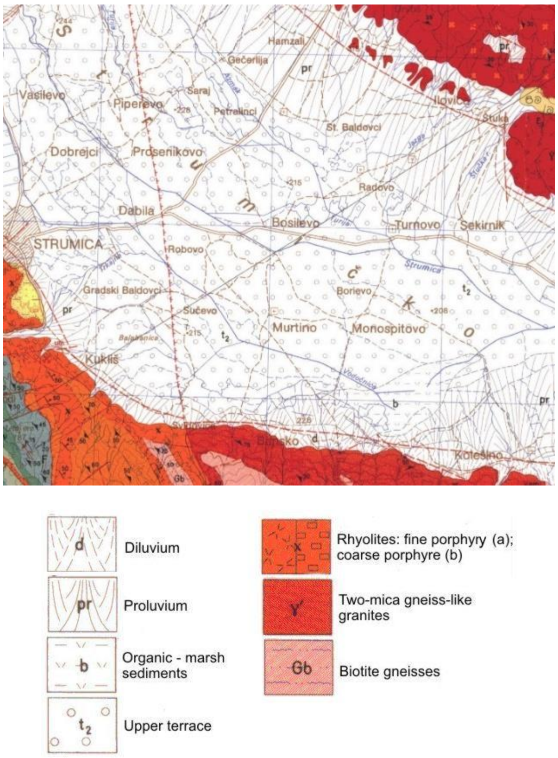


Fig. 1. Geological map of the investigated terrain

According the hydrogeological characteristics of the Strumica field, the following types of well are present (Fig. 2):

- Boundary spring,
- Fissure type of well,
- Karst water body,
- Waterless areas.

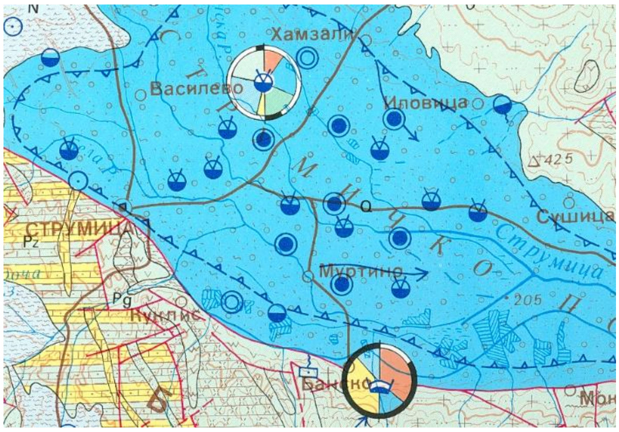


Fig. 2. Hydrogeological map of the investigated terrain

According the hydrodynamic features of the water level in the well, the following are issued:

- with free water level;
- with pressure level.

Boundary springs are most prevalent in alluvial, proluvial, Quaternary, and Pliocene sediments, and in granite gravel. The alluviums of the Strumica, the Turija, the Trkanja, the Shtuka, and the Javga rivers are rich in water with a filtration coefficient of $k \approx 1 \cdot 10^{-2}$ cm/s and thickness of up to 5 m.

The fissure type of well has a large distribution along the edge of the Strumica valley, but without much economic importance for water supply. It is formed in the crack porosity of the base rocks, and its movement and accumulation depends on the connection of the cracks.

Karst water bodies are present in the carbonate terrains.

Waterless areas are found in terrains built of granite and gneiss-like granite, the cracks of which are filled with clay or other cement binder.

Refractive surveys were performed in order to obtain data on the subsurface layers to a depth of 30 - 50 m, as necessary for performing the interpretation of in-depth reflective surveys and to define the structural and physico-mechanical condition of the subsurface layers.

Reflective surveys were performed as basic for defining the deeper structural and geological structure of the terrain with full coverage of Tertiary sediments and the surface part of the basic rocks, granites, or other rocks.

The research was performed with continuous measurements of two profiles located in the areas of the villages of Petralinci and Borievo. They were made with the "TERALOG" MK - III computerised refractive-reflective system produced by ABEM-ATLAS Copco from Sweden.

Refractive measurements were performed on individual profiles with a length of 120 m. The seismic waves were excited by hammer blows against a metal plate, and received by vertical geophones of 28 Hz. From the first encounters of P and S waves, their hodochrones were constructed and the apparent values of V_p and V_s velocities were calculated. Then, with the analytical processing of the hodochrons (Ti-method), a physicogeometric and geological interpretation of the subsurface structure of the terrain was performed according to the research profiles and the true values of the seismic velocities V_p and V_s were determined. Using the knowledge of the engineering and geological structure, the interpretation is transformed into physico-geological with lithological separation of the environments according to the values of the seismic V_p and V_s velocities (Fig. 3).

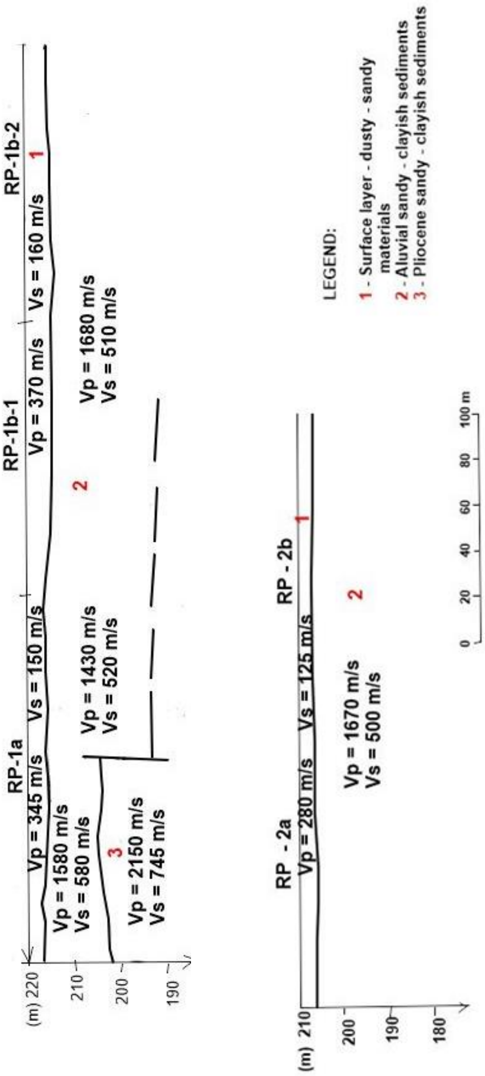


Fig. 3. Interpretation of refractive profiles in the region of the village of Petralinci RP-1 and the village of Borievo (RP - 2)

Reflective seismic surveys are performed with two procedures:

- Using individual profiles, identical to the refractive ones, with excitation of seismic waves with shocks against a metal plate;
- Using deep seismic profiling of reflective research, by excitation of seismic waves with the explosive (Q = 250 - 400 g) put in boreholes drilled for this purpose at a depth of 1.5 m.

In both procedures, seismic waves are received with 28 Hz vertical geophones.

The first procedure covers a depth of 400 - 500 m, and the interpretation of the subsurface structures is performed using the technique of shallow reflection, based on the hondrochron of the reflected waves and the mean values of the seismic velocities V_p and V_s from the surface to the depth of individual reflective lithogeological boundaries.

The following equations are used to calculate the individual parameters for:

- the mean V_p or V_s velocities (V_{sr})

$$V_{sr} = \left[\frac{x^2 - x_0^2}{t_{x(i)}^2 - t_{0(i)}^2}\right]^{0.5}$$

- the values of the interval V_p and V_s velocities (V_i) -

$$V_{i(1)} = V_1 = \frac{2h_1}{t_{0(1)}}$$

$$V_{i(2)} = \frac{\left[V_{sr(2)}\, h_2 - V_1 Z_1\right]}{Z_2}$$

$$V_{i(n)} = \frac{\left[V_{sr(n)}\, h_{i(n)} - \sum_{i=1}^{n-1} V_i Z_i\right]}{Z_i}$$

- values of depths (h) and thickness of interval layers (Z) -

$$h_1 = Z_1 = \frac{t_{0(1)}\, V_1}{2}$$

$$h_2 = \frac{t_{0(2)}\, V_{i(2)}}{2} + h_1 - V_2\left(\frac{Z_1}{V_1}\right)$$

$$h_n = \frac{t_{0(n)}\, V_{i(n)}}{2} + h_{n-1} - V_{i(n)} \sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{Z_i}{V_i}\right)$$

$$Z_1 = h_1$$

$$Z_2 = h_2 - h_1$$

$$Z_n = h_n - \sum_{i=1}^{n-1} Z_i$$

where:

t_0 is the time of arrival of the reflective waves near the point of excitation of the waves, at x = 0;

x is the distance between the point of excitation and the geophones;

i = 1, 2, 3, ... n is the number of elastic (layer) boundaries.

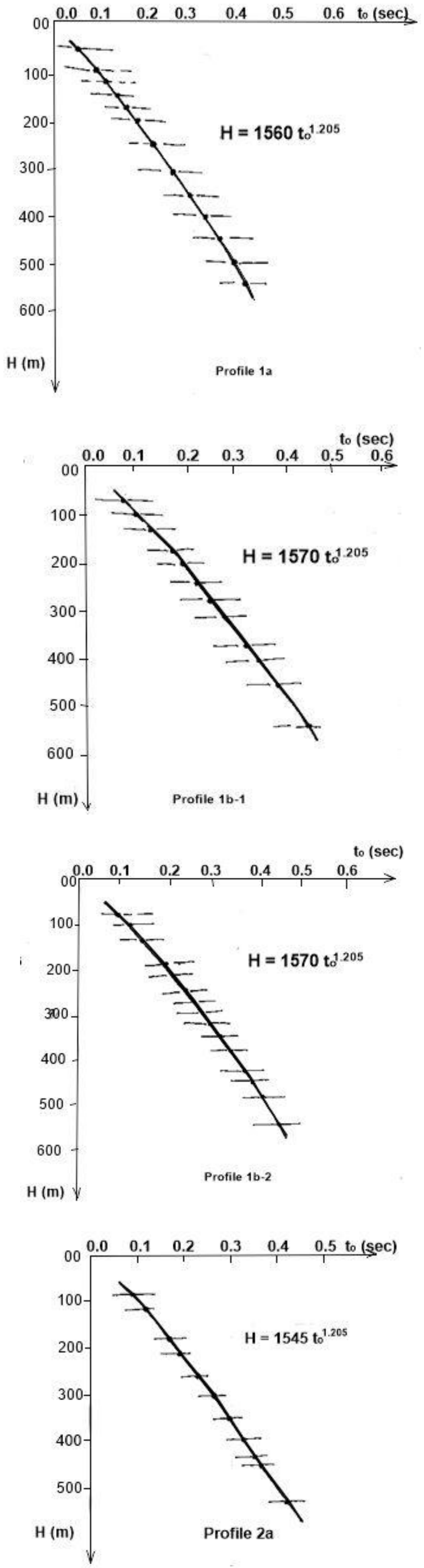
The arrival time of the reflective signals $t_{x(i)}$ along the profile x was controlled by the following equation for the case of environments with horizontal boundaries:

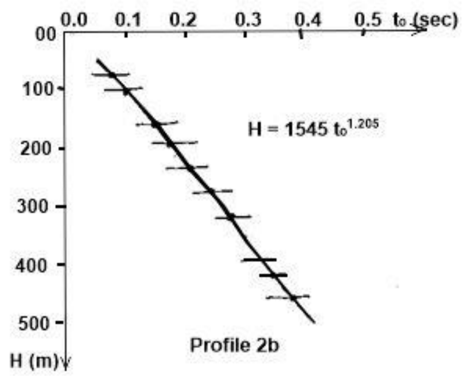
$$t_{x(i)} = \left[\frac{4h_i^2 + x^2}{V_{sr}^2}\right]^{0.5}$$

The control of the interval V_p or V_s velocities (V_i) is carried out with the following equation:

$$V_i^2 = \frac{V_{sr(i)}^2\, t_i - V_{sr(i-1)}^2\, t_{i-1}}{Z_i - Z_{i-1}}$$

The subsurface elastic boundaries and environments interpreted in this way are given in Fig. 4.





LEGEND

Interpreted elastic border / upper border of sandy-gravel layers

H Depth (m)

t_0 Zero time of reflection

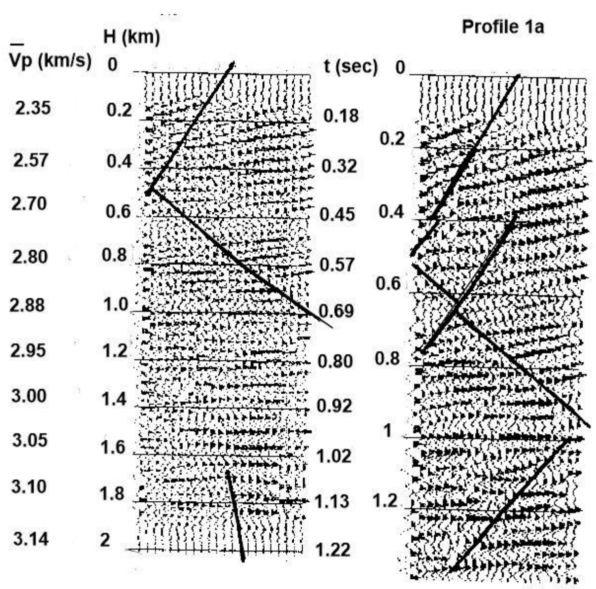
Fig. 4. Interpretation of shallow refrlective explorations in the area of the villages of Petralinci (Profile 1a, 1b-1, 1b-2) and Borievo (Profile 2a, 2b)

The second procedure is performed with the common point method, i.e. the CDP technique (or: common depth point technique). The procedure of continuous seismic profiling was performed by moving the points of the springs (explosions) and the profile layout of the geophones (12 x 10 m) by 30 m, which achieved fourfold coverage of the reflections.

These reflective surveys were performed as experimental, in order to determine the possibilities of the reflective method in the study of the Strumica Valley, in terms of determining the depth of the Tertiary basin, the statification, and composition of the basin and the present tectonic structures.

According to previous knowledge about the possible depth of the basin (1200 - 1250 m), and in order to perform more accurate measurements, they were performed with a time interval of registration of reflections of 1000 and 2000 milliseconds. By registering the reflections of 2000 milliseconds, only the first part of the RRP-1 profile was covered in the area of the village of Petralinci.

The data obtained from the temporal and deep sections of the reflections are shown in fig. 5.



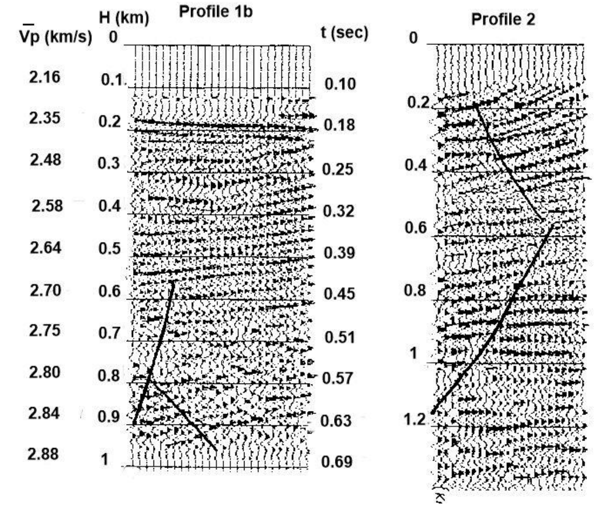


Fig. 5. In-depth view of reflected horizons

Analysis of the seismic velocities and interpretation of the results

The interpretation of the data from the refractive and reflective research is shown in figures 3, 4 and 5.

Figure 3 shows the interpretation of refractive surveys. These surveys cover the surface Quaternary layers and they are defined by the values of seismic V_p and V_s velocities and their thickness. There are two main Quaternary areas:

- Surface loose layer of dusty-sandy materials with a thickness of 2.5 - 5 m. and seismic velocities V_p = 270 - 370 m/sec and V_s = 125 - 165 m/sec;
- Medium of sand and clay with a thickness of 10 - 30 m and seismic velocities V_p = 1430 - 1680 m/sec and V_s = 480 - 580 m/sec.

On the RRP-1 profile with this research, the surface part of the Pliocene sandy-clayey sediments is affected, at a depth greater than 15 and 28 m, with seismic velocity Vp = 2150 m/sec and Vs = 745 m/sec. This profile also registers environments with lower seismic velocities in the Quaternary layers, which indicate either a fault zone or the appearance of inclined layers with a steep slope.

On the RRP-2 profile, due to the short length of the profiles, the Pliocene layers are not affected, but according to the other investigations, they are expected at a depth of about 30 m.

Figure 4 shows the interpretation of shallow-reflective research, performed in parallel with the refractory ones. These studies have interpreted the depths of the recorded reflections, but as informative values. Due to the positive reflection coefficients that are conditioned by the presence of groundwater, the designated depths should correspond to the boundaries between clayey and water-saturated sand-gravel layers. The maximum depths determined by these surveys are about 500 m. Based on this research, the following mean dependence is determined between the depths H_i (m) and the zero times of the reflections $t_{0(i)}$ (sec) from the individual i-th elastic limits, for:

t_0 - times of distances x = 5 to 50 m,

$$\mathrm{H_i} = 1480\, \mathrm{t}_{0(\mathrm{i})}^{1.125}$$

$$\mathrm{H_i} = 1560\, \mathrm{t}_0^{1.205}$$

According to these correlation dependencies, the following average dependencies for estimating the means (sr) and the interval (i) V_p - velocities are determined:

1. $\mathrm{V_{P(sr)}} \approx 3035\, \mathrm{t}_0^{0.146}$ m/s
2. $\mathrm{V_{P(i)}} \approx 3360\, \mathrm{t}_0^{0.146}$ m/s
3. $\mathrm{V_{P(sr)}} \approx 1215\, \mathrm{H}^{0.125}$ m/s
4. $\mathrm{V_{P(i)}} \approx 1345\, \mathrm{H}^{0.125}$ m/s

The determination of these dependencies is also the basis for estimating other parameters that are related to the values of seismic Vp-velocities, such as the interpretation of reflections from greater depths, the average porosity of the rock areas, and others. (Fig. 5).

With the interpretation of the data from the reflective research with the CDP technique (fig. 6), which is performed based on the reflective sections, and with the reflective signals (in figure 5), the values of the reflection time t (sec), the depth of the reflective limits H (km), and the mean values of $\overline{V_r}$ velocities (km/sec) are defined

According to this interpretation, stratification and parquet tectonics of tertiary geological environments are indicated. From the aspect of geological affiliation, tertiary environments can not be determined with certainty. However, according to the characteristics of the reflections, the following environments can be distinguished:

- Medium of sediments with Pliocene age from a depth of 800 to 1000 m and more, in which more than 20 sand-gravel layers (blackened reflections) are expected between the depths of 150 to 1000 m in this environment;
- Medium of deeper and older Tertiary sediments; older Pliocene or Eocene sediments.

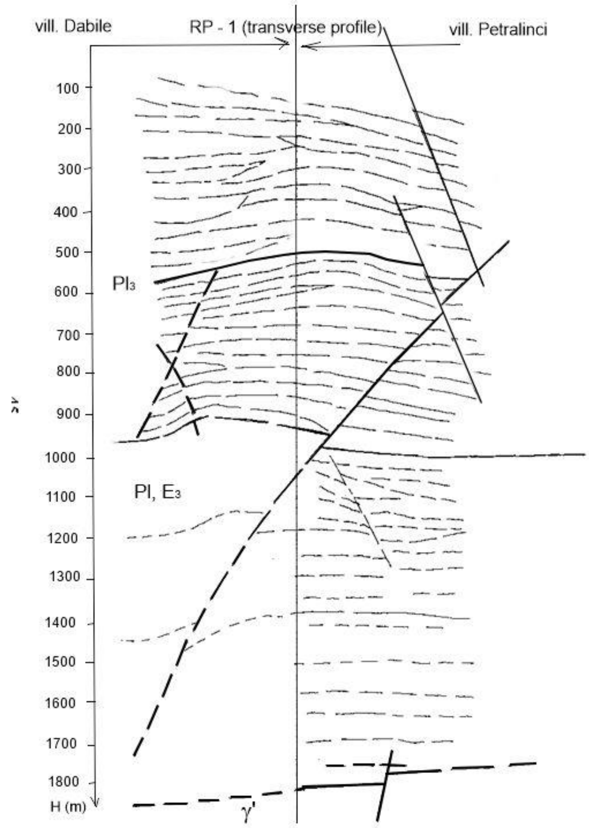


Fig. 6. Interpretation of the data from the reflective research with CDP technique

According to the reflections of profile 1a (RRP-1) on which the reflections up to 2000 milliseconds are registered, the lower limit of these sediments can be at a depth of 1800 m. This is an unexpected fact because the previous geophysical surveys in this area have obtained maximum depths of tertiary sediments around 800 m.

If the thickness of the Tertiary sediments in this part of the terrain is 1800 m, then the regional fault predicted by regional gravimetric surveys should cross near the village of Petralinci.

The interpretation of the reflective research emphasises the way of locating the faults and of defining their mechanism. This finding is of particular importance for directing and planning future geophysical surveys.

Conclusion

For the needs of this investigation, the seismic reflective surveys were performed as experimental, in order to determine their possibilities in detecting the bearers of artesian and thermal waters in the Strumica valley. It was proved that they are necessary accompanying methods, regional or detailed. They are regional due to the discovery and tracking of individual geological structures at greater depths, and detailed - due to the more precise location and design of exploration or exploitation boreholes.

Seismic reflective surveys provide the same data, but with greater reliability in tracking and spatially locating geological strata and fault structures. From this point of view, compared to other geophysical methods, this seismic method is irreplaceable and, as such, necessary for the correct location of exploration or exploitation boreholes.

Experimental seismic reflective surveys are designed and performed according to the known thickness of the Tertiary depression (1200 m), except for the first part of the profile of the village of Petralinci, where they are performed by capturing greater depths. Thereby, in this part of the terrain, a possible depth of a Tertiary depression of about 1800 meters is interpreted.

By continuing the reflective research towards the village of Petralinci, will find out if it is a deep fault established by regional gravimetric surveys (based on gravimetric anomalies associated with tertiary volcanic eruptions), or if it is the occurrence of hydrothermal altered zones in the granites, volcanic outcrops. In the case of a fault structure, it can jump up to 1000 meters, because in the immediate vicinity of the village of Saraj, granites are drilled at a depth of 713 m.

References

Delipetrov, T. 2003. *Basiscs of geophysiscs*. Faculty of mining and geology, Shtip, 311 p.

Doneva, B. 2014. *Defining the correlation dependence between the seismic and the magnetic field - a model for the Republic of Macedonia*, Doctoral thesis. Faculty of natural and technical sciences, Shtip, 211 p.

Dragashevic, T. 1983. *Seismic explorations*. Institute of geophysics. Belgrade, Serbia, 349 p.

Jakosky, J. J. 1963. *Exploration geophysiscs* (translated book). Scientific book, Belgrade, 1017 p.

IZIIS (Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology). 1994. Strumica Neogene basin, Exploration of underground water - Geological, structural-tectonic, hydrogeological, and geophysical explorations. Annual report, 80 p.

Mohorovicic, A. 1910. Epicenters of earthquakes in Croatia and Slavonia. *Yearly Report of the Zagreb Meteorological Observatory for the Year 1909*.

Slimak, S. 1996. *Engineering Geophysics*. Faculty of mining and geology, Belgrade, 398 p.

THERMODYNAMIC FEATURES OF SOME TYPES OF ROCK

R. Pazderov[1], P. Savov[1], P. Petrov[2]

[1]University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: rpazderovov@mgu.bg, psavov@mgu.bg
[2] Earth and Man National Museum, 1421 Sofia; petkopet@abv.bg

ABSTRACT. Thermal, moisture and sound insulation are among the main properties of building materials. The necessity of environmental protection and the growing energy crisis are raising the issue of energy saving. A large share of energy loss occurs in poorly insulated buildings. The dependence of the thermal conductivity coefficient of some main types of rock depending on their specific weight and structure has been studied. Based on these measurements, the coefficient of thermal conductivity and heat capacity of the samples was calculated. Determining those thermodynamic parameters provides information about the thermal insulation properties of materials.

Key words: thermal conductivity, thermal insulation

ТЕРМОДИНАМИЧНИ ОСОБЕНОСТИ НА НЯКОИ ВИДОВЕ СКАЛИ

Р. Паздеров[1], П. Савов[1], П. Петров[2]
[1]Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София
[2]НМ “Земята и хората”, 1421 София

РЕЗЮМЕ. Едни от основните свойства на строителните материали е тяхната термо-, влаго- и звукоизолация. Стремежът за опазване на околната среда и нарастващата енергийна криза поставят все по-остро въпросът от икономия на енергията. Голям дял от загубата на енергия се получава при недобре изолирани сгради. В представената работа са направени изследвания на зависимостта на коефициента на температуропроводност на някои основни видове скали, в зависимост от тяхното специфично тегло и структура. На базата на тези измервания е пресметнат и коефициента на топлопроводност и топлоемност на образците. Определянето на тази група термодинамични параметри дава информация за термоизолационните свойства на материалите.

Ключови думи: температуропроводност, топлопроводност, термоизолация.

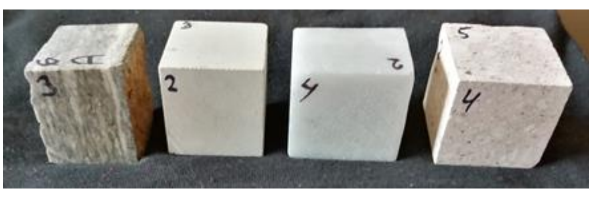
Въведение

В гражданското строителство се използват разнообразни скално-облицовъчни материали като се цели от една страна постигане на декоративно художествен ефект, а от друга – осигуряване на колкото е възможно по-добра изолация на сградата (Фокин, 1973, Frank et al., 2007). Различните естествени скални материали притежават различни термо-, влаго- и звукоизолационни качества (Фоменко, 2011). В повечето изследвания, авторите разглеждат поведението на топлопроводността при различни гранични условия и скални образци. Топлопроводността обаче е типичен параметър при стационарни топлинни процеси. Обикновено в природата и бита процесите са нестационарни и тогава обективен показател за термичните свойства на скалите е температуропроводността (Ржевский, Новик, 1984). В тази работа, е изследвана температуропроводността на няколко скални образци. Направен е анализ как хомогенността, степента на текстуриране и спецификата в свойствата на минералите, изграждащи изследваните образци влияят върху този важен термодинамичен параметър.

Материали и подготовка на пробните тела

За провеждане на изследванията на температуропроводността бяха избрани четири различни скални образци – такива, които често се използват като скално - облицовъчен материал, както за външна, така и за вътрешна облицовка, а някои от тях - и като градежен камък:
- гнайс от района на Ивайловград;
- варовик от находище Требежа;
- мрамор от Копривлен;
- зеолитизиран туф от района на Джебел;

От тези материали бяха изработени пробни тела - кубчета с дължина на ръбовете от по 3 cm (фиг 1.).

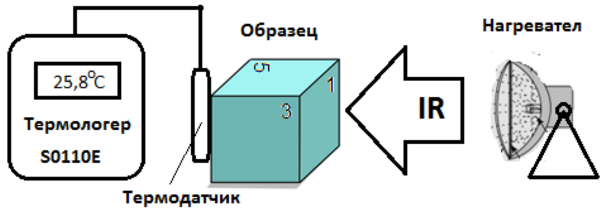


Фиг 1. Анализираните пробни тела; от ляво на дясно: гнайс, варовик, мрамор, зеолитизиран туф.

Размерът от 3 cm на пробните тела е подбран така, че да съответства на най-често ползваната дебелина на плочите за външна облицовка на сградите.

Еднаквите по форма и размери пробни тела – кубчета, осигуряват избягване на влиянието на размера на пробното тяло и съпоставимост на получените резултати. При тази опитна постановка максимално изпъкват породените от петрографските особености на образеца анизотропии на показателите при различните петрографски разновидности.

Проведени са измервания на температуропроводността в три взаимни перпендикулярни посоки – тези на срещуположните стени на кубчетата (фиг. 1 и 2).



Фиг. 2. Схема на експерименталната постановка.

Кратка минералого-петрографска характеристика на подбраните образци

Гнайс от района на Ивайловград:

Макроскопски гнайсите са левкократни, сивкавожълтеникави, дребнозърнести, с неиздържан дребноочно-ивичест строеж. Текстурата им е ивичесто-шистозна, дребноочно-ивичесто-шистозна, а структурата - катакластна, мирмекитова, лепидо-гранобластова, пойкилобластова, дребноочковидна и катакластична. В минералният състав вземат участие: първични минерали: плагиоклаз, калиев фелдшпат, кварц, биотит, мусковит, гранат, апатит, циркон, руден минерал; вторични минерали: железни хидроокиси, хлорит, рутил и серицит-хидрослюда.

Микроскопски гнайсите се определят като тектонизирани, дребноочно-ивичести, двуслюдени, мигматични.

Варовик от находище Требежа, Врачанско: изследваният образец е от района на с. Горна Кремена, Врачанско и типичен представител на т.нар. карирени варовици, ползвани за добив на скално-облицовъчен материал. Варовиците са бели до кремави, порцелановидни, плътни биодетритусни с фин до дребен псамит. Изградени са от микрит (микрозърнест калцит) в количество до 25-30% и прекристализирал микрит от матрикса до бистър микроспорит. Всред микритната маса се наблюдават сравнително равномерно разпределени алохеми в количество до 70-80%, представени от биокласти от цели, запазени фосилни останки и от заоблени организмови фрагменти: фораминифери, изградени от микрозърнест калцит с останки от бодлокожи – криноиди и схиниди, изградени от калцит, прекристализирал до монокристали, заоблени останки от мидени – гастроподни черупки, по-малко остраподни черупки. Теригенните примеси не надвишават 1%. Представени са от кварц под формата на единични монокристални зърна или агрегати от 2-3 зърна. Размерите им са в рамките на фин псамит (0,06-0,1 mm).

Мрамор от Илинден:

Изграден е от калцит, като се срещат единични люспи мусковит и редки дребни зърна от кварц и апатит. Калцитовите зърна са ксенобластни, неправилни и изометрични, по-рядко лещоподобни или ромбоедричноподобни. В тях се наблюдават срастъчни ламели, които са разположени както паралелно, така и косо на посоката на субпаралелните ивици. Малки калцитови зърна по периферията на по-едрите калцитови зърна са с идентична ориентация и вероятно са показател за рекристализация с миграция на зърновите граници тип “left-over grains”, която е характерна за калцита още при ниска степен на метаморфизъм.

Зеолитизиран туф/игнимбрит от района на Джебел:

Розова пирокластична скала със зеленикави и розови стъклени фрагменти, с размери около 1 cm и кристалокласти от кварц, фелдшпати и биотит. Текстурата е масивна, псевдофлуидална, а структурата - кристаловитрокластична, игнимбритова, аксиолитова.

В състава вземат участие стъклени фрагменти (фияме), кристалокласти (кварц, плагиоклаз, санидин, биотит, титанит), литокласти, пепелни стъклени частици. Стъклените фрагменти (фияме) са около 20%. Те са удължени, по-рядко изометрични. Изградени са от девитрифицирано до влакнест и микрозърнест агрегат вулканско стъкло, на места с аксиолитова структура. Част от тях съдържат редки фенокристали от магматично кородиран кварц. Кристалокластите са от кварц, плагиоклаз, санидин, биотит и титанит. Литокластите са представени от много редки късове от кисели вулканити. Пепелните стъклени частици запълват пространството между стъклените фрагменти и кристалокластите. Те са безцветни, до бледо-жълтозеленикави, девитрифицирани във влакнест и микрозърнест агрегат, променени в глинести минерали, хлорит и зеолити. Формата им е неправилна, огъната и деформирана, с типична псевдофлуидална текстура. Най-често обтичат кристалокластите.

Методика на изследванията и провеждане на експериментите

На фиг. 2 е показана схема на постановката, използвана за измерване на температуропроводността на образците.

По дефиниция температуропроводността е правопропорционална на топлопроводността и обратнопропорционална на топлинния капацитет на тялото.

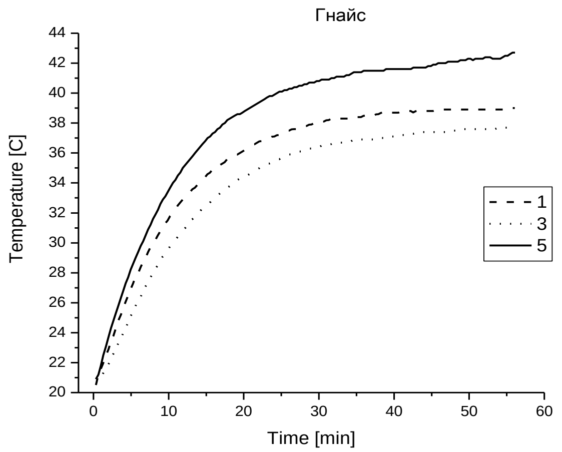
Температурата и влажността на околния въздух при всички експерименти (с изключение на последния) бяха еднакви – съответно 25°C и 45%. За измервания и запис на промяната на температурата на противоположната на нагряваната стена на образеца беше използван термологер SO110E. Той записваше стойностите на температурата на всеки 30 s. Продължителността на записите бе избрана достатъчно дълга, така че да се гарантира установяване на термично равновесие в образеца.

При експериментите бе извършено ориентирано нагряване на всяко едно от пробните тела в три взаимно перпендикулярни посоки – от едната към другата срещуположна стена на кубчето. Нагряването на образците бе проведено по следните схеми:

-нагряване в посока перпендикулярна на пластовостта/шистозността;
- нагряване в посока на пластовостта/шистозността и перпендикулярна на линейността;
- нагряване в посока на пластовостта/шистозността и успоредно на линейността.

Експериментални резултати и дискусия

На фиг. 3, 4, 5 и 6 са представени графиките на промяната на температурата с времето при нагряване на четирите вида образци/пробни тела. По абсцисата е нанесено времето в минути, а по ординатата – температурата в градуси по Целзий. Степента на температуропроводността може да бъде отчетена по стойността на ъгъла, който сключва кривата с ординатата (температурната ос) т.е. „стръмнината на кривата“ – по-стръмна крива (по-малък ъгъл) – по-висока температуропроводност.



Фиг. 3. Графики на температуропроводността при гнайса.

При **гнайса** (фиг. 3) ясно се вижда различната температуропроводност в зависимост от направленията на нагряване. По направление, успоредно на шистозността и перпендикулярно на линейността, скоростта (**направление 3**) е най-ниска, а по направление, успоредно на шистозността и успоредно на линейността (**направление 5**) – най-висока. Температурно равновесие се постига за около 20 min след началото на нагряване. Разликата при двете направления в стойностите на температурно равновесие („платото“ на кривите) е около 4 – 5 градуса. Вижда се, че по направление, успоредно на шистозността и перпендикулярно на линейността, (**направление 3**), термоизолационните свойства са най-силно изразени.

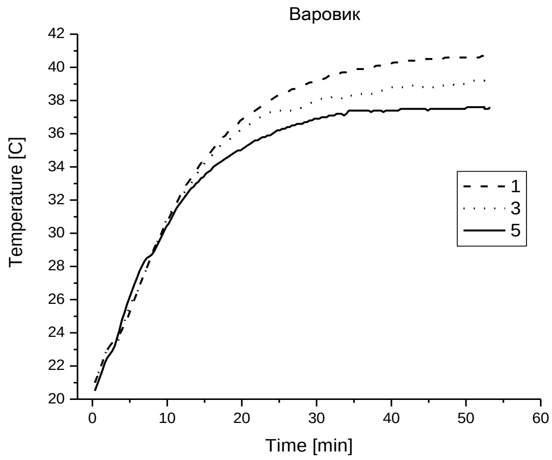
Температуропроводността на скалите зависи не само от минералния състав, но и от много други фактори – структурно-текстурни особености, порестост, относителен и абсолютен размер на зърната. При наличие на текстурна анизотропия, обусловена от слоестостта при седиментните и шистозността при метаморфните скали, температуропроводността винаги е по-висока в направление, успоредно на текстурирането (слоестост, шистозност).

При изследвания образец от гнайс, **в направление 1**, явяващо се перпендикулярно на плоскостта на нашистяване, се отчита междинна стойност за скоростта на температуропроводност (**крива 1** на фиг. 3).

В направления, успоредни на паралелната шистозност и съответно перпендикулярно и успоредно на линейността, се отбелязва значителна разлика в скоростите на температуропроводност. Кварцът като главен скалообразуващ минерал в гнайсите е един от минералите с много висока температуропроводност, но върху нея оказва влияние и ориентировката на зърната.

При метаморфните скали, линейността в плоскостта на нашистяването довежда до удължаване на кварцовите агрегати в направление на тази линейност. Поради това, като цяло, в това направление има повече кварцови зърна, контактуващи едно с друго и е най-малък броят на граници между минералните зърна (във връзка с удължените зърна на минералите в това направление). В плоскостта на нашистяването, но в посока перпендикулярна на линейността (**направление 3**) има повече на брой граници между минерални зърна. Освен това влияние оказват не само кварцовите зърна, но и от другите скалообразуващи минерали в гнайса - фелдшпати и слюди. Допуска се, че се наслагва и влиянието на още един фактор – порестостта; по-високата порестост се свързва с по-ниска температуропроводност. С това авторите свързват получения резултат в направление, успоредно на паралелната шистозност и перпендикулярно на линейността (**направление 3**) - контрастно изразени термоизолационни свойства, респективно – ниска скорост на температуропроводност. **В направление 5**, успоредно на плоскостта на нашистяване и съвпадащо с линейността (удължението на „очите“ в гнайсите) температуропроводимостта е по-голяма, в съответствие с по-голямата температуропроводност на кварца (Coletti et al., 2021).

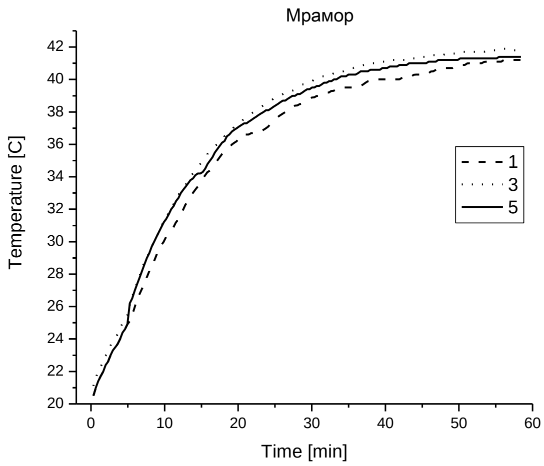
При **варовика** (фиг. 4) отново се наблюдава разлика в стойностите на температуропроводността, като тук, обаче, разликите по различните направления при достигане на температурно равновесие (нивото на платото) са в диапазона 3 – 4 градуса.



Фиг. 4. Графики на температуропроводността при варовик

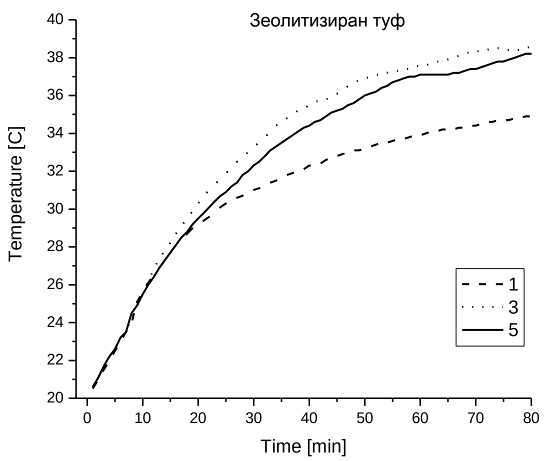
В случая най-добре се изолира по **направление 5,** успоредно на плоскостта на напластяване и перпендикулярно на удължението на алохемите в образеца. В тази посока са най-добрите термоизолационни свойства на варовика. При седиментните скали като цяло се проявява изотропност в направленията, перпендикулярни на напластяването.

При **мрамора** (фиг. 5) се установява най-малката разлика в стойностите на температурите, достигнати при равновесие (по-малка от градус). Това се свързва с най-високата степен на изотропност на мрамора и съответно малките отклонения в стойностите на температуропроводността в различните посоки. Мраморите са преобладаващо мономинерални агрегати, в чийто състав над 90% присъстват изометрични зърна на прекристализирал калцит. Това предопределя тяхната изотропност във всяко едно от трите взаимно перпендикулярни направления и получените почти идентичните резултати за стойността на температуропроводност. Примерно, **направление 5** е по удължението на агрегатите - псевдофлуидалност.



Фиг. 5. Графики на температуропроводността при мрамор

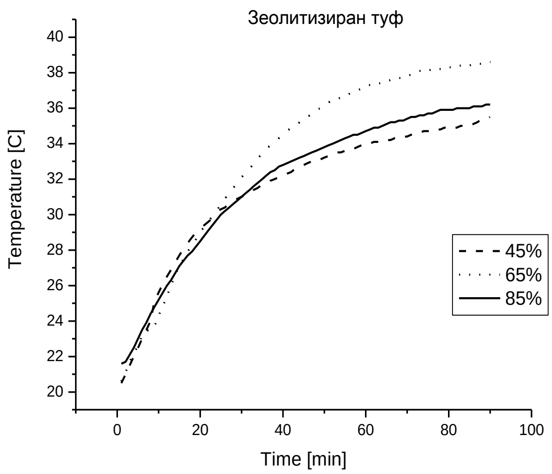
При **зеолитизирания туф** (фиг. 6) се наблюдава силна аномалия между направление, успоредно на удължението на псевдофлуидалността (1) и останалите две.



Фиг. 6. Графики на температуропроводността при зеолитизиран туф.

Разликата между стойността на температурата в областта на платото при тази посока 1 е повече от 2 градуса, докато между другите две посоки 3 и 5 разликата е под градус. Наблюдаваната аномалия би могла да се дължи на анизотропията на образеца. В скалата се наблюдава отчетлива псевдофлуидалност - линейност (видна и макроскопски), обусловена от паралелно-линейното подреждане на стъкловидните фрагменти т.нар. „фияме“, кристалокласти и литокласти.

На фиг. 7 са показани кривите на промяната на температурата на образеца във времето при различна влажност на околния въздух. И трите измервания са проведени по едно и също направление на нагряване.



Фиг. 7. Графики на температуропроводността при зеолитизиран туф при различна степен на влажност.

От фигурата се вижда, че при повишаване на влажността от 45% до 65% разликата в температурите на равновесие е около 4 градуса, като при по-нататъшно повишаване на овлажняването разликата спада до около 1 градус. Това аномално поведение се дължи на факта, че крайният резултат се дължи на едновременното действие на два антагонистични процеса. По дефиниция температуропроводността е правопропорционална на топлопроводността и обратнопропорционална на топлинния капацитет на тялото. При невисоки стойности на овлажняване температуропроводността се увеличава за сметка на увеличението на топлопроводността. При по-нататъшно нарастване на влажността на образеца температуропроводността расте по-бавно заради нарастване на топлинния капацитет на овлажнения образец, който започва да доминира като фактор над ефекта от топлопроводността.

Заключение

На този етап от изследванията, авторите се абстрахират от анализа на абсолютните стойности на температуропроводността, а се прави една сравнителна нейна оценка – при кой скален образец и в коя от трите взаимно перпендикулярни негови посоки се получава по-висока скорост на ***температуропроводност***, съответно и най–силно изразени термоизолационни свойства, както и опит за обяснението на тези резултати. При различните петрографски разновидности се отчита влиянието на различни фактори върху температуропроводността: степен на хомогенност или хетерогенност по отношение на минералния състав, степен на текстуриране (степен на подреденост/ориентираност на съставните части/минералните зърна в скалния образец), дължащ се на слоестост, шистозност(паралелна, линейна), както и на специфика на свойствата на минералите, изграждащи изследваните образци.

От получените експериментални резултати и техния анализ може да се заключи следното:

- при скали с видимо изразено текстуриране се вижда, че в различните направления има ясно изразена анизотропия в термоизолационните свойства;
- най-добра изотропност на температуро-проводността се наблюдава при преобладаващо мономинерални агрегати, каквито са мраморите;
- показано е, че влиянието на влажността върху температуропроводността (особено при някои скали като туфите) е сложна функция на взаимното влияние на топлопроводността и топлинния капацитет на скалите.

Благодарности: Авторите изказват благодарност на проф. д-р С. Приставова, доц. д-р Б. Банушев за предоставените минерало-го-петрографски определения на изследваните петрографски образци, благодарности на геолог Димитър Стоянов и на Стефан Стефанов за подготовката на кубичните пробни тела.

Литература

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. *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons. 2007, 1070 p.

Ржевский, В. В., Новик Г. 1984. *Основы физики горных пород*. Москва, Недра, 360 стр.

Фокин, К. 1973. *Строительная теплотехника ограждающих частей зданий*. Стройиздат, Москва, 289 стр.

Фоменко, Н. 2011. *Физика горных пород*. Новочеркаск, 144.

A SIMPLIFIED APPROACH BASED ON MATHEMATICAL MODELLING FOR THE PRELIMINARY ASSESSMENT OF GROUNDWATER INFLOW TO EXCAVATIONS AT A CONSTRUCTION SITE

Nikolay Stoyanov, Stefan Dimovski

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

ABSTRACT. A simplified approach is proposed for the preliminary assessment of the possible groundwater inflow to the excavations during underground construction in relatively complex and insufficiently-studied hydrogeological conditions. The approach includes the development of a three-dimensional non-stationary numerical model of the hydrodynamic field in the construction site area, taking into account the excavation geometric characteristics, the effect of in-ground cut-off barriers (slurry walls), and the schedule and mode of operation of the dewatering facilities. The preliminary assessment is obtained after several variants are computed, based on the main model and with different permeability characteristics for the insufficiently-studied low-rank hydrogeological units composing the impacted aquifer. The three-dimensional numerical model and its variations are developed using the Modflow software. The proposed simplified approach is illustrated by the preliminary assessment of the possible groundwater inflow during the construction of station MS9 of the third metro diameter (Line M3) of Sofia Metro.

Keywords: groundwater, hydrogeological numerical models, dewatering excavations at a construction site, Sofia Metro.

ОПРОСТЕН ПОДХОД ЗА ПРЕДВАРИТЕЛНА ОЦЕНКА НА ПОДЗЕМНИЯ ВОДОПРИТОК КЪМ СТРОИТЕЛНИ ИЗКОПИ ПОСРЕДСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ

Николай Стоянов, Стефан Димовски

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

РЕЗЮМЕ. Предложен е опростен подход за предварителна оценка на възможния приток на подземни води към строителени изкопи при изграждане на подземни съоръжения в относително сложни и слабопроучени хидрогеложни условия. Подходът включва разработване на тримерен числен нестационарен модел на филтрационното поле в района на строителния изкоп при отчитане на геометричните характеристики на изкопа, действието на противофилтрационните съоръжения (шлицови стени) и работния график за понижаване на подземните води по време на строителните работи. Предварителната оценка се прави, като на базата на основния модел се проиграват няколко варианта при различна водопропускливост на по-слабо проучените ниско рангови хидрогеоложки единици от състава на засегнатия водоносен комплекс. Тримерният числен модел и неговите варианти са разработени с компютърна програма Modflow. Предложеният опростен подход е илюстриран с направената предварителна оценка на възможния водоприток при строителството на метростанция МС9 от трети метродиаметър на Софийското метро.

Ключови думи: подземни води, хидрогеоложки числени модели, отводняване на строителни изкопи, Софийско метро.

Introduction

Shallow groundwater causes major problems during the construction of tunnels, metro stations, buildings supported on deep foundations, and many other underground facilities (Ivanov and Mihova, 2003; Boukhemacha et al., 2015; Attard et al., 2016; De Caro et al., 2020). In order to solve these, various methods and techniques are applied in engineering practice to limit the groundwater inflow and lower the water level in the excavations during underground construction (Powers et al., 2007; Ivanov, 2013; Liu et al., 2019; Cashman and Preene, 2020).

The choice of the in-ground cut-off barriers and the design of the optimal drainage system for a specific construction site are based on the results of the hydrogeological survey performed in the area. The main task of this study is to achieve a quantitative assessment of the groundwater inflow to the excavations and the possible deformations of the hydrodynamic field caused by the dewatering activities. The unambiguous solution of this problem is not always possible, most often due to the high heterogeneity of the near-surface section and the unclear hydraulic connections between its constituent low-rank hydrogeological units and/or nearby rivers and surface water bodies (Ivanov, 2007). The clarification of these issues in detail is generally expensive and time-consuming and is not always reasonable taking into account the effectiveness of the achieved result.

The proposed simplified approach for the assessment of groundwater inflow to the excavations uses three-dimensional numerical models and is applicable for construction sites characterised by relatively complex and insufficiently-studied hydrogeological conditions. It uses general data on the spatial boundaries of the low-rank units and on the possible range of their hydrogeological parameters, as well as calculation schemes with variation of these parameters. Data on the excavations geometric characteristics, the design of in-ground cut-off barriers, and the schedule of construction activities are also used. The obtained results for the expected groundwater inflow, though derived after applying a probabilistic analysis, can be utilised in order to assess the effectiveness of in-ground cut-off barriers and to design an optimal drainage system. They give an idea on the local redistribution of the hydraulic heads, gradients, and velocities near the excavations, as well as on the size of the regional piezometric depression in the affected aquifers.

This simplified approach is the result of more than twenty years of experience of ours in solving various problems related to the dewatering of natural terrains and excavations at construction and mining sites in a variety of hydrogeological and technological conditions (Stoyanov, 2006, 2011, 2014a, 2014b, 2019; Stoyanov and Lakov, 2009; Stoyanov et al., 2016a; Stoyanov et al., 2016b; Stoyanov and Dimovski, 2020). In recent years, it has been used as a tool for assessment and prognostication in different stages of the construction of Sofia Metro (Stoyanov, 2011, 2019; Stoyanov et al., 2016a; Stoyanov and Dimovski, 2020). In this article, the proposed simplified approach is illustrated by the performed preliminary assessment of the possible groundwater inflow during the construction of station MS9 of the third metro diameter (Line M3) of Sofia Metro (Figure 1).

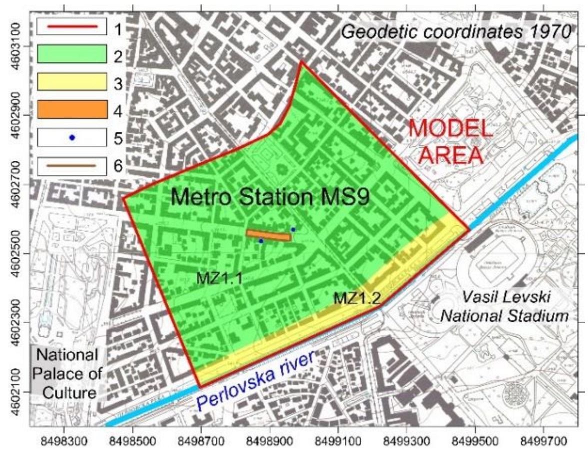


Fig. 1. Location of the studied construction site.
1 – Boundaries of the model area; 2 – Model zone MZ1.1; 3 – Model zone MZ1.2; 4 – Excavation; 5 – Hydrogeological well (Monitoring point); 6 – Slurry wall.

Conceptual model

When developing the 3D numerical model for estimating the groundwater inflow to the excavations during the construction of metro station MS9, the following general concept for the hydrogeological technological conditions is accepted:

(i) The major hydrogeological unit in the construction site area is the Neogene-Quaternary aquifer. Quaternary alluvial and diluvial deposits comprise its upper part. The alluvial deposits compose layers of clayey sand and gravel, widely represented in the terrace of the Perlovska river that has a thickness of about 10-15 m. The diluvium is represented by alternating layers of clay, dusty clay, sandy clay and clay with occasional gravel inclusions with a total thickness of 3-4 m. The Neogene sediments of the Lozenets Formation build the lower part of the complex. They are represented by alternating layers of clay, sandy clay and sand with a total thickness of over 100 m.

(ii) Four low-rank hydrogeological units (HGU) are differentiated into the Neogene-Quaternary aquifer:

- Upper low-permeability horizon (HGU1). It consists of alluvial and Neogene clay and sandy clay layers established to a depth of 17-18 m below ground surface (down to elevation of 528.5 m).
- *Upper high-permeability horizon (HGU2)*. It is composed of well-washed alluvial gravel and sand having a thickness of about 15 m. It covers a narrow strip in the terrace of the Perlovska river with a width of 50-60 m.
- *Middle high-permeability horizon (HGU3)*. It includes several well-established layers of sand, having a total thickness of 10-12 m, interbedded with thin layers of clay and sandy clay. It is present in the interval from 18 down to 30 m below ground surface, respectively between elevations 528.5 and 516.5 m.
- *Lower low-permeability horizon (HGU4)*. It is represented by Neogene clay, dust clay, sandy clay and clayey sand. It builds the lower part of the studied hydrogeological section and covers the interval from 30 to 45 m below the ground (between elevations 516.5 and 500.0 m).

(iii) The implemented hydraulic conductivity values for each HGU are presented in Table 1. The hydraulic conductivity values for HGU1 and HGU3 are determined by pumping and slug tests, for HGU4 – according to data from grain size analysis (as a weighted average for the lithological varieties found in the section), and for HGU2 – according to reference data (Fetter, 1994; Spitz and Moreno, 1996).

Table 1. *Hydrological and model units. Implemented values for the hydraulic conductivity k.*

Hydrological unit	Model units		k, m/d
	Layer	Zone	
HGU1	ML1	MZ1.1	0.1
HGU2		MZ1.2	7.0
HGU3	ML2		4.5
HGU4	ML3		0.1

(iv) The aquifer in the area of the construction site is confined. The piezometric surface levels are established at a depth between 4.7 and 7.6 m below ground surface.

(v) The hydrogeological units differentiated into the aquifer complex are hydraulically connected. The groundwater flow is in southeast (SE) direction targeted towards the Perlovska river. The average hydraulic gradient is about 0.005.

(vi) The recharge of groundwater is accomplished by precipitation and by groundwater flow coming along the northwest (NW) border of the region. The recharge rate is determined as a function of the average permeability in the near-surface section, the average annual air temperature, and the average annual precipitation (Bredenkamp, 1990). The achieved value is 5E-5 m/d.

(vii) The depth of the excavation at the construction site reaches elevation 525.0 m. During construction, for a period of 18-24 months, the water table in the excavation area has to be lowered and maintained below the elevation of 524.0 m.

(viii) The lateral groundwater inflow to the excavation is limited by a slurry wall that is 28 m deep and 0.8 m wide. It closes the outer contour of the construction site and steps into the clay layers that compose the Lower low-permeability horizon (HGU4). According to the technological characteristics, the hydraulic conductivity value for this facility is not higher than 1E-8 cm/s.

(ix) The assessment of the expected inflow is made for steady-state groundwater flow assuming that the water table in the excavation is below the elevation of 524.0 m.

Methodology

Using the Modflow program (McDonald and Harbaugh, 1988; Anderson et al., 2015; Stoyanov, 2019), a three-dimensional flow model is compiled. It covers part of the Neogene-Quaternary aquifer, having an area of about 0.5 km^2, down to a depth of 45 m. The model is a 3D computer simulation of the specific hydrogeological conditions taking into account the effect of the in-ground cut-off barrier (slurry wall) and the lowered water table in the excavation area that is maintained below the elevation of 524.0 m during the construction of metro station MS9 (Figure 1). The 3D grid frame of this basic model includes 3 layers (ML) and 2 zones (MZ), simulating the spatial boundaries of the low-rank hydrogeological units differentiated into the Neogene-Quaternary aquifer complex and the heterogeneity of the hydrodynamic medium (Table 1). The appropriate software packages are used in order to set different boundary conditions – General Head Boundary, River, Recharge, Horizontal Flow Barrier, and Specified Head.

The regional flow is modelled by simulating the recharge along the northwest (NW) boundary of the model using the General Head Boundary scheme. The Perlovska river is set as a three-dimensional object with the appropriate geometry and hydraulic characteristics of the river flow with the boundary condition River. Values are accepted for the hydraulic heads along the NW border and the river at which the average hydraulic gradient in the model area is 0.005. The recharge from precipitation is set as a constant value in the first model layer using the boundary condition Recharge. The slurry wall is modelled with the boundary condition Horizontal Flow Barrier. The excavation at the construction site is simulated as a surface drainage using boundary condition Specified Head at elevation 524.0 m.

The model is calibrated, taking into account the groundwater levels at two monitoring points and the surface water levels in the Perlovska river, varying the values of the hydraulic conductivity, the recharge from precipitation, and the regional groundwater flow.

Using the calibrated basic model, the following models estimating the water budget and revealing the structure of the flow field have been developed:

(i) Model of the structure of the normal hydrodynamic field – FM1;

(ii) Model for estimating the possible groundwater inflow – FM2;

(iii) Variant models for estimating the probable range of possible groundwater inflow as a function of the hydraulic conductivity in model layer ML3 – FM2v1-6.

The main assumptions accepted in the different models are presented in Table 2. In the first two models (FM1 and FM2), it is presumed that the Lower low-permeability horizon (model layer ML3), into which the slurry wall steps, is homogeneous and characterised by very low permeability having hydraulic conductivity k_{ML3} = 0.1 m/d. In fact, it is highly heterogeneous and has hydraulic conductivity ranging from 0.01 up to 1.0 m/d. Therefore, with variant models FM2v1-6, the prognostication for the possible groundwater inflow is made under the condition that the slurry wall steps into a homogeneous layer with hydraulic conductivity k_{ML3}, which in each variant assumes a different value, respectively 0.01, 0.05, 0.2, 0.3, 0.5 and 1.0 m/d.

Table 2. *Models estimating the water budget and revealing the structure of the flow field*

Model	Main assumptions		
	Slurry wall	Excavation dewatering	k_{ML3}, m/d
FM1	No	No	0.1
FM2	Yes	Yes	0.1
FM2v1-6	Yes	Yes	0.01 – 1.0

Note: k_{ML3} – hydraulic conductivity in model layer ML3

Results and discussion

The structure of the normal hydrodynamic field in the Neogene-Quaternary aquifer complex determined by the FM1 model is illustrated in Figure 2. The prognostications made with the FM2 model for the changes in the structure of the hydrodynamic field, the redistribution of the hydraulic heads around the excavation, and the extent of the regional piezometric depression caused by the dewatering activities are presented in Figure 3, Figure 4, Figure 5, and Figure 6.

The water budget obtained with the FM1 model in normal conditions is given in Table. 3. The changes in the budget elements predicted with the FM2 model and caused by the drainage activities, as well as the value of the possible groundwater inflow determined under these conditions are presented in Table. 4. The functional relationship between the possible groundwater inflow and the hydraulic conductivity of the Lower low-permeability horizon HGU4 (model layer ML3), into which the slurry wall steps, and is illustrated in Figure 7.

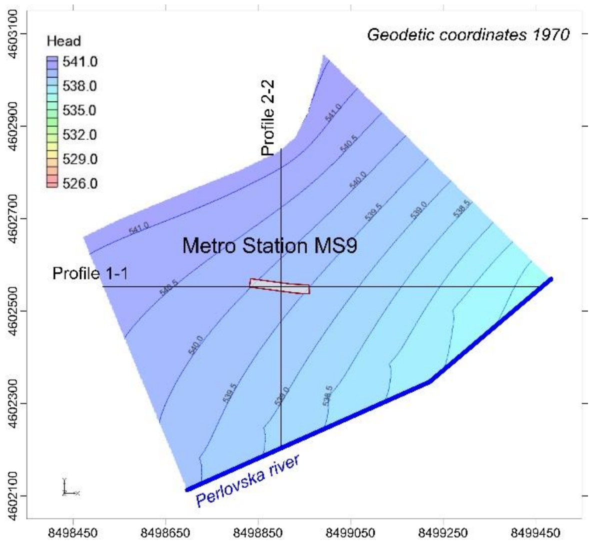


Fig. 2. Model FM1. Structure of the normal hydrodynamic field in the Neogene-Quaternary aquifer complex

Table 3. *Model FM1. Water budget in normal conditions*

Income elements, Q_I^{IN}, L/s	
Recharge along the NW boundary of the model	3.58
Recharge from precipitation	0.47
Total	4.05
Outcome elements, Q_I^{OUT}, L/s	
Drainage across the SE boundary of the model	1.23
Drainage in Perlovska river	2.81
Total	4.04
Budget error 0.02 % (difference)	

The presented results of the performed model studies give reason to make the following summaries and conclusions:

(i) Within the scope of the model area, the natural resources of the Neogene-Quaternary aquifer complex are approximately 4 L/s.

(ii) The groundwater lowering by 16 m in the excavation area is the reason for a very strong deformation in the structure of the hydrodynamic field (Figure 3, Figure 4, Figure 5 and Figure 6). The most pronounced distortions are at the peripheral area of the construction site in a zone having a span of about 60-70 m. The Lower low-permeability horizon (HGU4) at the base of the slurry wall and below the bottom of the excavation is predominantly affected. There, the hydraulic gradients and velocities will be relatively high.

(iii) The results of the composed water budget (Table 4) show that, during the construction activities, when the water table in the area is lowered and maintained below the elevation of 524.0 m (1 m below the excavation’s bottom), the expected total groundwater inflow to the excavation is 3.73 L/s. This value is not high and is commensurate with the identified natural resource.

(iv) The solutions obtained with variant models FM2v1-6 show that the range of the possible groundwater inflow is wide – from 0.5 up to 21 L/s (Figure 7). This is logical given the assumption that in the limit variants, the in-ground cut-off barrier (slurry wall) steps either into dense clay or into sand, whose hydraulic conductivity values are 0.01 and 1.0 m/d respectively.

(v) It can be expected that the groundwater inflow will be below 7 L/s, in case the slurry wall steps into a low-permeable base (clay and sandy clay) with hydraulic conductivity not higher than 0.2 m/d (Figure 7). By the way, the available data show similar hydrodynamic characteristics for the Lower low-permeability horizon. If more permeable layers of sand and clayey sand dominate at the bottom of the slurry wall and underneath it (0.2 < k < 1 m/d), the expected groundwater inflow will be much higher – around and above 10-15 L/s, and it is even possible to reach 21 L/s (Figure 7).

(vi) The high groundwater inflow values (above 10 L/s) are associated with the widening of the general piezometric depression, as well as with bigger (up to several times) decreases of the hydraulic heads, gradients, and velocities, especially at the base of the slurry wall and underneath the bottom of the excavation. These changes significantly increase the risk of uneven subsidence and suffosion.

(vii) The calculations made, using the developed 3D non-stationary numerical model of the hydrodynamic field, show that in the initial moments, during the dewatering of the construction site, the abstracted water quantities will be the largest and the hydraulic gradients and velocities will be many times higher.

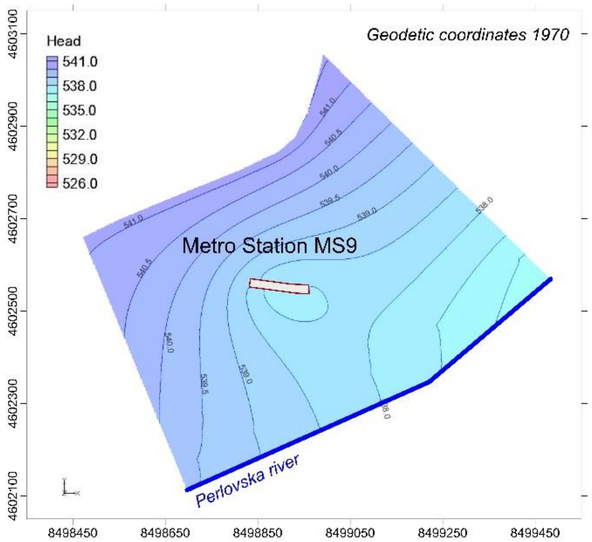


Fig. 3. Model FM2. Structure of the disturbed hydrodynamic field in HGU1 and HGU2 (model layer ML1)

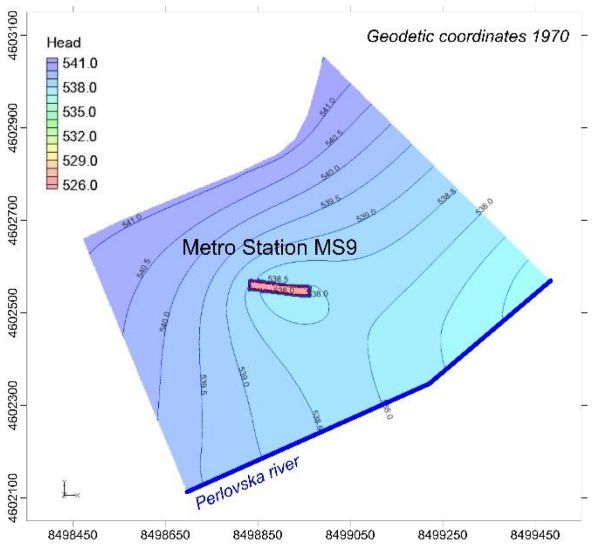


Fig. 4. Model FM2. Structure of the disturbed during the dewatering activities hydrodynamic field in HGU3 (layer ML2)

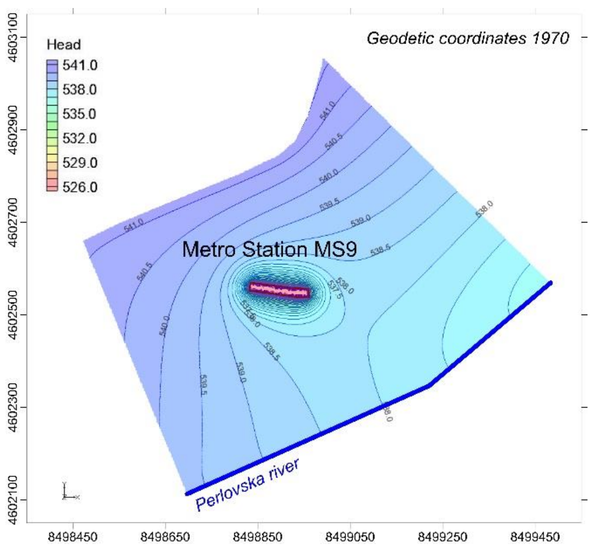


Fig. 5. Model FM2. Structure of the disturbed during the dewatering activities hydrodynamic field in HGU4 (layer ML3)

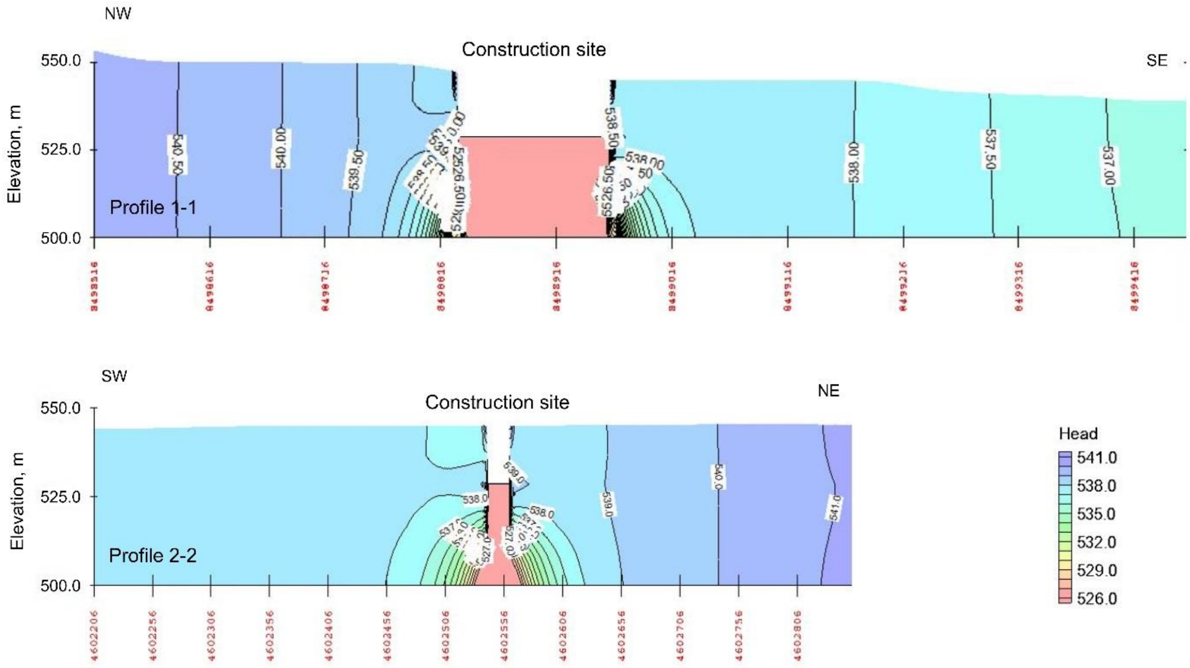


Fig. 6. Model FM2. Structure of the disturbed hydrodynamic field in the Neogene-Quaternary aquifer complex during the dewatering activities. Hydrodynamic sections along Profile 1-1 and Profile 2-2. The location of the profiles is illustrated in Figure. 2.

Table 4. *Model FM2. Water budget during the dewatering activities*

Income elements, Q_I^{IN}, L/s	
Recharge along the NW boundary of the model	5.54
Recharge from precipitation	0.47
Total	6.01
Outcome elements, Q_I^{OUT}, L/s	
Drainage across the SE boundary of the model	0.32
Drainage in Perlovska river	1.95
Groundwater inflow to the excavation	3.73
Total	6.00
Budget error 0.33 % (difference)	

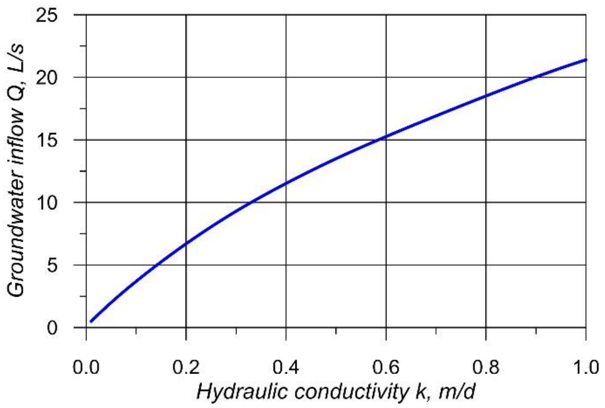


Fig. 7. Model FM2v1-6. Groundwater inflow to the excavation as a function of the hydraulic conductivity in model layer ML3

Conclusions

The accomplished preliminary assessments show that the range of the possible groundwater inflow is wide – from 0.5 up to 21 L/s, depending on the hydrodynamic characteristics of the layer at the base of the slurry wall and below the bottom of the excavation. If this layer is composed of clay and sandy clay and has hydraulic conductivity not higher than 0.2 m/d, then the expected groundwater inflow will be below 7 L/s. The available data show that the near-surface section in the region has similar hydrodynamic characteristics. If more permeable layers of sand and clayey sand, having hydraulic conductivity up to 1.0 m/d, dominate below the bottom of the excavation and underneath the slurry wall, then the expected groundwater inflow will be much higher – around and above 10-15 L/s.

The performed model studies show that the dewatering activities during the construction of station MS9 of the third metro diameter of Sofia Metro will be the reason for rapid and long-lasting changes in the hydrodynamic field in the Neogene-Quaternary aquifer complex. The deformations will be very dynamic and of high intensity, especially near the drained areas, where the amplitudes of fluctuation of the piezometric levels in particular sectors and for a short time will reach 16 m. The most intensive distortions will be at the peripheral area of the construction site in a zone having a span of about 60-70 m. Predominantly affected will be the sector at the base of the slurry wall and below the bottom of the excavation.

The obtained results demonstrate the efficiency of non-stationary flow models as a tool for assessment and prognostication of the potential negative impacts caused by dewatering as part of construction activities. The proposed approach can be successfully applied in regions with similar hydrogeological problems.

Acknowledgements. The article is based on unpublished authors' works, fulfilled within Operational Programme “Transport and Transport Infrastructure”; Priority axe 3. Intermodal transport services and sustainable urban transport (e.g. Sofia Metro); Construction of Line 3 of Sofia Metro: “Botevgradsko shose blvd. - Vladimir Vazov blvd. - Centre - Ovcha Kupel RD”; Stage I: Section “Vladimir Vazov

blvd. - Centre - Zhitnitsa str.” (from km 4 + 320 to km 11 + 966.34); Subproject: Metro station MS 9.

References

Anderson M., W. Woessner, R. Hunt. 2015. *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. 2nd ed., Elsevier, Academic press, 720 p.

Attard, G., Y. Rossier, T. Winiarski, L. Cuvillier, L. Eisenlohr. 2016. Deterministic modelling of the cumulative impacts of underground structures on urban groundwater flow and the definition of a potential state of urban groundwater flow: example of Lyon, France. – *Hydrogeology J., 24,* issue 5, Springer, 1213-1229.

Boukhemacha M., C. Gogu, I. Serpescu, D. Gaitanaru, I. Bica, 2015. A hydrogeological conceptual approach to study urban groundwater flow in Bucharest city, Romania. – *Hydrogeology J., 23,* issue 3, Springer, 437-450.

Bredenkamp, D. 1990. Quantitative estimation ofgroundwater recharge by means of a simple rainfall-recharge relationship. – In: *Groundwater recharge. IAH Memoir, Vol 8.* (Eds. Lerner, D., A. Issar, I. Simmers). Heise, 247−256.

Cashman, P., M. Preene. 2020. *Groundwater lowering in construction. A practical guide to dewatering*. 3rd ed., CRC Press, Taylor & Francis, New York, 918 p.

De Caro M., G. Crosta, A. Previati. 2020. Modelling the interference of underground structures with groundwater flow and remedial solutions in Milan. – *Elsevier, Engineering Geology, 272*, art. 105652, 17 p.

Ivanov I., L. Mihova. 2003. Study of soil deformations caused by the discharge of groundwater in case of different geological structure. – *Proceedings of the XIIIth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Vol. 2*, 25-28 August 2003, Prague, Czech Republic, 627-630.

Ivanov I. 2007. Differences between investigations, design and reality in dewatering of one of the deepest excavations of Sofia metro. – *Proceedings of the 7th international scientific conference SGEM 2007, Vol. 18*, 11-15 June, Albena, Bulgaria, 74-76.

Ivanov I. 2013. *Otvodnyavane na stroitelni izkopi. Metodi za izchislyavane i primeri, saglasno iziskvaniyata na Evrokod 7*. Publ. house Dimax, Sofia, 110 p. (in Bulgarian)

Liu, L., M. Lei, C. Cao, C. Shi. 2019. Dewatering characteristics and inflow prediction of deep foundation pits with partial penetrating curtains in sand and gravel strata. – *Water, 11,* no.10: 2182. https://doi.org/10.3390/w11102182.

McDonald, J., A.Harbaugh. 1988. *A modular three-dimensional finite-difference flow model*. Techniques of Water Resources Investigations of the USGS, Book 6. 586 p.

Powers J., A. Corwin, P. Schmall, W. Kaeck. 2007. *Construction dewatering and groundwater control: New methods and applications*. John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 656 p.

Spitz, K., J. Moreno. 1996. *A practical guide to groundwater and solute modeling*. John Wiley & Sons Inc., New York, 460 p.

Stoyanov, N. 2006. Mathematical model for calculating a drainage system for dewatering the landslide near Oryahovo. – *BULAQWA, 4,* 45-52. (in Bulgarian with English abstract)

Stoyanov, N., A. Lakov. 2009. Hazard of settlement and soil piping under the foundation of the Maritsa hotel in Plovdiv related to dewatering the excavation pit. – *Annual of the University of Mining Geology “St. Ivan Rilski”, 52*, Part 1, 165-170. (in Bulgarian with English abstract)

Stoyanov, N. 2011. A model of the piezometric depression in the Neogene-Quaternary complex related to the construction of the first subway diameter in the central part of Sofia – *Annual of the University of Mining Geology “St. Ivan Rilski”, 54*, Part 1, 155-160. (in Bulgarian with English abstract)

Stoyanov, N. 2014a. Regional 3D model of the hydrogeological conditions in the Pernik mines area after termination of underground coal mining – *Annual of the University of Mining Geology “St. Ivan Rilski”, 57*, Part 1, 115-120. (in Bulgarian with English abstract)

Stoyanov, N. 2014b. Forecasting a possible groundwater rise in the affected by the coal mining areas in the city of Pernik – *Annual of the University of Mining Geology “St. Ivan Rilski”, 57*, Part 1, 121-126. (in Bulgarian with English abstract)

Stoyanov N., A. Benderev, V. Petrov, I. Ivanov, V. Hristov. 2016a. Some problems on the interaction of the urban environment and groundwater in the city of Sofia. – *Proceedings of the 2nd IAH Central European Groundwater Conference "Groundwater risk assessment in urban areas",* Bucharest, 14-16 Oct. 2015, 158-172.

Stoyanov, N., S. Stoynev, A. Lakov. 2016b. Hydrogeological conditions of the “Zheleznitsa” and “Kresna” tunnels from the alignment of Struma Highway Project LOT-3. – *National conference with international participation “Geosciences 2016”*, Sofia, 7-8 December 2016, 159-160. (in Bulgarian with English abstract)

Stoyanov, N. 2019. *Matematichesko modelirane v hidrogeologiyata. Chisleni 3D modeli po metoda na krainite razliki.* Vanio Nedkov, Sofia, 246 p. (in Bulgarian)

Stoyanov, N., S. Dimovski. 2020. Modeling the impact of subway construction on Druzhba lake, Sofia, Bulgaria. – *Proceedings of the 20th International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM,* 16-25 August 2020, Albena, Bulgaria.

GRAVITY MEASUREMENTS AS A METHOD FOR STUDYING ARCHAEOLOGICAL SITES. POSSIBILITIES FOR THEIR APPLICATION IN BULGARIA

Todor Todorov

University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia; E-mail: todorov@pentod.com

ABSTRACT. Geophysical research has long been used in the study of archaeological sites. This helps to plan excavations more accurately, reduce costs, and protect underground structures from damage. Electroresistance, geomagnetic, and georadar methods have been established and are most often used. Each of them has different possibilities and areas of application, and alone or in combination with each other, they give good results. But in the presence of small underground cavities, especially in combination with other external interfering factors, such as the presence of concrete flooring, iron reinforcement, electrical cables, and others, their effectiveness is greatly reduced. In this case, the application of gravimetric measurements would provide far more accurate information. Although this method has been in use since the 1960s to locate mines and caves, its employment in archaeology became possible in the early 21st century with the invention of sensitive microgravimeters. This need is imposed by the fact that the gravitational anomalies created by these objects are within a few tens of microgals. This report presents the possibilities of this type of research based on foreign experience, while also examining the conditions for its implementation in Bulgaria.

Key words: archaeological research, microgravimetry, geophysical methods

ГРАВИТАЦИОННИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ КАТО МЕТОД ЗА ПРОУЧВАНЕ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКИ ОБЕКТИ. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛАГАНЕТО ИМ В БЪЛГАРИЯ

Тодор Тодоров

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

РЕЗЮМЕ. Геофизичните изследвания отдавна се прилагат при проучване на археологически обекти. Това спомага за по точно планиране на разкопките, намаляване на разходите и запазване на подземните структури от увреждане. Утвърдени и най-често използвани са електросъпротивителните, геомагнитните и георадарните методи. Всеки от тях има различни възможности и области на приложение, като самостоятелно или в комбинация помежду си те дават добри резултати. Но при наличие на малки по обем подземни кухини особено в съвкупност с други външни смущаващи фактори, като наличие на бетонни настилки, желязна арматура, електрически кабели и др. тяхната ефективност силно намалява. В случая прилагането на гравиметрични измервания биха дали много по точна информация. Макар и този метод да се използва още от 60 години на XX век за локализиране на минни изработки и пещери, употребата му в археологията става възможна в началото на XXI век с изобретяването на чувствителни микрогравиметри. Тази необходимост е наложена от факта, че гравитационните аномалии, които създават тези обекти, са в границите на няколко десетки микрогала. В този доклад са представени възможностите на този вид проучвания на база на чуждестранния опит, като същевременно са разгледани и условията за прилагането му и в България.

Ключови думи: археологически проучвания, микрогравиметрия, геофизични методи

Въведение

Методите за проучване на археологически обекти се разделят на два вида деструктивни и недеструктивни. Археологическите разкопки спадат към първия тип и са тези, които дават най-точна представа за обекта. Но при провеждането им, особено в последните години със масовото използване на земекопна техника, много често се нанасят непоправими щети върху движимото и недвижимо културно-историческо наследство. Именно по тази причина се е наложило предварителното проучване на погребаните структури с помощта на различни геофизични методи. Тези изследвания се провеждат от въздуха, морската повърхност или на земята, като по никакъв начин не влияят върху обектите, но в същото време ни дават много точна представа за тях. Принципите на тези проучвания се основават на измерване на естествени или изкуствено създадени физични полета. Те могат да бъдат гравиметрични, геомагнитни, геоелектрични, геотермични, радиометрични и др. Изборът им зависи от вида на изследваните обекти, състава и структурата на почвата или скалите.

Най-масово приложение са намерили измерванията с магнитометри, електросъпротивителните, георадарните проучвания и металдетектинга. Това се дължи предимно на по-ниската стойност на самото оборудване, както и на технологичните особености на самите методи.

Използването на гравиметричните измервания за проучване на археологически обекти практически стават възможни в края на XX и началото на XXI век. По тази причина публикациите на тази тема не са много, но въпреки това дават представа за предимствата на метода и тенденциите за неговото развитие.

Гравиметрични измервания в археологията

.

Локализирането на кухини под земната повърхност е класическа гравиметрична задача. За първи път методът намира широко приложение в проучване на карстови райони. Поради спецификата на тези скали образуването на различни по форма и размери подземни образувания е често срещано явление. Наличието им променя устойчивостта на терена и създава проблеми при строителство на различни обекти. Първите сериозни проучвания в тази насока започват през 60-те години на XX век. В следващите години методът се усъвършенства (Chalikakis, 2011), а гравиметрията започва да се утвърждава като основен начин за локализирането на природни образувания, а също и на изоставени тунели, бункери, крипти и други подземни обекти, както и за изследвания в областта на геодинамиката.

С въвеждане на новите прецизни позициониращи системи, позволяващи точност до няколко сантиметра, нараства ролята на въздушната и спътникова гравиметрия. Но независимо от това, когато става въпрос за малки обекти създаващи незначителни аномалии на гравитационното поле наземния метод на изследване е незаменим.

Използването на гравиметрията в археологията става възможно благодарение на техническия прогрес и най-вече на разработването на високо чувствителни и лесни за използване автоматизирани микрогравиметри. Това е от особено значение поради малките размери на изследваните обекти. Този процес отнема доста дълго време като се има предвид, че първите уреди, подходящи за обследване на подземни кухини с точност 0,005mGal започват да се произвеждат през 1959 г., като до края на века подобренията са по-скоро в областта на автоматизацията и начина на работа, но не и на точността. За качествен скок може да се говори след 2002 г., когато е разработен и пуснат на пазара от фирмата La Coste & Romberg – Scintrex уредът Scintrex CG-5 с чувствителност 0,001 mGal напълно автоматизиран, позволяващ връзка с външни устройства като GPS, компютър и др.

Терминът микрогравиметрия, наложил се в практиката, не е свързан с някакви нови принципи на измерване, а по-скоро с прецизността и възможността на апаратурата да отчита колебания на земното гравитационно поле в рамките на микрогалове ($1\mu Gal = 10^{-8} m/s^2$).

Макар и не много сполучлив, опитът на Linnington (1966) за гравиметрично проучване на етруската гробница в град Черветери, Италия, може да се счита за първото приложение на този вид изследвания в проучването на древни паметници на културата.

Един от най-ранните факти за успешното приложение на микрогравитационните измервания в археологията можем да намерим в Blızkovsky (1979). При измервания в църквата св. Вацлав в град Товачов (Чешка република) е отчетена аномалия на Буге и е изказано предположение за наличие на подземна крипта. Това се потвърждава след като са направени разкопки и са открити няколко погребения.

През 1987 г. след гравитационни измервания вътре в Хеопсовата пирамида в Египет са открити неизвестни до тогава помещения пълни с пясък (Lakshmanan and Montlucon 1987).

Методът е използван също за откриване на подземни структури и резервоари за вода под църквата Света София в Истанбул (Friedrich et al. 1996).

След появата на новите по-чувствителни гравиметри (0,001mGal) този вид проучвания, свързани с археологията, се увеличават. Като цяло те са насочени за търсене на скрити подземни основно кухи структури в исторически сгради, най-вече църкви и манастири.

Като по-интересни могат да се посочат резултатите постигнати от Abad (2007), Panisova and Pasteka (2009), Barton et al. (2011).

Независимо, че методът се използва основно за локализиране на кухини в района на сгради, той може да се прилага и за откриване на погребани подземни структури и за допроучване на известни вече такива.

В публикацията на Ismail et al. (2018) е описано изследването на археологически обект в Индонезия, погребан под 1,5 m пясък и почва. Направената мрежа през 2 m между точките на измерване покрива равномерно целия обект в случая предварително определен по останките под форма на могила. На определени места са отчетени положителни аномалии между 0,02-0,08 mGal/m. Формата е правилна и наподобява стени на сгради. След разкопки в южната част на района това предположение се потвърждава.

Най-обстойното изследване на възможността за проучване на археологически обекти с методите на микрогравитацията е направено от израелски учени. Обобщените резултати са дадени от Eppelbaum (2009).

Видовете останки са класифицирани и според възможността им за проучване са подредени в низходящ ред по следния начин:

(1) Подземни древни кухини и галерии.

(2) Стени, останки от храмове, църкви и различни масивни конструкции.

(3) Настилки и гробници.

(4) Римски акведукти (при благоприятна физико-геоложка среда).

(5) Зони на древна примитивна металургична дейност (включително пещи - при благоприятна физико геоложка среда).

Направено е заключение, че подходящи за този вид проучване са 20-25 % от археологическите обекти в Израел (Eppelbaum, 2009).

Като се вземат предвид и останалите фактори, влияещи на този вид изследвания (вид на почвите и скалите, наклон или неравности на терена и др.) може да се направи заключението, че възможностите на метода са силно ограничени когато това касае локализирането на археологически обекти. Доста по-дългото време, необходимо за проучването, в сравнение с другите геофизични методи също не е за пренебрегване.

Най-добре неговата ефективност може да бъде оценена когато става въпрос за проучване на вече разкрити археологически структури и затова той се използва основно за откриване на подземни кухини в сгради.

По тази причина описаните по надолу казуси касаят този случай на база на научни публикации по темата.

Методология на измерванията

Гравиметричните измервания, свързани с археологически проучвания, макар и използващи стандартите на класическата гравиметрия имат някои особености, касаещи най-вече тяхната прецизност.

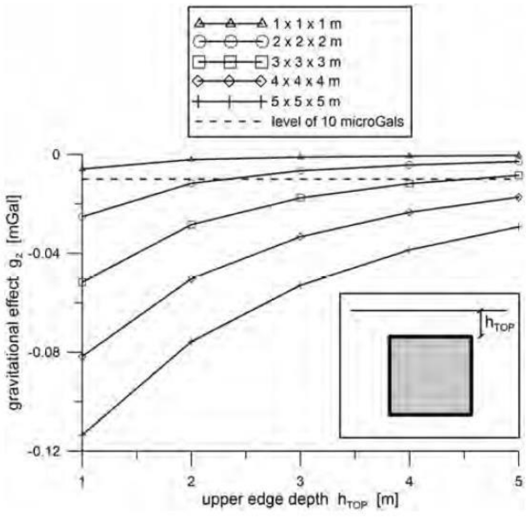
Това от своя страна налага съобразяването с множество фактори, които биха могли да им повлияят и да доведат до грешен краен резултат.

При самото измерване, данните за гравитацията, които събираме, са относителни и тяхното привързване и сравняване става към определена точка на измерване в обекта, като станцията, разположена на нея, се смята за базова. Първичните резултати от измерванията подлежат на последваща обработка и интерпретиране, което е от съществено значение за самото проучване.

Кухите подземни обекти в общия случай пораждат отрицателни аномалии на гравитационното поле. Като изключение може да се разглежда казусът със срутила се гробница. Запълването ѝ с материал от градежа, имащ по-висока плътност от заобикалящия го терен, би породило положителна аномалия според Bishop et al. (1997).

Най-голямо изменение на гравитацията се отчита при запълнени с въздух кухини. Същият обект, пълен с вода, поражда 60% от горния резултат а при запълване с кал – 40% (Owen, 1983 г.). В някои случаи се получават аномалии с по-голяма площ, достигаща два и повече диаметъра на обекта, дължащи се на нарушената структура на околната скала (Bishop et al., 1997).

Размерите на кухините са от основно значение за тяхното локализиране. При този вид измервания отрицателните гравитационни аномалии в границите на 20÷80 μGal се смятат за типични и могат да послужат за доста точно локализиране на стандартни крипти с размери 20-30m^3 на дълбочина 1 метър. На база практически измервания от Pasteka R. et al. (2020) е установена зависимостта между размерите на 3D правоъгълна призма, пълна с въздух, (диференциалната плътност на модела е 2000kg/m^3) и стойностите на отрицателната аномалия, които се отчитат (Фиг. 1). С пунктираната линия отбелязана границата от 10 μGal, под която обектите практически не могат да бъдат локализирани.



Фиг. 1. Зависимост между размера на обекта и гравитационния ефект (Pasteka R. et al., 2020)

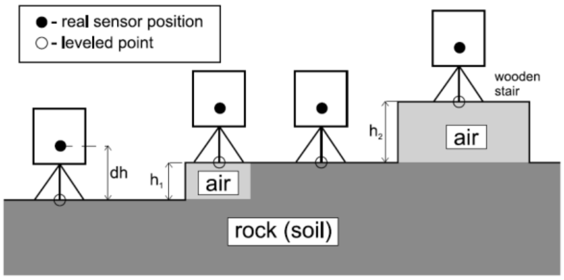
Определяне точките на измерванията

Определянето на точките на измерване е съобразено със свободното пространство на сградите, което в повечето случаи е ограничено от архитектурни елементи.

В същото време според Pasteka R. et al. (2020) има „неписано правило“ да не се прави измерване на 15-20cm от стените за да се избегне ефекта на сградата.

Географската височина на точката на измерване се определя с помощта на оптически нивелир или тотална станция с точност min ± 1cm.

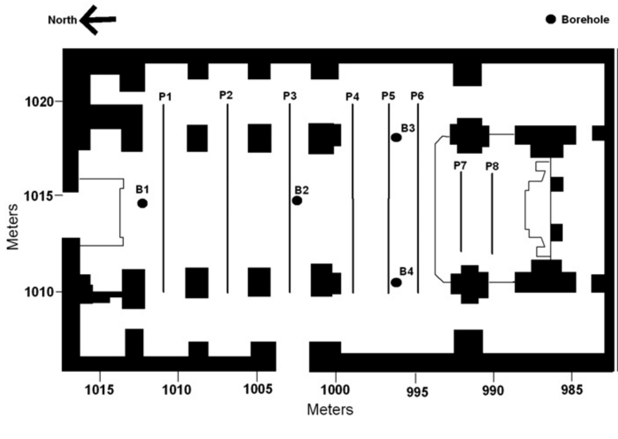
За по-голяма прецизност (Panisova and Pasteka, 2009) препоръчват изчисленията да се правят на база височината на реалното разположение на сензора вътре в уреда, използван за измерване. Разстоянието от долния ръб е даден от производителя. Височината на измерване се получава като към точката на разполагане на гравиметъра добавим d_h (Фиг. 2).



Фиг. 2. Схема на точките на измерване и реалното разположение на сензора (Panisova and Pasteka, 2009)

Тук може да се отбележи, че дори височините на двете дървени стълби h_1 и h_2 съответно 19 и 33 cm са отбелязани като запълнени с въздух и това е взето предвид при по късното интерпретиране на получените показания. При това проучване са направени 111 измервания в площ с размери 10m x 20m. Отстоянията между точките е 1m като на места е по-малко поради наличие на препятствия.

Друг пример за разполагане на точките на измерване може да видим в Padin et al. (2012). Търсена е подземна крипта в църква във Валенсия Испания. Извършени са 51 измервания по осем профила P_1-P_8. По профили P_4-P_8, където се е очаквало да е криптата, измерванията са през 1m. По станалите профили са през 2m. За да се елиминира влиянието на външните стени, които са дебели 1m, най-близките измервания са на 2m от тях (Фиг. 3).



Фиг. 3. Схема на църквата с профилите на измерване (Padin et al., 2012)

Въвеждане на поправки на измерването

От съществено значение за всяко едно проучване е получените данни от измерванията да бъдат коректни, като в случая и най-малките грешки биха довели до грешно заключение.

Изборът на подходяща апаратура и стриктното спазване на указанията за работа с нея е първото, което трябва да се направи. Чувствителността от 1μGal на гравиметъра се е наложила като стандарт при този вид измервания.

Върху резултатите на измерванията оказват влияния множество фактори, като някои от тях са свързани със самата апаратура, а други са повлияни от природните закони. За да се гарантира достоверността на измерванията е необходимо към първичните данни да бъдат въведени различни видове корекции (поправки). Като краен резултат се получава пълната аномалия на Буге.

Поправка на земните приливи. Тази аномалия, дължаща се на въздействието на Слънцето и Луната върху земята, може да предизвика отклонения на гравитационното поле, достигащо до 250μGal. Amarante and Trabanco (2016) имат подробна публикация по темата, но изчисляването му не е необходимо да се прави, като стойностите могат да се вземат от Wenzel (1999).

Поправка на свободен въздух (аномалия Фай). С отдалечаване от повърхността на земния геоид силата на земното привличане намалява. Тази поправка отразява стойността му на дадена географска височина като се приема, че този слой е запълнен само с въздух. Въвеждането на тази поправка може да се разглежда и като пренасяне на нормалната стойност на силата на тежестта от морското равнище в точката на измерване. Теоретично приетата стойност за тази поправка е 0,3086mGal/m според Добрев и Ставрев (1977).

Поправка на атмосферното налягане. Тази корекция се използва, за да отрази разликата между нормалното атмосферно налягане и това, в момента на измерването. Международната асоциация по геодезия (IAG) с резолюция №9 препоръчва използването на следните формули за корекция на гравитацията в зависимост от атмосферното налягане (1).

$$\mathrm{dg_p} = 0.30(\mathrm{P_i} - \mathrm{P_{in}})\mu\mathrm{Gal} \qquad (1)$$

$$\mathrm{P_{in}} = 1013.25\ \left(1 - \frac{0.0065\mathrm{H}}{288.15}\right)^{5.2559},$$

където H е надморската височина; Pi е измереното атмосферно налягане, а Pin – нормалното атмосферно налягане, като и двете са в hPa (Torge, 1989).

Поправка на географската ширина. Сферичната форма и въртенето на земята пораждат различни стойности на гравитацията в зависимост от географската ширина. При този вид проучвания, касаещи малки площи, може да се използва относителното изменение на силата на тежестта между различните точки на измерване като се приравнят към някаква базова станция наблизо. Средният хоризонтален градиент на тази поправка е 0,8128 mGal/km, или 1mGal на 1230,31m. Макар и да изглежда незначително малко, за обект с дължина 50m разликата между двете крайни точки ако не се въведе тази поправка е повече от 60μGal, което би повлияло сериозно на крайния резултат (Padin et al., (2012).

Поправка на инструменталния дрейф. Съвременните микрогравиметри са изключително прецизни уреди. Независимо, че се полагат усилия за тяхната температурна и сеизмична стабилност, в течение на времето те променят своите показания при измерване на една и съща точка. Този ефект е известен и като дрейф на нулата. Неговата средна стойност може да се установи като се направят няколко контролни измервания през 1 или 2h в рамките на деня. Така може да се построи крива на дрейфа, която да служи за последващи корекции (Saibi, 2018).

Поправка на Буге. При изчисляване аномалията на Фай приемаме хипотетичен вариант, при който между точката на измерване и морското равнище има само въздух. Практически това е невъзможно при измервания на земната повърхност и този междинен слой реално е запълнен със скали с различна плътност. Известен е още и като „ плоча на Буге“ и неговото гравитационно въздействие може да се изчисли по формула (2).

$$\Delta_2\, \mathrm{g} = 2\mathrm{G}\pi\mathrm{h} = 0.0419\rho\mathrm{h}\ \text{mGal}, \qquad (2)$$

където:

G – гравитационна константа;

ρ [g/cm^3] – средна плътност на скалите в слоя;

h – дебелина на слоя в метри

Стойността на поправката на Буге получаваме като към горната формула прибавим стойността на поправката за свободен въздух – аномалия Фай. (3)

$$\mathrm{dg} = \pm(308.6 - 41.91\rho)\Delta\mathrm{h}\quad \mu\text{Gal} \qquad (3)$$

Тази аномалия е с положителен знак когато точката на измерване е над морското равнище и с отрицателен – когато е под него.

Корекция на теренния ефект. Влиянието на терена при полеви условия би представлявало проблем, когато те се провеждат на склон в близост до планина или долина. В градски условия е необходимо да се вземе предвид влиянието на околните сгради.

От една страна, това е самата сграда, в която се прави проучването. Както е отбелязана от Pasteka R. et al. (2020) и Padin et al. (2012) точките на измерване трябва да са на разстояние от външните стени. За околните сгради според тяхната форма (паралелепипед, куб, цилиндър и др) може да се изчисли обема, а от там и теглото, за да се предвиди тяхното въздействие. Материали по темата има в Radogna et al. (2003).

Приложените по-горе формули за различните поправки са доста обобщени. За прецизни изчисления подобни формули могат да се намерят в Hinze et. Al (2005). В същото време в практиката се е наложило използването и на специализиран софтуер.

Изчисляване на стойностите на гравитацията в точките на измерване

След като бъдат приложени всички корекции към резултата на измерването се получава стойността на аномалията на Буге във всяка точка. Окончателната остатъчна стойност, която ни е необходима, се получава като извадим получения резултат от показанията на базовата станция (4) (Padin et al., 2012).

$$\Delta g_b = g_b - g_{base} \tag{4}$$

Интерпретиране на данните от проучването

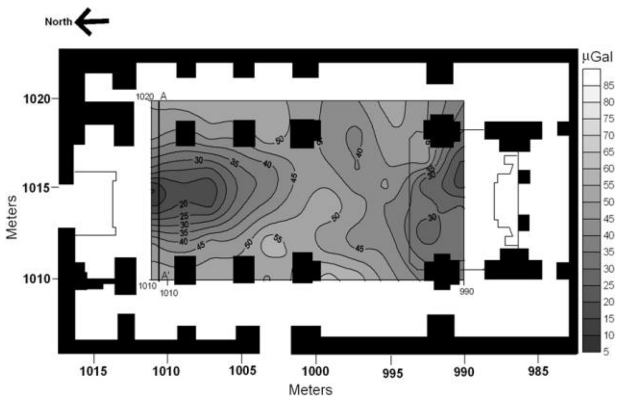
Според Saibi (2018) се използват основно три способа за интерпретиране на гравитационния градиент:

1. Изчисляване на производните на гравитационния градиент.
2. Предварително моделиране на гравитационни данни и получаване на модели, които се сравняват с получените при измерванията.
3. Инверсия на гравитационните данни в 2D и 3D модели със специализиран софтуер.

В Eppelbaum (2009) е описано приложението за 3D моделиране и е направен разширен анализ на гравитационните аномалии за оценка на интензитета на полето. Вторите и третите производни на гравитационния потенциал са изчислени за по-добра разделителна способност.

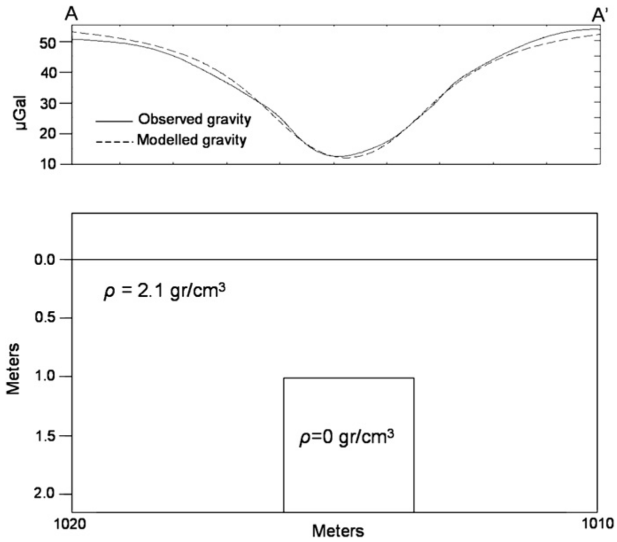
Подчертава се, че физическото измерване на производните на вертикалната гравитация в археологическото проучване има голямо значение и не може да бъде заменено с никаква последваща трансформация.

Padin et al. (2012), вземайки предвид малката площ на обекта и ниските стойности на аномалиите, използват полином от първа степен за локално регионално разделяне на гравитационното поле. С получената по този начин равнина се редуцират данните за аномалиите и се получава тяхното преразпределение и окончателните локални остатъчни аномалии на Буге (Фиг. 4).



Фиг. 4. Окончателните локални остатъчни аномалии на Буге. Padin et al. (2012)

С помощта на софтуера Grav-Modeler е извършена 2D инверсия на данни по сечението A-A’ (Фиг. 5).



Фиг. 5. Микрогравиметрично моделирана инверсия по напречното сечение АА’ Padin et al. (2012)

В резултат се получава правоъгълник с размери 2,5m и 1.2m на дълбочина 1m с нулева плътност. Това отговаря като размер и характеристики на крипта (Padin et al. , 2012).

Panisova and Pasteka (2009) следват подобен подход като за окончателните изчисления на локалните аномалии използват софтуера Surfer. При тях инверсията е в 3D, като крайният резултат недвусмислено показва наличие на подземна кухина с размери даващи основание да се заключи, че това е крипта.

Апаратура

Основните изисквания към използваните гравиметри е тяхната чувствителност и надеждност. На пазара конкуренция за такива уреди почти липсва, след като през 2001 г. двете най-големи компании в бранша се сливат и днес 90% от всички гравиметри в световен мащаб са с марката LaCoste & Romberg – Scintrex.

След пускането на пазара през 2002 г. на техния CG-5 Autograv™ Gravity Meter дълги години той е най-масовият използван уред за целите на микрогравиметрията (Фиг. 6).

Фиг. 6. CG-5 Autograv™ (Scintrex ltd. 2012).

Поради тази причина по-долу ще разгледаме неговите характеристики съгласно ръководството за употреба на производителя Scintrex ltd. (2012).

CG-5 Autograv е микропроцесорно автоматизиран гравиметър, който има обхват на измерване от над 8000 mGal без нулиране и разделителна способност от 0,001 mGal. Измервания се извършват чрез натискане на бутон и при повечето условия отнема под една минута, за да завърши отчитането. Поредица от показания на гравитационните измервания могат да бъдат извършени чрез настройването му в режим на автоматичен запис и това става на всеки 6 секунди. Показания се визуализират на екрана директно в mGal, а данните се съхраняват във Flash памет и могат да се изпращат на принтер, модем, рекордер или компютър. Сензорният елемент е разположен в термо стабилизирана вакуумна камера, което му осигурява стабилна работа при температура на околната среда от -20C^0 до + 60C^0. Същият е изработен от кварц и го прави устойчив на въздействия на магнитни полета със сила до ± 0,5mT (което е десет пъти над нормалното магнитно поле на земята). Дрейфът е допълнително софтуерно коригиран и не надхвърля 0,02mGal на ден.

Към уреда има и интегрирана GPS антена. Данните от нея служат за позициониране и синхронизиране по RTC или UTC времена, но не може да се използва за определяне на надморската височина.

Освен гореизброените характеристики, по време на измерването софтуера извършва следните корекции – на земните приливи, на терена, на наклона на инструмента, на температура, филтриране на сеизмичен шум и FIR филтър.

Тъй като в момента не се произвежда, на пазара се предлагат само уреди втора употреба в повечето, случаи заводски рециклирани и калибрирани. Цените варират в границите 50-70000$. Предлагат се също и за използване под наем.

Следващото поколение гравиметър на същата фирма е CG-6 Autograv™ Gravity Meter с доста подобрения, като нов софтуер с вградени карти и автоматично изчисляване на аномалиите на Буге, вграден GPS и др. Възможността за управление от таблет е една от новостите, която също е доста полезна. Не открих данни за използването му в археологията, но отзивите за работата му при проучвания в други области на науката са доста добри.

Съвместно използване на микрогравиметрията с други геофизични методи

Прилагането едновременно на няколко геофизични метода на един и същи обект отдавна се е наложило в практиката. Използвайки предимствата на всеки един от тях, получените резултати са по-коректни и дават много по-точна представа за скритите структури.

В Pasteka R. et al. (2019) е даден пример за съвместно използване на микрогравиметрия заедно с електросъпротивителна томография (ERT) и георадар (GPR).

Batayneh et. al (2007) представят проучване на археологически структури с микрогравиметрия, магнитометрия и електросъпротивителна томография (ERT).

И в двете публикации заключенията подкрепят съвместното използване на микрогравиметрията с други геофизични методи при проучване на археологически обекти и описват особеностите им.

Прилагане на метода в България

Гравитационни измервания в България за първи са извършени през 1926 година в град Провадия като целта е била търсене на солни залежи. Системни измервания на силата на тежестта на територията на цялата страна започват 1940-41 година и най-подробна информация за развитие на този процес до наши дни може да се намери в Михайлов и Радичев (2011). Голямото количество направени точни измервания за нуждите на геофизиката и геодезията, макар и с остаряла апаратура, е доказателство за професионализма на нашите специалисти.

Но за да се получат ефективни резултати при проучването на археологически обекти с този метод, е необходимо да се използват съвременни микрогравиметри с чувствителност 0,001mGal.

Няма информация за наличие на подобна апаратура у нас. Може да се предположи, че това е и причината до настоящия момент да не могат да бъдат открити данни за правени такива проучвания.

Заключение

Гравитационните измервания като метод за проучване на археологически обекти, макар и да се прилага от скоро, е доказал своята ефективност. Той е особено подходящ за локализиране на подземни кухини под сгради. Независимо, че тези изследвания могат да бъдат направени и с други видове геофизична апаратура, неговото основно предимство е устойчивостта му към външни смущения. Обекти, намиращи се в градска среда, са почти винаги под въздействието на различни техногенни фактори.

Наличието на бетонни структури, железни шахти, кабели и др. биха затруднили и дори направили невъзможно прилагането на електросъпротивителна томография (ERT), георадар (GPR) или магнитометър.

Тези фактори не влияят по никакъв начин на резултатите от гравиметричните измервания. В същото време съвместното използване на няколко различни геофизични метода е гаранция за точността на крайните резултати.

Като единствен недостатък може да се изтъкне високата стойност на микрогравиметрите. Цената на последните модели варира от 115000$ до 130000$, а тези, втора употреба, са в диапазона 50000$÷-70000. Но в същото време закупуването на такава апаратура ще позволи нейното ефективно използване и в други области, като геодезията и проучването на полезни изкопаеми.

В заключение може да се каже, че като ефективен недеструктивен метод, микрогравиметрията трябва намери приложение и при проучване на археологически обекти в България.

Като цяло прилагането на геофизичните способи в тази област е силно ограничено, което от своя страна води до излишни разходи на време и пари, както и до ненужно увреждане на исторически обекти и артефакти.

Литература

Добрев, Т., П. Ставрев. 1977. *Основи на геофизиката. София.*

Михайлов, Е., Р. Радичев. 2011. Гравиметрични измервания в България за периода от 1926 до 2011 година. - *Годишник на МГУ „Св Иван Рилски“. Том 54, Св I, Геология и геофизика*.

Abad, I., 2007. Non-destructive assessment of a buried rainwater cistern at the Carthusian Monastery ‘ Vall de Crist’ (Spain, 14th century) derived by microgravimetric 2D modelling. – *Journal of Cultural Heritage, 8(2007),* 197–201

Amarante, R., J. Trabanco. 2016. Calculation of the tide correction used in gravimetry. – *Article in Revista Brasileira de Geofísica*

Barton, K., R. Pasteka, P. Zahorec, J. Papco. 2011. In search of hidden chambers at Newgrange passage tomb. – *Archaeology Ireland, 254, 98,* 11–12.

Batayneh, A., J. Khataibeh, H. Alrshdan. 2007. The Use of Microgravity,Magnetometry and Resistivity Surveys for the Characterization and Preservation xofan Archaeological Site at Ummer-Rasas, – *Jordan Archaeological Prospection Archaeol. Prospect. 14,* 60–70.

Bishop, I. 1997. The detection of cavities using the microgravity technique: case histories from mining and karstic environments. – *Modern Geophysics in Engineering Geology, Geological Society, Engineering Geology Special Publication, 12,* 153–166.

Blızkovsky, M. 1979. Processing and applications in microgravity surveys. – *Geophysical Prospecting, 27, 4,* 848–861.

Chalikakis, K., V. Plagnes, R. Guerin, R. Valois, F. Bosch. 2011. Contribution of Geophysical Methods to Karst-system Exploration an Overview. – *Hydrogeology Journal (19).*

Eppelbaum, L. 2009. Application of microgravity at archaeological sites in israel: some estimation derived from 3-D modeling and quantitative analysis of gravity field. – *22nd EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems At: Texas, USA Volume: 22*

Eppelbaum, L. 2011. Review of Environmental and Geological Microgravity Applications and Feasibility of its Employment at Archeological Sites in Israel. – *International Journal of Geophysics.*

Friedrich, J., C. Gerstenecker, O. Gürkan. 1996. Gravimetric examination of Hagia Sophia’s subsurface structure. – *J. Geod 70.*

Ismail, N., M. Yanis, F. Abdullah. 2018. Mapping buried ancient structure using gravity method: A case study rom Cot Sidi Abdullah. – *North Aceh The 8th International Conference on Theoretical and Applied Physics*.

Lakshmanan, J., J. Montlucon. 1987. Microgravity probes the Great Pyramid. – *Geophysics: The Leading Edge of Exploration, 6, 1,* 10–17.

Linnington, R. 1966. The test use of a gravimeter on Etruscan chambered tombs at Cerveteri. – *Prospezioni Archaeology*, 1, pp. 37-41.

Owen, T. 1983. Detection and mapping of tunnels and caves. *In: Fitch A. A., (Ed.), Development in Geophysical Exploration methods, 5, 161258, Wiley,* 209–221.

Padin, J., A. Martin, B. Anquela. 2012. Archeological Microgravimetric Prospection Inside Don Church (Valencia, Spain). – *Archeological Science 39.*

Panisova, J., R. Pasteka. 2009. The Use of Microgravity Technique in Archeology: a Case Study from the St. Nicolas Church in Pukanec, Slovakia. – *Contributions to Geophysics and Geodesy, 39/3, p.* 237-254.

Pasteka, R., D. Kusnirak, D. Wilken et al. 2019. Effective combination of microgravimetry and geoelectrical methods in the detection of subsurface cavities in archaeological prospection – *selected case-studies from Slovakia. Contributions to Geophysics and Geodesy Vol. 49/4,* 479–496.

Pasteka R., J. Panisová, P.Zahorec,J. Papco, J. Mrlina, M. Frastia , G. Vargemezis , D. Kusnirak, I. Zvara, 2020 Microgravity method in archaeological prospection: methodical comments on selected case studies from crypt and tomb European *Cooperation in Science and Technology SAGA.*

Radogna, P., R. Olivier, P. Logean, 2003. Evaluation et calcul des effets des constructions en microgravimétrique urbaine. *4 Colloque GEOFCAN 23-24.*

Saibi, H. 2018. Microgravity and Its Applications in Geosciences *In book: Gravity - Geoscience Applications, Industrial Technology and Quantum Aspect*.

Scintrex ltd. 2012. *CG-5 Manual - part # 867700 Revision 8.*

Torge, W., 1989. In: Gruyter, Walter de (Ed.), Gravimetry.

Wenzel, G., 1999. *Earth Tide Data Processing Package, Eterna Version 3.32. User Manual*.

СЕКЦИЯ

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МИНИТЕ

SECTION

MECHANISATION, ELECTRIFICATION, AND AUTOMATION OF MINES

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT REGRESSION METHODS FOR PREDICTING FIELD EXPLORATION DATA FROM A LEAD-ZINC DEPOSIT

Kremena Arsova-Borisova

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

ABSTRACT. A comparative analysis of different regression methods for predicting a useful indicator was performed on data from an operational study. Within the framework of the study, real data from an exploitation survey of a lead-zinc deposit were investigated by means the built-in Predict function of the Wolfram Mathematica v.13.

Key words: regression analysis, machine learning

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА РАЗЛИЧНИ РЕГРЕСИОННИ МЕТОДИ ЗА ПРОГНОЗА ВЪРХУ ДАННИ ОТ ЕКСПЛОАТАЦИОННО ПРОУЧВАНЕ НА ОЛОВНО-ЦИНКОВО НАХОДИЩЕ

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

РЕЗЮМЕ: Върху данни от експлоатационно проучване е извършен сравнителен анализ на различни регресионни методи за прогнозиране на полезен показател. В рамките на конкретното изследване са изследвани реални данни от експлоатационно проучване на оловно-цинково находище посредством вградена функция Predict на продукта Wolfram Mathematica v.13.

Ключови думи: регресионен анализ, машинно самообучение

Introduction

The continuous and increasing amount of data generated from various sources necessitates the need for effective methods for processing, analyzing and extracting additional information. In recent years, a lot of advancements have been done in the field of the so-called machine learning. Data mining and machine learning methods have great potential for data integration. They are widely used in various scientific and engineering fields, including the mining industry. Those methods can be used to solve various tasks such as classification, clustering, prediction, discovering functional dependencies, discovering patterns in large data sets, etc. The end goal for the mining enterprises is the prediction of the quality indicators in the ore and their metal content (Hristov V., St. Topalov, 2012). “Machine learning is becoming an appealing tool in various fields of earth sciences, especially in resources estimation” (Caté, Antoine & Perozzi, Lorenzo & Gloaguen, Erwan & Blouin, Martin, 2017).

The core concept in the field of machine learning is regression analysis. It is a statistical method for modelling relationships between dependent variables (targets) and independent variables (predictors). Information about the nature and form of a given dependence can be obtained with the help of regression analysis. It is used to find trends in data variation and aid predict values of dependent variables for new or missing values of independent variables.

In the present article, a comparative analysis of seven regression methods is made. They ate included in the built-in predict function (Predict) by the system of mathematical calculations and analysis Wolfram Mathematica v13.

In (Topalov St., V. Hristov, 2019) a similar comparative analysis of some of the methods was used to predict copper content data in ores, with the (Recipes module) of SoftStat STATISTICA 12.

Experimental Framework

The dataset was obtained from the operational study of spent exploitation blocks on horizon 540 (block №7, block №9 and block №11), horizon 590 (block №7, block №9 and block №11) and horizon 640 (block №11, block №13 and block №15 and block №17) of the Varba deposit.

The data, totaling 339, are aggregated by horizons. They are defined by the coordinates X, Y and contain information about the content of the main quality indicators - lead and zinc.

The distribution of Pb and Zn is given in Figure 1.

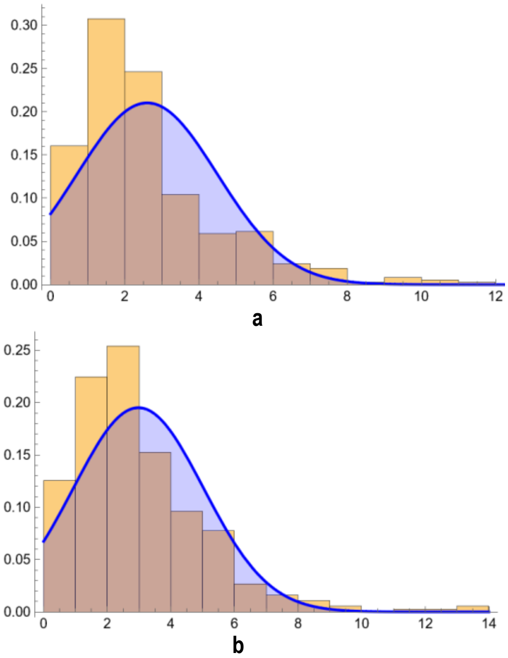


Fig 1. Distribution of useful component: lead (a) and zinc (b)

The built-in Predict function of the Wolfram Mathematica v. 13 software product was used to conduct the analyses. The methods included in the Predict function are:

Decision Tree (DT) – a supervised learning algorithm that can be used to solve both classification and regression problems. It can solve problems for both categorized and numerical data. When solving a regression problem, a tree structure is used in which each internal node represents the "test" for an attribute, each branch represents the result of the test, and each leaf represents the final solution or a result.

Gradient Boosted Trees (GBT) - used for both classification and prediction tasks. Gradient Boosted Tree works by building consistently simpler (weaker) prediction models, where each model tries to predict the error left by the previous model. These models are known as "weak students" because they are simple forecasting rules that perform slightly better than arbitrary ones.

Linear regression (LR) - a statistical regression method used for predictive analysis. Linear regression indicates the linear relationship between the independent variable and the dependent variable, which is why it is called linear regression. If there is only one input (independent) variable, then such a linear regression is called simple linear regression. And if there is more than one input variable, then such a linear regression is called multiple linear regression.

K-Nearest Neighbours (KNN) – a simple and versatile algorithm that stores all available cases and predicts the numerical target based on a similarity measure (e.g. distance functions). When a new item appears, it is compared to those that are already classified and searched for those closest to it and against the same measure. In this method, the right solutions are not necessarily the exact ones, but those that are the best possible.

Neural Network (NN) - a simplified model of neurons connected in the human brain. They perform parallel processing of information, enabling them to solve complex tasks with a small number of steps.

Random Forest (RF) – used to solve regression and classification tasks. It is an ensemble learning method that combines multiple decision trees and predicts the final result based on the average of each tree's result. Ensemble learning is a process in which multiple machine learning models are generated and combined to solve a particular problem.

Gaussian Process (GP) – a generalized supervised learning method designed for solving regression and probabilistic classification problems.

Results

The data on the values of the two useful indicators – lead and zinc are organized in tabular form in MS Excel spreadsheet. Three files were created for the three working horizons respectively – 540 (68 samples), 590 (97 samples) and 640 (174 samples). In separate tables, for each horizon, the lead and zinc content data from the exploitation study are contained, spatially determined by their coordinates (x, y) in a conditional coordinate system. The files were then exported to the Wolfram Mathematica v.13 environment.

Regression analysis is carried out separately for the two indicators using the above seven methods for each of the three horizons, with the content of the useful component being the dependent variable and the coordinates x and y is the independent. The results are shown in tables, for each horizon and its useful indicator. Each table contains: mean ($\bar{x}$) and variance (σ^2) of the original data; correlation coefficient (PCC) and the error (SE) of the predicted data for each method; mean and variance of forecasts.

Table 1 represents the results for Horizon 540 and the useful lead component. From the correlation coefficient values, it can be observed that the best result gives the method of Gradient Boosted Trees (GBT). Actual versus predicted data is shown in Figure 2. The predicted values obtained by the DT method for lead in this horizon are unsuitable for further analysis

Table 1. *Horizon 540, lead (Pb)*

$\bar{x}$ Pb, %	σ^2 Pb, %	Method	PCC	SE	Pred. $\bar{x}$ Pb, %	Pred. σ^2 Pb, %
2.57	5.29	DT	-	-	-	-
		GBT	**0.73**	**0.14**	**2.59**	**1.40**
		LR	0.20	0.06	2.57	0.21
		KNN	0.55	0.13	2.66	1.13
		NN	0.21	0.06	1.93	0.22
		RF	0.57	0.15	2.34	1.58
		GP	0.56	0.19	2.41	2.49

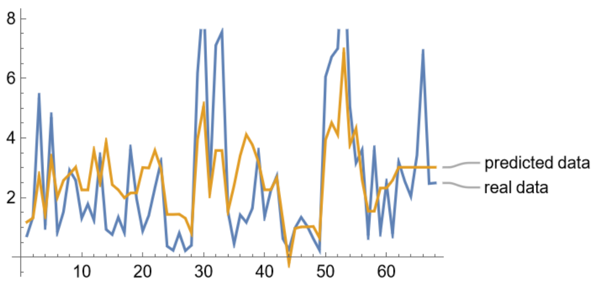


Fig 2. Actual versus predicted GBT method data for horizon 540 and lead (Pb) useful component

Table 2 represents the results for Horizon 540 and a useful zinc component. Actual versus predicted data is shown in Figure 3. Here the Gaussian Process (GP) method is best represented.

Table 2. *Horizon 540, zinc (Zn)*

$\bar{x}$ Zn, %	σ² Zn, %	Method	PCC	SE	Pred. $\bar{x}$ Zn, %	Pred. σ² Zn, %
2.4	4.18	DT	0.32	0.09	2.45	0.57
		GBT	0.68	0.02	2.41	0.02
		LR	0.35	0.09	2.40	0.50
		KNN	0.60	0.13	2.47	1.09
		NN	0.41	0.11	2.47	0.79
		RF	0.59	0.13	2.09	1.16
		GP	**0.87**	**0.19**	**2.41**	**2.49**

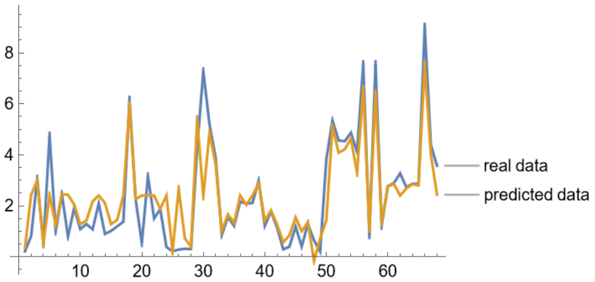


Fig 3. Actual versus predicted GP method data for horizon 540 and zinc (Zn) useful component

Table 3 presents the results for Horizon 590 and a useful lead component. Here can be observed that two methods weld the best results– Random Forest (RF) and Gaussian Process (GP). Actual versus predicted data is shown in Figure 4 (RF method) and Figure 5 (GP method). The predicted values obtained by the DT method for lead in this horizon are unsuitable for further analysis.

Table 3. *Horizon 590, lead (Pb)*

$\bar{x}$ Pb, %	σ² Pb, %	Method	PCC	SE	Pred. $\bar{x}$ Pb, %	Pred. σ² Pb, %
2.36	2.31	DT	-	-	-	-
		GBT	0.69	0.04	2.36	0.14
		LR	0.28	0.04	2.36	0.17
		KNN	0.58	0.08	2.33	0.69
		NN	0.33	0.05	2.29	0.24
		RF	**0.70**	**0.10**	**2.33**	**0.89**
		GP	**0.70**	**0.11**	**2.36**	**1.18**

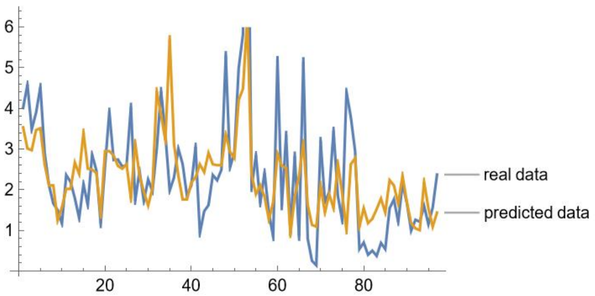


Fig 4. Actual versus predicted RF method data for horizon 590 and lead (Pb) useful component

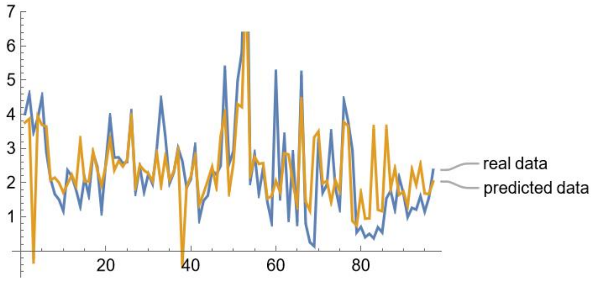


Fig 5. Actual versus predicted GP method data for horizon 590 and lead (Pb) useful component

Table 4 shows the results for Horizon 590 and useful zinc component. Here can be noted that the best result is given by Gaussian Process (GP). Actual versus predicted data is shown in Figure 6 (GP method).

Table 4. *Horizon 590, zinc (Zn)*

$\bar{x}$ Zn, %	σ² Zn, %	Method	PCC	SE	Pred. $\bar{x}$ Zn, %	Pred. σ² Zn, %
3.01	3.41	DT	0.58	0.11	3.01	1.13
		GBT	0.74	0.12	2.96	1.32
		LR	0.37	0.07	3.01	0.48
		KNN	0.58	0.10	3.00	0.97
		NN	0.26	0.05	2.29	0.24
		RF	0.70	0.10	2.94	0.99
		GP	**0.82**	**0.10**	**3.05**	**0.98**

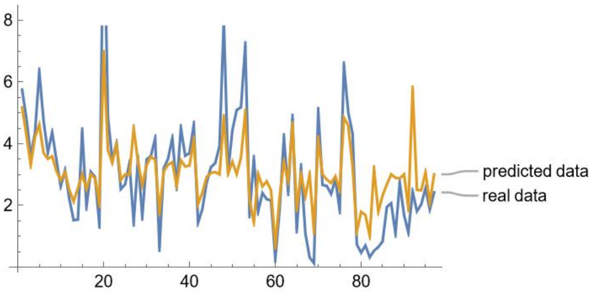


Fig 6. Actual versus predicted GP method data for horizon 590 and zinc (Zn) useful component

Table 5 presents the results for Horizon 640 and a useful lead component. The best result is given by the Gaussian Process method (GP). Actual versus predicted data is shown in Figure 7.

Table 5. *Horizon 640, lead (Pb)*

$\bar{x}$ Pb, %	σ² Pb, %	Method	PCC	SE	Pred. $\bar{x}$ Pb, %	Pred σ² Pb, %
2.83	3.96	DT	0.51	0.09	2.82	1.26
		GBT	0.74	0.09	2.82	1.40
		LR	0.31	0.05	2.83	0.39
		KNN	0.63	0.09	2.86	1.44
		NN	0.36	0.05	2.80	0.43
		RF	0.70	0.10	2.92	1.88
		GP	**0.88**	**0.11**	**2.77**	**2.10**

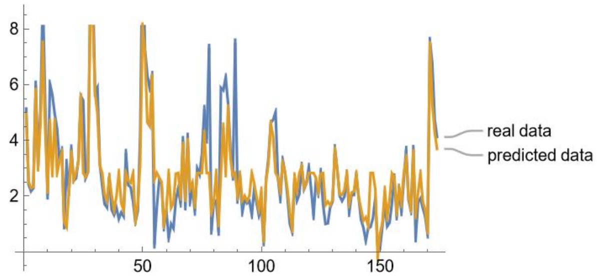


Fig 7. Actual versus predicted GP method data for horizon 640 and lead (Pb) useful component

Table 6 shows the results for Horizon 640 and a useful zinc component. The best results are given by the methods of Gradient Boosted Trees (GBT) and Gaussian Process (GP). Actual versus predicted data is shown in Figure 8.

Table 6. *Horizon 640, zinc (Zn)*

$\bar{x}$ Zn, %	σ^2 Zn, %	Method	PCC	SE	Pred. $\bar{x}$ Zn, %	Pred. σ^2 Zn, %
3.24	4.72	DT	0.54	0.12	3.29	2.41
		GBT	**0.89**	**0.12**	**3.21**	**2.66**
		LR	0.36	0.06	3.24	0.62
		KNN	0.68	0.11	3.26	1.95
		NN	0.31	0.05	2.80	0.43
		RF	0.73	0.11	3.37	2.24
		GP	0.75	0.07	3.22	1.01

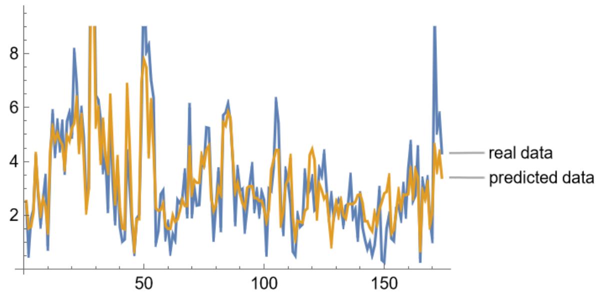


Fig 8. Actual versus predicted GBT method data for horizon 640 and zinc (Zn) useful component

Conclusions

As a result of the seven comparative analyses, the rating of the different methods based on correlation coefficients is as follows:

Table 7. *Rating of methods*

Method	Place in general	Place/lead	Place/zinc
DT	6	7	5
GBT	**2**	**1**	**2**
LR	7	6	6
KNN	4	4	4
NN	5	5	7
RF	3	3	3
GP	**1**	**2**	**1**

It can be seen that the methods GP (Gaussian Process) and GBT (Gradient Boosted Trees) give the best quality result both in the general case and separately for the two useful components. It is possible that with a more precise adjustment of the methods, this ranking could change, but not significantly.

References

Caté, Antoine & Perozzi, Lorenzo & Gloaguen, Erwan & Blouin, Martin. 2017. Machine learning as a tool for geologists. - *The Leading Edge. 36.* pp. 215-219. 10.1190/tle36030215.1.

Hristov, V., St. Topalov. 2012. Varianti na prognozirane s nevronni mrezhi pri podzemen dobiv na olovno – cinkova ruda. – Treta nacionalna nauchno–tehnicheska konferencija s mezhdunarodno uchastie „Tehnologii i praktiki pri podzemnija dobiv v minnoto stroitelstvo”, Devin, pp. 26 – 31. (in Bulgarian)

Topalov St., V. Hristov. 2019. Data mining of open pit mine-geological data. – *Proceedings of the XV International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals, Varna, Bulgaria,* 3-7 June, ISSN 2535-0854, pp. 261-267

KNIFE SIZING FOR THE SRS 4000 BUCKET WHEEL EXCAVATOR

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: This article focuses on determining the dimensions of a specific knife of the SRS 4000 bucket wheel excavator. The calculated scheme chosen is in the form of a broken spatial frame. It is supported by four inclined rods and its two ends are fixed. Most of the frame lies in one plane. The load on the teeth of the knife is asymmetric. It is divided into two groups. The first group includes transverse forces and moments, lying in the plane of the frame. The second load group is composed by forces lying in the plane of frame and moments perpendicular to it. Both load groups lead to the solution of two tasks. In the first task, the frame is subjected to the first load group. The calculation scheme is frame supported by four vertical rods and clamped at both ends. The solution is described in previous articles. The current article solves the second problem. The frame is loaded with the second load group. The components of the reactions in the inclined rods lying in the plane of the frame are added to this load group. To determine the internal moments, the force method is used. The solution is illustrated by a numerical example. For a specific frame, first the reactions of the inclined rods loading the frame are determined. Then, a force method is applied and the reactions at both ends of the frame and the internal moments are obtained. Finally, the dimensions of the knife are calculated.

Key words: bucke knife, stresses, force method.

ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА НОЖ НА КОФА ЗА РОТОРЕН БАГЕР SRS 4000

Р. Вучева, В. Трифонова–Генова

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

РЕЗЮМЕ: Статията е фокусирана върху оразмеряване на нож на кофа за роторен багер SRS 4000. Избрана е изчислителна схема с форма на начупена пространствена рамка. Тя е подпряна с четири наклонени пръта и е запъната в двата края. Голяма част от рамката лежи в една равнина. Натоварването върху зъбите на ножа е несиметрично. То се разлага на две групи. Първата група включва напречни сили и моменти, лежащи в равнината на рамката. Втората група натоварване се състои от сили, лежащи в равнината и моменти перпендикулярни на нея. Двете групи натоварване води до решаване на две задачи. В първата задача рамката е подложена на първата група натоварване. Изчислителната схема е рамка, подпряна с четири вертикални пръта и е запъната в двата края. Решението е описано в предишни статии. Тази статия решава втората задача. Рамката е натоварена с втората група натоварване. Към него са прибавени компонентите на реакциите в наклонените пръти, лежащи в равнината на рамката. За определянето на вътрешните моменти се прилага силов метод. Решението е илюстрирано с числен пример. За конкретна рамка първо са определени реакциите в прътите, натоварващи рамката. След това е приложен силов метод и са получени реакциите в двата края на рамката и вътрешните моменти. Накрая са изчислени размерите на ножа.

Ключови думи: ножа на кофа, напрежения, силов метод.

Introduction

The dimensions of a bucket knife for the SRS 4000 rotary excavator are determined on the basis of technical calculations. They start by choosing a calculation scheme. The bucket knife is replaced with the broken frame supported by four inclined rods. The load on the teeth is asymmetric and decomposed into two types. The first type includes transverse forces and moments lying in the plane of the frame. The second type of load consists of forces lying in the plane of the frame and moments perpendicular to it.

The first type of loading leads to the solution of a special broken frame described in previous works of the authors (Vucheva et al., 2017, 2018, 2021). The frame is supported by vertical rods. Their reactions determine the reactions in the inclined rods.

The main purpose of this paper is to describe the solution of the framework resulting from the action of the second type of load.

Methods

1. Formulation of the problem

The frame is clamped at both ends (A_*, B_*) and is supported by rods at points K, I, A_3, and C (fig.1). The components of the rods are determined by the dependences given in (Dinev et al., 2016b). They involve the vertical reaction of the support rods, the result of the solution of the first problem (Vucheva et al., 2021). To these components of the rods are added the forces (P_i^{**}), the bending moments (M_{zi}), applied in points A_i ($i = 1 \div 4$) (Dinev et al., 2016a, 2016b).

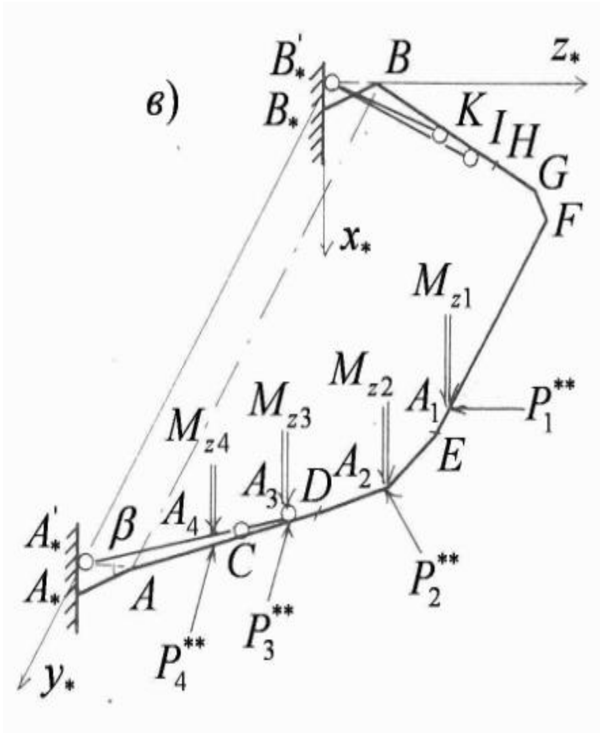


Fig. 1 Calculation scheme

2. Internal moments in the frame

The frame is clamped on both sides and has three unnecessary connections. The forces method (Kisyov, 1978; Vulkov, 2011) is used to determine the reactions in it.

2.1. Reactions in the supports

When choosing a basic system, the reactions in support B_* are considered redundant. The main system is a frame clamed at end A_*. The system of equations of the method is compiled. These equations express the equivalence conditions for the basic and for the given system:

$$[A]\{X\} = \{B\}, \tag{1}$$

where

$$\{X\}^{-1} = \{X_1 \quad X_2 \quad X_3\}^{-1};$$
$$\{B\}^{-1} = \{B_1 \quad B_2 \quad B_3\}^{-1};$$

$$[A] = \begin{bmatrix} \delta_{12} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{bmatrix}.$$

The elements of matrix $[A]$ and vector $\{B\}$ of equation (1) are determined by expressions given in a previous works of the author (Vucheva et al., 2021).

The main system is loaded successively by an external load and by unit forces and moment applied to support B_*. For each load, the corresponding diagrams of the internal moments are obtained.

The system of linear equations (1) is solved by the Gaussian method. The other reactions in support A_* are determined by equilibrium equations (Vulkov et al., 2013).

2.2. Internal moments

The formulae for the internal moments in the frame of figure 1 are given the above-cited authors' work.

3. Stresses

To determine the dimensions of the cross section in the frame, the strength condition is used:

$$\sigma_{eq}^{III} \le \sigma_{adm}, \tag{2}$$

where

σ_{adm} is the allowable stress for a given material;

σ_{eq}^{III} is the equivalent stress according to the third strength theory.

The expression of stress is given in a previous work by the authors (Vucheva et al., 2021). It involves the internal and resistance moments to three axes in the endangered sections. The cross section is rectangular. The unknown dimensions are two: width and height. Therefore, the width is considered known. The resistance moments are expressed by the unknown height. After simple operations, a fourth degree equation is reached. Its roots are determined by the chord method (Petrova-Deneva et al., 1977).

4. Numerical example

The vertical components of the inclined rods in the frame were obtained in a previous work of authors (Vucheva et al., 2021). They are given in the second column of table 1. The other components of the rods are listed in the next two columns of the table.

Table 1. *Components of the rods, kN*

S_i	x_*	y_*	z_*
S_K	3.42	0.45	1.49
S_I	-313.17	-41.55	-136.75
S_3	-120.34	-15.97	-52.55
S_C	379.23	50.31	165.60

The main system is subject to the action of external forces and moments. From the solution of this problem, the internal moments in Table 2 are obtained.

Table 2. *Internal moments in main system by external load, kNm.*

point	M_x	M_y	M_z
I	0	0	-0.17
H	0	0	10.36
G	0	0	32.75

F	0	0	63.33
A_1	0	0	149.48
E	0	0	160.72
A_2	0	0	181.22
D	0	0	196.90
A_3	0	0	200.23
C	0	0	202.15
A_4	0	0	207.98
A	-80.45	189.55	205.92
A_*	-74.97	176.64	191.89

The internal moments in the main system, which is loaded with single forces and moment, are also obtained. They participated in the expressions for elements in the matrix $[A]$ and the vector $\{B\}$. Ready-made tables (Trifonova-Genova et al., 2017) are used in their calculation. The results are given in Tables 3 and 4.

Table 3. *Elements* $\delta_{ij}.10^{-6}$

δ_{11}	δ_{12}	δ_{13}
49.088	18.180	-0.317
δ_{22}	δ_{23}	δ_{33}
30.367	-0.223	0.004

Table 4. *Elements* $\Delta_i^P.10^{-6}$

Δ_1^P	Δ_2^P	Δ_3^P
-3 514.060	-2 552.089	37.319

Applying the Gaussian method, the support reactions in the redundant connections of the frame are obtained. Their values are shown in Table 5.

Table 5. *Reactions in supports:* X_i

X_1	X_2	X_3
-7.701	-11.651	9 221.679

The final internal moments of the given frame of figure 1 are shown in table 6. It turns out that these values are smaller than the internal moments for first type of load. Therefore, these moments do not increase the dimensions of the cross-section obtained in a previous work of the authors.

The stresses for the spatial frame according to formula (2) are checked. The internal moments are a sum of the internal moments from this and previous work of the authors. The final dimensions of the cross section of the frame are those of the above-cited work of the authors (Vucheva et al., 2021).

4. Key finding

The article describes the second stage of an algorithm for determining the cross-sectional dimensions of a specific frame.

The results of the solution of this problem show that the influence of the second type of load on the dimensions of the frame is small. The computational work is reduced. Instead of solving a spatial frame, a planar-spatial frame is solved.

Table 6. *Internal moments, kNm.*

point	M_x	M_y	M_z
B_*	0	0	92.22
B	0	0	94.38
K	0	0	99.40
I	0	0	101.21
H	0	0	113.38
G	0	0	138.43
F	0	0	170.83
A_1	0	0	263.09
E	0	0	274.16
A_2	0	0	298.26
D	0	0	310.12
A_3	0	0	313.79
C	0	0	313.29
A_4	0	0	328.88
A	-81.37	188.94	314.25
A_*	-75.89	176.03	298.05

Conclusion

This paper presents a solution to the second problem of a method for determining the dimensions of a bucket knife for a rotary excavator SRS 4000. The following advantages can be deduced from the obtained numerical results:

1. The described method enriches the analytical methods for solving spatial frames under the action of spatial loading.
2. It uses the force method. This method is easy to apply by designers when designing a bucket knife.

References

Dinev, N., R. Vucheva, V. Trifonova-Genova. 2016a. Numerical modelling of load on the knife of bucket. - *Annual of University of Mining and Geology “St. Iv. Rilski”*, *59*, Number III: Mechanisation, Electrification and Automation in Mines, 41–44 (in Bulgarian with English abstract).

Dinev, N., R. Vucheva, V. Trifonova-Genova. 2016b. Study on the stress state of knife bucket. - *Annual of University of Mining and Geology “St. Iv. Rilski”*, 59, Number III: Mechanisation, Electrification and Automation in Mines, 38–40 (in Bulgarian with English abstract).

Kisyov, I. 1978. *Saprotivlenie na materialite*. D. I. “Tehnika”, Sofia, 594p. (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., M. Valkov, A. Stoyanov, S. Sezonov. 2017. *Saprotivlenie na materialite, Sbornik ot zadachi I* *metodichni ukazania*. Izd. Kashta “Sv. Iv. Rilski”, Sofia, 320p. (in Bulgarian).

Vulkov, M. 2018. *Saprotivlenie na materialite – II chast*. Izd. Kashta “Sv. Iv. Rilski”, Sofia, 268p. (in Bulgarian).

Vulkov, M., S. Pulev. 2013. *Rakovodstvo za reshavane na zadachi po teoretichna mehanika. Chast 1, Statika*, Izda. Kashta “St. Iv. Rilski”, Sofia, 133p. (in Bulgarian).

Vucheva, R., V. Trifonova-Genova. 2017. An approach for determining the internal forces in a bucket knife - *Journal of Mining and Geological Sciences*, *60*, Number III: Mechanisation, Electrification and Automation in Mines, 34–38.

Vucheva, R., V. Trifonova-Genova. 2018. Determining the diagrams of internal forces in a knife on an excavator bucket - *Journal of Mining and Geological Sciences*, *61*, Number III: Mechanisation, Electrification and Automation in Mines, 29–33.

Vucheva, R., V. Trifonova-Genova. 2021. Determining the stresses in bucket knife of SRS 4000 bucket wheel excavator - *Journal of Mining and Geological Sciences*, *64*, Number III: Mechanisation, Electrification and Automation in Mines, 143–146.

FINITE STATE MACHINE OPTIMISATION THROUGH RESOURCE SWITCHING

Yassen Gorbounov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; E-mail: y.gorbounov@mgu.bg

ABSTRACT. The article presents an approach for optimising the use of finite state machines in terms of the hardware resource used in physical implementation. This is done by using a shared context, which allows the repeated use of one and the same computational structure to perform different tasks. In this way, complex control algorithms can be implemented using a reduced number of components. The proposed approach makes it possible to achieve a high degree of integration and preserve the integrity of the signal by achieving shorter paths for its propagation. Ultimately, this leads to a reduction in energy consumption and a lower cost.

Key words: finite state machines, context switching, programmable logic.

ОПТИМИЗАЦИЯ НА КРАЙНИ АВТОМАТИ ЧРЕЗ ПРЕВКЛЮЧВАНЕ НА РЕСУРСИ

Ясен Горбунов

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

РЕЗЮМЕ. Статията представя подход за оптимизация на използването на крайни автомати по отношение на заемания при физическа реализация хардуерен ресурс. Това е направено чрез използване на споделен контекст, което позволява многократната употреба на един и същ изчислителен апарат за изпълнение на различни задачи. По този начин могат да бъдат реализирани сложни управляващи алгоритми, използващи редуциран брой компоненти. Предложеният подход дава възможност за постигане на висока степен на интеграция и запазване на интегритета на сигнала чрез постигане на по-къси пътища за неговото разпространение. В крайна сметка това води до намаляване на консумацията на енергия и понижена цена.

Ключови думи: крайни автомати, контекстуално превключване, програмируема логика.

Introduction

With the burst development of computing technology, the demands on digital circuits increase in terms of their speed, the reduction of energy consumption, and the increase in the degree of integration. For this reason, programmable logic devices, which can be distinguished by their high operating frequencies, the possibility of multiple reprogramming, and their ability to execute parallel algorithms (Pavlitov 2007, Harris 2013), are increasingly used nowadays. This feature is inherent in their architecture and is their undeniable advantage over conventional microprocessors and microcontrollers.

The contemporary user-programmable logic devices can be categorised generally into two major groups – FLASH-based Complex Programmable Logic Devices (CPLD) and RAM-based Field Programmable Gate Arrays (FPGA) with the later being most promising. These integrated circuits abound in logic gates which connections can be configured by the user and allow for the flexible synthesis of complex circuits. In the devices of the first type, the main building block is the functional block that comprises a Programmable Logic Array (PLA) or Programmable Array Logic (PAL) matrix and a bunch of Macrocells (MC) whose core is the D-type flip-flop. The devices of the second type contain Look-up Tables (LUT), an adder, a D-type flip-flop and several multiplexers, all combined in a Configurable Logic Block (CLB) which is repeated in a field programmable structure. This organization is depicted in Fig. 1.

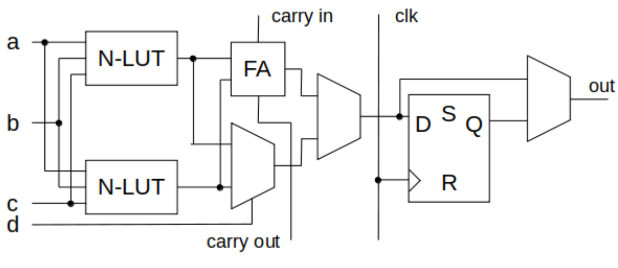


Fig. 1. Typical configurable Logic Block (CLB) cell in a FPGA

Besides this FPGAs integrate several single or dual-port Block RAMs of few kilobytes each. The above shows that the number of registers in an FPGA is limited, while at the same time memory cells prevail.

Finite automata are often used to solve various tasks and build complex algorithms to control the execution of processes in automation and computer technology in general. Their principle of operation will be discussed later. Here it is important to mention only that the central place in their structure is occupied by the state register, which is essentially a memory. To solve a specific task, structures composed of several finite state machines (FSM) can be used. Very often they can be of the same type but perform different and sequential or time-multiplexed tasks. In essence, this principle is similar to the multitasking mechanism introduced long ago in computer architectures (Hennessy 2012, Muhammad 2020). The aim of the present article is to propose a unified approach for the repeated use of a computational structure (finite automaton) on which the state register is replaced at different moments of time, i.e. the contents of the memory. This allows reducing the number of flip-flops at the expense of flexible use of the built-in Block RAM memory without affecting the performance of the algorithm.

FSM architectural overview

Finite automata represent an abstract mathematical behavioral model of a machine with finite number of states and limited memory. There exist three major types of finite state automata, namely Medvedev, Moore, and Mealy state machine. Their organisation is summarised in Fig. 2.

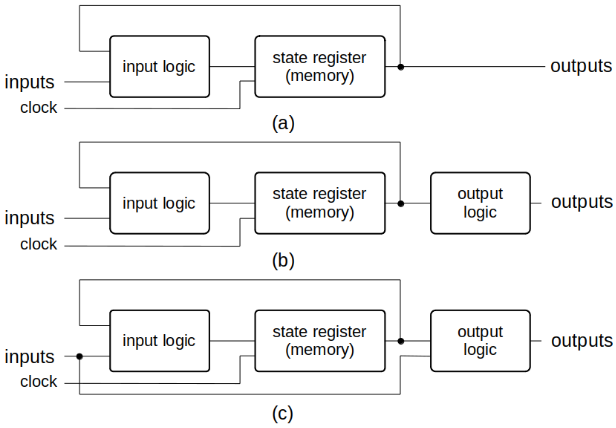


Fig. 2. The three types of finite state automata: (a) Medvedev, (b) Moore, and (c) Mealy

It can be seen that the Medvedev FSM (a) is included in all other types. The combinational logic that forms the inputs of the state register is one and the same for each of the three FSM types. Only the logic that forms the outputs differ.

Mathematically the FSM can be defined by its input alphabet *X*, output alphabet *Z*, and internal states *A* (1).

$$X=\{x_0,x_1,x_2,\dots,x_n\}$$
$$Z=\{z_0,z_1,z_2,\dots,z_m\} \qquad (1)$$
$$A=\{a_0,a_1,a_2,\dots,a_w\}$$

One of the states is set as the initial state and it is entered on reset. The working algorithm of the FSM is defined by its transitions function (2).

$$A_{new}=\lambda(A_{old},X) \qquad (2)$$

Finally the differing function of the outputs is given by (3) for the Moore state machine and by (4) for the Mealy state machine.

$$Z=\delta_1(A) \qquad (3)$$
$$Z=\delta_2(A,X) \qquad (4)$$

Of practical interest is the design of deterministic finite state automata (DFA) where each of their transitions is determined by the state and a letter of the input alphabet; the reading of an input character is mandatory for each transition; each state has at most one transition at a given input.

From the given description, which is quite trivial, two deductions can be made. First, in some cases it is possible to keep the organisational structure of the FSM but only change the contents of the memory. Second, it is possible to mix the FSM styles (Moore and Mealy) by using two independent output functions.

Example of the problem

A simplified traffic light controller model can serve as a basic example of the problem of using several finite state machines that share one and the same functionality. A drawing of this model is shown in Fig. 3.

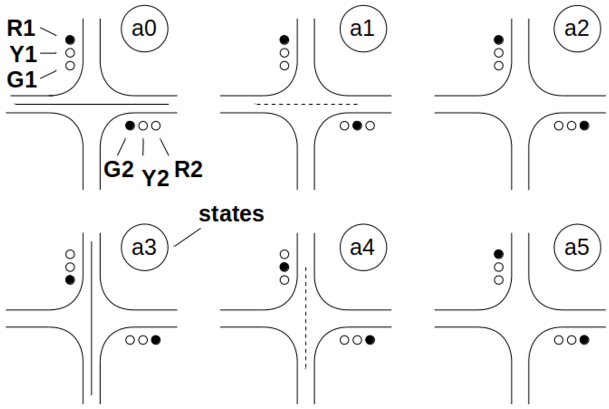


Fig. 3. Simplified traffic light controller model

This model represents two traffic lights that control the traffic in North-South (NS) and East-West (EW) directions on a crossroad. It has 6 states but for safety reasons, two of them are repeated. In state a0 the movement in the NS direction is forbidden while the EW direction allows passage. In state a0 the NS direction is still forbidden while the yellow light is lit for the EW direction allowing some time for those who entered the crossroad to leave it. In state a2 both NS and EW directions are blocked. In state a3 the passage is allowed in the NS direction and forbidden in the EW direction. In a4 the yellow light is lit for the NS direction allowing those who entered the crossroad in this direction to leave it. In the a5 state, both NS and EW directions are blocked. Next, the sequence repeats.

The directed graph of the described algorithm is shown in Fig. 4. The main loop is represented with the nodes a0 to a5. To make the crossroad even safer a display that shows the remaining time is added and it can be different for the different traffic light colors. In the graph the timer is represented with the hexagonal nodes that contain the number of the remaining seconds. This algorithm can be implemented using three counters. The first one is responsible for the main loop (the states in Fig. 3) and it is counting up. The second one is responsible for the time of 59 seconds. This larger time is needed for the red/green lights as this is the longest wait time. In this mode the counter is counting down.

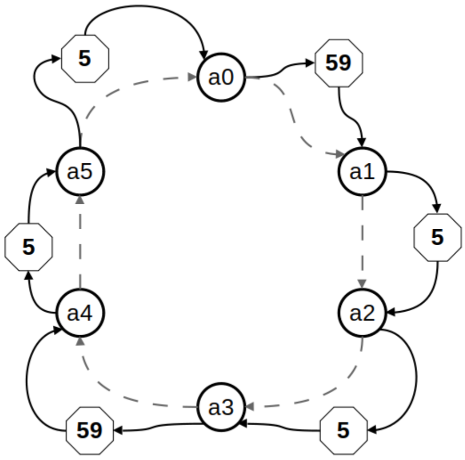


Fig. 4. Directed graph of the simplified traffic light controller model

The third counter is also counting in the down direction but it is initialized with a smaller time of 5 seconds.

Although normally the traffic light systems are not designed exactly this way, the example clearly demonstrates how similar finite state machine models can operate together. Since in this case, they work consecutively it becomes obvious that a single FSM is sufficient for the task.

Context switching approach

The context switching technique is commonly used in the computer architecture domain in which the context or states of a process are stored so that they can be restored at a time when the processor resumes the execution of the process. Context switching is a feature of multitasking, which enables a single processor to be shared by multiple processes (Hennessy 2012, Muhammad 2020). The same concept can be applied at the low level when designing FSM models such as the one that was described in the previous chapter.

The generalised concept of context switching is depicted in Fig. 5.

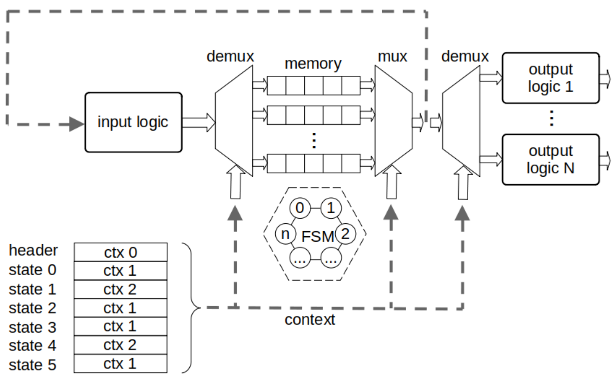


Fig. 5. Context switching technique applicable to finite state machine modeling

The example in this figure is based on the traffic light model but it is valid in the more general case. A comparison with Fig. 2 shows that the input logic and the state transitions table (equation (2)) remain the same while the contents of the state register are changing as it corresponds to distinct counting numbers. If replacing the latter functionality with a memory an array of values can be created. The exact value (memory row) can be stored and fed back to the input logic with the aid of a synchronously working pair of input demultiplexer and an output multiplexer. Their selector inputs are controlled by the switching matrix – a table that contains the number of the context. Using the same demultiplexing mechanism the output logic functions can also differ between each other depending on the context. Despite the fact that these functions are purely combinatorial, i.e. they do not possess memory, they will never lose their outputs because they are connected with the memory array that forms the state register.

For the example of the traffic light controller the up/down counter shown in Fig. 6 can be used. It is of a synchronous type which guarantees that no cumulative delay in the clock chain will be generated. Also this counter supports asynchronous reset and load.

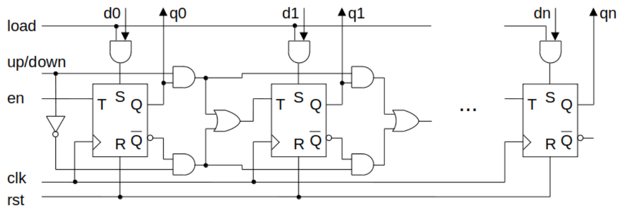


Fig. 6. An N-bit synchronous up/down counter built using T flip-flops

Instead of implementing the same circuit at the gate level, the behavioural modeling style could be used as it is much more versatile. The parameterised Verilog description of the N-bit synchronous behavioural up-down counter is given in Table 1. This code allows to easily reconfigure the bit-width of the counter without having to redesign it.

Table 1. *Parameterised Verilog code of the N-bit synchronous behavioural up-down counter*

```
module cntNbitUpDown #( parameter N = 4 ) (
   input                 i_clk,
   input                 i_rst,
   input                 i_dir,
   input                 i_load,
   input [N-1 : 0]       i_data,
   output reg [N-1 : 0]  o_cnt);

   always @(posedge i_clk or negedge i_rst or posedge i_load)
      if (~i_rst)
         o_cnt = 0;
      else
         if (i_load)
            o_cnt = i_data;
         else
            if (i_dir)
               o_cnt = o_cnt + 1;
            else
               o_cnt = o_cnt - 1;
endmodule
```

The parameterised Verilog description of the synchronous memory array is given in Table 2. This code allows to change the number of address bits and the word size by configuring parameters A_SIZE and W_SIZE.

Table 2. *Parameterized Verilog code of the memory module*

```
module mem
  #( parameter A_SIZE = 4,
     parameter W_SIZE = 8 ) (
  input                  i_clk,
  input                  i_rst,
  input [A_SIZE-1 : 0]   addr,
  input [W_SIZE-1 : 0]   i_data,
  input                  i_cs,
  output [W_SIZE-1 : 0] o_data );

  reg [W_SIZE-1 : 0]   mem   [0 : A_SIZE-1];

  assign o_data = mem[addr];

  integer i;
  always @(posedge i_clk or negedge i_rst) begin
     if (~i_rst | i_cs)
        if (~i_rst)
           for (i = 0; i < (A_SIZE-1); i = i + 1)
              mem[i] <= 0;
        else
           mem[addr] <= i_data;
  end
endmodule
```

If using the Xilinx (now AMD) Spartan-6 FPGA device, compiling this code will infer a properly configured Block RAM module (UG383 2011). Its general (unconfigured) overview is given in Fig. 7.

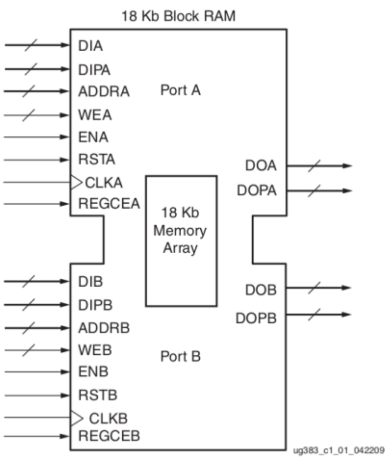


Fig. 7. Spartan-6 Block RAM memory can be configured as a single-port or dual-port RAM with up to 18 Kb

The Spartan-6 family has a total of 268 blocks of Block RAM that can store up to 18K bits of data. It can be used in either single-port or dual-port mode having independent bit-widths in two-port configuration. It is possible to store more than one look-up table into a single Block RAM. This can be done by using some simple arithmetic for calculating the separate memory spaces allocated for each LUT.

The simulation results for the counter using the described context switching approach are given in Fig. 8.

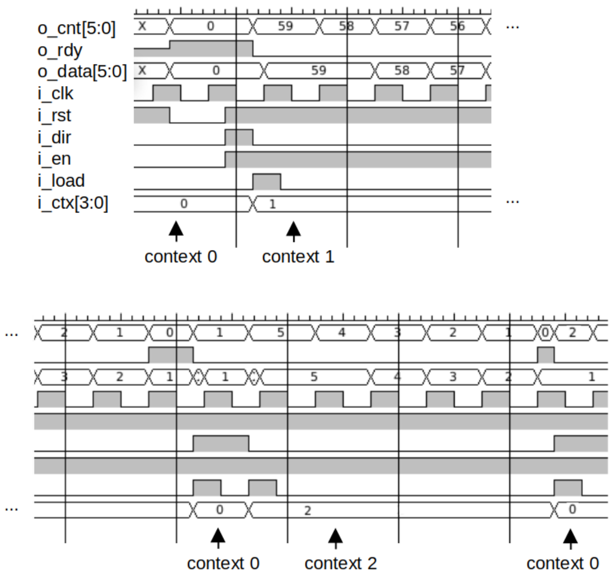


Fig. 8. Simulation output demonstrating the context switching

A single counter is used in the proposed algorithm. It can be seen that this counter is loaded with different values depending on the context. Context 0 is the main loop (nodes a0-a5 connected with dashed lines in Fig. 4) in which the counter counts up. The current state is stored in the memory and after switching the context it is restored back so the counter continues from where it stopped. Context 1 corresponds to the 59-seconds timer and context 2 corresponds to the 5-seconds timer. The simulation of the output functions is not shown in the figure.

The same approach can be successfully used for other purposes. As a brief example in computer architectures the interrupt servicing mechanism is using the stack memory which is in fact a LIFO (last in, first out) buffer. When servicing an interrupt the important register values are put on top of the stack. When exiting the interrupt service routine (which is simply a sub-program) those values are restored. If using the context switching approach a versatile version of a stackless interrupt servicing can be implemented. It would allow to jump between different subroutines without using the stack, i.e. with using priority concurrency. An idea for this is given in Fig. 9.

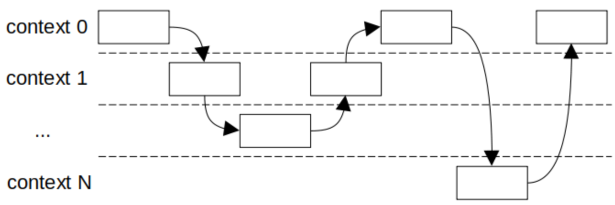


Fig. 9. Stackless interrupt servicing

In (Gorbounov 2022) another example is given. It thoroughly discusses an approach for building a high-performance neural network structure with only a single layer of neurons that is based on the switching context method. It allows to reduce the total amount of neurons in a neural network thus significantly reducing the amount of logic resources occupied on the silicon die. In this case the contexts are switching between the different weight matrices and the matrices of the activation functions. As a result the number of physical neural network layers is significantly reduced.

Conclusion

Finite automata apparatus is a powerful tool for solving different control problems. The rush for increasing the speed of control algorithms and reducing the energy consumption at the same time poses important optimization challenge. This article suggests a possible solution towards solving this contemporary task. It is done by using a resource sharing mechanism called context switching. It allows to reuse some automata models by changing the state values held by the state register which in this case is replaced with a memory array. A simplified example of a traffic light controller is shown which demonstrates the viability of the proposed method. This opens a large field for future improvements.

References

Gorbounov Y., H. Chen. 2022. Context-switching neural node for constrained-space hardware, EAI CSECS 2022 - *EAI Conference on Computer Science and Education in Computer Science* (in print)

Harris, D., S. Harris. 2013. *Digital Design and Computer Architecture,* 2ed. Morgan Kaufmann Elsevier, ISBN 978-0-12-394424-5

Hennessy, J., D. Patterson. 2012. *Computer Architecture: A Quantitative Approach*. Morgan Kaufmann Elsevier, ISBN 978-8178672663

Mano M., M. Ciletti. 2018. *Digital Design,* 6th ed. Pearson, ISBN 978-1-292-23116-7

Muhammad A., X. Jiao, W. Liu, I. Moerman. 2020. CMCVT: A Concurrent Multi-Channel Virtual Transceiver. - *International Journal of Electronics and Communications, 120*, doi.org/10.1016/j.aeue.2020.153230, ISSN 1434-8411

Palnitkar S. 2003. *Verilog HDL,* 2nd ed.. Prentice Hall, ISBN 978-0132599702

Pavlitov, C., Y. Gorbounov. 2007. Programmable logic in electromechanics. Technical University of Sofia, ISBN 978-954-438-645-0, pp.79-118 (in Bulgarian)

UG383 v1.5. 2011. Spartan-6 FPGA Block RAM Resources User Guide, www.xilinx.com, last accessed 2022/03/01

CAPABILITIES OF MODERN DATABASES FOR STORING DATA IN THE MINING INDUSTRY

Angel Dimitrov

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

ABSTRACT. The article examines technologies that store and process vast arrays of data in the mining industry. The aim of the study is to make a comparative analysis through an experiment between the two main paradigms - relational database management systems and NoSQL data warehouse management systems. As a result of the experiments, conclusions have been made about the applicability of the DBMS types in the processing of huge data sets and guidelines are given both for additional research and in practical terms.

Key words: big data, database, DBMS, NoSql.

ВЪЗМОЖНОСТИ НА СЪВРЕМЕННИТЕ БАЗИ ДАНИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ДАННИ В МИННАТА ПРОМИШЛЕНОСТ

Ангел Димитров

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

РЕЗЮМЕ: Статията разглежда технологиите, чрез които се записват и обработват големи масиви от данни в минната индустрия. Целта на изследването е да се направи сравнителен анализ чрез експеримент между двете основни парадигми – системи за управление на релационни бази данни и системи за управление на NoSQL хранилища за данни. В резултат на експериментите са направени заключения относно приложимостта на типовете СУБД при обработка на огромни масиви от данни и се дават насоки както за допълнителни изследвания така и в практически аспект.

Ключови думи: големи данни, бази данни, СУБД, NoSql.

Въведение

Минната индустрия е изправена пред редица предизвикателства, които насърчават внедряването на нови технологии и така наречените *големи данни*, които се генерират вследствие на ускоряващия се напредък на дигитализацията и са една от обещаващите технологии, които могат да променят изцяло минно-добивната индустрия.

Въпреки, че и в момента се правят опити за добиване и използване на големи данни в минната индустрия, все още съществуват редица проблеми, които са свързани с фундаменталните проблеми на самите големите данни и особено тяхното управление (УГД – Управление на Големи Данни в превод на английски - BDM).

Тази статия има за цел да запълни една от празнините, като представи основите на УГД в частта за обработка и съхранение като се прави кратко въведение в големите данни и УГД и се обсъждат предизвикателствата, с които се сблъсква минната индустрия в опитите да внедрява системи, които работят с големи данни.

В статията накратко се обобщават източниците на данни в минната индустрия и се представят потенциалните ползи от използването им за ефективното управление на минната индустрия. Освен това са представени експериментални изследвания за съхранение и обработка на големи данни в два типа системи за управление на бази данни, а именно релационни и нерелационни данни.

Изследването в статията има своята значимост при определяне на технологичните основи за УГД в минната индустрия като дава доказателства за предимствата на нерелационните хранилища при съхранение и обработка на огромни обеми от данни, генерирани в следствие на автоматизираните процеси в мините.

Заключенията в статията са предназначени както за изследователите, които проектират и разработват решения в областта на УГД в минното дело, така и за специалистите в областта на минния добив със своите практически изводи.

Изложение

Големи данни в индустрията

Индустрия 4.0 интегрира интернет на нещата (IOT) с индустриални техники през двадесет и първи век, позволявайки на свързани устройства да обменят данни, да ги интерпретират и използват за насочване на интелигентно поведение.

Дигитализацията на комуникациите и транспорта и дори някои процеси като пандемията от COVID 19 катализират дигитализацията на индустриалното развитие с модерни технологии, включително роботика, изкуствен интелект, усъвършенствани материали, добавена реалност и много други.

Според широкото определение, данните са набор от събрани параметри за дадена система, които са организирани и запазена по начин, позволяващ обработването им с лекота с цел интерпретация, прогнози и анализ. Тези анализи са ценна информация за системата и ако бъдат обработени научно, биха могли да допринесат за ефективно управление на самата система.

В днешно време дигитализацията на всички етапи на индустриалното производство води до огромен бум на данни, генерирани от различни електронни сензори, компютри, видео потоци и много други. Този процес и резултатите от него са известни като *големи данни*.

По-ниските бариери за нови субекти, навлизащи във всяка индустрия, причинени от глобализацията и цифровизацията, водят до експоненциален растеж на конкуренцията. Това е причината компаниите да търсят нови възможности за оптимизиране на своите процеси, чрез ефективните подходи на управление, използвайки най-съвременни технологии както и е основен двигател на технологичната еволюция.

Генериране на данни

Според неотдавнашно проучване на General Electric (Shefali, 2017) промишлените данни отдавна са се превърнали в големи индустриални данни, като обемът им се увеличава с всяка изминала минута. Според проучването само от една машина, която произвежда бебешки продукти, се генерират около 152K данни в секунда, 9M данни за минута, 545M за час, и 4T данни за една година.

За ефективното управление на производството съществува огромна нужда от обработка на тези данни, за да се превърнат в информация и да се използват по конструктивен и предсказуем начин, генерирайки стойност на знанието и изграждайки цифрово доверие.

През 2015 г. е предложен работен документ относно принципите за представяне на данни в стандартите на Индустрия 4.0, където са идентифицирани два основни принципа: Кибер-физически системи (CPS) и Smart Factory (Mario, Tobias & Boris, 2015).

Във всяка CPS съществуват силни зависимости между физическите и софтуерните елементи, които функционират в различни пространствени и времеви измерения, показват различни поведенчески модели и комуникират помежду си по най-различни начини (https://www.nsf.gov/pubs/2010/ nsf10515/nsf10515.htm).

Цифровите близнаци са известни като фонова система (Martin, 2017) и са пример за консолидиран модел на физическо и виртуално устройство, което съхранява данни с цел конфигуриране на различни действия и реагиране на ситуации, за да се избегнат потенциални усложнения и да се повиши производителността където CPS играе важна роля.

Интелигентната фабрика е описана като фабрика, която използва контекстно-ориентирана технология, за да помогне на хората и машините да изпълняват задачите си по-ефективно (Mario, Tobias & Boris, 2015) и е ключова характеристика на Индустрия 4.0. Това е възможно, тъй като процесът на производство и създаване е интегриран и се насърчават най-добрите практики на всяко работно място в производството.

Интернет на нещата (IoT) и Интернет на услугите (IoS) са другите два съществени елемента на Индустрия 4.0. поради факта, че там се генерират данните, необходими за анализ и ефективно управление. Чрез Интернет на нещата се използват физически сензори и датчици, механични управляеми инструменти мобилни телефони, които чрез специални схеми за адресиране комуникират помежду си за постигане на зададените цели (Giusto, Iera, Morabito & Atzori, 2010).

В резултат на това тези процеси трябва да бъдат възможно най-гъвкави, за да се вземат независими решения за осигуряване на ефективност на услугата, а управлението на задачите се делегира до по-висок ранг само в случай на невъзможност за управление (Otto, 2014).

Съхранение и обработка на данни

Огромният обем от данни, които се генерират от различни датчици и сензори в минната индустрия, следва да се организира по такъв начин, че данните да бъдат достъпни своевременно и достоверни, за да могат да служат за управление на процесите и машините в мините за добив (Anastasova and Yanev, 2021).

Базите данни са основно базирани на компютърни системи. Система за управление на база данни (СУБД) е софтуерът, който позволява на всички автоматизирани информационни системи, с които се работи днес, да доставят данни до други приложения.

Основните типове бази данни са така наречените релационни бази данни и NoSQL бази данни. Появата на първите е още от зората на компютризацията на индустрията. Те се използват широко в минната индустрия: от програмите за счетоводство и контрол до различни системи за сигурност и комуникация (Yanev, 2019).

С появата на парадигмата IoT се оказва, обаче, че тези бази от данни съвсем не са перфектното хранилище за огромните обеми от данни, които се генерират всяка секунда от милиони сензори, датчици и системи за наблюдение в реално време.

Ограниченията на релационните бази данни за обработка на огромни масиви поставят началото на нов тип нерелационни СУБД, където данните не се съхраняват в табличен вид, а се клъстерират в облачни хранилища, което на практика прави хоризонталното и вертикално скалиране неограничени и за това са изключително подходящи за всякакви IoT решения (Dimitrov et al., 2021).

Сравнително изследване

В изследването са включени две релационни СУБД – MS SQL, и популярната релационна база данни с отворен код – MySQL. Резултатите от тестовете с MS SQL и MySQL са сравнени с NoSQL бази данни. NoSQL базите данни, които са включени в изследването са RedisDB и Cassandra.

Методология на изследването

Наборът от данни за оценка в експеримента е генериран от реално промишлено приложение, където се наблюдават множество машини с цел контрол на производителност и качество.

Всяка машина разполага с множество сензори, които отчитат техните стойности от различни гледни точки и тези стойности се зареждат и съхраняват в хранилището на данни. Наборът от данни е разделен според размера съответно на 1ГБ, 2ГБ, 4ГБ, 6ГБ, на които съответстват 19 530 000, 37 800 000, 74,550,00 и 111 180 000 записа.

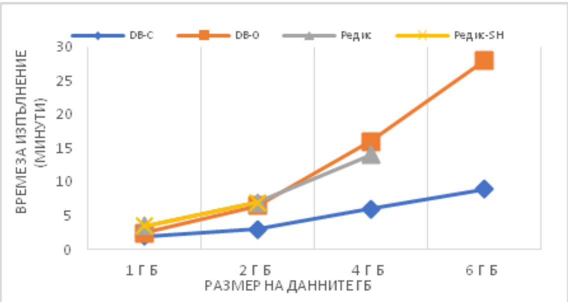
Първата заявка Q1 в експеримента е проста заявка за търсене на ключ и точно намиране на запис за дадена машина „m“, сензор „s“ и начален час „bt“. Втората заявка Q2, която се използва за бенчмарк в експеримента, включва избор на данни от хранилища по зададен диапазон. Заявката за агрегиране на данни Q3 има същите стойности за задаване на диапазон от Q2, но изчислителният метод на резултатите от заявката е в рамките на сървъра.

Тестовете в експеримента са проведени на машина с процесор Intel® CoreTM i5 с работна честота от 3.10ГХц x 4 и 64 битова операционна система Ubuntu 14.04 LTS. Машината разполага с 16ГБ оперативна памет и 500ГБ твърд диск.

За краткост са използвани акроними за всяка от базите данни. Обозначенията са: SQL-DB-C (MS SQL), SQL-DB-O (MySQL), КА (Касандра), КА-SH (Касандра с клъстер), КА-SH-R3-W (Касандра с клъстер и слаба последователност), KA-SH-R3-S (Касандра с клъстер и силна последователност), Редис и Редис-SH (Редис с клъстер).

Резултати от експеримента при групово зареждане

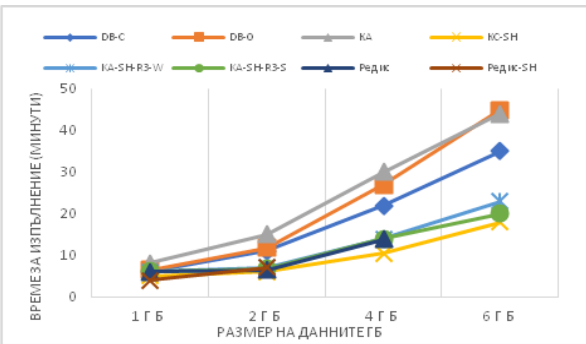
На фиг. 1 са показани резултатите от груповото зареждане без индексиране за DB-C, DB-O, Redis и Redis-SH сред четири размера набори от данни.



Фиг. 1. Резултат от групово зареждане

Като цяло DB-C се представя по-добре от другите в този експеримент, докато DB-O е по-бърза от Redis и Redis-SH между 1GB и 2GB, преди да започне да се мащабира в 4GB и 6GB диапазон. За двата типа Redis производителността е идентична и това е така, защото при Redis-SH шардовете не се разпределят паралелно.

Фигура **Фиг. 2**2 илюстрира изпълнението на масово зареждане с индекс на сензорен ключ с всички БД, участвали в този експеримент.

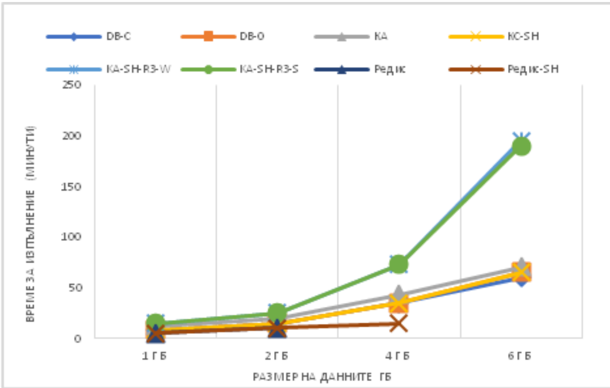


Фиг. 2. Групово зареждане с индекс сензорния ключ

При всички хранилища за данни Cassandra sharding (CA-SH, CA-SH-R3-W и CA-SH-R3-S) се наблюдава много по-ниско бързодействие в сравнение с другите поради липсата на едновременно разпределение на данни между фрагментите или възлите.

Redis и Redis-SH показват идентични резултати, както в предишния експеримент и се мащабират по-бързо от RDBMS и CA. DB-C, и DB-O се представят по-слабо, когато няма индексиране, което може да се дължи на зависимостта на разпределението на данните от стратегиите за индексиране.

От фиг. 3 става ясно, че всички БД предлагат мащабируема производителност на зареждане. Redis и Redis-SH са начело съответно до 4ГБ и 2ГБ. DB-O поддържа същата скорост колкото и DB-C до 74,550,000 (4ГБ) милиона необработени редове, но се представя по-бавно при 111,180,000 редове от данни.



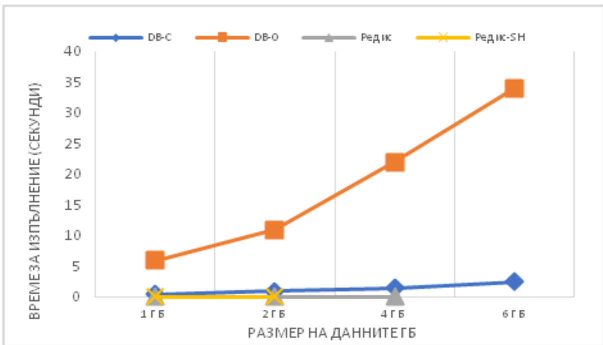
Фиг. 3. Групово зареждане с ключ за сензора и индекси на измерваните стойности

Характерно е, че DB-O, KA-SH-R3-W и KA-SH-R3-S се мащабират значително по-лошо от останалите, тъй като едва след зареждане на данните във всички възли и реплики се възстановява индексирането, което отне до 3 часа за зареждане на 6ГБ данни.

Важно е да се отбележи също така, че KA-SH-R3-W и KA-SH-R3-S имат идентична производителност, тъй като използват функцията за зареждане чрез SSTable, която ги зарежда директно в коректните възли на реплики.

Резултат от експеримента при проста селекция

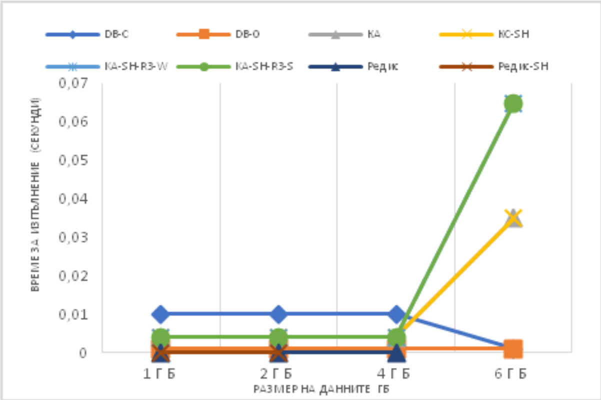
Резултатите от първия експеримент с проста заявка или търсене на ключ, който е проведен за четири системи DB-C, DB-O, Редис и Редис-SH, тъй като за останалите бази данни подобни заявки не са приложими е показан на фиг. 4.



Фиг. 4. Представяне при проста заявка без индексиране

И двете системи, които работят в паметта (Редис и Редис-SH) работят супер бързо, тъй като техните данни са готови в RAM и подредени по ключ-стойност. Въпреки че DB-C няма индексиране резултатите са противоположни на очакванията, тъй като пълното сканиране сред масивни редове от данни е бързо в сравнение с DB-O, като достига до повече от 32 пъти в сравнение с DB-C при 6 GB и около 21 пъти в сравнение Редис при 4 Гигабайта.

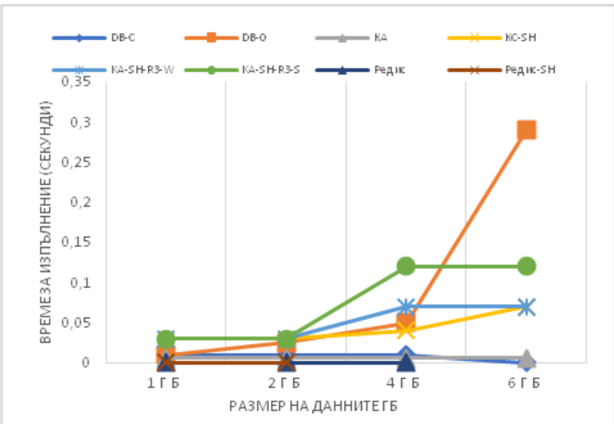
Във втория експеримент с търсене по ключове фиг. 5, индексирането е изградено върху съставен първичен ключ.



Фиг. 5. Представяне при проста заявка и индекс - ключ по колона сензор

Както се очаква, Редис и Редис-SH са най-бързите и имат същите резултати, тъй като Redis sharding пренасочва клиентите към възела, който има хранилище за ключ-стойност. Въпреки това в Касандра координаторът препраща заявката до възела, който има данните и изчаква отговора, след което отговаря на клиентите. RDBMS има по-добри резултати в повечето размери на наборите от данни от предишния експеримент и това се дължи на факта, че бързото извличане използва индекса на композитния ключ вместо пълното сканиране на таблицата.

Резултатите от третия експеримент са показани на фиг. 6 и се отнасят до търсене по ключове. Изградено е допълнително индексиране в колона „mv“.



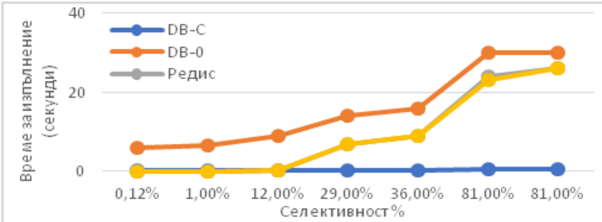
Фиг. 6. Представяне при проста заявка, ключ - колоната на сензора и индекси - колоните с измерените стойности

В резултат на този експеримент бързодействието на DB-C, KA, Редис и Редис-SH не е засегнато в сравнение с предишните експерименти, защото колоната, в която е изграден индексът, не се използва в заявката докато бързодействието на другите системи е засегнато отрицателно в този експеримент.

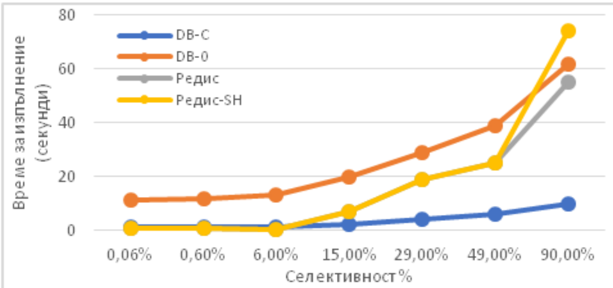
В Касандра създаването на индекс по колона MV не повлиява на стъпките на извличане на данни, тъй като данните са разделени (m, s, bt), а Касандра зависи от факта, че Q1 директно засяга възела със стойностите на заявката.

Резултат от експеримента при търсене в диапазон

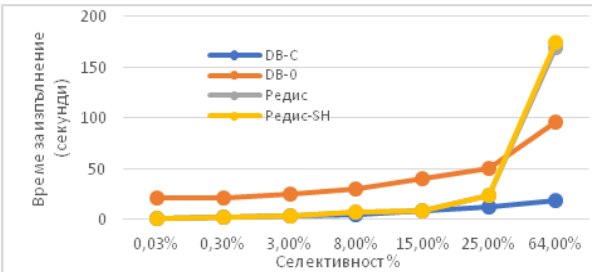
Първите експерименти със заявка за търсене на обхват (Q2) са проведени без индексиране за 1ГБ, 2ГБ, 4ГБ и 6ГБ обем на набори от данни. Както е показано на фигури 7, 8, 9 и 10, въпреки че не са използвани индекси, DB-C се представя по-бързо във всички експерименти в сравнение с други системи, докато DB-O е най-бавна във всички сценарии на експеримента.



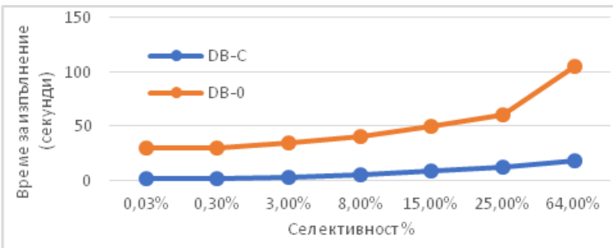
Фиг. 7. Представяне при заявка за диапазон без индексиране за 1ГБ



Фиг. 8. Представяне при заявка за диапазон без индексиране за 2ГБ



Фиг. 9. Представяне при заявка за диапазон без индексиране за 4ГБ



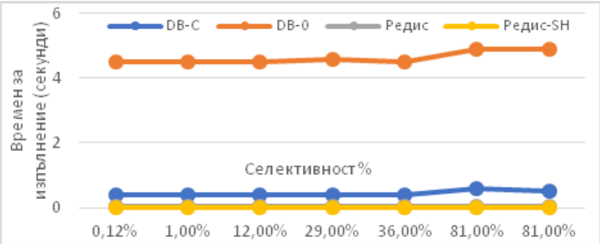
Фиг. 10. Представяне при заявка за диапазон без индексиране за 6ГБ

Резултатите от представянето на Redis и Redis-SH, обаче, са неочаквани, въпреки факта, че се използва структурата Sorted Set в заявката и резултатът от Q2 се съхранява сортиран в паметта.

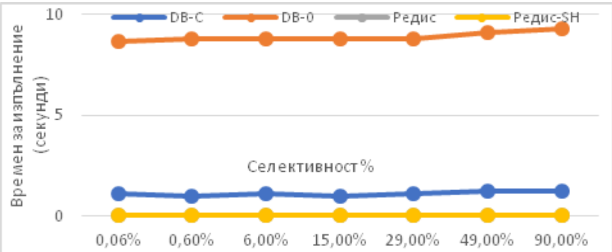
Извличането на данни за голям диапазон е по-лошо от колкото при DB-O, но обратното при по-нисък диапазон на селективност. Тъй като размерите на паметта в тези експерименти са 7ГБ, 13.5ГБ и 12.65ГБ (в част 2) при съответно 1ГБ, 2ГБ и 4ГБ набори от данни, това забавяне може да се дължи на пълното използване на паметта на устройството и така да не остава място за запитванията, прехвърлянето, размяната и буферирането на резултатите от наборите от данни.

Резултати при агрегирана заявка

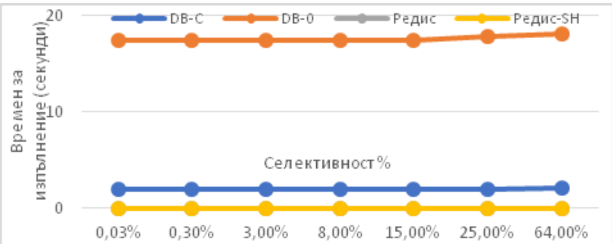
Резултатите от производителността на заявката за агрегиране (Q3) без индексиране за изследваните системи са илюстрирани на фигури 11, 12, 13 и 14.



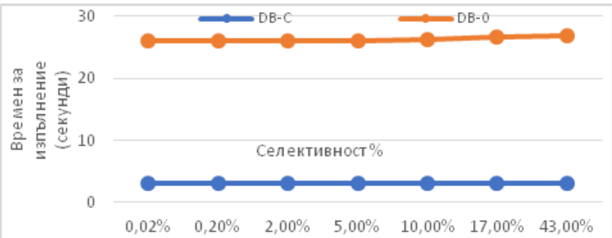
Фиг. 21. Представяне при агрегирана заявка без индексиране за 1ГБ



Фиг. 32. Представяне при агрегирана заявка без индексиране за 2ГБ



Фиг. 43. Представяне при агрегирана заявка без индексиране за 4ГБ



Фиг. 54. Представяне при агрегирана заявка без индексиране за 6ГБ

Използвани се същите диапазони на селективност както при заявката Q2, с изключение на API клиента, т.е. четенето е направено директно от системните обвивки.

Системите Cassandra са изключени от тези експерименти, тъй като те трябва да бъдат индексирани през цялото време чрез основна стратегия за индексиране, като например първичен ключ, който по -късно се използва като ключ за разделяне.

В този експеримент се установява, че и Редис, и Редис-SH се представят супер бързо в сравнение с предишните експерименти със заявка Q2, което може да се обясни с елиминирането на трансфера на данни между системата и API клиента.

Времето за изпълнение на всички заявки в набори от данни 1ГБ, 2ГБ и 4ГБ е незначително (0.1 милисекунда). Техните резултати, както обикновено, са идентични, тъй като е известно, че Редис пренасочва клиента на шела към възела или фрагментите, където се съхранява ключ-стойност.

Високата скорост на извличане на данни може да се обясни и със структурата на съхраняване на ключ-стойност в Sorted Set, където сортирането зависи от стойността „mv". Ефективността на DB-C е на второ място в тези експерименти и скоростта е много по-висока в сравнение със заявката Q2 на същото ниво, особено при висок диапазон на селективност. Въпреки, че в това изследване няма API клиент, DB-O се мащабира по-лошо от другите системи, но по-добре от същата инстанция в заявката Q2.

Заключение

Резултатите от това изследване показват, че няма конкретен тип система, която да превъзхожда другите във всички сценарии и най-добрият вариант може да варира в зависимост от характеристиките на данните, вида на заявката и конкретната система.

И двете системи за съхранение на данни в паметта Редис и Редис-SH се представят добре в сравнение с всички останали системи при зареждане и анализ на постоянни регистрационни файлове.

DB-C също показва подобно добро представяне. Въпреки че RDBMS DB-O с отворен код също показва приемливи резултати, тази система не може да се конкурира със споменатите по-горе системи.

Всички системи Касандра показват сравнително добра производителност при масово зареждане на необработени данни с помощта на инструмента за групово зареждане (SSTable loader), чиято функция е да зарежда данните в клъстер от възли и да прехвърля съответната част от данните към всеки възел и реплика паралелно. За този сценарий, обаче, е характерно, че производителността се влошава когато вторичното индексиране е създадено преди масовото зареждане.

Всички системи на Касандра се представят слабо при заявките за агрегиране и обхват, но те са конкурентни при ключови заявки за търсене, извличащи определен запис. Използването на първичен и вторичен индекс в двете RDBMS води до добри резултати за търсене и съвпадение по конкретен ключ и за извличане на селективен диапазон от данни.

Създаването на индекси преди масовото зареждане има отрицателно въздействие върху производителността. Както Редис, така и Редис-SH нямат вградени първични или вторични индекси, но структурата на ключовете при тях може да се използва като достъп до първичен ключ, както в основната заявка за избор, където ключът всъщност е съставен ключ. В допълнение, структурите от данни на Редис могат да се използват за работа като вторични индекси, както във втората така и в третата заявка. В тези случаи ключовата структура идентифицира как са сортирани данните.

Системите с Касандра предоставят както първични индекси, така и вторични индекси, но за съжаление вторичният индекс на Касандра не осигурява пълно вторично индексиране, както в RDBMS. Това се нарича „полу-вторичен индекс“. Първичният индекс в Касандра е фундаментална структура от данни и е основният фактор, определящ ефективността на извличане на данни. За разлика от първичните ключове е установено, че вторичните индекси в Касандра оказват негативно влияние върху изпълнението както на задачи за зареждане, така и на заявки.

Макар че нивото на съгласуваност при четене и писане няма ефект върху KA и KA-SH, то влияе значително както върху KA-SH-R3-W, така и върху KA-SH-R3-S, където са използвани реплики. То обаче няма влияние върху зареждането на постоянни файлове при използване на инструмент за бърза миграция на данни, като помощната програма за зареждане SSTable.

За разлика от това, Редис остава последователен, тъй като пренасочва заявките на клиентите към възела ключ-стойност. В случай на репликация, Redis е по-малко последователен, но това няма ефект върху производителността поради асинхронното поведение на репликация, характеризиращо тази система.

Паралелизиране на данните над множество фрагменти или възли оказва значителен положителен ефект върху производителността на масово зареждане на постоянните регистрационни файлове в системите Касандра, поради поведението на паралелно разпределение на данните между възлите на клъстера.

Това обаче се отразява негативно на анализа и филтрирането на данни. От друга страна паралелизацията на Редис не влияе нито върху зареждането, нито върху анализа на регистрационните файлове.

В минната индустрия се работи с данни, които са многофакторни, от разнородни източници и с все по-голям обем. Съществува и известна доза несигурност на проучванията, което прави така, че е от изключителна важност за работните процеси информацията да бъде обработена и анализирана максимално брзо. Като се има предвид това, тенденцията бази данни от типа NoSQL да навлизат все повече в индустрията изглежда закономерна.

Като финална бележка, тези сравнителни експерименти са проведени с помощта на хардуер от среден клас. Би било интересно да се повторят същите експерименти на машини от висок клас с не по-малко от 64 GB памет за експерименти без sharding и 32 ГБ възли за sharding експерименти.

Освен това клиентските приложения могат да се изпълняват на самостоятелни машини, които да са различни от сървъра, управляващ системите за бази данни, за да се симулира по-реалистичен сценарий.

Литература

Anastasova Y., N. Yanev. 2021, Models and data quality in information systems applicable in the mining Industry. – *E3S Web Conf.,(Vol. 280, p. 08012). EDP Sciences, Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters.* https://doi.org/ 10.1051/ e3sconf/202128008012.

Dimitrov A., N. Ivanova, R. Nesheva, N. Yanev, 2021, Preparation of Industrial Data for Implementation in Big Data, – *Annual of the University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – София, Volume 64*, p. 151-155.

Giusto D, A. Iera, G. Morabito, L. Atzori. 2010. *The Internet of hings*. Springer.

Mario, H., P. Tobias, O. Boris. 2015. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. – *Review. Dortmund Technische Universität*.

Martin. 2017. Industry 4.0: Definition, Design Principles, Challenges, and the Future of Employment. – *Cleverism Magazine.*

Otto, H. 2014. Technik für die wandlungsfähige Logistik. – *Industrie*.

Shefali, P. 2017. The opportunity and potential of industrial big data. – *General Electric*. https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Unlocking-Business-Value-Through-Industrial-Data-Management-whitepaper.pdf

Yanev N., 2019, Contemporary approaches in storage and data processing. – *Journal of Mining and Geological Sciences, Vol. 62*, p. 96-99.

https://www.nsf.gov/pubs/2010/nsf10515/nsf10515.htm

USAGE OF MICROELECTROMECHANICAL SENSORS FOR THE MONITORING OF CRITICAL PARAMETERS IN THE ATMOSPHERE OF AN OPEN PIT

Zahari Dinchev, Yassen Gorbounov

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

ABSTRACT. During industrial blasting, large amounts of toxic gases are released, which often form high concentrations at workplaces in mining sites. This poses potential risks to workers and requires strict control of the atmosphere after blasting, which is most often done with the aid of portable and stationary devices equipped with precise but expensive electrochemical sensors. This article discusses the features and applications of low-cost microelectromechanical sensors for monitoring critical gas levels in the working atmosphere of mining sites. It also discusses the calibration of CO and NO_2 sensors as part of a multi-gas module, optimised for implementation using a microcontroller. The aim of the presented work is to study the possibility of building a mobile platform for atmospheric research and to increase safety when working in open pits and quarries.

Key words: atmospheric monitoring, blasting works, microelectromechanical sensors, safety

ИЗПОЛЗВАНЕ НА МИКРОЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ СЕНЗОРИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА КРИТИЧНИ ПАРАМЕТРИ В АТМОСФЕРАТА НА ОТКРИТ РУДНИК

Захари Динчев, Ясен Горбунов

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

РЕЗЮМЕ. При извършване на промишлени взривни работи се отделят големи количества токсични газове, които често формират високи концентрации на работните места в минните обекти. Това крие потенциални рискове за работниците и налага стриктен контрол на атмосферата след взривяване, който се извършва най-често чрез преносими и стационарни уреди, снабдени с прецизни, но скъпоструващи електрохимични сензори. Настоящата статия разглежда особеностите и приложението на микроелектромеханични сензори с ниска себестойност за наблюдение на критични нива на газовете в работната атмосфера на минни обекти. Дискутирано е калибрирането на сензори за CO и NO_2 като част от мултигазов модул, като е направена оптимизация за реализация с помощта на микроконтролер. Целта на представения труд е проучване на възможността за изграждане на мобилна платформа за изследване на атмосферата и повишаване на техническата безопасност при работа в открити рудници и кариери.

Ключови думи: мониторинг на атмосферата, взривни работи, микроелектромеханични сензори, техническа безопасност

Introduction

Mining is an energy-intensive and dirty process that involves moving large masses of ground. The most effective and cheap way to do this is to carry out blasting operations. They are characterised by a sudden and drastic release of a large amount of energy accompanied by high temperature and the release of gases. This is followed by the removal of the resource-rich blast mass for processing, which still requires human intervention and carries the risk of exposure to highly toxic gases. As a result, both relatively mild symptoms, including irritation of the eyes, nose, and throat, cough, dizziness, headache, and shortness of breath, as well as severe intoxication leading to death can occur. (Mainiero 2007, Özmen 2015). The American Industrial Hygiene Association – AIHA (AIHA 2020) defines some international public exposure guidelines, such as AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels), ERPGs (Emergency Response Planning Guidelines), TEELs (Temporary Emergency Exposure Limits), each of which is subdivided into three tiers of exposure values. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH 2007) defines the IDLH (Immediate Danger for Life and Health) which specifies the maximum level of exposure to a given hazard to which a healthy person can be exposed for 30 minutes without having irreversible health consequences. In mines, due to the specifics of the mining process and in order to protect human health and life, it is more suitable to monitor critical values of the concentrations of gases formed after blasting instead of taking into account precise numerical values. (Dinchev 2014; MSA, 2022). Among these gases, the carbon oxide (CO) and the nitride dioxide (NO_2) are of a particular interest in the current research. Based on the above, the emergency values of the monitored hazards are given in Table 1.

Table 1. *Critical values of the monitored hazards*

Gas	Concentration, ppm			
	ERPG-1 ≤60 min	ERPG-2 ≤60 min	ERPG-3 ≤60 min	IDLH ≤30 min
CO	200	350	500	1200
NO_2	1	15	30	20

The International Labour Organization’s (ILO 1991) “Safety and health in opencast mines” instructions specify:

- 18.3.4. A person should not be permitted to enter the vicinity of a working face after shot firing until the gaseous products of the blast have dissipated.
- 18.3.5.2. The supervisory official, before allowing persons to enter such a locality, should ensure that it has been thoroughly ventilated and freed from water, if practicable, and that the atmosphere within has been tested to ensure its purity.

All this emphasises the importance of the problem under consideration and shows that monitoring of the atmosphere after the explosion is necessary.

Motivation of the research

A general idea of the scale of the blasting works can be obtained from what is shown in Fig. 1.

Fig. 1. Blasting works in a real open pit

The figure shows the dissipation of hazardous gases after blasting in a real open pit. Confirmation of safe concentrations of toxic gases in the atmosphere is required before the site is visited by workers. This necessitates the monitoring of the atmosphere after the explosion.

Problems with the stationary installations

At the moment, a small part of the open pits has stationary gas monitoring systems, and usually, their efficiency is not high. Modernising in this area is an upcoming task. A known problem is that in the process of mining, the workplaces change their location dynamically within the open pit mine. This requires that the measuring devices be positioned in new locations near the site of the explosions. Stationary installations have a high price, and the possibility of being damaged by blasting at any moment is high. An additional risk is represented by factors such as the temperature, humidity, and dustiness of the work environment. In addition, the high concentrations of noxious gases immediately after the explosion could lead to sensor saturation, which would disable them or render them inoperable for a prolonged period. This affects their reliability and poses a risk to mine personnel.

Problems with the mobile installations

While portable devices have a number of advantages, they also have disadvantages. When using portable devices and frequently changing the location in the mine cup, it is difficult to predict the trend of changes in the measured gas concentrations. They have problems related to the working environment in terms of response time and leaving the gas zone. The time to travel in the mine to a safe place can be very long, implying the risk of high doses of ingested harmful substances. Last but not least, passing near mobile machinery can lead to higher concentrations of the measured gases, which means an increased risk of making incorrect decisions regarding the evacuation of personnel.

In (Dinchev 2014), modernising the Assarel open pit through a set of stationary monitoring installations is considered. In (Ionascu 2021,) the use of electrochemical sensors that could be used to control the mine atmosphere is discussed. They have a high price and a limited shelf life. In the present study, an experiment with micro-electromechanical sensors has been carried out, which aims at the future construction of a remotely controlled mobile station offering a significantly higher level of reliability and more flexible measurement methods.

Gas concentration measurement using electromechanical sensors

The gas sensors used in this work are based on the micro-electromechanical system (MEMS) technology which has the advantage of being small in size. MEMS is a concept used to create tiny (chip-level) integrated devices or systems that combine mechanical and electrical components (Samotaev 2021). These sensors have significant measurement stability and are more suitable for qualitative rather than quantitative measurement.

The general overview of the electrical connection for every of the MEMS sensors used in the present work (Winsen, 2019) is given in Fig. 2.

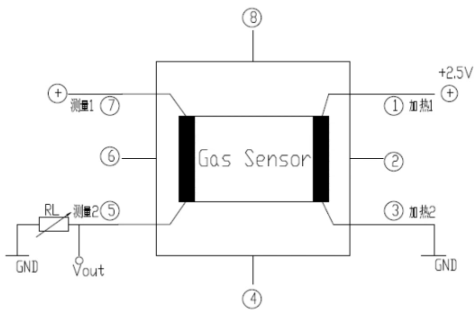


Fig. 2. Electrical connections and test circuit of the MEMS sensor

From an electrical point of view, the sensor can be seen as a two-resistor device. The resistive component between pins 1 and 3 has a resistance of about 80 Ohms with very low accuracy (+/- 20%). It acts as a 50mW heater used to preheat the module before starting measuring gases. The resistor between pins 5 and 7 is the sensitive component. Connecting it in a voltage divider configuration allows measuring the voltage drop across the resistor RL and then convert it to digital code with the aid of an analogue to digital converter (ADC).

The calibration curve is non-linear, so it must be interpolated or approximated mathematically. The polynomial for the NO_2 sensor (Winsen GM-102B) is given by (1).

$$y = a + b.x + c.x^2 + d.x^3 + e.x^4 \quad (1)$$

It is a 4-th order polynomial with coefficients: a=0.3884834806, b=0.8232244906, c=8.124691449, d=6.623357975, and e=2.1753927.

The polynomial obtained for the CO sensor (Winsen GM-702B) is different in two measurement intervals. For the range (0.2V to 2.13V), it coincides with (1) and for the range (2.13V to 2.4V), it is given by (2).

$$y = a + b.x + c.x^2 + d.x^3 + e.x^4 + f.x^5 + g.x^6 \quad (2)$$

For the range (0.2V to 2.13V) it is a 4-th order polynomial with coefficients:
a=17.79251443, b=-121.7237072, c=269.7256284, d=-214.6489452, and e=60.53236018.

For the range (2.13V to 2.4V) it is a 6-th order polynomial with coefficients:
a=1176266431, b=-3259312339, c=3760050587, d=-2311641410, e=798788991.2, f=-147098079.5, g=11278154.95.

Although the elaborated polynomial approximations are quite accurate, with an error way below 10%, they pose a computational challenge when a small embedded microcontroller is considered as a measurement processing device.

Device implementation

Most small microcontrollers (MCU) do not support the floating-point (FP) standard IEEE-754 (IEEE Std 754, 2019). Even if they are equipped with FP math hardware, they usually perform integer math much faster. In the proposed device, the ATmega328P MCU is chosen. It is an 8-bit MCU with no built-in support for FP numbers. Although the "float" and "double" data types are supported, both of them occupy 4 bytes of memory. In order to use data types larger than 8 bits, the compiler needs to generate a sequence of code or link an external library. The use of FP arithmetic negatively impacts the code size and the speed of execution.

Due to the above drawback, the coefficients in the polynomial approximation need to be fixed-point or integer numbers. This is done by first upscaling them by a factor that is a power of two and then downscaling the final result by the same factor (Baron 2006). This allows for using left-shift operation for the multiplication and right-shift operation for the division which is much faster.

The block diagram of the proposed gas sensor device is given in Fig. 3.

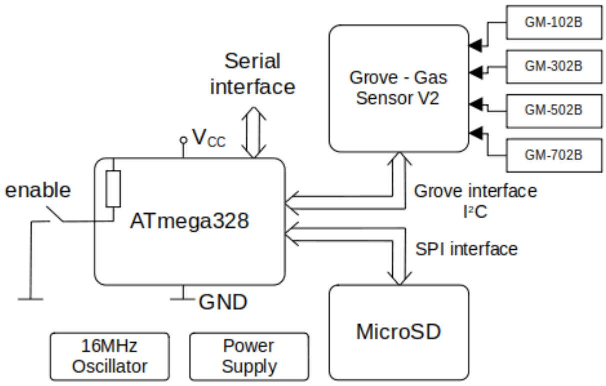


Fig. 3. Block diagram of the gas sensor device

The prototype consists of an Atmel (now Microchip) ATmega328P 8-bit MCU equipped with a 16MHz oscillator, a micro-SD card for data logging, and a button to enable or disable the logging process, and the Grove Multichannel Gas Sensor module made by Seeed Studio (Liu 2021). The latter is populated with four MEMS sensors, namely GM-102B (NO_2, 0.1~10ppm), GM-302B (C2H5OH, 1~500ppm), GM-502B (combined C2H5OH, 1-500ppm; C7H8, 1-500ppm; CH2O, 1-100ppm), and GM-702B (combined CO, 10-5000ppm; H2, 10-500ppm). Although all the sensors have been verified, the ones that are the subject of the experiment in this research are the GM-102B and GM-702B since the hazardous impact of the NO_2 and CO gases is most significant.

The physical view of the prototype is shown in Fig. 4.

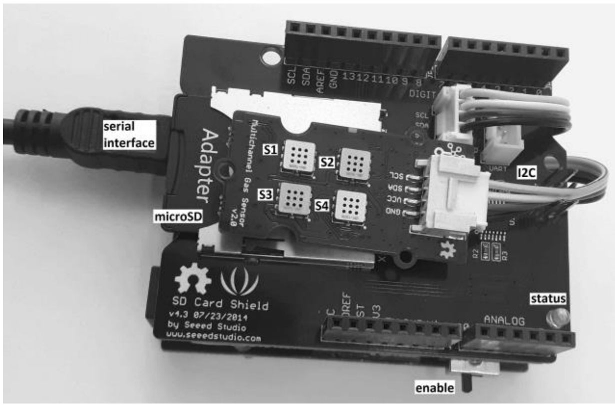


Fig. 4. Physical view of the prototype

In the figure, S1 is the GM-702B, S2 is the GM-502B, S3 is the GM-702B, and S4 is the GM-702B. The communication between the MCU and the sensors is done over an I2C bus. The status LED blinks when the device is in an idle state and it is constantly lit when in data logging mode.

The control algorithm is shown in Fig. 5.

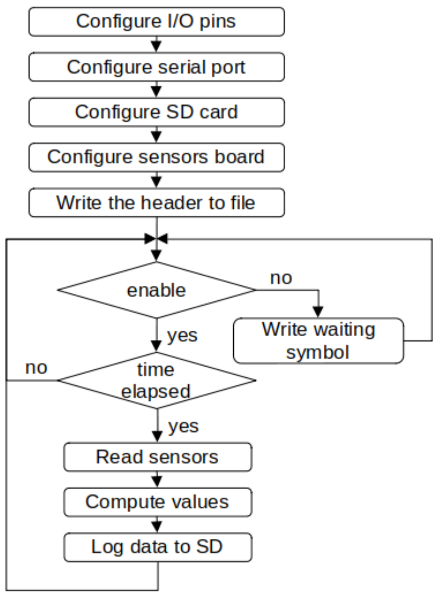


Fig. 5. Operational algorithm

On power-up, the controller periphery, such as the GPIO, serial port, SD card, and the sensor board, is initialised. Next, the main loop is entered. While waiting for the enable signal, the algorithm outputs the '.' character in the serial console indicating an idle state. When enabled, the sensors are read and processed, and the data is stored on the SD card. This is done in a pre-defined time frame that uses a non-blocking mechanism. The program flow guarantees that the SD card will always be written and the file will not remain open under any circumstances.

The comparison between the computed result for the static characteristic of the NO_2 sensor and the original curve given by the manufacturer is shown in Fig. 6. In the same figure, it can be seen the plot of the error varies within the maximum range of -6.8% to 6.6%. The error increases for smaller gas concentrations and decreases for higher ones which in fact benefits the quality of measurement in the area of interest, namely the hazardous concentrations.

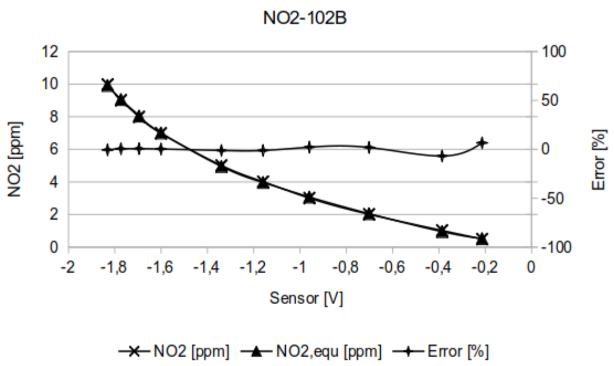


Fig. 6. NO_2 gas concentration plot versus sensor voltage drop. The "equ" index denotes the approximated curve. The error (horizontal line) fluctuates between -6.8% and 6.6%. The scaling factor is 2^{10}=1024

The comparison between the computed result for the static characteristic of the CO sensor and the original curve given by the manufacturer is shown in Fig. 7.

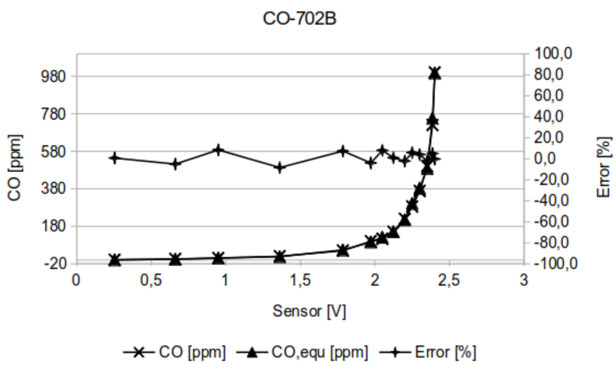


Fig. 7. CO gas concentration plot versus sensor voltage drop. The "equ" index denotes the approximated curve. The error (horizontal line) fluctuates between -8.4% and 0.7%. The scaling factor is different for two ranges – in the range 0.2V to 2.13V, it is 2^{10}=1024, while in the range 2.13 to 2.4, it is 2

The scaling factor for the polynomial description is 1024 for sensor voltages between 0.2V and 2.13V, and it is 2 for the range 2.13V to 2.4V. It can be seen that the plot of the error varies within the maximum range of -8.4% to 0.7%. The error for this sensor is evenly distributed and is within acceptable bounds.

As a result of the experiment, it can be seen that the approximation of a high-order polynomial with fractional coefficients by using integer coefficients does not change the validity of the data. The results obtained from the manufacturer's calibration curve almost fully coincide with the experimental ones, with a negligible error.

Future work

The satisfactory results of the study point out that the work should be continued until a finished and autonomous device is obtained. To achieve this, future efforts should focus on power autonomy, increased mobility, remote real-time data transfer, real-time measurement processing, and the development of a simplified sensor calibration procedure. This includes adding a battery and designing a small printed circuit board (PCB) that would contain all the necessary components in a compact design. In addition, research should continue to explore the possibility of using an autonomous self-propelled or flying device (drone) and finding a means of wireless communication over long distances with low energy consumption. The wireless LoRa (long-range) network seems to be a suitable candidate for this purpose.

Conclusions

The development of modern technology makes it more and more affordable to build reliable mobile devices that can increase the level of safety in the field of mining. In the presented study, the problems related to the control of the atmosphere in an open pit from the point of view of monitoring the critical values of toxic gases after blasting are considered. A mobile measuring device was built with the help of which measurements were carried out and micro-electromechanical sensors were calibrated. Optimisation of the computational process was carried out, allowing the efficient use of a small microcontroller. The conducted experiments provide a good basis for the future construction of a complete mobile station to replace the stationary mine atmosphere control equipment.

References

AIHA. 2020. *The AIHA Handbook for ERPG and WEEL*. American Industrial Hygiene Association, AIHA Press, Fairfax, Virginia, ISBN978-1-950286-06-5

Baron L., O. Ferguson. 2006. What Can Be Approximated by Polynomials with Integer Coefficients? - *The American Mathematical Monthly, 113*, No. 5, Taylor & Francis, Mathematical Association of America, 403-414, ISSN 00029890, https://doi.org/10.2307/27641948

Dinchev Z., M. Michaylov, E. Vlasseva, A. Krilchev. 2014. Open pit mine atmosphere remote control system. - *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 57*, Part III, Mechanisation, electrification and automation in mines, 27-34, ISSN 1312-1820

IEEE Std 754-2019, IEEE Computer Society. 2019. IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic IEEE STD 754-2019, 1–84, ISBN 978-1-5044-5924-2

ILO Code of practice. 1991. Safety and health in opencast mines. International Labour Organisation, ISBN 92-2-107103-0

Ionascu M., N. Castell, O. Boncalo, P. Schneider, M. Darie, M. Marcu. 2021. Calibration of CO, NO2, and O3 Using Airify: A Low-Cost Sensor Cluster for Air Quality Monitoring. *Sensors*, 21, issue 23, https://doi.org/10.3390/s21237977

Liu K. 2021. *An Arduino library for Grove Multichannel Gas Sensor V2.0*. Seeed Studio, https://bit.ly/3vJwDqr

Mainiero R., M. Harris, J. Rowland. 2007. Dangers of toxic fumes from blasting, *Proceedings of the 33rd Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, *Nashville, Tennessee, January 28-31, 2007*. The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSHTIC2 Number 20032444, 1-6

MSA (Mine Safety Appliances Company) 2022. *Gas Detection Handbook* 5th ed., MSA Instrument Division, P.O. Box 427, Pittsburgh, PA 15230, USA

NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. 2007. National Institute for Occupational Safety and Health. Publ. No 2005-149, ISBN 978-0160727511

Özmen İ., E. Aksoy. 2015. Respiratory Emergencies and Management of Mining Accidents. *Turkish Thoracic Journal*, Suppl. 1, doi:10.5152/ttd.2015.005, 18-20

Samotaev N., P. Dzhumaev, K. Oblov, A. Pisliakov, I. Obraztsov, C. Ducso, F. Biro. 2021. *Silicon MEMS Thermocatalytic Gas Sensor in Miniature*

Surface Mounted Device Form. *Chemosensors, 9*, issue 340, https://doi.org/10.3390/

Winsen. 2019. *MEMS NO2 Gas Sensor*. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. Ltd., https://bit.ly/3LirHQe

IMPROVING PASSWORD GENERATION USING BIAS FROM LEAKED DATA

Ivan Drankov

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

ABSTRACT. Different brute force algorithms can be optimised by creating a better method for “guessing” the right password. Improving the performance of brute force algorithms can help in generating hard-to-guess passwords based on opposing non-bias rules when creating a password. Passwords created by users have a bias with specific keystrokes that can be analysed. Brute force can be improved by bias. Bias prediction rules can be summarised and used in brute force generation and password generation. This article uses various leaked data with a total amount of millions for generating templates and bias rules.

Keywords: Brute force, leaked data, human bias, big data.

ПОДОБРЯВАНЕ ГЕНЕРИРАНЕТО НА ПАРОЛИ, ИЗПОЛЗВАЙКИ ПОТРЕБИТЕЛСКИ ПРЕДПОЧИТАНИЯ, ИЗВЛЕЧЕНИ ОТ ИЗТЕКЛИ ДАННИ

Иван Дрънков

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

РЕЗЮМЕ. Различните brute force алгоритми могат да бъдат оптимизирани чрез създаването на по-добър метод за „познаване“ на точната парола. Подобряването на ефективността на тези алгоритми е в помощ при генериране трудни за „познаване“ пароли, основаващо се на обратните правила – за „непредпочитание” при създаването на парола. Паролите, създадени от потребителите, имат шаблон на предпочитания към конкретни натискани клавиши, който може да се анализира. Brute force алгоригмите може да се усъвършенстват при отчитане на склонността да се натискат определени клавиши. Правилата за прогнозиране на потребителските предпочитания могат да се обобщят и да послужат за създаване и добавяне на нови правила за сложна генерация на пароли. Тази статия използва различни изтекли данни с обща големина над милиони записи за генериране на шаблони и правила на потребителските пристрастия.

Ключови думи: Brute force, изтекла информация, човешки фактор, big data.

Introduction

Randomly generated passwords do not have bias. They are not truly random. Their generation depends on a randomly selected seed. Generating passwords from different seeds is the key to increasing randomness. Human-created passwords are not random. Most people tend to use passwords which are easy to remember and read. Therefore, biased behaviour can be observed, such as:

-Some characters are not used in the process. Different languages have different character frequencies.

- Uncommon characters are rarely used just because most people do not even know they are allowed in passwords or are hard to remember.

-Repeating common phrases. Some users use passwords that contain a base phrase or repeating pattern.

Observing this behaviour can lead to a more efficient way to generate new password dictionaries for brute-forcing attacks. Brute force is still an effective method for exploiting vulnerable IoT devices.

Fig.1 Heat map of about 4 million users’ password keystrokes.

Brute force algorithms

Many relevant search problems, from artificial intelligence to combinatorics, explore large search spaces to determine the presence or absence of an ascertained object. These problems are hard due to combinatorial explosion and have traditionally been called infeasible. The brute-force method, which at least implicitly explores all possibility-ties, is a general approach to systematically searching through such spaces (Heule, 2017).

Brute forcing passwords can be categorised in the following categories:

-Random generation. This method is generating random passwords to “guess”. For longer passwords, this method is ineffective.

-Dictionary attack (rainbow list). This method uses dictionaries containing real leaked passwords. If the attacked device has one of those dictionary passwords, guessing it will be a fast process.

-Pattern attack from the dictionary. Creating substrings from existing passwords when the dictionary attack cannot succeed.

The "guessing" time of the password depends on the password complexity and processing power. Most passwords can contain as many as 94 characters. Those characters can be categorised into different subsets from the total set of 94, as shown in Table 1.

Table 1. *Password combinations for a 10-character-long password*

TOTAL combinations	94^{10}	5,38615E+19
(A-Z)	26^{10}	1,41167E+14
(a-z)	26^{10}	1,41167E+14
(0-9)	10^{10}	10000000000
(Sp)	32^{10}	1,1259E+15
(A-Z) + (a-z)	$(26+26)^{10}$	1,44555E+17
(A-Z) + (0-9)	$(26+10)^{10}$	3,65616E+15
(A-Z) + (Sp)	$(26+32)^{10}$	4,30804E+17
(a-z) + (0-9)	$(26+10)^{10}$	3,65616E+15
(a-z) + (SP)	$(26+10)^{10}$	4,30804E+17
(0-9)+(SP)	$(32+10)^{10}$	1,70802E+16
All 10-character-password combinations for a Google Account	$94^{10}-26^{10}-26^{10}-10^{10}-32^{10}-(-26+10)^{10}-(26+32)^{10}-(26+10)^{10}-(26+32)^{10}-(32+10)^{10}$	5,28295E+19

Most services enforce additional rules to increase password complexity based on those subsets. This can be described in Regex. One common rule is: Minimum eight characters, at least one upper case English letter, one lower case English letter, one number, and one special character.

In this case, a password must contain:

- At least one upper case English letter:(?=.*?[A-Z])
- At least one lower case English letter:(?=.*?[a-z])
- At least one digit :(?=.*?[0-9])
- At least one special character or space: (?=.*?[#?!@$ %^&*-])
- Minimum eight in length: .{8,}

```
^(?=.*?[A-Z])(?=.*?[a-z])(?=.*?[0-9])(?=.*?[#?!@$ %^&*-]).{8,}$
```

Fig. 2 Password Regex.

Human bias attack

Character frequency can be used to determine the language (Kerwin, 2006). In this case, analysing data sets from user passwords can be used in creating a template for generating passwords. To create a generation method from human-made passwords, large password sets are needed. Those sets can be separated by type of the service they protect. For example, brute-forcing IoT devices will not benefit from templates created from password sets used in web forums. So, choosing the right data is a key factor, too, thus increasing the odds of success. After creating proper templates, the most common characters from those data sets have priority over the uncommon ones in brute force password generation.

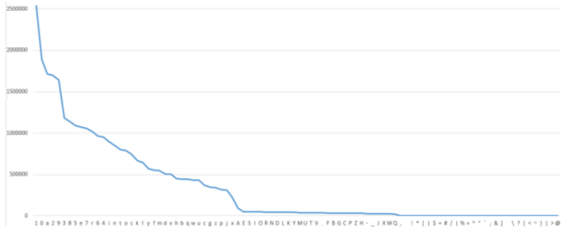


Fig 3. Character frequency from 3723515 leaked E-mail passwords

In the generated template, the following can be observed:

- The most common character is "1" used exactly 2541116 times with a chance of ≈68.25% to appear in any given password.
- The least common character is "@" used exactly 5 times with a chance of ≈0.000134 to appear in any given password.

The results can be divided from the different password subsets that can be described in one string. The order of characters is not random. It represents the frequency of the characters. The first character is always the most common and the last one is the rarest.

Table 2. *Passwords subsets ordered by frequency*

subset	Frequency string
(A-Z)	AESIORNDLKYMUTVFBGCPZHJXWQ
(a-z)	aerintosklyfmdvhbqwucgzpjx
(0-9)	1029385764
(Sp)	.-_,!*[)$+#/(%=^"`;&]' \?{<~}|>@

The overall subset frequency indicates the percentage of subsets of characters used in password creation. The subsets (0-9) and (a-z) come on top. This means that every password contains at least 3.7 numbers, 4.2 lowercase letters, 0.27 uppercase letters, and 0.02 special characters.

Table 3. *Passwords subsets ordered by overall frequency*

0-9	a-z	A-Z	SP
3,799974	4,294155	0,272275	0,028605

The most used password length for a password is 10 characters. The second most used length is 8 characters. Most passwords will be distributed in this range (7-13 characters).

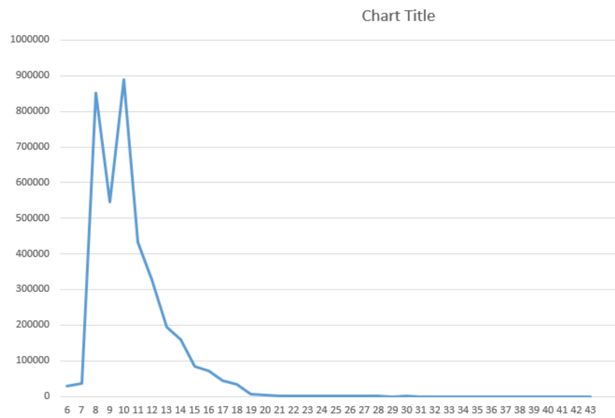


Fig. 4. Password lengths

Character subset frequency by position can indicate the likelihood of any character subset of being included in any chosen position.

Table 4. *Character subset frequency by position*

	pos1	pos2	pos3	pos4	pos5
A-Z	0,058	0,029	0,032	0,027	0,027
a-z	0,566	0,541	0,633	0,525	0,492
0-9	0,374	0,428	0,332	0,444	0,477
Sp	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004
	pos6	**pos7**	**pos8**	**pos9**	**pos10**
A-Z	0,027	0,032	0,034	0,033	0,033
a-z	0,463	0,484	0,445	0,515	0,491
0-9	0,505	0,479	0,516	0,445	0,469
Sp	0,005	0,005	0,005	0,007	0,007

Improving password generation

These results can be used to create better password generation. Using the gathered data, a new brute force algorithm can be made. This new algorithm is supposedly better. Based on the collected data, this new algorithm will generate a new password to “guess” grounded on the following:

-The password is between 7 and 13 characters;

-The characters used in password generations must have a frequency > 1% (top 80% characters by frequency);

-The order of generation is based on the overall subset frequency and on the character subset frequency by position.

In the case of 10 characters with those rules, long password (5,63135E+18) combinations will be generated. Or about 9% of the total possible combinations are excluded. In other words, this algorithm checks the top (≈91%) of the total combinations for Google accounts (528295E+19) based on the template. The other ≈9% will be generated last. The expected performance improvements are at least (9%).

Testing such algorithm is not feasible due to the long computing time

Brute forcing improvements can be used as a by-product of secure password generations.

To create secure passwords, a variety of factors must be considered:

-Passwords from public leaked data must be excluded. Password generators must use data sets from leaked data to check for unfavourable matches. Services such as HIP (Have I Been Pawned) can be used in this case.

-Excluding passwords with an obvious template. The password generator must check if the generated password matches a given template created from analysed leaked passwords.

Human bias attack is categorised as a template. To exclude passwords from these templates, password generation rules must be added. Examples of these rules are:

-A password must contain at least 1 or more characters with a frequency of under 10%;

-Password length must be over the median for any given template;

- At least one character subset frequency by position must be lower than 30%.

Conclusions

Creating passwords that do not obey the human bias generation rules in those brute-force algorithms can be more secure. Larger sets of data will increase the likelihood of new generation rules. Those rules can lead to more improvements in the speed of “guessing” a password created by a human. Testing such an algorithm is not feasible due to the long computing time. To test and improve the method for the generation of secure passwords suggested in this article artificial intelligence can be created. Using artificial intelligence the computation time can improve and lead to a more feasible computation time. This can be considered in father developments for the human bias attack.

References

Heule, M. J. H., O. Kullmann. 2017. The science of brute force. - *Communications of the ACM, 60, Issue 8*, 70–79.

Kerwin, T. 2006. Classification of natural language based on character frequency. – *Twenty-Eighth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*.

Manning, C., H. Schutze. 1999. *Foundations of Statistical Natural Language Processing*. 712 p.

Mohammad, A., O. Saleh, R. A. Abdeen. 2006. Occurrences Algorithm for String Searching Based on Brute-force Algorithm. – *Journal of Computer Science, 2(1)*, 82-85.

Navor, P. 2021. *The Effects of Password Length and Complexity on Password Resiliency*. University of Hawai‘i–West O‘ahu.

ELECTROTHERMAL MECHANISM FOR MEASURING CURRENT

Angel Zabchev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, angel.zabtchev@mgu.bg

ABSTRACT. The paper describes the construction and operation of a mechanical electrothermal device for measuring and controlling the effective value of the current. A resistive thread extends when heated by the current flowing through it, thus driving a metal roll with a pointer. The analysis is based on elementary theory of conic sections, specifically for the ellipse. Based on the obtained calculations, after experimentally establishing a relationship between the current and the extension of the thread, a device for measuring or controlling the current can be constructed.

Key words: electrothermal device, electric resistance thread, metal roll, conical sections

ЕЛЕКТРОТОПЛИНЕН МЕХАНИЗЪМ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ТОК

Ангел Зъбчев

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

Резюме. В работата са описани конструкцията и движението на механично електротоплинно устройство за измерване и контрол на ефективната стойност на тока. Електросъпротивителна нишка се удължава при загряване от протичащия през нея ток, при което задвижва метална ролка със стрелка. Анализът се основава на елементарна теория на конични сечения, конкретно за елипса. На основа на получените изчисления след опитно установяване на връзка между тока и удължението на нишката може да се реализира устройство за измерване или контрол на ток.

Ключови думи: електротоплинно устройство, електросъпротивителна нишка, метална ролка, конични сечения

Въведение

В статията се предлага механизъм за измерване на ток, който е в състояние да превърне стойността на тока, протичащ през електросъпротивителна метална нишка в ъгъл на завъртане на метална ролка, опъваща нишката, посредством топлинното удължаване на нишката.

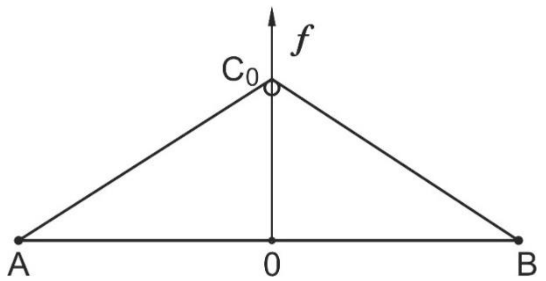
Описание на устройството

Електросъпротивителна метална нишка е закрепена в двата си края в точки A и B, които са неподвижни.

Дължината на нишката ℓ е по-голяма от разстоянието между точките A и B. Нишката е опъната от малка, въртяща се ролка C, върху която действа пружинна сила f с посока право нагоре по ос Y. Ако пренебрегнем диаметъра на ролката и я изобразим като точка C_0, при посока на опъващата сила f право нагоре, тази точка лежи на симетралата на отсечка AB (фиг.1).

Следователно $AC_0 = BC_0$ и дължината на нишката ℓ може да се определи като

$$\ell = AC_0 + BC_0$$



Фиг. 1. Закрепване на нишката

При промяна на посоката на f, точка C_0 ще опише участък от елипса с фокуси точките A и B и параметри:

$$a = \frac{\ell}{2}, \quad c = \frac{AB}{2}, \quad b = \sqrt{a^2 - c^2},$$

където 2a е големият диаметър, а 2b е малкият диаметър на елипсата.

При протичане на ток през съпротивителната нишка тя се нагрява и удължава до $\ell_1 = \ell + \Delta\ell$.

Относителното удължение $\frac{\Delta\ell}{\ell}$ е пропорционално на квадрата на тока и зависи от коефициента на топлинно разширение, съпротивлението, размерите на нишката и условията на охлаждане.

За да следим завъртането на ролката, върху нея прикрепваме стрелка и приемаме, че движението е без приплъзване.

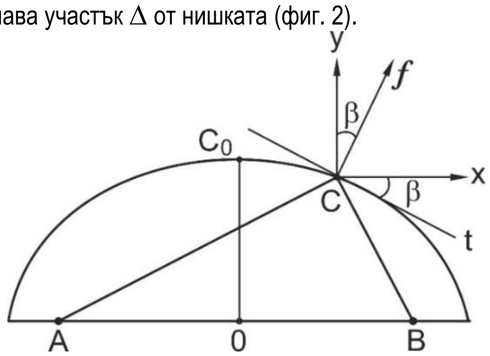
След като нишката се удължи, ролката ще се движи по нова, по-голяма елипса със същите фокуси (точките A и B) и параметри:

$$a_1 = \frac{\ell_1}{2}, \quad c_1 = c = \frac{AB}{2} = \text{const}, \quad b_1 = \sqrt{a_1^2 - c_1^2}\ .$$

Изместване на ролката от симетралата чрез посоката на силата f

Като зададем посока на опъващата сила f чрез ъгъл β между вектора $\overline{f}$ и оста Y можем да изместим ролката от симетралата на AB. Това е необходимо, тъй като при движение по симетралата ролката не се върти, т.е. изходният параметър (ъгъл γ) ще бъде нула, независимо от удължението на нишката.

Позицията на стрелката в точка C_0 приемаме за нула. При движение без приплъзване от C_0 до C ролката изминава участък Δ от нишката (фиг. 2).



Фиг. 2. Изместване на ролката от симетралата чрез посоката на силата f

От фиг. 2 определяме дължината на този участък

$$\Delta = AC - AC_0 = AC - a \tag{1}$$

Тъй като $a = \frac{AC + BC}{2}$ след заместване в (1) се получава

$$\Delta = \frac{AC - BC}{2} \tag{2}$$

За да намерим Δ, трябва да определим абсцисата x на точка C чрез уравнението на допирателната t към елипсата в тази точка. Силата f е перпендикулярна на t. Наклонът на допирателната в точка C(x, y) е:

$$K = -\frac{b^2}{a^2}.\frac{x}{y} \qquad \text{(Привалов, И. 1952)}$$

Същия наклон определяме от фиг. 2 като $K = -tg\beta$, тъй като ъгълът между правата t и оста X е равен на зададения $\sphericalangle\beta$ между силата f и оста Y (ъгли с взаимно перпендикулярни рамене).

Изравняваме двата израза за наклона и получаваме

$$tg\beta = \frac{b^2}{a^2}.\frac{x}{y} \tag{3}$$

Изразяваме y чрез x

$$y = \frac{b^2}{a^2 tg\beta}.x \tag{4}$$

Заместваме y от (4) в уравнението на елипсата:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

и за x получаваме

$$x = \frac{a^2 tg\beta}{\sqrt{a^2 tg^2\beta + b^2}}.$$

Изключваме от този израз b^2 чрез $b^2 = a^2 - c^2$ и получаваме

$$x = \frac{a^2 tg\beta}{\sqrt{\left(tg^2\beta + 1\right)a^2 - c^2}}.$$

Полагаме $\left(tg^2\beta + 1\right) = K$ и окончателно намираме x

$$x = \frac{a^2 tg\beta}{\sqrt{K.a^2 - c^2}} \tag{5}$$

Сега използваме един израз от геометрията на елипсата:

$$AC - BC = 2.\varepsilon.x \tag{6}$$

където $\varepsilon = \frac{c}{a}$ е ексцентрицитетът, а x е абсцисата на точка C.

Заместваме стойността на x от (5) в (6) и чрез (2) определяме Δ.

$$\Delta = \frac{AC - BC}{2} = \varepsilon x = \frac{c}{a}.\frac{a^2 tg\beta}{\sqrt{K.a^2 - c^2}}$$

Окончателно

$$\Delta = \frac{c.a.tg\beta}{\sqrt{K.a^2 - c^2}}, \tag{7}$$

където $K = tg^2\beta + 1$.

Стойността на Δ е разстоянието, което изминава периферията на ролката върху нишката при зададени ($a = \frac{\ell}{2}$, $c = \frac{AB}{2}$) и посока на силата f чрез ъгъл β.

При пропускане на ток, нагряване и удължаване на нишката, ролката ще се движи по друга по-голяма елипса с параметри $a_1 = \frac{\ell + \Delta\ell}{2}$ и $c_1 = c$.

Изразът (7) ще изглежда така:

$$\Delta_1 = \frac{c.a_1.tg\beta}{\sqrt{K.a_1^2 - c^2}} \tag{8}$$

Сега като извадим Δ_1 от Δ ще получим мярка за завъртането на ролката δ.

$$\delta = \Delta - \Delta_1 \tag{9}$$

δ е обобщена дъга, на която отговаря обобщен ъгъл γ, на който се завърта стрелката върху ролката. Ъгъл γ е крайният резултат, който ни интересува при тези движения.

От равенството $\frac{360°}{\gamma°} = \frac{\pi d}{\delta}$ определяме ъгъл γ

$$\gamma° = \frac{360°}{\pi d}.\delta \tag{10}$$

където d е диаметърът на ролката.

Така зададените величини *a*, *c*, *a1*, $\sphericalangle\beta$, *d* и изразите (7), (8), (9) и (10) ни позволяват да определим $\sphericalangle\gamma$ – завъртането на стрелката.

С един числен пример е попълнена следващата таблица.

Задаваме: a = 30 cm, c = 18 cm, $\sphericalangle\beta$ = 10°, d = 0,382 cm.

Диаметърът d е избран, така че $\gamma = 300\delta$ от (10).

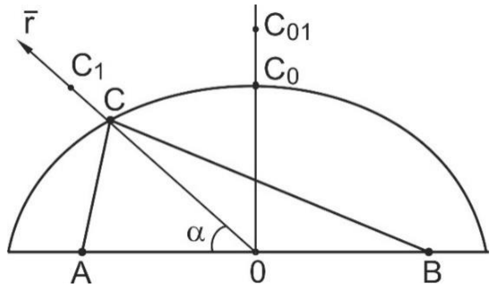
Таблица 1. *Определяне на $\sphericalangle\gamma$ при известно процентно удължаване на съпротивителната нишка*

Удължение	**1%**	**2%**	**3%**	**4%**	**5%**
a_1	30,3	30,6	30,9	30,12	30,15
Δ	3,870	3,870	3,870	3,870	3,870
Δ_1	3,850	3,830	3,812	3,794	3,777
δ	0,020	0,040	0,058	0,076	0,093
$\gamma°$	6°	12°	17,4°	22,8°	27,9°

Посоката на отклонение на стрелката е както при правата скала на измервателните уреди.

Движение на ролката, определено от радиус вектора $\overline{r}$

Точката C е пресечна точка на правата, зададена чрез ъгъл α (фиг. 3) и елипсата.



Фиг. 3. Движение на ролката по радиус вектора $\overline{r}$ (OC)

Уравнението на правата е:

$$y = -tg\alpha.x \tag{11}$$

Уравнението на елипсата е:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \tag{12}$$

Повдигаме y на квадрат от (11), заместваме го в (12) и определяме x^2

$$x^2 = \frac{a^2b^2}{a^2tg^2\alpha + b^2},$$

След изключване на b^2 и кореняване, за x се получава:

$$x = -\frac{ab}{\sqrt{n.a^2 - c^2}}, \tag{13}$$

където $n = tg^2\alpha + 1$.

Тъй като точка C се намира във II квадрант, нейната абсциса x е с отрицателна стойност.

Сега определяме Δ така, както го изчислихме в предишната точка

$$\Delta = \frac{AC - BC}{2} = \varepsilon.x = -\frac{c}{a}.\frac{ab}{\sqrt{n.a^2 - c^2}}$$

$$\Delta = -\frac{c.b}{\sqrt{n.a^2 - c^2}} \tag{14}$$

$$\Delta_1 = -\frac{c.b_1}{\sqrt{n.a_1^2 - c^2}} \tag{15}$$

От (9) $\delta = \Delta - \Delta_1$. Ъгълът на завъртане на стрелката γ е

$\gamma = 300.\delta$ по посока на часовниковата стрелка.

Според фиг. 3 стрелката е на нулата когато ролката е в точка C.

След удължаването на нишката, ролката попада в точка C_1, която лежи върху по-голяма елипса с параметри a_1 и c. При това движение на ролката от точка C до точка C_1, стрелката се завърта на ъгъл γ.

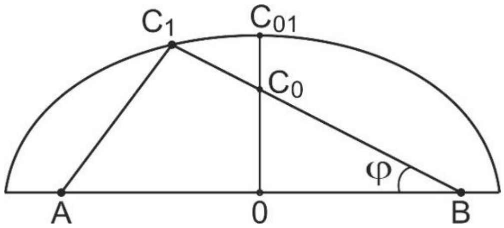
В таблица 2 са изчислени всички стойности за този случай на движение на ролката по дължината на правата OC при зададени стойности на величините: a = 30 cm, c = 18 cm, $\sphericalangle\alpha = 60°$, $n = tg^2 60 + 1 = 4$; d = 0,382 cm.

Таблица 2. *Изчисляване на ∢γ при движение на ролката по радиус вектора OC*

Удължение	1%	2%	3%	4%	5%
a_1	30,3	30,6	30,9	30,12	30,15
$-\Delta$	7,547	7,547	7,547	7,547	7,547
$-\Delta_1$	7,582	7,616	7,647	7,677	7,707
δ	0,035	0,069	0,10	0,13	0,16
$\gamma°$	10,5°	20,7°	30°	39°	48°

Движение на ролката по правата BC_0

На фиг. 4 е начертана по-голямата елипса след удължаването на нишката, с параметри a_1, b_1, c. Точката C_0 е върху симетралата на AB и принадлежи на основната елипса с параметри a, b, c.



Фиг. 4. Движение на ролката по права BC_0

Ролката първоначално е в точка C_0 и при удължаване на нишката се придвижва до точка C_1. При това движение тя се завърта на ъгъл γ, който искаме да определим.

Ще използваме уравнението на елипсата в полярни координати, където:

$$BC_1 = \frac{P}{1-\varepsilon_1.\cos\varphi}\,, \tag{16}$$

$$P = \frac{b_1^2}{a_1^2} \qquad \text{и} \qquad \varepsilon_1 = \frac{c}{a_1}\,.$$

От триъгълник BOC_0 определяме $\cos\varphi$

$$\cos\varphi = \frac{BO}{BC_0} = \frac{c}{a}\,.$$

Заместваме тези изрази в (16) и получаваме

$$BC_1 = \frac{a.b_1^2}{a.a_1 - c^2} \tag{17}$$

Пътят, който ролката ще измине върху нишката е δ

$$\delta = BC_1 - BC_{01} = BC_1 - a_1$$

$$\delta = \frac{a.b_1^2}{a.a_1 - c^2} - a_1 \tag{18}$$

При зададени стойности на: a = 30 cm, c = 18 cm и d = 0,382 cm от (18) изчисляваме $b_1^2 = a_1^2 - c^2$ и попълваме таблица 3.

Таблица 3. *Изчисляване на ∢γ при движение на ролката по BC_0*

Удължение	1%	2%	3%	4%	5%
a_1	30,3	30,6	30,9	31,2	31,5
b_1^2	594	612	631	649	668
δ	0,1615	0,3293	0,493	0,614	0,770
$\gamma°$	48°	98,8°	148°	184°	231°

Заключение

При определена стойност на тока, температурата и съответно дължината на нишката, чрез промяна на посоката на опъващата сила f, ролката може да се придвижва като описва елипса. При нарастване на тока и удължаване на нишката, елипсата става по-голяма. Условие за ротация на ролката е тя да не се намира върху симетралата на AB.

Описани са три начина за изместване от симетралата – чрез посоката на силата f (фиг. 2); чрез движение по направляваща права (фиг. 3) и чрез движение по права BC_0 (фиг. 4). С числени примери са попълнени съответните таблици, определящи ъглите на ротация на ролката в зависимост от относителното удължаване на нишката, дадено в проценти.

До тук работата е свързана с геометрията на движение и ротацията на ролката.

Следващият етап от разработката, който не е описан, включва избор на електросъпротивителна сплав за нишката с определени коефициент на топлинно разширение и специфично съпротивление, задаване на размери (дължина и сечение) и опитно установяване на връзка между протичащия ток и процентното удължаване на нишката. Получените в настоящата работа резултати ни дават теоретична основа за конструиране на електротоплинен механизъм за измерване и контрол на ток.

Литература

Моденов, П. С. 1969. *Аналитическая геометрия*. Издательство Московского университета.

Привалов, И. И. 1952. *Аналитическая геометрия*. Москва.

Харт, Х. 1982. *Въведение в измервателната техника*. София.

NETWORK-CONNECTED PHOTOVOLTAIC INSTALLATION FOR ELECTRICITY PRODUCTION FOR THE TERRITORY OF SOFIA

Malina Ivanova

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

ABSTRACT. The article analyses the possibility of designing a photovoltaic power plant for a family house, which is connected to an existing low voltage / LV / electricity distribution network in Sofia with a capacity of 100 kWp, orientation 0°, gradient 30°, and with Si-poly photovoltaic modules. The PVSyst software was used. The most effective option for building the system was chosen: P50 from the three variants of the Poly 285 Wp 72 cells module offered - P50, P90, and P95. The time for investment return in years (pay-back) has been determined at the purchase price of the produced electricity: 0.40 BGN / kWh (fixed feed-in tariff).

Key words: grid connection, photovoltaic power plant, photovoltaic modules, investment, carbon emissions

МРЕЖОВОСВЪРЗАНА ФОТОВОЛТАИЧНА ИНСТАЛАЦИЯ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА ГР. СОФИЯ

Малина Иванова

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

РЕЗЮМЕ. В статията се разглежда възможност за проектиране на фотоволтаична електроцентрала за фамилна къща, която е свързана към съществуваща електроразпределителна мрежа за ниско напрежение /НН/ на територията на гр. София с мощност 100 kWp, ориентация 0°, наклон 30° и с фотоволтаични модули Si-poly. Използван е програмния продукт PVSyst.

Избран е най-ефективният вариант за изграждане на с-мата: P50 от предложените три разновидности на модула Poly 285 Wp 72 cells - P50, P90 и P95. Определено е времето за възвръщане на инвестицията в години (pay-back) при цена на изкупуване на произведената електрическа енергия: 0.40 лв. /kWh (fixed feed-in tariff).

Ключови думи: мрежово свързване, фотоволтаична електроцентрала, фотоволтаични модули, инвестиция, въглеродни емисии

Introduction

The continuing and deepening energy deficit of fossil fuels in the European countries, including Bulgaria, is growing. The economic dependence of the European states on the countries-exporters of oil, natural gas, and other deficient primary energy sources is increasing. The war in Ukraine has aggravated this problem. In this regard, the preparation of a new program for the development of renewable energy sources in Europe has begun. It envisages a sharp increase in the share of alternative and renewable sources in meeting the energy and fuel needs of the European countries. The Bulgarian domestic economic policy, which stimulates the development of the sector of naturally renewable energy sources is in line with the already existing and the new, even stricter, policy of limiting fossil non-ecological energy sources. Regardless of Europe's priority goal of creating competitive, sustainable, and secure power engineering, economic reasons are forcing the Bulgarian government to frequently change its regulations related to renewable energy sources, and seek to limit more expensive energy solutions, involving photovoltaic systems /PS/, despite their long-term beneficial effect (Law on Energy from Renewable Sources, effective from 05.07.2013).

In the present work, a photovoltaic on-grid power plant for a family house has been designed, which is connected to an existing low voltage electricity distribution network /LV/ on the territory of Sofia city with a power of 100 kWp, orientation 0°, gradient (slope) 30°, and with Si-poly photovoltaic modules (Vassilev Hr.et al., 2006). The PVSyst software product was used. The time for investment return in years (pay-back) at the purchase price of the produced electricity of has been determined: BGN 0.40 /kWh (fixed feed-in tariff) (Am Andonov et al., 2009).

Object of research

The object of research in the present development is a photovoltaic on-grid power plant, designed using the PVSyst software product (http:// www.pvsyst.com).

1. Nature

The photovoltaic power plant directly converts solar energy into electricity for general use, including for supplying electricity to the low voltage power network.

The photovoltaic converters of solar energy (photovoltaics, PV-panels) are made as elements with a certain area, and are called solar panels. They are elements that convert solar radiation directly into electricity and supply it to the conventional electricity distribution network (Koleva et al., 2003)

Photovoltaic systems form a significant and promising share of RES (renewable energy sources). The free, eco-friendly resource, the favourable regulations, and the incentive mechanisms applied for green technologies in more and more countries around the world are just some of the reasons why in ~~the~~ recent years, the PS have enjoyed increased investor interest, and their use is gradually becoming one of the most dynamically developing directions in the electric power engineering on a global scale.

2. Classification

PS allow classification by various indicators. Depending on the place of installation, the PS can be ground, roof, and built into the building facades, and according to the type of mounting structures - stationary and tracking (follow-up). Solar electrical installations can be autonomous and connected to the power network, and systematisation can be offered depending on their capacity. They are made of photovoltaic panels connected in parallel or in series (http:// www.bzs-solar.de).

When connected in parallel, photovoltaics must have the same idling voltage and, more importantly, have the same voltage at the point of maximum capacity.

When connected in series, the photovoltaic panels must have the same characteristics. If this is not the case, the efficiency of the whole "string" is limited by the photovoltaic panel with lowest quality.

3. Production technologies

Currently, PV cells are produced by different technologies, as the efficiency and cost value of the modules vary depending on the material used and the specific conditions. Photovoltaics can be conditionally distinguished by first, second, and third generation technologies (Dechev, 2009).

The first group includes the silicon technologies, which are currently the most common and are characterised by the highest efficiency and price.

The second category of technologies uses photosensitive materials deposited as a very thin layer on a pad of cheap insulating material. They are characterised by a lower price, but are less effective and have a shorter life.

The third group includes concentrating PV technologies, organic photovoltaics, Grätzel cells, etc., which have not yet gained worldwide popularity.

Poly-crystalline silicon photovoltaic modules were used in the study (Koev, 2011; Velev, et al., 2012).

Concept for model research

The article considers the possibility of designing a photovoltaic on-grid power plant for a family house, which is connected to an existing low voltage /LV/ electricity distribution network in Sofia with a capacity of 100 kWp, orientation 0°, gradient 30°, and with Si-poly photovoltaic modules.

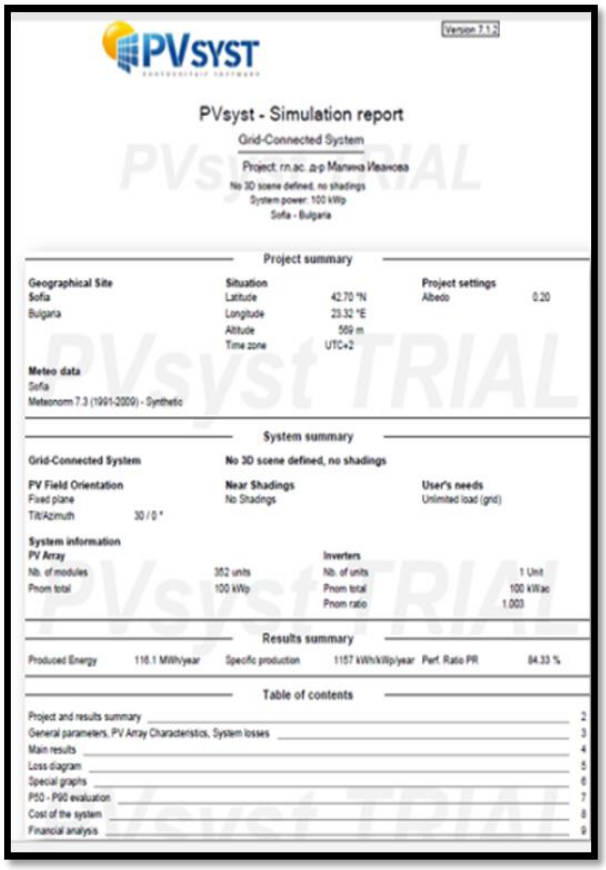
The PVSyst software was used. The time for return on investment in years will be determined at the purchase price of the produced electricity: 0.40 BGN / kWh.

The following parameters for project simulation /data/ are entered on the program setting screen: for the city of Sofia, capacity 100 kWp, orientation 0°, gradient 30°, photovoltaic modules Si-poly. Additionally, the following are set:

Price of modules: 1 BGN/Wp
Price of inverters: 2 BGN/kW
Other components:
Accessories – 3000 BGN
Cabling (wiring) - 7000 BGN
Training and analysis: Engineering - 3000 BGN
Installation of the plant:
Installation of modules - 10 BGN/module
Installation of inverters - 500 BGN/inverter
Connecting to the network - 10 BGN/kWp
Operating expenses:
Salaries - 24000 BGN/year
Financial parameters:
Own funds - 100000 BGN
Interest on the loan - 3%

It is possible to determine the time for investment return in years (pay-back) at the purchase price of the produced electricity : 0.40 BGN /kWh.

Results obtained



Version 7.1.2

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: гл.ас. д-р Малина Иванова
No 3D scene defined, no shadings
System power: 100 kWp
Sofia - Bulgaria

Project summary

Geographical Site	Situation		Project settings	
Sofia	Latitude	42.70 °N	Albedo	0.20
Bulgaria	Longitude	23.32 °E		
	Altitude	569 m		
	Time zone	UTC+2		

Meteo data
Sofia
Meteonorm 7.3 (1991-2009) - Synthetic

System summary

Grid-Connected System — No 3D scene defined, no shadings

PV Field Orientation		Near Shadings	User's needs
Fixed plane		No Shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth	30 / 0 °		

System information

PV Array		Inverters	
Nb. of modules	352 units	Nb. of units	1 Unit
Pnom total	100 kWp	Pnom total	100 kWac
		Pnom ratio	1.003

Results summary

Produced Energy	116.1 MWh/year	Specific production	1157 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	84.33 %

Table of contents

Fig.1. Input data and design content

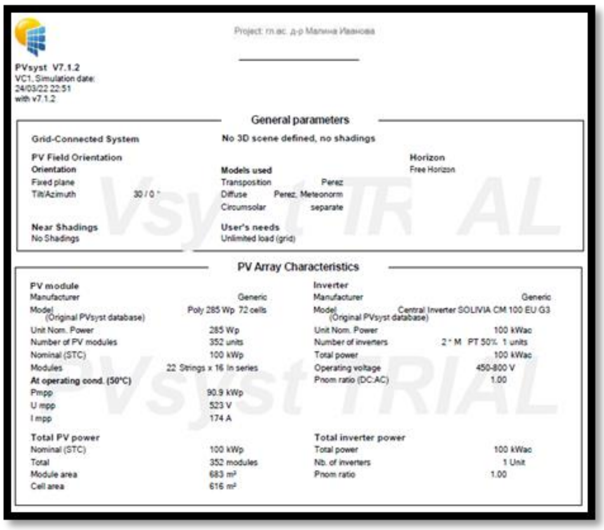


Fig.2. Data on the connected photovoltaic modules / built PV system/

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

Fig.3. Losses in the system

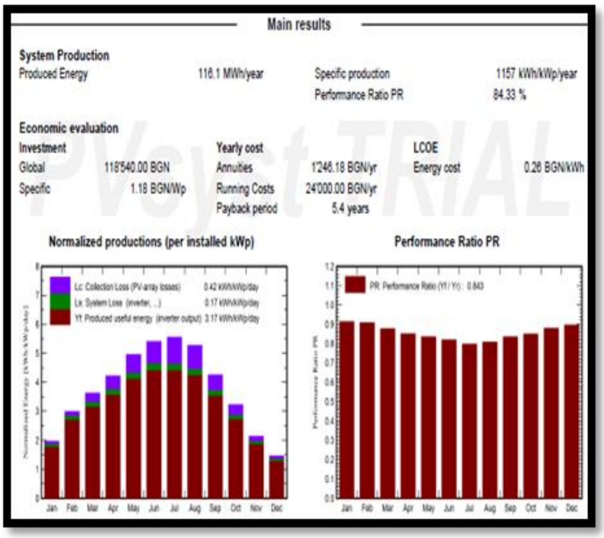
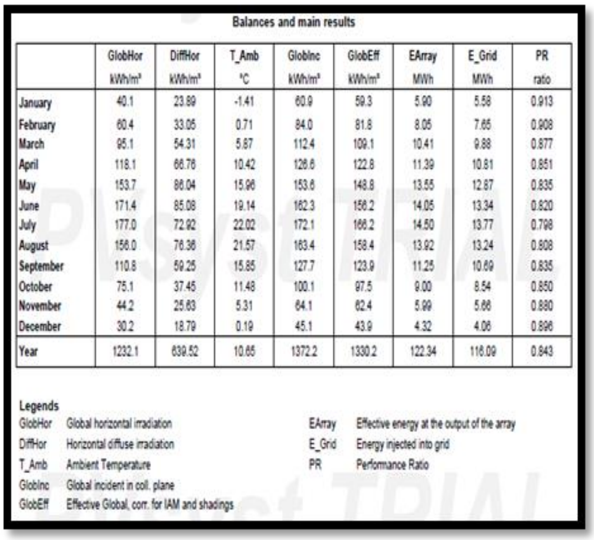


Fig.4. Report on energy production



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	ratio
January	40.1	23.89	-1.41	60.9	59.3	5.90	5.58	0.913
February	60.4	33.05	0.71	84.0	81.8	8.05	7.65	0.908
March	95.1	54.31	5.87	112.4	109.1	10.41	9.88	0.877
April	118.1	66.78	10.42	126.6	122.8	11.39	10.81	0.851
May	153.7	86.04	15.96	153.6	148.8	13.55	12.87	0.835
June	171.4	85.08	19.14	162.3	156.2	14.05	13.34	0.820
July	177.0	72.92	22.02	172.1	166.2	14.50	13.77	0.798
August	156.0	76.36	21.57	163.4	158.4	13.92	13.24	0.808
September	110.8	59.25	15.85	127.7	123.9	11.25	10.69	0.835
October	75.1	37.45	11.48	100.1	97.5	9.00	8.54	0.850
November	44.2	25.63	5.31	64.1	62.4	5.99	5.66	0.880
December	30.2	18.79	0.19	45.1	43.9	4.32	4.06	0.896
Year	1232.1	639.52	10.65	1372.2	1330.2	122.34	116.09	0.843

Legends
GlobHor Global horizontal irradiation
DiffHor Horizontal diffuse irradiation
T_Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
PR Performance Ratio

Fig.5. Annual main results by months

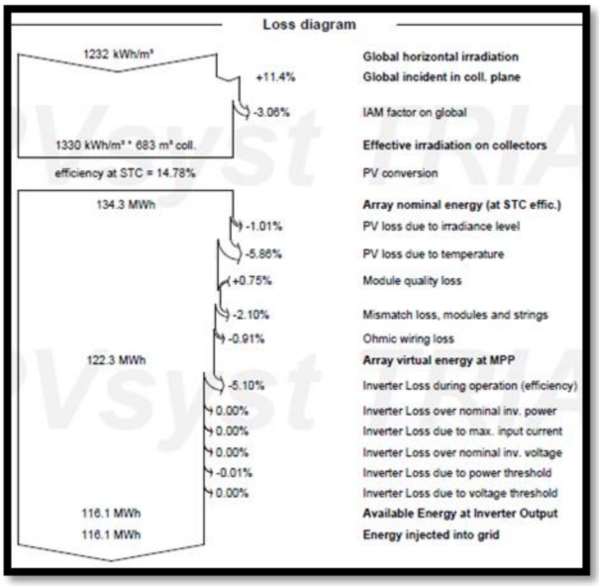


Fig.6. Report of losses from various factors
Losses in the system /modules and inverter/

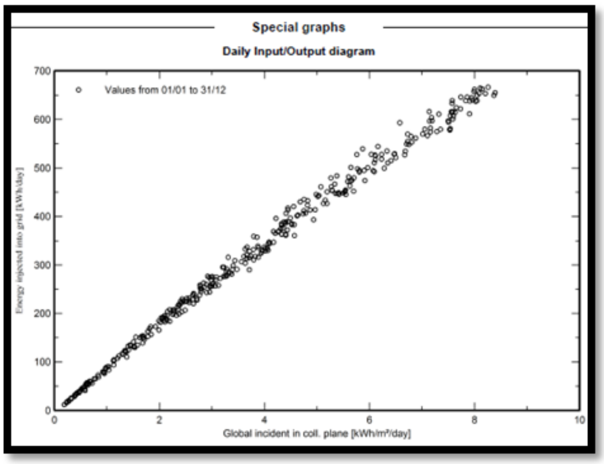


Fig.7. Project simulation parameters - dependence between average daily solar radiation and energy supplied to the network

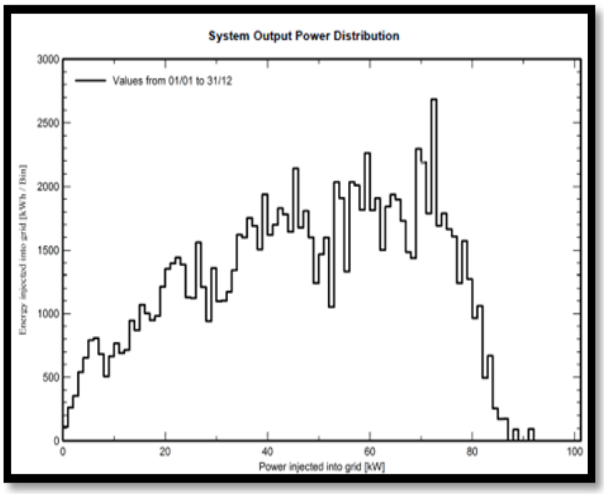


Fig.8. Annual distribution of the output power of the system

P50 - P90 evaluation

Meteo data			Simulation and parameters uncertainties	
Meteo data source	Meteonorm 7.3 (1991-2009)		PV module modelling/parameters	1.0 %
Kind	Not defined		Inverter efficiency uncertainty	0.5 %
Year-to-year variability(Variance)		0.5 %	Soiling and mismatch uncertainties	1.0 %
Specified Deviation			Degradation uncertainty	1.0 %
Global variability (meteo + system)			**Annual production probability**	
Variability (Quadratic sum)		1.9 %	Variability	2.2 MWh
			P50	116.1 MWh
			P90	113.3 MWh
			P95	112.5 MWh

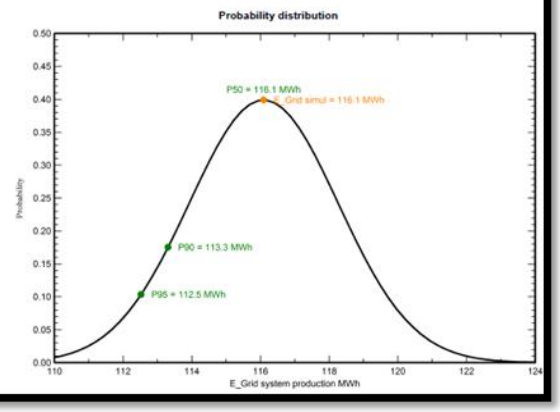


Fig.9. Probability distribution /when building the system with three variants of the module: P50, P90 and P95/

Cost of the system

Installation costs

Item	Quantity units	Cost BGN	Total BGN
PV modules			
Poly 285 Wp 72 cells	352	285.00	100'320.00
Inverters			
Central Inverter SOLIVIA CM 100 EU G3	1	200.00	200.00
Studies and analysis			
Engineering	1	3'000.00	3'000.00
Installation			
Global installation cost per module	352	10.00	3'520.00
Global installation cost per inverter	1	500.00	500.00
Accessories, fasteners	1	3'000.00	3'000.00
Wiring	1	7'000.00	7'000.00
Grid connection	1	1'000.00	1'000.00
Total			118'540.00
Depreciable asset			118'540.00

Operating costs

Item	Total BGN/year
Maintenance	
Salaries	24'000.00
Total (OPEX)	24'000.00

System summary

Total installation cost	118'540.00 BGN
Operating costs	24'000.00 BGN/year
Produced Energy	116 MWh/year
Cost of produced energy (LCOE)	0.261 BGN/kWh

Fig.10. Price of the system in BGN and annual production
Financial analysis

Financial analysis

Simulation period			
Project lifetime	20 years	Start year	2022
Income variation over time			
Inflation			0.00 %/year
Production variation			0.00 %/year
Discount rate			0.00 %/year
Income dependent expenses			
Income tax rate			0.00 %/year
Other income tax			0.00 %/year
Dividends			0.00 %/year
Financing			
Own funds			100'000.00 BGN
Loan			18'540.00 BGN
Electricity sale			
Feed-in tariff			0.40 BGN/kWh
Duration of tariff warranty			20 years
Annual connection tax			0.00 BGN/kWh
Annual tariff variation			0.0 %/year
Feed-in tariff decrease after warranty			50.00 %
Return on investment			
Payback period			5.4 years
Net present value (NPV)			323'828.34 BGN
Return on investment (ROI)			273.2 %

Fig.11. Summary of the result for investment return

Detailed economic results (BGN)

	Gross income	Loan principal	Loan interest	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Cumul. profit	% amort.
2022	46'438	690	556	24'000	0	21'881	0	21'191	-78'809	18.5%
2023	46'438	711	536	24'000	0	21'902	0	21'191	-57'617	36.9%
2024	46'438	732	514	24'000	0	21'923	0	21'191	-36'426	55.4%
2025	46'438	754	492	24'000	0	21'945	0	21'191	-15'234	73.9%
2026	46'438	777	470	24'000	0	21'968	0	21'191	5'957	92.5%
2027	46'438	800	446	24'000	0	21'991	0	21'191	27'149	111.0%
2028	46'438	824	422	24'000	0	22'015	0	21'191	48'340	129.6%
2029	46'438	849	398	24'000	0	22'040	0	21'191	69'531	148.2%
2030	46'438	874	372	24'000	0	22'065	0	21'191	90'723	166.8%
2031	46'438	900	346	24'000	0	22'092	0	21'191	111'914	185.4%
2032	46'438	927	319	24'000	0	22'119	0	21'191	133'106	204.1%
2033	46'438	955	291	24'000	0	22'147	0	21'191	154'297	222.8%
2034	46'438	984	262	24'000	0	22'175	0	21'191	175'488	241.5%
2035	46'438	1'013	233	24'000	0	22'205	0	21'191	196'680	260.2%
2036	46'438	1'044	203	24'000	0	22'235	0	21'191	217'871	279.0%
2037	46'438	1'075	171	24'000	0	22'266	0	21'191	239'063	297.8%
2038	46'438	1'107	139	24'000	0	22'299	0	21'191	260'254	316.6%
2039	46'438	1'140	106	24'000	0	22'332	0	21'191	281'446	335.4%
2040	46'438	1'175	72	24'000	0	22'366	0	21'191	302'637	354.3%
2041	46'438	1'210	36	24'000	0	22'401	0	21'191	323'828	373.2%
Total	928'752	18'540	6'384	480'000	0	442'368	0	423'828	323'828	373.2%

Fig.12. Annual economic results - gross income, principle of loan, interest on the loan, current expenses, depreciation deductions, taxable income, taxes, profit after tax, Total profit / profitability / over the years

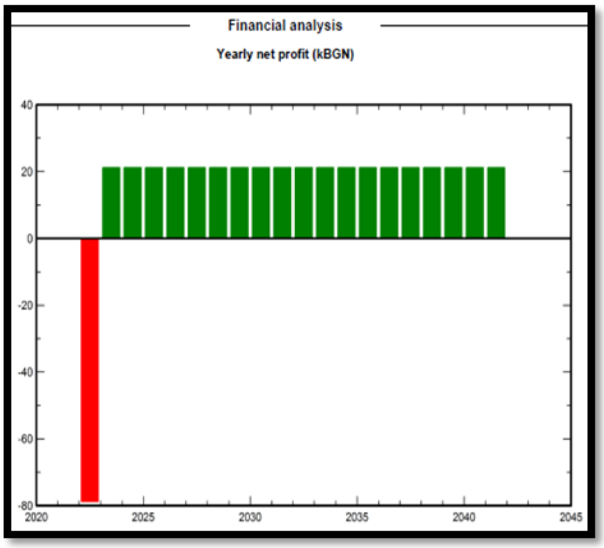


Fig.13. Annual profits

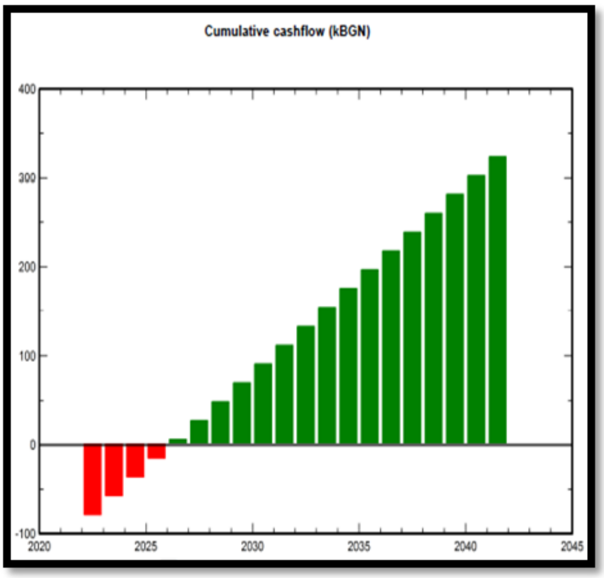


Fig.14. Investment return

Conclusion

A photovoltaic on-grid electric power plant has been designed for a family house, which is connected to an already existing low voltage electricity distribution network /LV/ in Sofia. It is with a capacity of 100 kWp, orientation 0°, gradient 30°, and with Si-poly photovoltaic modules. The PVSyst software was used. The following conclusions were drawn:

- The network-connected photovoltaic power plant consists of 352 photovoltaic modules Poly 285 Wp 72 cells, arranged in 22 strings of 16 modules in a series. It is located on an area of 683 m^2;

- The inverter is central: Central Inverter SOLIVIA CM 100 EU G3]

- From the performed calculations with the three proposed variants of the P50, P90, and P95 polycrystalline photovoltaic modules, the P50 module was chosen;

- The final price of the photovoltaic installation in the amount of BGN 323,828 thousand has been determined. With a service life of 20 years, the investments will be repaid after 5.4 years, and within the service life of the power plant will return by 273.2%;

References

Andonov, K., N. Nedev, M. Manev, K. Koev, L. Mihailov. 2009. Model for evaluation of the efficiency of the designs. for photovoltaic energy parks. *Scientific papers of the University of Russe, 48*, series 3.1 (in Bulgarian with English abstract).

Dechev D. 2009. *Slanchevi kolektori i sistemi*. Tehnika, Sofia, 78-101 (in Bulgarian).

Koev, K. 2011. Modeling the influence of some factors on the temperature of photovoltaic modules. - *Power Engineering*, *3*, 41-46.

Koleva, E., Y. Ivancheva. 2003. A method for assessment of solar radiation in Sofia. *Third National Conference on Renewable Energy Sources,* October 23-24, National Palace of Culture, Sofia (in Bulgarian with English abstract).

Law on Energy from Renewable Sources, State Gazette, no. 35 from 03.05.2011, effective from 03.05.2011; amended and supplemented, no. 29 from 10.04.2012, effective from 10.04.2012; amended and supplemented, no. 54 from 17.07.2012, effective from 17.07.2012; amended and supplemented, no. 15 from 15.02.2013, effective from 15.02.2013; amended, no. 59 from 05.07.2013, effective from 05.07.2013.

Vassilev, Hr., G. Ganchev. 2006. Power supply of single-family houses with photovoltaic panels. *Energy Forum*, June 14-17, MDU - F.J.Curie, Varna, (in Bulgarian).

Velev, M., L. Ilieva, T. Todorov. 2012. Modeling Photovoltaic Electricity Production in Bulgaria. - *Entrepreneurship & Innovation Journal, 4*, 75-87.

http:// www.bzs-solar.de

http:// www.pvsyst.com

SOFTWARE PRODUCTS FOR RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS AND DISEASES IN INDUSTRY

Nikolina Ivanova, Rosita Nesheva

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

ABSTRACT. The mining industry is considered to be among the most hazardous in the world – cave-ins, blasts, toxic air, and extreme temperatures are perils faced by the employees in this sector on a daily basis. Risk management is a core component involving a cyclic process of identifying high injury risk activities, updating operating procedures to reduce risks, implementing these changes, and evaluating their effectiveness. Infrastructure development, work process automation, integrating the equipment with centralised software systems all allow for entirely new approaches in risk management and assessment. A number of products are being developed and implemented in production, like RISKGATE, AnyLogic, Nexsys, etc. MGU ENGINEERING Ltd. has developed the *Mine Accident Risk v.2003* risk assessment software system which provides tools for recording and analysing the risk of occupational accidents and diseases in the mining industry. This article offers a critical analysis of the technical capacities of the software product, along with of how to improve and extend its scope by means of contemporary software products and technologies.

Key words: risk assessment, risk management, mining industry, software systems.

СОФТУЕРНИ ПРОДУКТИ ЗА ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ ТРУДОВИ ЗЛОПОЛУКИ И ПРОФЕСИОНАЛНИ ЗАБОЛЯВАНИЯ В ИНДУСТРИЯТА

Николина Иванова, Росита Нешева
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Минната индустрия се счита за една от най-рисковите в света – срутвания, експлозии, токсичен въздух и екстремни температури са сред опасностите, пред които ежедневно са изправени работещите в този сектор. Управлението на риска е централен компонент, включващ непрекъснат процес на идентифициране на дейности с висок риск от наранявания, актуализиране на оперативните процедури с цел намаляването на рисковете, прилагане на тези промени и оценка на тяхната ефективност. Развитието на техническата инфраструктура, автоматизирането на работните процеси, свързването на оборудването с централизирани софтуерни системи~~,~~ дава възможност за изцяло нови подходи в управлението и оценката на рисковете. Редица продукти в тази насока биват разработвани и внедрявани в производството – RISKGATE, AnyLogic, Nexsys. Компютърната система за оценка на рисковете “Mine Accident Risk v.2003” е разработена от „МГУ ИНЖЕНЕРИНГ ООД“. Тя предоставя инструменти за отчитане и анализ на риска от трудови злополуки и професионални заболявания в минната индустрия. В настоящата статия предлага критичен анализ на техническите възможности на софтуерния продукт.~~-~~Освен това представя идеи за неговото подобрение и разширение~~,~~ с помощта на съвременни софтуерни продукти и технологии.

Ключови думи: оценка на риска, управление на риска, минна индустрия, компютърни системи.

Introduction

Mining industry has always been known as one of the most hazardous. Prompt risk assessment is necessary in order to maintain safety working environment.

On the other hand, the dynamics of technological evolution gives rise to a serious need for modern approaches to risk assessment and analysis in the mining industry. The use of optimal technology could prevent, reduce, or even eliminate unexpected events that can lead to environmental accidents, accidents at work, or production losses.

The development of an appropriate risk management plan is carried out after a careful assessment of possible events that may occur ~~in~~ under certain circumstances.

What is characteristic of the mining activity is the presence of natural risks which require both compliance with technology and change in human behavior in order to avoid the human and material consequences of these specific risks.

Risk assessment

Risk management includes systemic implementation of policies, procedures, and risk identification practices, assessment of risk consequences, assessment of risk and its levels against the related criteria and goals, as well as decisions for minimising risks identified (Vladkova, 2015).

Risk assessment is an approach taken in many industries. It forms the basis on which risk hazards are identified and measured (Kostadinova, 2020). It is characterised by four main steps:

- risk identification - identification of hazards and situations that may arise and cause damage or loss (also called "undesirable situations");
- risk analysis - careful analysis and critical assessment of the risk of "adverse situations";
- risk control - a set of appropriate risk mitigation and control measures that is considered unacceptable;

- implementation and maintenance of control measures - implementation of risk control measures, as well as monitoring the effectiveness of these measures.

Mine Accident Risk’03

Mine Accident Risk’03 (or shorter: *MAR'03*) is a system for recording/reporting and analysis of the risk of accidents at work and occupational diseases, including the preparation of a basic analysis of the risk of accidents at work and occupational diseases, which is the foundation of the software for continuous assessment of the dangers and safety in the mining companies (Mihaylov, Petrov, 2003).

The system was developed in 2003 by a team from MGU "St. Ivan Rilski” under the supervision of Prof. Mihaylov from the Department of Mine Ventilation.

Among the main functionalities of *MAR'03* are:
- data entry for accidents at work;
- automatic form loading;
- preparation of reports and risk assessment.

The effectiveness of MAR’03 is related to the preparation of three types of analysis of the risks in mines - basic, detailed, and continuous. Risk management software creates an environment for complex decision-making as an ongoing analysis of any decision and activity that has the potential to cause damage, analyzes risks, and implements strategies to reduce those risks.

The system is built with the following software tools:
- Fox Pro – database management system;
- Visual Basic – an object-oriented programming language that allows rapid application development (also known as-RAD) with a graphical user interface (GUI).

Types of statistical analyses in *MAR’03*

Statistics is the collection and analysis of data using mathematical techniques. It also includes the interpretation of data and the presentation of findings. Another use of statistics is to discover patterns or relationships between variables and to evaluate these patterns to see how often they occur.

Pearson's Chi-square Test

Chi-square (χ^2) test is a non-parametric statistical analysing method often used in experimental work where the data consist in frequencies or ‘counts’ (Zibran, 2007).

The significance of Chi-square value is determined by using the suitable degree of freedom and degree of significance and consulting a Chi-square table (Moore, 1994).

The two special purposes of Chi-square test are to test the hypothesis that there is no correlation among two or more groups, populations or criteria, and to test to what extent the observed data distribution fits to the expected distribution. (Turhan, 2020).

What is characteristic for this test is the formulation of the null hypothesis, i.e. we assume that all individual characteristics of an indicator have the same probability (Ho).

It is necessary to determine N - the number of characteristics of the information indicator, from which we can determine the degrees of freedom according to the equation:

$$Df = N - 1 \qquad (1)$$

The difference in the numerical values in the characteristics of the information indicator can be huge. In this case, they are normalised by calculating in percentage according to the equation:

$$\overline{F_i} = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{N} Fi} * 100[\%], \qquad (2)$$

where F_i – – is the actual distribution of accidents according to the characteristics of the information indicator.

The criterion χ^2 is calculated according to the formula:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(\overline{F_i} - \overline{E_i})^2}{\overline{E_i}} \qquad (3)$$

where $\overline{E_i}$ is the hypothetical distribution of the accidents according to characteristics of the indicator and is calculated by the following equation:

$$\overline{\mathrm{E}_i} = \frac{100}{N} \qquad (4)$$

The obtained result is compared to the critical value $\chi^2_{\text{кр.}}$, taken tabularly, according to the chosen level of significance and the degrees of freedom. The null hypothesis is confirmed when:

$$\chi^2 < \chi^2_{\text{кр.}} \qquad (5)$$

Otherwise, it is assumed that the individual characteristics have significant differences in their distribution according to the information indicator.

Paired Student’s t-Test

The paired samples t test, sometimes called the dependent samples t-test, is used to determine whether the change in means between two paired observations is statistically significant. (Mishra et al. 2019). Two hypotheses are formulated:
- the null hypothesis (H0), which states that the difference between the average values, by characteristics of one information indicator for two periods of time, are equal to zero, i.e. there is no difference]
- the alternative hypothesis (H1) – the difference between the average values, by characteristics of one information indicator for two periods of time, are not equal to zero, i.e. there are significant differences.

The number of characteristics are determined according to the selected indicator N, as well as the degrees of freedom according to formula (1), then the standard deviation of the differences S_d is calculated according to the following formula:

$$S_d = \sqrt{\frac{N \sum {D_f}^2 - (\sum D_f)^2}{N(N-1)}} \qquad (6)$$

The mean of the population μ is determined, as well as the mean of sample $\overline{\mathrm{X}}$. The value of the criterion t is determined by the following formula:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S_d/\sqrt{N}} \qquad (7)$$

The calculated criterion t is compared with the taken tabular critical value $t_{кр}$ for the selected level of significance and degrees of freedom. If the condition (8) is met

$$t < t_{кр.} \qquad (8)$$

the null hypothesis is accepted - there are insignificant differences between the two compared observations. If the condition is not met, the alternative hypothesis H_1 is accepted.

Parametric Student test

In this test, it is necessary to determine two time periods (f1(i) and f2(i)), the absolute frequencies for which are known. The periods are chosen so that the second f2 is part of the first f1. It can be used to check the differences in the individual characteristics of an indicator.

The null hypothesis is formulated - the difference between the average relative values for each characteristic is random.

The next step is to calculate the relative frequencies as well as the average relative frequency for the whole indicator:

$$\bar{f}(i) = \frac{f_2(i)}{f_1(i)}; \quad \bar{p} = \frac{\sum_i \bar{f}(i)}{N} \qquad (9)$$

The criterion of Student is calculated for each individual characteristic of the informational indicator:

$$t_i = \frac{\bar{p} - \bar{f}_i}{S_{dp}(i)}, where\ S_{dp}(i) = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{f_1(i)}} \qquad (10)$$

The calculated criterion t_i is compared with a tabular critical value $t_{кр}(i)$ for a selected level of significance and degrees of freedom. If the condition of formula (8) is fulfilled, the null hypothesis is accepted. If the condition is not met, it is rejected, i.e., there are significant differences.

Opportunities for improving the MAR 03 system

The main disadvantages of the MAR 03 software product are:

- The system does not offer multi-user access;
- The application does not provide an opportunity for on-line work, which makes it difficult to access;
- The database is not stored centrally, but locally. This is a prerequisite for problems in data processing, as well as for the creation of redundancy and conflicting data - it is possible to use several copies of the system to describe the same objects;
- Only a relational model is used to describe the data. It is not possible to work with popular data formats such as XML, JSON, CVS, etc., which limits the ability to use the same data from other applications;
- The software tools used to implement the system are obsolete - support for FoxPro was discontinued in 2007, and VisualBasic's ability to implement an interactive and dynamic user interface is limited.

These limitations point to the fact that despite the use of proven algorithms, the system is hardly used today.

All this creates preconditions for improvements of MAR 03 in several directions:

- Rewriting the user interface (GUI) using modern software. The use of software tools such as C #, JavaScript, etc. would enable the implementation of a dynamic and interactive web and mobile interface;
- Using a database server. This will allow data to be stored centrally. In addition, all modern database servers (including those distributed for free as MySQL) allow relational data to be shared with other formats, most often hierarchical or key-value based. This in turn would facilitate the transition to BigData (Dimitrov et al. 2021; Yanev 2019);
- A new approach to the analysis, using programming languages such as Python and R. This will allow the inclusion of new types of analysis - for accuracy and completeness of data, rapid implementation of statistical analysis, graphical visualization of selected data, etc.

All these changes will lead to the construction of new software with promising development, forecasting and prevention of accidents at work and a more adequate and rapid response to emergencies.

Software products for risk evaluation

AnyLogic (https://www.anylogic.com/)

This software system allows building an interactive simulation where any changes can be tested with high level of detail, to communicate ideas at dynamic animation, and to collect statistics. A simulation model is a risk-free environment. AnyLogic has built-in industry-specific toolkits which speed up simulation of any complexity and scale. The software’s experiment framework allows running complex experiments, including those for training AI algorithms. AnyLogic Cloud takes these and other software abilities online, so that you can easily share your insight and collaborate on ideas.

RISKGATE (http://www.riskgate.org/)

RISKGATE is a software system which contains 17 high-consequence risk areas (called topics in the system). It is designed for coal open-pits and mines. These 17 topics are focused on the industry activities of mining, processing, transport, and storage.

RISKGATE is developed by the SMI-MISHC (Sustainable Minerals Industry (Minerals Industry Safety and Health Centre) at the University of Queensland, Australia.

From a broader industry perspective, RISKGATE provides an environment for knowledge acquisition and knowledge exchange to drive innovation and best practice in risk identification, assessment, and management in the coal industry. This digital platform offers utilities for assembly and delivery of risk management know-how across many sectors, including construction, transportation, utilities or heavy industry (Kirsch et al. 2012).

Nexsys (https://www.nexusrisk.com/)

The prominent features of the Nexsys™ system are: a novel risk profiling matrix based on industry standards that provides decision support to control room operators, the ability of Nexsys™ to analyse a large amount of disparate mine data in real time, a rule engine that triggers alarms and changes the risk profile matrix and the client-server architecture allowing clients to be located worldwide, including on any web-enabled device. A novel predictive data analysis function is currently under development. (Haustein et al. 2009).

Nexsys allows underground coal mines to interrogate vast amounts of digital information from a variety of sensors and systems throughout the mine, which normally do not communicate with each other.

The system analyses this integrated data to provide real-time risk management and decision support for control room operators, including automatic triggering of response plans if it discovers a hazardous condition (Juuso, Koistinen, 2015).

Goldsim (https://www.goldsim.com/)

GoldSim is a software platform that uses Monte Carlo simulation to help with decision making and risk analysis.

GoldSim allows you to create quantitative models for risk and vulnerability analysis through a combination of a graphical simulation framework and specialised features to support risk analysis.

The platform also has a package for modelling ecological systems, e.g. in mine water and waste management and human health risk assessment.

@Risk (https://www.palisade.com/risk/)

@Risk (pronounced “at risk”) is risk analysis software. It is an add-on to Microsoft Excel that allows risk analysis to be analysed using Monte Carlo simulation. With this method, the probabilities of an event, as well as the possible consequences, can be calculated.

@Risk is used to predict risk when planning a project and estimating costs. It has a tool that provides different risk management strategies for the optimal resource and asset allocation.

Conclusion

Using all available knowledge, information technology provides an opportunity for continuous change, improvement, and innovation in the mining sector. They provide an opportunity to monitor equipment, healthy working conditions, to help prevent risks, and to respond properly to emergencies.

Modern process simulation software can process huge amounts of data, which significantly increases their accuracy and makes them particularly suitable for environmental and occupational safety assessment.

Mining companies that have embraced digitisation and use simulation and risk assessment products can reach new levels of efficiency in terms of safety, sustainability, and productivity in all environmental, socio-economic and social terms.

References

Dimitrov, A., N. Ivanova, R. Nesheva, N. Yanev, 2021, Preparation of industrial data for implementation in big data. - *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"* – Sofia, 64, p. 151-155

Haustein, K., Rowan G., Beitz A., Widzyk-Capehart E. 2009. The Nexsys™ Realtime Risk Management System for Advanced Decision Support. The 3rd International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics: IMSCI 2009

Juuso, E., Koistinen A. 2015. *Decision support for risk management in mining industry*. Research Report D5.2.7.3. ISBN 978-952-5947-87-8

Mihaylov, M., Petrov, T. 2003. *Kompyutarna sistema za otsenka na riskovete*. Sofia, 154 p. (in Bulgarian)

Mishra, P., U. Singh, C. M. Pandey, P. Mishra, G. Pandey. 2019. Application of Student's T-Test, Analysis of Variance, and Covariance. - *Ann. Card. Anaesth. 22 (4)*, 407–411. 10.4103/aca.ACA_94_19

Moore, J. F. 1994. *Research methods and data analysis 1 hull*. Institute of Education, University of Hull, UK. pp. 9-126.

Kirsch, P., J. Harris, S. Goater, D. Cliff, D. Sprott. 2012. RISKGATE - an innovative online portal to assist risk management in the Australian coal industry. *World Congress on Risk 2012*, Sydney, NSW, Australia

Kostadinova, N. 2020. Jet fan efficiency in tunnel emergency situations. - *Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials, 1,* October Issue 2020, 47-52. (https://seprm.com)

Vladkova, B. 2015. Risk management for safety and health by work with cyan-containing compounds in the mining industry. - *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, 58*, 77-81 (in Bulgarian with English abstract)

Turhan, N. 2020. *Karl Pearson’s chi-square tests*. Department of Educational Sciences, Fatih Sultan Mehmet Foundation University, İstabul, Turkey

Yanev, N. 2019. Contemporary approaches in storage and data processing. - *Journal of Mining and Geological Sciences, 62*, (4), 96-99

Zibran, M. 2007. CHI-Squared Test of Independence. Department of Computer Science, University of Calgary, Alberta, Canada, 1-7.

SIMULATION EXAMINATION ON A ROLLER CONE BIT DURING ROTATIONAL DRILLING

Dobromir Netsov

University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia, e-mail: necov_21@yahoo.com

ABSTRACT. The drill bit is the main part of the bottom hole assembly that performs the drilling ahead in the rock formation. Its action and regime parameters are of crucial influence for an effective and reliable drilling process. A simulation computer research was performed in order to explore and improve drilling from adjacent wells through the most suitable parameters. The applied software package for achieving the goal is Autodesk Inventor. The subject of research is a used tricone drill bit with a diameter ø311.15 mm/ 12¼" - one of the most important diameters in drilling exploration and production wells. What is important in deformation-stress state analysis using the Finite Elements Method is the combined load of weight-on-bit and revolutions per minute of the drill bit during drilling ahead in the rock formation. Conclusions are drawn on the basis of the results.

Key words: roller cone bit, drill bit, weight-on-bit, revolutions per minute, torque, safety factor

СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СКАЛО-РАЗРУШАВАЩ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ВЪРТЕЛИВО СОНДИРАНЕ

Добромир Нецов

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

РЕЗЮМЕ. Скало-разрушаващият инструмент осъществява непосредственото разрушаване скалата на забоя в сондажния процес. Неговото действие и режим на работа са основният фактор за надеждно сондиране, което е задължително условие за ефективни резултати. С цел подобряване на резултатите от съседните сондажи чрез подходящо съотношение на работните параметри е проведено симулационно компютърно изследване в среда на Autodesk Inventor. Обектът на изследване е отработено триролково длето с диаметър ø311,15 mm/ 12¼" – основен работен диаметър при проучвателни и експлоатационни сондажи. Определящи за анализа на деформационно-напреженовото състояние с метода на крайните елементи (МКЕ) са комбинираните сили на осево натоварване и честота на въртене на сондажния инструмент при разрушаване скалата на забоя. На база на резултатите са синтезирани съответните изводи.

Ключови думи: скало-разрушаващ инструмент, длето, осев товар, честота на въртене, въртящ момент, фактор на сигурност.

Същност и особености на методиката за провеждане на симулационното компютърно изследване

Обект на изследването е триролково длето, тип GX-20H (производство на Baker Hughes) с номинален диаметър ø311,15 mm / 12¼" (фиг. 1).

Фиг. 1. Изглед на моделираното триролково длето

Избраното длето е отработено в сондажи в Централна Северна България. Методиката се състои в провеждане на компютърни симулации в среда на Autodesk Inventor при дефиниране на гранични условия за работните режими на натоварване и концентрация на повреди на щифтовите длета. Всички изчисления са извършени в съответствие със стойностите на работните параметри на сондиране.

Разглежданата методика съдържа: избор на обект и създаване на тримерен CAD-модел; експертно и аналитично определяне на екстремалните параметри на натоварване при различни работни режими; избор на програмна система за CAE – анализ; дефиниране на граничните условия (степените на свобода) (Минин 2015, 2017) и натоварване; получаване на резултати, които характеризират деформационно-напреженовото състояние на обекта; анализ на резултатите с оглед на разпределението на максималните стойности на напреженията, коефициента на сигурност (FOS), геометрията на детайлите и параметрите на работните режими.

Компютърно моделиране на триизмерен CAD-модел на триролково длето BH GX – 20H

Задачата е изпълнена, като на базата на действителните геометрични и механични параметри на обекта е създаден тримерен компютърен модел в CAD формат. За целта са използвани инструментите на програмата за 3D моделиране Autodesk Inventor. Създаден е моделът на сглобената единица, който съдържа всички детайли, свързани помежду си в съответствие със стандартите на изработване чрез разглобяеми или неразглобяеми съединения (фиг. 2).

Фиг. 2. Модел на триролково длето BH GX – 20H

Гранични условия и работни режими за провеждане на структурния МКЕ-анализ

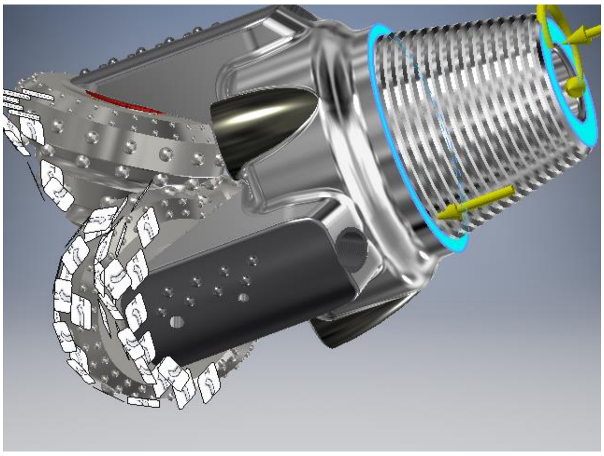
При уточняване на граничните условия, които се определят от особеностите на работните режими и разпределението на натоварването в скало-разрушаващия инструмент по време на сондиране, са взети под внимание следните предпоставки:

1. Определяне на подходящи работни параметри съобразно конкретните условия на работа.
2. Прецизно параметризиране на геометричните модели по форма, метрика и физико-механични константи на материала.
3. Дефиниране на ограниченията на степените на свобода чрез пълно фиксиране или ограничаване на една, две или три степени на подвижност при изследването.
4. Моделиране на режим на работа в граници, препоръчани от производителя.
5. Линеен структурен анализ на обекта на изследване с цел определяне на големината и разпределението на еквивалентните напрежения (по von Mises) и коефициента на експлоатационна сигурност (FOS).
6. Оптимизиране на обекта с цел намаляване до приемливи граници на изчислителните операции, в съответствие с възможностите и производителността на използваните микропроцесорни изчислителни машини.

Гранични условия и натоварване на CAE-модела в програмната среда на Autodesk Inventor

Задаването на граничните условия е втората стъпка при параметрирането на CAE изследването. В конкретния случай характеристиките на процеса са следните:

- трите работни ролки осъществяват непосредственото разрушаване на скалата, въртейки се около осите си с помощта на ролкови и сачмени лагери, т.е. работят по контактна повърхност с една степен на свобода в радиално направление поради въртенето на сондажния инструмент и една степен на свобода по вертикала Y;
- Осевото натоварване се задава като вертикална разпределена сила с направление, перпендикулярно на хоризонталната (X,Z) равнина;
- Честотата на въртене е ротационна сила с една степен на свобода – въртеливо движение около вертикалната ос Y;
- Силата на тежестта на длетото е вътрешна, обемна и има приложна точка в масовия му център. Големината и приложната точка се определят автоматично от програмата. (Фиг. 3).



Фиг. 3. Сили и опори в длетото

Резултати и обобщение на деформационно-напреженовия анализ

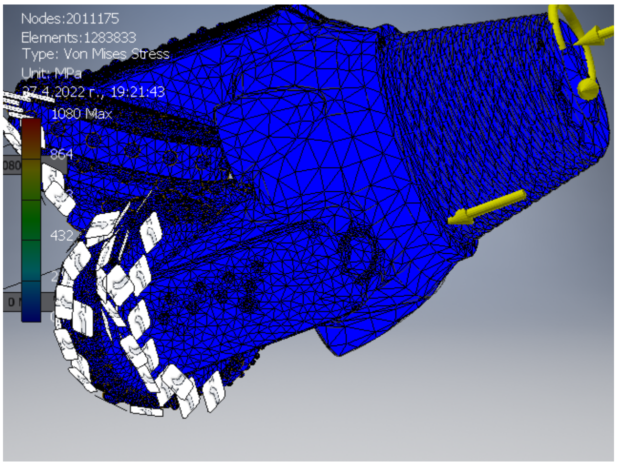
Методът на крайните елементи (FE анализ) определя поведението на модела като комбинира информацията, получена от всички образуващи елементи.

За конкретното изследване скало-разрушаващият инструмент е натоварен на максимално препоръчаните от производителя параметри с цел моделиране на работа в най-тежки условия.

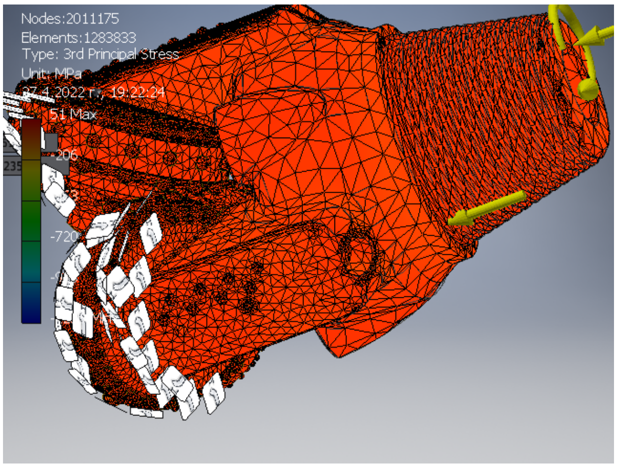
Симулационното изследване дава равномерно разпределено натоварване на натиск при максимална достигната стойност 51 MPa (таблица 1 и фигури 4 и 5). Параметърът е важен, тъй като повишаването на осевото натоварване до определена стойност води до повишаване на механичната скорост на сондиране. Отвъд нея настъпват нежелани последствия – повреди в корпуса на длетото, неконтролирано изкривяване на сондажа или натрупване на неизнесен скален материал на забоя. С така зададен максимално препоръчителен осев товар моделът показва добра устойчивост за безаварийна работа.

Таблица 1. *Резултати от деформационно-напреженовия анализ*

Име	**Минимум**	**Максимум**
Обем	13124000 mm³	
Маса	103,023 kg	
Напрежение по Von Mises (опън)	0 MPa	1080,45 MPa
Натоварване на натиск	-1234,77 MPa	51,4205 MPa
Деформация при изместване	0 mm	0,0321512 mm
Коефициент на запазване FOS	0,191586	15
Еквивалентно напрежение	0	0,00467668



Фиг. 4. Напрежение по von Mises (опън)



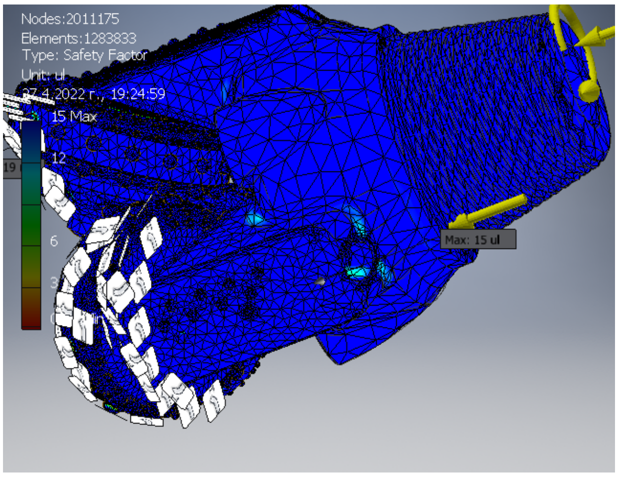
Фиг. 5. Разпределение на натоварването на натиск

Коефициентът FOS се базира на теорията на Mises – Henky (Савов 2007, Недялков, Савов 2015), според която той представлява отношение между големината на допустимото напрежение, съответстващо на границата на еластичност – σ_{limit} и тази на еквивалентното напрежение σ_{von} по von Mises($\sigma_{limit} \geq \sigma_{von}$).

От това следва:

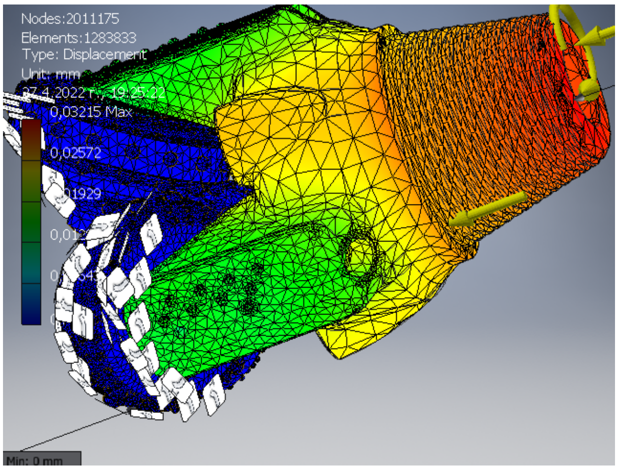
$$FOS = \frac{\sigma_{\lim it}}{\sigma_{von}} \geq 1 \tag{1}$$

При деформационно-напреженовия анализ, FOS достига максимална стойност 15 (таблица 1) в по-голямата част от корпуса на длетото (фиг. 6), което е значителна разлика между границата на еластичност и еквивалентното напрежение. Забелязват се отделни локални места около заваръчната част на лапките със стойности около 11÷12, което все още е висока стойност.



Фиг. 6. Разпределение на коефициента на запазване FOS върху длетото

Не на последно място е разгледана деформацията при изместване, т.е. при напредъка на скало-разрушаващия инструмент по време на сондирането със зададения режим (фиг. 7).



Фиг. 7. Разпределение на деформацията при изместване

Картината е по-различна от тази при останалите натоварвания при сравнително ниска максимална деформация – 0,0321512 mm (таблица 1). Зоната на най-напрегнатото състояние се намира в горната част на присъединителната резба. От нея надолу към ролките деформацията постепенно намалява, като в тях спада до 0 mm. Т.е. едно подобрение на конструкцията минава първо през усилване характеристиките на резбата, а в по-малка степен – на корпуса на длетото и лапките.

Изводи от симулационния анализ

От направения симулационен анализ са изведени следните по-важни изводи:
- Извършен е анализ на възникващите напрежения и деформации при максимален препоръчан режим на осево натоварване при сондиране с триролково длето ø311,15 mm, тип BH GX – 20H;
- Локални концентрации на напрежения възникват в зоната на заваряване на лапките и горната част на присъединителната резба;
- Най-големите стойности на напреженията и деформациите са по-ниски от допустимите за конкретния случай на натоварване;
- Коефициентът на запазване на изследвания модел е с добри показатели – в граници 11÷15;
- Резултатите, съвместно с извършената работа от конкретното длето в полеви условия, са предпоставка за продължаваща изследователска работа в следните аспекти:

➢ изследване на натоварването при преходни работни режими;
➢ подобряване на технико-експлоатационните параметри;
➢ усъвършенстване на конструкцията на този тип длета.

Литература

Минин, И. 2015. Симулационно моделиране и изследване на валцова трошачка за трошене на медни руди. – *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, Свитък III, Том 58*, 7-10, ISSN 1312-1820.

Минин, И. 2017. Симулационно компютърно изследване на кофата на челен товарач използван при производството на биогаз с модула “SOLID WORKS SIMULATION”. – *Българско списание за инженерно проектиране, брой I,* 23-27, ISSN 1313-7530.

Недялков, П., С. Савов. 2015. Анализ и моделиране на свойствата на гумен амортизиращ елемент. – *Машиностроене и машинознание, ТУ-Варна, 2015, брой 24*, 54÷59, ISSN 1312-8612.

Подерни, Р. Ю. 1985. *Горные машины и комплексы для открытых работ“*, Москва, Недра.

Савов С. 2007. Теоретично изследване на деформационно-напрегнатото състояние на най-натоварените детайли на силовия предавателен механизъм на рудничен електролокомотив тип „3300-2А”. – *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, Том 50, Св. III,* 83÷88, ISSN 1312-1820.

СЕКЦИЯ

УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА МИНЕРАЛНО-СУРОВИННАТА ИНДУСТРИЯ

SECTION

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE MINERAL RESOURCES INDUSTRY

STRATEGIC ASPECTS OF ANTI-CRISIS MANAGEMENT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Borislava Galabova, Emil Dimov, Nikola Stratiev

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

Abstract. The paper focuses on the anti-crisis management of industrial enterprises in the current complicated business context. An analysis is conducted of the applicable strategies in the conditions of crises of a heterogeneous nature, affecting various aspects of an enterprise's activity. The potential of each strategy to be used to overcome the negative crisis effects and impacts is examined and outlined, based on a critical review of the theory and on a synthesis of the good practices in Bulgarian enterprises. Some recommendations are proposed for the effective implementation of the different strategies, their combining, and the creation of a strategic plan in the context of strong dynamics, instability of the environment, and unpredictability of future events and trends.

Key words: industrial management, industrial enterprise, strategy, anti-crisis management, crisis

СТРАТЕГИЧЕСКИ АСПЕКТИ НА АНТИКРИЗИСНОТО УПРАВЛЕНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Борислава Гълъбова, Емил Димов, Никола Стратиев
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Изследването е посветено на антикризисното управление на индустриалните предприятия в настоящия сложен бизнес контекст. Направен е анализ на приложимите в кризисни условия стратегии, които засягат различни аспекти от дейността на предприятието. Въз основа на критичен преглед на теорията и обобщение на добрите практики на българските предприятия, потенциалът на всяка от стратегиите за преодоляване на негативното влияние и ефекти от кризата е разгледан и очертан. Изведени са препоръки за ефективното прилагане на различните стратегии, тяхното комбиниране и създаването на стратегически план в условията на силна динамика, непредсказуемост на средата и трудна предвидимост на бъдещите събития и тенденции.

Ключови думи: индустриален мениджмънт, индустриално предприятие, стратегия, антикризисно управление, криза

Introduction

Modern economic theory and practice both demonstrate that crises are an inescapable component of the life cycle of any industrial enterprise. Crises either serve as a catalyst for development and subsequent growth, or as a catalyst for activity cessation and enterprise liquidation. They represent a turning point at which the behaviour and attitudes toward economic activity in the past, as well as its future development, are put to the test. When an industrial enterprise is faced with a crisis or has already been impacted by one, it is critical to conduct a situational and systematic analysis and select a potential strategy. As a result, anti-crisis management must become a required and permanent component of overall governance, regardless of whether a crisis has occurred or is imminent. Periodic crises occur and destabilise the enterprise. As a result, the subject of strategic analysis and the formulation of a strategy for mitigating or overcoming crisis situations and trends is a timely and significant area of research.

On this theoretical and methodological basis, the aim of the present report is to clarify the nature and role of crisis management for the existence, survival, and development of industrial enterprises and to present a critical review and analysis of the possible strategies applicable as prevention for current or upcoming crises. The relevance of the study grows as we witness an accumulation of crisis impacts of various origins and nature in today’s economic, social, health, and political conditions. Concurrently, the factors that contribute to the crisis often have a parallel and complementary effect.

Therefore, it is critical to explore all potential opportunities and to choose the optimal strategy or combination of strategies according to the current situation of the company and its set goals in a medium and long term. The main thesis is that anti-crisis management and rational strategy selection or combinations of strategies are key factors in resisting and overcoming the crisis with all of its manifestations and consequences. Without anti-crisis management, reactions and activities will be chaotic, unplanned, and lacking in specific objectives and outcomes. This would imply that there would be no or very few policies, and reciprocal actions, to assist managers in navigating the acute phase of a crisis and mitigating its effects.

Anti-crisis management: theoretical and methodological aspects

Each crisis is unique in terms of the factors and prerequisites for its occurrence, the mechanism of action and impact on the company, the prospects for the development of the crisis, and the expected duration and extent of impact. The crisis is a key moment in the development of industrial enterprises because it creates a volatile environment that threatens their processes with a sharp or decisive transition. (Milcheva, Kurteva, 2010). Crises threaten priority goals, challenge the traditional models of organisational behaviour and values, and put pressure on businesses, which is essential in the absence of time for decision-makers (Mobarek, 2002). Crises can affect a single aspect of an activity or a single function, but they are more likely to affect at least several aspects and functions. Finances, manufacturing, marketing, sales, logistics, human resource management, communications management, and stakeholders may be affected as a result. The range of crises also differs, with local and smaller crises covering one enterprise or sector of the economy and global crises including many sectors or the whole economic system. Therefore, each crisis has its own unique profile and characteristics. Regardless of these particulars, a crisis situation in an enterprise implies that it is no longer as sustainable, stable, viable, normal, and promising as would be expected in the absence of the crisis situation and its prospects. Adverse external influences and shocks are registered, requiring managerial decision-making and reaction. Managers seeking to protect and preserve the integrity, business sustainability, and viability of the enterprise have two options: prevent it if possible, or overcome it with the fewest possible losses and long-term negative effects on the business.

Before deciding on an anti-crisis strategy, it is crucial to identify and research the factors that contribute to the onset and progression of crises. Internal and external factors can both be present.

The following internal factors can be systematised:

- incorrect product-market strategic decisions;
- incorrect investment strategic decisions;
- wrong policy in employee selection and distribution;
- inadequate operational management (Milcheva, Kurteva, 2010).

External factors that can be identified include:

- macroeconomic instability;
- technological factors;
- political factors;
- socio-cultural factors;
- international factors (*ibid.*).

Regardless of the reasons for the occurrence and development of a crisis, a company in crisis has difficulties achieving its goals, and its stability is put at risk that can lead to bankruptcy (Kurteva, 2009). The balance in such an enterprise is shaken, the normal flow of processes is disrupted, and business sustainability is put to the test. As a result, in order to ensure an adequate response - crisis resolution - a thoughtful management decision must be made quickly. The speed with which the company responds is also important because the shorter the period during which the company is exposed to negative crisis effects, the more likely it is to overcome them before they worsen.

In the face of the accumulation of various types of crises, fierce rivalry conflict, and turbulent conditions caused by the influence of external environment factors, industrial enterprises must focus on more than just their state, activity, results, and prospects for development. It becomes necessary for them to develop and implement a long-term behavioural strategy that allows them to account for and comply with these changes, as well as to find an appropriate response to the complex environment in a timely manner.

Crisis management planning is an essential component of ensuring stability at all stages of the enterprise life cycle. This necessitates research, analysis, and selection of an appropriate strategy to ensure such stability, security, and predictability under any circumstances. If possible and feasible, the anti-crisis strategy should also provide opportunities for growth and development that are not unrealistic business goals following the acute phase of the crisis. Given that every crisis exposes organisational flaws, it "highlights" which of them must be addressed.

Strategy (strategic approach) is a wide range of opportunities to address certain challenges and objectives (Zsigmond et al., 2021). Strategy is made up of decisions, reactions, and activities that increase the probability of success while reducing the probability of failure to meet the goals. The principles and processes of strategic management must evolve and adapt to the changing global economic environment (*ibid.*). Strategic management is a set of decisions and actions for developing and implementing a proper strategy that will provide the company with the best possible current competitive position in relation to the external environment and the achievement of set strategic goals. Given the significant dynamics of the environment, strategic management must provide opportunities for sufficient activity flexibility, adaptability, for overcoming uncertainty and unpredictability to the greatest extent possible.

Six interrelated and interdependent stages of the strategic management process are distinguished in the context of anti-crisis management. They are as follows:

- defining the mission and goals of the organisation in light of its current state and future prospects;
- defining the mission and goals of the organisation according to the state and prospects for development;
- analysis of the external environment and assessment of the influencing external factors;
- analysis of the internal environment and assessment of the influencing internal factors;
- formulation and formal acceptance of the anti-crisis strategy;
- undertaking the envisaged activities and measures for the implementation of the accepted strategy;
- monitoring, control, and evaluation of the results of the strategy implementation.

These stages necessitate the execution of three major types of activity: 1) strategic planning; 2) execution of the activities and measures under the strategy; 3) monitoring, evaluation, and control.

Considering the presented crisis characteristics as a phenomenon and an inevitable element of any enterprise life cycle, it can be confirmed that despite its harm, the crisis has a positive impact on the development of an enterprise (Velchev, 2012).

Its primary functions for the development of the enterprise are as follows:

- a crisis mediates the removal of obsolete system elements that have lost their potential and, as a result, delays the evolutionary development of the enterprise;

- a crisis creates the conditions for replacing obsolete system elements with new ones that have potential, thereby stimulating enterprise development;
- a crisis creates opportunities for the accumulation of elements with proven and sustainable quality characteristics, which are a transition from the past to the future and equate the enterprise potential (Spasova, 2009).

These conditional benefits of the crisis should be considered when evaluating potential anti-crisis strategies, their benefits and disadvantages, and their relevance to the specific crisis situation, profile, activity, and goals of the enterprise.

The use of strategies in crisis management

The current realities force industrial managers to make strategic decisions in an environment of uncertainty, increased risks, challenges, insecurity, and unpredictability. This necessitates the search for new methods and tools in the context of planning and implementing the chosen strategy. Within the framework of crisis management, two types of strategy can be distinguished: defensive (protective) and offensive (expansionary) (Kehayov, 2014). The application of anti-crisis management is a mandatory modern management element, as well as seeking for non-traditional and alternative strategies through which the company can adapt to the crisis. Therefore, different approaches are possible and applicable when selecting a strategy - those that aim at shrinking, limiting or not taking an active position; and those that aim at expansion, activity and progressive actions of the company in response to the crisis. The approaches are different, but the goal is the same: to find working solutions to successfully overcome adapt or prevent a crisis situation, if possible.

It is not necessary to accumulate and spend a lot of financial resources for the development and implementation of defensive strategies because these strategies are feasible and realistic with limited financial resources. Since their costs are low, they are frequently preferred as an option in times of crisis, when financial resources are even more limited and the company's financial and economic condition is shaken.

Overcoming the crisis with these strategies is a function of consciously chosen restrictions, restrictive steps, deliberate stagnation, and business shrinkage in one or more directions. The following defence strategies are applicable: separation strategy, hibernation strategy, shrinkage strategy, release strategy, accession strategy, and exemption strategy (Kehayov, 2014).

Separation strategy

The main emphasis in this strategy is on the separation of the enterprise into independent and autonomous individual divisions and units, the goal being decentralisation while keeping in mind the need to survive and overcome the effects and shocks of a crisis. Following the acute crisis phase, some divisions and units may no longer be viable or even survive (*ibid.*). Others may have been preserved, consolidated, and stabilised precisely because of the increased autonomy they have gained in relation to the applied strategy. The separation strategy is primarily applicable to large enterprise-conglomerates or international companies that have the ability to divide and restructure certain units as they gain autonomy.

Hibernation strategy

The term "hibernation strategy" comes from the classical Latin "hibernare", which is derived from the Castilian adjective "hibernal", or "winter-related". In strategic management, hibernation is associated with freezing, stagnation, a waiting state, and retreat. When such a strategy is implemented, the economic activities are stalled wholly or partially, and the enterprise is placed on hold until adverse factors cease to affect it, or until sufficient financial resources are accumulated to allow the enterprise to implement specific crisis-response measures (*ibid.*). The purpose of this lockdown is to provide enough time for analysis and planning of an adequate response, as well as for monitoring and assessing the impact of environmental factors, so that there is a better opportunity for orientation and action in a crisis situation. The ability to limit losses and postpone managerial decisions until there is more clarity and predictability is a key advantage of this strategy. The main disadvantage of the strategy is that it cannot be used in the long run because such hibernation has a negative impact on a business if it lasts too long.

Shrinkage strategy

In this strategy, the company reduces staff and/or wages, working hours, temporarily halts production of certain goods, limits the product range, and focuses on essential industries and structural units. This strategy aims to reduce production costs, reduce the impact of the crisis, and minimise the impact of the crisis on various aspects of the business, resulting in greater economic efficiency and efficacy (*ibid.*). Shrinkage offers some protection to working and efficient industries, functions, and activities, as opposed to those that are morally and/or physically obsolete, as well as loss-making and inefficient. Following a systematic and situational analysis, the redundant are eliminated: unprofitable production is closed or sold; loss-making activities are discontinued; and inefficient units and subdivisions are liquidated.

The shrinkage strategy has the advantage of being a type of protection strategy that can be used to implement the reorganisation and restructuring of all or part of the activity while keeping the current or upcoming crisis in mind. The goal is to keep the company core solid — the leading and profitable activities that will help it overcome the crisis. This strategy aims to strengthen the structure, maintain key market positions, recover the financial situation, and achieve greater efficiency, cost optimisation, and resource reorganisation. It does not require significant financial resources to implement, but careful analysis is required to determine which units are effective and efficient and which are loss-making, outdated, and inefficient.

Exemption strategy

Following a systematic and situational analysis, the company is freed from the unnecessary in the short-term resources, activities, and functions, so that they do not put pressure on the structure and activity during a crisis. The goal is to free up financial resources that can be used for other activities and functions.

Exempt financial resources may be used to purchase other tangible and intangible resources required for activity restructuring, rehabilitation of necessary units, and implementation of strategic functions (*ibid.*). Specific behaviour examples in the exemption strategy include ceasing production of loss-making products, optimising the number of employees, selling obsolete machinery and equipment, and replacing old technological models with modern ones. The advantage of the strategy is that financial resources can be found and redirected to priority areas and spheres through the exemption strategy, and this reorientation can contribute to overcoming the crisis or adapting to crisis conditions.

Accession strategy

This strategy is based on finding a way out of the crisis by partnering with a larger, more powerful ally — a larger company or group of companies (*ibid.*). The goal is to help overcome the negative effects and prospects of the crisis by increasing capacity and potential, sharing resources, and achieving goals.

Liquidation strategy

This is the most extreme defensive strategy, and it is used only in extreme cases. It is used when there are no other available or viable options for resolving the unfavourable crisis situation (*ibid.*). If such a strategy is adopted, the company's assets are sold in part or entirely. This strategy is used when the other defence strategies within the enterprise have failed or when the situation is extremely concerning and requires the use of extreme measures in a timely manner. The biggest disadvantage of the liquidation strategy is that the company will most likely cease to exist if such a strategy is chosen and implemented. Its primary benefit is that the company will limit losses and will not take any new risks.

Several main strategies can be mentioned as offensive strategies. They are distinguished by the fact that they necessitate additional investment and the provision of previously accumulated resources in order to be used. Simultaneously, a careful systematic analysis is required to determine whether the respective strategy is within the capabilities of the enterprise and if it is in line with its potential. In this regard, resource security should be investigated, as it is an important criterion in the selection and evaluation of whether a strategy should be chosen and implemented.

Resourcing strategy

As the company focuses on eliminating outsourcing and subcontracting, this strategy is related to concentration and decentralisation processes (*ibid.*). In contrast to outsourcing, resourcing provides opportunities to consolidate resources and build organisational capacity. Units, activities, and functions that were previously outsourced are reintegrated into the organisational structure in order to become more distinct, reduce costs, achieve greater organisational capacity, and stabilise positions.

Adapting to the negative consequences of various kinds of crises frequently necessitates an approach of insourced inclusion. The goal of insourcing is to achieve integration and consolidation, cost optimisation, resource savings, risk minimisation, and increased internal control of processes and results. Turning inward during a crisis is a logical strategy for strengthening organisational structure, risk management, and change.

Absorption strategy

The takeover strategy entails taking an active role in a crisis. Other companies, usually competitors, are potential targets for absorption. The goal is to increase market share and market power, as well as organisational capacity and resources. Historically, economic entities of various types and sizes have been acquired based on the undertaken strategy and the primary goal of such an operation. Acquisitions should increase security and stability, provide competitive advantages, lower production costs, increase profits, and create conditions for economies of scale due to larger amounts, vertical integration, and synergy.

Exhaustion strategy

The goal of such a strategy is to fight competitors more successfully. The emphasis is usually on a single competitor or group of competitors, with specific pricing strategies used to exhaust them. This strategy seeks to eliminate or limit the influence or market share of a relevant competitor. It is appropriate in certain circumstances, such as when the implementing company can afford a specific pricing policy and strategy and has sufficient market power. The main disadvantage of the strategy is the possibility of the opposite effect, i.e., the company's exhaustion, as it implements the strategy in conjunction with the enforced pricing policy and strategy, rather than exhausting its competitors.

Cooperation strategy

The strategy of cooperation is related to cooperation at different levels: technical, technological, economic (sales), production, innovation, and cooperation in the field of research and development. Every crisis essentially requires a certain amount of cooperation, integration of efforts, knowledge, experience, and capacity to overcome it. On its own, it is difficult to be overcome by a company alone. Having realised this, companies often focus on consolidating and sharing resources. Therefore, establishing relations, strengthening them, and developing them into beneficial cooperation and mutual assistance, all those seem to be necessary conditions for overcoming the crisis and improving the trends and prospects. With this strategy, it is possible to create strategic alliances in order to achieve a certain strategic goal, while maintaining the legal independence and autonomy of the subjects. Such a goal, around which several companies can unite, could be to overcome the acute phase of any crisis and its consequences.

Diversification strategy

As a strategy, diversification aims to gain a competitive advantage, to grow, to develop, and to effectively manage risk and change. Diversification can be implemented in a variety of ways, including expanding the product range, reorienting to new product groups and consumers, entering new areas of activity and searching for new market niches, or supplementing the main activity with new goods and/or services designed for new users using available resources, technological foundation, and marketing channels. Diversification can also be associated with the incorporation of new partners, customers, contractors, and suppliers into existing networks in order to reduce risks and costs, which is a fundamental principle in risk management. Given that a variety of risks become more acute during a crisis, diversification as a strategy has the potential to aid in risk reduction.

Expansion strategy

The expansion strategy refers to the efforts of a company to enter new markets, gain a competitive advantage, gain market share, and improve its market position. The goal is to enter new markets by seeking new customers in existing ones, to enter foreign markets based on domestic market consolidated positions, or to maintain current market positions. The expansion strategy is linked to the commercial and marketing activities of a company because it is based on good market and strategic positions and is expected to ensure stability and business sustainability in times of crisis (*ibid.*). The main disadvantage should be the risky nature of expanding a business or taking an active role. This increases the risk and necessitates for careful management, especially in times of crisis.

Conclusion

Four main conclusions arise from the study:

First, every crisis, regardless of its type, nature, or causes, has a cost that the business must bear. Adapting to the impact of a crisis necessitates a shift in behaviour, focus, and strategic thinking. Adapting to a crisis situation entails analysing the situation and selecting an appropriate strategy or combination of strategies. As a result, the models for production organisation, processes, and product positioning, as well as the management models, must be changed and adjusted in a timely manner. It is dependent on whether or not the company will survive the crisis and how quickly it will stabilise.

Second, enterprise behaviour can be proactive and anticipatory or reactive and catching up. In the first case, certain negative events are anticipated and, before they occur, changes in strategy and appropriate measures are implemented. Taking an active stance aims to provide greater protection against the effects of a crisis, as well as greater potential for future reactions, risk management, and stability. In the second scenario, most of the time for proactive behaviour and reaction is lost, as are some of the opportunities for this. As a result, it relies on defensive strategies to reduce losses and soften the blows of the crisis. A combination of strategies is also possible in order to benefit from more than one strategy while minimising the disadvantages of each. Since a crisis also provides opportunities for identifying deficits, overcoming them, and developing their potential, it has the potential to act as a catalyst for growth and necessary changes that have not yet been implemented. These changes should have an impact on strategy changes and the selection of appropriate ones based on the type and development of the crisis situation, current factors, the company itself, and managerial attitudes and goals for organisational development. In the event of a crisis, the strategic vision which must guide managers when making action decisions is even more crucial.

Third, the insecurity and unpredictability that characterise any crisis necessitate quick but rational solutions based on objective analysis and forecasting. Exploring and understanding the potential and possibilities of one or more strategies, as well as the potential disadvantages of the chosen strategy, can provide a realistic picture of where the company is currently in its life cycle and where it intends to be in the future. To survive and maintain its viability, it must navigate the crisis by mitigating its negative effects, identifying opportunities, developing potential, and overcoming deficits. In practice, the crisis is a test of one's ability to change and adapt to unfamiliar circumstances. The faster and more comprehensive this adaptation, the less impact the crisis will have on the activity and results of an enterprise, and the shorter the exposure to the crisis will be. The importance of a response to a crisis is directly related to the importance of strategic management, strategy selection, and strategy implementation. A crisis can act as a catalyst for positive change, hastening the transition to a new stage in organisational development. The accumulation of the effects of different types of crisis with uncertain duration necessitates flexibility and adaptability, as well as adaptable strategies that can be transformed, if necessary, and a combination of different approaches.

Fourth, strategy should be chosen based on a systematic and situational analysis of the specific crisis situation and the industrial enterprise in question. On this basis, management can objectively choose the type of strategy to implement or combine several strategies based on their positives, negatives, and implementation risks in order to improve crisis management effectiveness. Effective anti-crisis management is based on the use of appropriate and rationally chosen strategies, with a focus on both crisis prevention and mitigating negative consequences if a crisis has occurred. As a result, it is a required component of business management.

References

Couleter, M. 2008. *Stategic management in action*. Prentice Hall, New Jersey, 269-270.

David, F. 2011. *Strategic management*. Upper Saddle River, Prentice Hall, New York

Milcheva, G., G. Kurteva. 2010. ERP sistemite i upravlenieto na firmite v usloviqta na ikonomicheska nestabilnost. *International Conference of Burgas Free University 2010*, 272-280.

Mobarek, S. 2002. Krizisnoe upravlenie na predpriyatii. - *Informacionnii tehnologii v biznese*. Pod redakcii Milana Jenelnii. Piter, Sankt-Peterburg

Porter, M. 1980. *Competitive Strategy*. Free Press, New York

Kehayov. A. 2014. *Upravlqvai drazko i madro*. Alfa Quality Bulgaria, Sofia (In Bulgarian)

Kurteva, G. 2009. Effective management in the conditions of crisis. *ICSS “Industrial organization: Theory and Empirical Applications”*, Izmir, Turkey, September 2009, 2, 135-143.

Spasova, E. 2009. Firmenata finansova kriza i vazmozhnostite za neinoto upravlenie – teoretichni aspekti. - *Journal „Izvestiya“, Issue 2*/2009, Varna, 46-57.

Velchev. B. 2012. Kriza v predpriyatieto: fazi, faktori i podhodi za izsledvane. - *//Izvestiq 2/2012, Spetzialno izdanie „Ikonomicheski, socialni i ekologichni predizvikatelstva pred regionalnata i natsionalna konkurentosposobnost*, Nauka i ikonomika, Varna, 89-101. (In Bulgarian)

Yordanova, D. 2018. Strategii pri krizi v organizatsiite. - *Upravlenie i ustoychivo razvitie*, *1*/2018 (68), University of Forestry, Sofia. (In Bulgarian)

Zsigmond, T., R. Machova, A. Zsigmondová. 2021. Strategic Management from the Perspective of SMEs Operating Service Sector. - *Quality Innovation Prosperity/KVALITA INOVÁCIA PROSPERITA, 25/2*, 37-53, DOI: 10.12776/ QIP.V25I2.1549

THE QUALITY OF E-LEARNING IN SECONDARY EDUCATION

Angel Dimitrov

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

ABSTRACT. The study aims to make a research of the existing literature on the state and trends for the introduction of electronic forms of education in Bulgarian education and on this basis to make an analysis and draw conclusions about the quality of this education. In addition, based on this analysis, three recommendations are made regarding the weaknesses accompanying the current state of e-learning in this country, which can serve as a basis for new more detailed research and as a starting point for solving pressing problems. The data used are from official surveys of the Ministry of Education and Science, of the Institute for Research in Education, and other recognised institutions in Bulgarian education.

Key words: education, digital education.

КАЧЕСТВО НА ЕЛЕКТРОННОТО ОБУЧЕНИЕ В СРЕДНОТО ОБРАЗОВАНИЕ

Ангел Димитров

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

РЕЗЮМЕ: Изследването има за цел да направи проучване на съществуващата литература по отношение на състоянието и тенденциите за въвеждане на електронни форми на обучение в българското образование и на тази база да направи анализ и изводи относно качеството на това обучение. Освен това на базата на този анализ се правят три препоръки по отношение на слабостите, които съпътстват съвременното състояние на електронното обучение у нас, които могат да послужат както за основа за нови по-подробни изследвания, така и за отправна точка за решаване на наболелите проблеми. Използваните данни са от официални изследвания на МОН, ИИО и други авторитетни институции в българското образование.

Ключови думи: образование, електронно обучение.

Въведение

Ограниченията в следствие на COVID-19 поставят образователните системи по света в състояние на масов преход към дистанционно-електронно обучение, като според ЮНЕСКО пандемията причинява безпрецедентни трусове в образователната система поради факта, че над 67,6% от учениците в над 140 страни не посещават училище поради пандемичната ситуация (Юнеско, 2020). В следствие на наложените ограничения, много страни между, които България, Франция, Холандия, Белгия, Румъния, Финландия, Сингапур, Южна Корея, Япония, Бразилия, Австралия се обръщат към дистанционното обучение (Karp & Davey, 2020).

Вследствие на тези нови реалности става ясно, че участниците в Българския образователен процес – учители, ученици, директори и родители – трябва да преминат през сериозна промяна. В този смисъл кризата даде възможност за някои положителни промени в образователната ни система като част от тях вероятно нямаше да се случат толкова бързо без извънредното положение и без готовността на заетите в системата да се адаптират бързо към новата ситуация и да продължат да работят отговорно в името на образованието.

Основната цел на това изследване е да оцени въздействието на обучението от разстояние в електронна среда върху ефективността на училищното образование в България чрез проучване на наличната литература.

Значимостта на обекта и предмета на изследване е от съществено значение за обществено икономическото развитие на България в бъдеще, защото то пряко се влияе от количеството и качеството на новите поколения специалисти, които се обучават в наши дни.

Резултатите от проучването могат да послужат като основа на нови изследвания и анализи в областта на образованието.

Изложение

Определения

Още в началото трябва да се отбележи, че електронното обучение не възниква с кризата, причинена от COVID-пандемията, но нейното въздействие ускорява бързото му навлизане в педагогическата практика.

През последното десетилетие електронното обучение като явление в различните му форми и аспекти се развива с изключителна динамика в различните образователни институции – висши училища и колежи, бизнес организации, центрове за продължаващо професионално и кариерно развитие, в т.ч. и в институциите за обучение на държавната администрация в редица европейски страни (Йовкова, Пейчева-Форсайт и Стефанов, 2020).

Тази тенденция е израз както на нарастващия интерес към модернизиране на образованието чрез включване на съвременни дигитални форми на учене, така и на надеждите и очакванията на работодателите и обществото като цяло по отношение на възможностите за постигане на по-гъвкаво и ефективно обучение. Това налага прецизиране на терминологията, както и изясняване и дефиниране на основните понятия в областта на електронното обучение предвид факта, че различните изследователи нямат единомислие по отношение на неговото концептуализиране и липсва съгласие при определяне на неговата същност с едно-единствено понятие.

В научната литература то се дефинира с различни термини: „дистанционно образование", „онлайн обучение", „смесено обучение", „компютърно базирано обучение", „уеб базирано обучение", „виртуално обучение", „телеобразование", „кибер обучение", „базирано на интернет обучение" и т.н., които в педагогическия понятиен апарат често се използват като синоними и са взаимнозаменяеми.

През последните години съдържанието на понятието електронно обучение до такава степен се обогати вследствие на многобройните световни практики и теоретични изследвания, че изследователите често използват различни понятия в стремежа си да обхванат разноликите страни на този феномен.

Освен това е важно да се прави разлика между термините „Дистанционно обучение" и „Онлайн обучение". Дистанционното обучение е стратегия на обучение. То предполага взаимодействие както между самите учащи така и между тях и преподавателя от разстояние. Дистанционното обучение може да се извършва в различни форми. От друга страна, онлайн обучението е електронно подкрепено обучение, което се основава на интернет за взаимодействие между учител и ученик и разпространение на учебните материали.

Следователно дистанционното обучение може да бъде, но може и да не е електронно, както и електронното образование може да бъде както дистанционно, така и присъствено.

Изследване на литературата

Методологията на изследването включва проучване и събиране на количествени данни в научни публикации, на базата на които да се направи анализ относно следните аспекти, касаещи качеството на електронното обучение:

- подготвеност на учителския състав за качествено преподаване посредством електронни средства;
- техническа и ресурсна осигуреност на образователната система за посрещане на нуждите на електронното обучение за качествено образование;
- влияние на информационните технологии върху образователния процес.

Учители и педагози

В проучване, проведено през 2020 година чрез анкета за изследване на нагласите на учителите към електронната дистанционната форма на обучение (Йотовска, Асенова и Неделчева, 2020) са получени интересни данни, които могат да помогнат за анализа.

По отношение на дигиталните компетентности на преподавателите, резултатите от анкетата показват, че вероятно натрупаният опит, практика и обучения (самообучения) са направили повечето анкетирани уверени при избора на метод за презентиране, създаване на структура на презентацията, организиране на материалите и съставяне на презентацията, включително дължина на текста, език на презентацията, избор на визуални средства, техники за задържане на вниманието на аудиторията и др. Най-голям проблем на този етап според проучването създават уменията за изготвяне на задачи за оценяване чрез технологии. Съществен е и въпросът за влиянието на информационните технологии и ролята на преподавателя в образователния процес. Налага се мнението, че на този етап информационните технологии допълват преподавателя, но не могат да го изместят като ръководител и организатор на учебния процес (Yanev & Ivanov 2016).

Разпределението на дяловете на отговорите по отношение на уменията за презентиране на учебен материал чрез дигитални технологии е следното:

- 63 от анкетираните (18.10%) преценяват, че се нуждаят от обучение за изготвяне на качествена обучителна презентация;
- 81 (23.28%) от анкетираните се нуждаят от обучение при разработване на текстови материали, вкл. обработване на изображения (информационни карти, работни листове и др.);
- 234 (67.24%) от анкетираните имат нужда от обучение за създаване на видео и аудио-ресурси;
- 298 (85.63%) от анкетираните се нуждаят от обучение за успешно прилагане на техники за оценяване и диагностика (изготвяне на задачи за оценяване с помощта на технологии и др.).

Тези резултати налагат извода, че над половината от преподавателите в училищата не владеят достатъчно или се чувстват неуверени в изготвянето на качествена обучителна презентация. Тези умения включват обработка на текст, обработка на мултимедия (изображения и видео) както и умения за работа със софтуерни продукти за презентация и обработка на мултимедия.

Необходими са допълнителни обучения на преподавателските кадри, както и методология за самообучение с най-новите програмни продукти и технологии, включително облачни приложения.

Решение на този въпрос може да бъде внедряване на софтуерни системи с интуитивен интерфейс, които улесняват обработка на мултимедия с ниво, по-ниско от професионалното, но достатъчно за качествена и целенасочена работа.

По отношение на методи, дидактически подходи и други образователни стратегии, резултатите от анкетата показват следното разпределение:

- 31,90% от учителите се справят добре със структуриране на учебното съдържание;
- 326 от анкетираните (93%) са отговорили, че имат нужда от обучение относно прилагането на иновативни методи на преподаване с помощта на технологии;
- 49% от учителите смятат, че имат нужда от обучения за приложение на стратегии за обучение и на различни дидактически подходи.

Неподготвеността на част от учителите за дистанционна работа е основната причина много от тях да провеждат часовете си, възпроизвеждайки уроците, които биха провели на живо в класната стая, но чрез видео връзки (в реално време). За да адаптират методиките си към новата образователна среда, тези педагози се нуждаят от съответните знания, умения и практика, което означава, че обучения в тази насока биха били наистина полезни.

Във връзка с нуждата от обучение е необходима работа във виртуални среди където учителите да усвояват нови дигитални умения. В този смисъл изследването показва необходимост от обучение по отношение на електронни платформи и дейности като по-малко от половината от анкетираните – 147 (42.24%) имат нужда от обучение за работа във виртуална класна стая (Hristova et al., 2021), приложението на образователни игри (Getova et al., 2021). Интерес за учителите, обаче, представляват електронните (виртуалните) учебни среди.

Въпросът за справяне с проблеми в електронна среда на обучение също вълнува учителите. Повече от половината – 217 от анкетираните (62.36%) имат нужда от обучение за справяне с различни профили на проблемни ученици (в контекста на електронното дистанционно обучение). Голяма част от учителите вероятно са срещнали затруднения като липса или понижаване нивото на мотивация у учениците, а също и нарушаване на авторство при индивидуални задачи на учениците. Съответно 281 (80.75%) и 134 (38.51%) преценяват, че такива обучения ще им бъдат полезни. Различното ниво на дигитална компетентност на учениците е проблем за 134 учители (38.51%).

Интересен е резултатът, според който по-голяма част от анкетираните – 241 (69.25%) смятат, че е необходимо да се използва единна платформа за електронно дистанционно обучение от всички учители и ученици. От техническа гледна точка използването на единна платформа би улеснило процеса на обмен на информация между различни курсове, например при интердисциплинарни занятия.

Струва си да се отбележи още, че няма универсална платформа, на която да работят всички педагози и ученици в България. Практиката показва, че всяко училище прилага платформа или комбинация от платформи, които счита за най-подходящи като дори по време на ограниченията, наложени от COVID-19, се прилагат различни платформи не само в едно и също училище, но дори и в един и същи клас с цел достигане и включване на възможно най-много ученици. Това, че един и същ ученик използва различни платформи, определено е проблем за учениците от по-нисък клас и техните родители.

Друго предизвикателство относно онлайн обучението е въпросът за контролиране на представянето на учениците. Дигитализацията на учебния процес не дава на учителите реалистична представа за усърдието на учениците в класната стая. По отношение на тези проблеми подходите трябва да включват предимно мотивационни техники, тъй като дигиталната среда предоставя много средства за контрол, но това би демотивирало учениците, които не биха се чувствали комфортно да бъдат „следени“. Освен това разработваните методики и уроци следва да бъдат адаптирани към психологическите особености на обучаемите. Например в световен мащаб все по-голяма популяризация набира термина „гамификация“ (gamefication). Това е разработване на материал за обучение под формата на игра с поставени цели. Това би бил добър подход тъй като е известен афинитетът на подрастващите към електронните игри, което от недостатък може да се обърне в предимство.

Сред основните предизвикателства по време на електронното дистанционно обучение е равният достъп. За учениците, живеещи в бедност, достъпът до дистанционно обучение е ограничен. Този проблем предстои да бъде решен в бъдеще, за да не доведе до повишаване на риска от отпадане и до други негативни последици.

Тези и други проблеми обясняват начина, по който учителите оценяват качеството на електронното дистанционно обучение. Най-голям относителен дял на респондентите оценяват качеството като добро – 35.63% (124 учители) и много добро с някои коментари и предложения – 33.33% (116 учители).

26.72% от анкетираните (93 учители) смятат качеството на проведеното обучение за незадоволително, но приемливо. Само 2.68% от учителите (9 респонденти) оценяват качеството на преподаване като крайно незадоволително. За съжаление, трябва да се отбележи, че най-нисък процент от анкетираните оценяват качеството на електронното обучение като отлично – 1.72% (6 учители). Би било интересно тези резултати да се съпоставят с дигиталните умения на анкетираните.

Полезно би било, подобно на изследвания свързани с висшето образование (Getova et al., 2021; Evstatiev et al., 2020; Vladkova, 2016), и при средното да се оценят мотивацията и възможностите за приложение на електронно обучение в гимназии с различни профили – технически, хуманитарен, езиков, изкуства и т.н.

Интересни са и резултатите от фокус групите в изследването по отношение на предложения за подобрения въз основа на опита на учителите по време на електронното обучение:

- „Да се събира предварително информация с какви устройства разполагат учениците и какви са възможностите на семействата. Ако в едно семейство има няколко деца в училищна възраст и едно устройство – компютър или таблет, това създаде проблеми, при използване на платформа, която предполага включване в реално време, решаване на задачи онлайн и др.. Това е проблем и в семейства с родители, които работят от вкъщи с компютър.“;
- „Да се потърси съдействие от родителите да гарантират ангажираността на учениците и това, че децата наистина ще отделят необходимото време.“;
- „Да направим активни учениците, като им възлагаме отговорности. Например един ученик да бъде администратор на група за комуникация, друг да напомня за наближаващ краен срок (напр. на проект) и т.н.“;
- „По-добре справящите се ученици да подпомагат дистанционно други ученици, които имат затруднения (технологични или затруднения с усвояване на материала).“.

Ресурсна обезпеченост

Ресурсното обезпечаване на образователния процес чрез осигуряване на електронни устройства, интернет свързаност, достъп до електронни платформи и адекватни образователни ресурси е съществена предпоставка за интегриране на технологиите в учебния процес. Наличието на електронни устройства е от решаващо значение за ефективността на дистанционното обучение, тъй като предоставя възможности за взаимодействие между учители и ученици и между учениците.

В изследване на Института за изследвания в образованието (ИИО) (Христова, Петрова и Папазова, 2020) по поръчка на Министерството на образованието и науката (МОН), което цели да се оцени въздействието на обучението от разстояние в електронна среда или други неприсъствени форми, проведено в периода март-юни 2020 година могат да се открият различни тенденции и разпределения на факторите, които влияят върху качеството на електронното образование.

От отговорите на директорите става ясно, че в близо 86% от училищата всички учители разполагат с компютър, лаптоп или таблет в дома си. В останалите 14% от училищата между 1% и 16% от учителите нямат достъп до електронно устройство у дома. 68% от училищата са предприели мерки за допълнително ресурсно осигуряване на процеса на преподаване, като са предоставили техника (електронни устройства) за лично ползване на учителите.

Ако над 80% от училищата в градовете са осигурили допълнителна техника на учителите, то едва 49% от училищата в селата са подпомогнали своите учители с електронни устройства за лично ползване, където делът на учителите, които не притежават собствен компютър (или друго електронно устройство) е по-висок от този на учителите без устройства в градовете.

Ако процесът на преподаване (и ресурсното му обезпечаване с техника в условията на обучение от разстояние) се разглежда като предпоставка за качеството на ученето, то относително по-слабото ресурсно обезпечаване на процеса на преподаване в селата може да се разглежда като възможно затруднение пред постигането на ефективност на обучението от разстояние в електронна среда.

Ключов фактор за подкрепа за ученето и за ограничаване на проявленията на образователни неравенства е осигуряване на условия за учениците да участват в обучението от разстояние в електронна среда чрез подпомагане на тези от тях, които нямат достъп до електронни устройства у дома. Една втора от училищата правят целенасочени усилия да осигурят електронни устройства на нуждаещите се ученици, като по този начин гарантират необходимите минимални условия за интегриране на технологиите в подкрепа на ученето им, а 60% от училищата в малките градове и 49% от училищата в селата предприемат мерки да обезпечат ученето, предоставяйки им електронни устройства (основно таблети и лаптопи).

Отново според проучването близо 20% от училищата осигуряват дарения на електронни устройства (предимно таблети) за лично ползване от учениците. Най-активни в осигуряването на устройства от дарения са училищата в малките градове като близо 25% от тях успяват да набавят устройства за своите ученици.

Достъпът до интернет и наличието на качествена интернет връзката също са ключови условия за провеждане на обучение от разстояние в електронна среда или за даване на възможност за достъп на учениците до огромно количество научни ресурси в мрежата, както и за поддържането на активни взаимоотношения между учители и ученици и между самите ученици.

Данните от проучването показват, че в 87% от училищата всички учители имат постоянен достъп до домашен интернет, но все пак трябва да се отбележи, че в 3% от училищата няма нито един учител, който да разполага с интернет у дома, като близо 75% от тези училища се намират в селата. На практика в почти 6% от училищата в селата нито един учител няма достъп до домашен интернет. Тези данни показват предимно проблеми при провеждане на дистанционни обучения в електронна среда.

От друга страна в 46% от училищата всички ученици разполагат с постоянен достъп до интернет в самото училище. В същото време обаче 28% от директорите са посочили, че само 1% от учениците имат достъп до интернет на територията на училището, а в 3% от училищата няма осигурен достъп до интернет за учениците.

Високоскоростният интернет има значителен ефект върху ефективността на преподаването и ученето – както в рамките на присъствения учебен процес в училище, така и при прилагането на хибридни формати, комбиниращи присъствено обучение и обучение от разстояние в електронна среда. В тази връзка например фиброоптичната връзка е особено подходяща за образователни цели (Европейска Комисия, 2015).

Резултатите от изследването, обаче, показват, че значителна част от училищата (64.4%) са свързани посредством кабелен интернет, а фибро-оптична връзка имат само 16.3% от училищата.

Осигуряването на достъп на учителите и учениците до разнообразие от електронни платформи и онлайн образователни ресурси е друга важна предпоставка за успешното протичане на обучение от разстояние в електронна среда. Достъпът до онлайн инструменти/ платформи, които предлагат богато виртуално пространство има ключова роля като позволява не само взаимодействие между ученика/учителя и технологията, но и активна междуличностна комуникация и взаимодействие между учителя и учениците, и между самите ученици в реално време (Webster and Hackley, 1997, Volery).

По отношение на виртуалните среди за работа, 73% от училищата разполагат с електронен дневник, половината от училищата имат абонамент за образователни платформи, а 13% от училищата имат собствени платформи, чрез които може да се извършва онлайн обучение.

Интересен е моментът на прекратяване на присъствения учебен процес на 13 март 2020, когато относителна готовност за осигуряване на обучение от разстояние в електронна среда са имали 54% от училищата като тези училища са разполагали с повечето инструменти за работа във виртуална среда.

В същото време 34% от училищата не са били подготвени за стартиране на такава форма на образователен процес, а половината от тези училища се намират в селски райони.

Казаното до тук се потвърждава в друго изследване на МОН от 2021 г. (МОН, 2021), според което Достъпът до устройства и наличието на интернет са едни от най-големите предизвикателства пред ефективното провеждане на образователен процес в дистанционна среда особено в селата.

В изследването на МОН за последствията от ОРЕС 2020/2021 две трети от учениците (66%) посочват, че имат достъп до настолен компютър, лаптоп или таблет, но една трета (29,7%) от учениците, обаче, разчитат само на своите смартфони, което не е предпоставка и условие за провеждане на качествен и ефективен учебен процес в електронна среда. Най-голям е делът на ученици с майчин език ромски или турски – съответно 46,3% и 42,7%. За разлика от тях, учениците, посочили български и друг език, в преобладаващата си част използват компютър, лаптоп или таблет за целите на обучението от разстояние в електронна среда. 41% от учениците в селата се обучават на смартфон в условията на ОРЕС (сравнено с 25% в София). По данни на МОН към 19.07.2021 над 43 хиляди ученици в България не разполагат с устройство за участие в ОРЕС.

Заключение

Изследването ясно очертава две тенденции на развитие на електронно обучение в България. От една страна е необходимостта от обучение на учителите и педагозите за работа с нови дигитални платформи и средства, а от друга – диспропорцията на ресурсната обезпеченост между учениците в градовете и селата.

Според изследванията самите преподаватели посочват като основна слабост неяснотата от това какви унифицирани платформи да се ползват и в следствие на това да се изучават и усъвършенстват за работа само с тях, а не да се прехвърлят от една публична платформа на друга без да могат да усвоят добре и дори една от тях.

В селата и малките градове задачата на учителите е още по-сложна. Там освен, че имат нужда от допълнителни обучения, преподавателите не разполагат с достатъчно ресурсно обезпечение като електронни устройства, лицензиран софтуер и бърза интернет връзка.

В резултат на изследването могат да се очертаят няколко препоръки за подобрения в системата на образование за внедряване на електронни форми на обучение:

- човешкият фактор продължава да е водещ при формиране на образователния процес, въпреки съществения напредък на информационните технологии;
- въвеждане на единни дигитални платформи за всички учители, ученици и педагогически персонал както по отношение на самия образователен процес, така и за отчитане на резултатите;
- необходимост от обучение на педагогическите специалисти за работа с електронни платформи и средства;
- осигуряване на равномерно разпределение на електронните устройства, необходими за образователния процес в цялата страна заедно с бърза интернет връзка;
- използване на нови технологии за преодоляване на проблемите относно вниманието на обучаемите в процеса на обучение чрез методи като „гамификация“ например.

Литература

Evstatiev, B. I.; T. V. Hristova. 2020. Adaptation of Electrical Engineering Education to the COVID-19 Situation: Method and Results. – *Published in: 2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, DOI: 10.1109/SIITME50350.2020. 9292142, 21-24, Pitesti, Romania, Romania.

Getova, I., Y. Anastasova, N. Yanev, M. Trifonova. 2021. Results and trends in e-learning of students, conducted during a lockdown. – *14th annual International Conference of Education, Research and Innovation*, DOI: 10.21125/ iceri.2021.1130. p. 4938-4943.

Getova, I., Y. Anastasova, N. Yanev, M. Trifonova. 2021. Study and analysis of students' attitudes to their training in an electronic environment. – *13th International Conference on Education and New Learning Technologies*, DOI: 10.21125/edulearn.2021.0812, p. 3842-3849.

Hristova, T., K. Gabrovska-Evstatieva, B. Evstatiev. 2021. Prediction of engineering students’ virtual lab understanding and implementation rates using SVM classification. – Journal of E-Learning and Knowledge Society, 17(1), https://doi.org/10.20368/1971-829/1135420, SJR 0,342, 62-71.

Karp, P., M. Davey. 2020. Why Australia is not shutting schools to help control the spread of coronavirus. –*The Guardian, ISSN, 0261-3077*.

Vladkova, Bl. 2016. Stress impact at the working place – comparative study for Bulgaria, Macedonia and Germany. *IV International scientific technical conferencs “Technics. Techologies.Education. Safety ’16“, Veliko Tarnovo*, ISSN: 1310 – 3946, pp. 49-53.

Volery, T. 2001. Online Education: An Exploratory Study into Success Factors. – *Journal of Educational Computing Research, 24*(1).

Webster, J., P. Hackley. 1997. Teaching Effectiveness in Technology-Mediated Distance Learning. –*The Academy of Management Journal, 40*(6), 1282-1309.

Yanev, N., K. Ivanov. 2016. Impact of information technology on education. – *Sixth National Conference E-learning in higher education*, ISBN 978-954-07-4114-7, p. 289-294.

Европейска Комисия. 2017. *2nd Survey of Schools: ICT in Education.* https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ 2nd-survey-schools-ict-education (15.03.2022 г.).

Йовкова, Б., Р. Пейчева-Форсайт, С. Стефанов. 2020. *Дигитални форми на учене и възможности за прилагането им в държавната администрация.* София: Институт по публична администрация.

Йотовска, К., А. Асенова, В. Неделчева. 2020. Качество на електронното дистанционно обучение в условията на пандемията от COVID-19. – *Софийски Университет "Св.Климент Охридски".*

МОН. 2021. *Обучение от разстояние в електронна среда 2020-2021: последствия и поглед напред.* София. 42с.

Христова, А., С. Петрова, Е. Папазова. 2020. *Оценка на въздействието на обучението от разстояние.* София: Институт за изследвания в образованието.

Юнеско. 2020. COVID-19 Impact on Education, *COVID-19 Educational Disruption and Response.* https://en.unesco.org/covid19/educationresponse (10.03.2022 г.).

IMPROVING TEACHING METHODS THROUGH ADEQUATE FEEDBACK

Hristina Nikolaeva Dobreva

Rakovski National Defence College, 1504 Sofia; E-mail: h.dobreva@rndc.bg

ABSTRACT. The current paper compares the mechanisms of positive and negative feedback as well as juxtaposes both methods in the so called “combined feedback and feedforward control.” It also looks at the case of no feedback in the system. These four cases of positive, negative, combined feedback and lack of feedback respectively have been applied to forms of teaching evaluations that could improve teaching methods. Teaching methods are the input in the system and evaluation is the output of the system. Both input and output create the full cycle of development of the system initiated by a group, rather than individual action/ perception.

Key words: feedback, teaching, system, group action.

ПОДОБРЯВАНЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА ПРЕПОДАВАНЕ ЧРЕЗ АДЕКВАТНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

Христина Николаева Добрева

Военна академия „Г. С. Раковски”, 1504 София

РЕЗЮМЕ. Настоящата статия сравнява механизмите на позитивна и негативна обратна връзка и съвместява двата метода в т.нар. „комбинирана обратна връзка и контрол с пренасочване“ или движение напред. Също така е разгледан случаят с липса на обратна връзка в системата. Тези четири случая, съответно на позитивна, негативна, комбинирана и липса на обратна връзка, са приложени към формите на оценяване на обучението, които могат да подобрят методите за преподаване. Методите за преподаване са разгледани като вход в системата, а оценяването - като изход на системата. И вход, и изход създават пълен цикъл на развитие на системата, развитие, инициирано от групови, а не индивидуални действия/ възприятия.

Ключови думи: обратна връзка, преподаване, система, групово действие.

Introduction

The paper applies mostly the concept of feedback, typical for system analysis. The area of application is education where teaching methods represent the input in the system and teaching evaluation - the output of the system. The system is complex, open, and adaptive.

Types of Feedback

The focus is on complex systems that have prototypes in living organisms. More specifically that includes liner, time-invariant systems, i.e. causal systems with feedback (Ferdinandov 1999: 264). Feedback analysis generally demands reverse analysis of the signal or analysis of how the output signal changes the input system. Thus, the structure of systems with feedback consists of two sub-systems, also causal invariant linear systems, namely direct sub-system (from input to output) and reverse sub-system (from output to input) (*ibid*.: 265).

There are three main types of feedback: negative, positive and neutral. Negative feedback initiation decreases the module of the output signal. Positive feedback initiation increases the module of the output signal (*ibid*: 265). Neutral feedback is neither negative nor positive (*ibid*.: 271). A special case is the lack of feedback (*ibid*.: 272).

The effects of negative and positive feedback are diametrically opposite and do not correspond to the connotation of the words “negative” and “positive”. Rather, negative feedback has positive effect and positive feedback has negative effect. The effect of negative feedback is the stabilisation of unstable invariant linear system, while maintaining its causality (*ibid*.: 284). The effect of positive feedback is the destabilisation of stable invariant linear systems, the latter being stable in lack of feedback (*ibid*.: 288). Their direction is also opposite: positive feedback moves anticlockwise and negative feedback moves clockwise (*ibid*.: 301). Both types of feedback could produce a whole cycle in the system.

This full cycle is composed of both linear and non-linear systems. The system is linear if “a change in input signal level causes a proportionate change in the output” (Martens and Allen 1969: 5). Otherwise it is nonlinear. The system in itself connects cause to effect, or an input to an output (*ibid*.: 1).

The control in the system can be performed by the hierarchy of the system and by means of information and communication. In the case of closed-loop systems, control has been performed by regulatory mechanisms called feedback and feedforward (Skyttner 2005: 81). Feedforward is a preliminary control, carried out before the occurrence of the event and it is part of the planning process.

Feedback allows for the system to compensate abrupt and sudden disturbances. Feedback is a transfer of signal from a later to an earlier stage, it has been activated by error and serves for correction of the functioning of an aggravating system. Feedback, as already stated, could be positive and negative. Negative (more leads to less) is similar to the idea of diminishing returns, recovery of the normal state, a favourable cycle (*ibid.*: 83). Positive feedback is a deviation, unfavourable cycle (arms race for example) (*ibid.*: 84).

The concept of “adequate” feedback depends on the introduction of some other concepts, typical to the system theory, as causality and complexity of the system. Adequate feedback is neither good nor bad but rather a feedback based on situational analysis. Even the lack of feedback could be adequate if the system is complex enough to make decisions based on self-regulating mechanisms.

Causality, Equilibrium, Complexity of Systems

Negative and positive feedback have different causality principles. In the case of a negative feedback, the state of equilibrium of the system is invariant in different initial states (equifinality). In the case of a positive feedback, radically different final states are possible in same initial conditions (multi-finality) (*ibid.*: 101).

Feedback is “transmission of information” (Checkland 1981: 85) regarding the functioning or performance of a machine to a previous stage with the aim of modifying its operation. Positive feedback is an evolutionary cycle of growth, a self-accelerating system either under the form of regenerative dynamics (growth) or degenerative dynamics (aggravation). The system usually breaks in case of lack of feedback (Geirgiou 2007: 6). Thus, negative feedback is purposeful, adapting the system to equilibrium nodes. Most systems consist of interconnected positive and negative feedback and complexity makes it difficult to recognise what causes what (*ibid.*: 7). The significance of feedback is that it reveals how the system causes its own behaviour (*ibid.*: 9).

Negative feedback diminishes the difference between the actual and the desired functioning or performance of the system. Positive feedback leads to instability, modified functioning (Checkland 1981: 85). In the case of a positive feedback the state of the system deviates from the reference state and this leads to instability. In the case of a negative feedback, there is self-regulation, returning to the natural state of equilibrium. Positive and negative feedback differ from the colloquial meaning of good and bad feedback (Daellenback 1994: 42).

Despite the context, three types of decisions of the actors are possible: 1) feedback-competition, 2) feedback-cooperation, 3) lack of feedback (Pillutla, Chen 1999: 90). In the case of complex systems, there is interdependence of the cycles of positive and negative feedback. The feedback cycles are regulatory or control processes. They could be two types. The cycle of a negative feedback is directed to achieving and/or maintaining a targeted state, stability and balance according to a defined reference norm. The cycle of the positive feedback is directed to a cumulative change of a given state, deviates from the purpose, and produces unstable equilibrium (growth or decay).

The system of negative feedback includes a homeostatic process, maintaining stability or self-correcting mechanism (Baumgartner, Jones 2002: 8). This is a mechanism of diminishing returns and an example could be the standard operating procedures. The mechanism of positive feedback is a self-accelerating process, positive return of scale and the example could be the behaviour of group imitation (*ibid.*: 15).

The processes of positive feedback are called path dependent processes, characterised by relative “openness” of earlier stages compared to the relatively closed character of later stages in the sequence (Pierson 2000: 75). An example of positive feedback is self-fulfilling prophecies (*ibid.*: 77).

Feedback is a central concept in system analysis, maintaining the wholeness of the system. Feedback has been performed by exchange of information and communication. Feedback is a regulatory process, controlling the system after the occurrence of disturbances. Negative feedback leads to stability, positive feedback leads to abrupt change but the total system has elements from both types. Competition, cooperation, and lack of feedback are three possible types of behaviour of the actors.

Teaching Methods as Input

Teaching methods could be considered as input in the system.

On the one hand, based on the results of teaching methods in terms of students’ performance, there are three types of methods: 1) teacher-centred, 2) student-centred and 3) teacher-student interactive method (Ganyaupfu 2013). The movement from the first to the third is actually a movement from passive methods (of just obtaining information) to active engagement methods (of active engagement). Passive methods could even be characterised by lack of feedback.

The teacher-centred method focuses on theory and memorising as opposed to the so called activity based learning or learning by doing. This method is probably useful for teaching rules, definitions, and procedures (*ibid.*: 30).

The student-centred method encourages critical thinking, active and discovery learning (a self-directed learning process). This method is not centralised and improves students’ performance since it is goal oriented (*ibid.*). The combined teacher-student interactive method stimulates students’ initiative in searching for relevant information, thus distributing the load and responsibility between students and teacher. Feedback is a must in this type of teaching method. This method is also considered the most effective.

On the other hand, based on the desired learning outcomes, three other types of teaching method could be mentioned: 1) cognitive development methods, 2) affective development methods, 3) psychomotor development methods (Dorgu 2015: 80). Again, the movement from the first to the third requires more feedback. In this respect, teaching methods are seen as causal factors of learning outcomes. Learning outcomes on their part develop different skills. As complex skills are necessary for contemporary education, it could be suggested that a combination of methods has to be applied for best results.

Cognitive development methods are intended to teach and instruct and they are kind of similar to teacher-centred methods. Intellectual skills are developed in this case. However, this instruction could lead to a shift in moral values as well. Cognitive development methods could take the form of a monologue, discussion, team teaching, questioning, or field trip.

Affective development methods are intended to develop appreciation and adjustment and are similar to student-centred methods. Changes in interest, attitudes, and values are encouraged to develop as a final result. These methods could take the form of modelling, simulation, non-verbal communication, and role-playing.

Psychomotor development methods are intended to develop dexterity and discovery. They are student-centred and teacher-student interactive. Creativity is developed in this case. These methods could take the form of an inquiry, discovery, creative writing, demonstration, experimentation, programmed learning, individual-pace method, and project assignment. Science subjects are better taught with these types of methods.

Types of Evaluation as Output

Types of evaluation could be considered as the output of the system.

From the standpoint of students' satisfaction, useful feedback could be gathered through student ratings when it comes to classroom observation, peer review when it comes to evaluation of a discipline, and instructor self-assessment when it comes to self-improvement (Benton and Young 2018: 3).

The typical distinction between the types of evaluation includes summative or more general and formative or more recommendation-based types of evaluation. Summative evaluation is subjective and "sums up" with the conclusion of whether someone teaches effectively or not. Formative evaluation is a more meaningful task because it gives recommendations for improving behaviour and encourages changes in method or style.

Generally, evaluation is supposed to end the cycle of the education system. However evaluation could be just a form of feedback mechanism that maintains circularity of the system. The suggestion here is that group perception is more adequate than individual perception.

If we go beyond teaching methods, as Bernard Ricca suggests (2012), then we have to consider a complex, non-linear system. This system combines bottom-up and top-down processes that complement each other (*ibid.*: 37). The combination of processes involves simultaneous consideration of two directions: from smaller to larger systems and vice versa, as well as self-reflection of the system upon its structure.

Conclusion

System stability and development complement each other. Systems require feedback for the purposes of control and adjustment. Positive and negative feedback could produce a cycle in the system. Lack of feedback has no negative result in stable systems, usually complex ones. Generally, systems with negative feedback are more stable because of the self-regulation mechanisms. A system has elements from both types of feedback.

Teaching methods and teaching evaluation are more important as the two final ends of the system in the case of teacher-student interactive methods and the psychomotor development methods. Evaluation itself has to take several forms in order to consider not only subjective perceptions but substantive suggestions as well as instructors', and why not students', self-evaluation. After all, actors decide whether their system is based on competition, co-operation, or lack of feedback. Once that issue is solved, feedforward is an issue of next level development.

References

Baumgartner, F. and B. Jones (eds.). 2002. *Policy Dynamics*. University of Chicago Press.

Benton, S, and S. Young. 2018. Best Practices in the Evaluation of Teaching. *IDEA* Paper #69, https://www.ideaedu.org/Portals/0/Uploads/Documents/IDEA%20Papers/IDEA%20Papers/IDEA_Paper_69.pdf

Checkland, P. 1981. *Systems Thinking, Systems Practice*. Wiley Publishing.

Daellenback, H. 1994. *Systems and Decision-making: a Management Science Approach*. Chichester: John Wiley.

Dorgu, T. 2015. Different Teaching Methods: A Panacea for Effective Curriculum Implementation in the Classroom, *International Journal of Secondary Education*. Special Issue: *Teaching Methods and Learning Styles in Education. Vol. 3*, No. 6-1, 77-87, http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.834.7578&rep=rep1&type=pdf

Ferdinandov, E. 1999. *Signali i sistemi, chast vtora*. Siela, 264-304 (in Bulgarian); ch. XVI "Systems with Feedback" in Signals and Systems, Part II, Ciela.

Ganyaupfu, E. 2013. Teaching Methods and Students' Academic Performance. - *International Journal of Humanities and Social Science Invention, 2*, Issue 9, 29-35, https://vulms.vu.edu.pk/Courses/EDU301/Downloads/Teaching%20Methods%20and%20Students%20Academic%20Performance_Assignment%202_EDU301.pdf

Geirgiou, I. 2007. *Thinking Through Systems Thinking*. Routledge, London, UK.

Martens, H and D. Allen. 1969. *Introduction to Systems Theory*. Charles E. Merrill Publishing Co.,Columbus, Ohio, USA.

Pierson, P. 2000. Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics. - *The American Political Science Review, 94*, No. 2, 251-267.

Pillutla, M. and X. P. Chen. 1999. Social Norms and Cooperation in Social Dilemmas: the Effects of Context and Feedback. - *Organisational Behaviour and Human Decision Processes, 78*, issue 2, 81-103.

Ricca, Bernard. 2012. Beyond Teaching Methods: A Complexity Approach. *Complicity: An International Journal of Complexity and Education, 9*, Number 2, 31-51, https://journals.library.ualberta.ca/complicity/index.php/complicity/article/view/17985/14201

Skyttner, L. 2005. *General Systems Theory: Problems, Perspectives, Practice*. World Scientific.

ANALYSIS OF THE BENEFITS OF CREATING AN EFFICIENT GREEN SUPPLY CHAIN IN AGGREGATE EXTRACTION

Georgi Kondev, Irena Mihaylova

University of Chemical Technology and Metallurgy, 1756 Sofia; E-mail: kondev@uctm.edu, ir.mihaylova@nikas.bg

ABSTRACT. Creating a green supply chain in an organisation operating in conditions of uncertainty and constant change is key to improving its competitiveness. This is also an important organisational step that would reduce the risks to the environment, as well as to human life and health. It is therefore important to pre-determine the current and future benefits of this supply chain. In view of the growing potential for environmental degradation in aggregates extraction, it is crucial that all stakeholders find the benefits of setting up a green supply chain. In this context, a number of organisations invest in various initiatives leading to improvements in processes and activities in order to increase the benefits in the implementation of production processes. Thus, achieving sustainable development is becoming a key factor in the present moment, which helps organisations to focus on creating benefits for people, for the planet, and for themselves in the form of profit.

Key words: integrated supply chain management, green supply chain, business performance.

АНАЛИЗ НА ПОЛЗИТЕ ОТ СЪЗДАВАНЕТО НА ЕФЕКТИВНА „ЗЕЛЕНА“ ВЕРИГА НА ДОСТАВКИ ВЕРИГА ПРИ ДОБИВА НА ИНЕРТНИ МАТЕРИАЛИ

Георги Кондев, Ирена Михайлова

Химикотехнологичен и металургичен университет, 1756 Sofia

РЕЗЮМЕ. Създаването на „зелена“ верига на доставки в една организация, работеща в условията на несигурност и постоянни промени, е от ключово значение за подобряване на нейната конкурентоспособност. Това е също така и важна организационна стъпка, която би довела до намаляване на рисковете както за околната среда, така и за живота и здравето на хората. Ето защо е важно предварително да бъдат определени настоящите и бъдещи ползи от тази верига на доставки. С оглед нарастващите възможности за влошаване състоянието на околната среда при добив на инертни материали е изключително важно всички заинтересовани страни да открият ползи от създаването на „зелена“ снабдителна верига. В този контекст редица организации инвестират в различни инициативи, водещи до подобрения на процеси и дейности с цел увеличаване на ползите при реализиране на производствените процеси. Така постигането на устойчиво развитие се превръща в ключов фактор в настоящият момент, които помага на организациите да се фокусират създаване на ползи за хората, планетата и за себе си под формата на печалба.

Ключови думи: интегрирано управление на веригата на доставки, „зелена“ верига на доставки, бизнес представяне.

Introduction

In the past few years, environmental pollution has been one of the major global problems that could have catastrophic consequences for human life. Of the several types of pollution affecting the elements of the environment, the deterioration of air quality is the one which requires immediate improvement measures. Global warming due to increased greenhouse gases and rising levels of fine dust particles are some of the most serious problems.

The amount of carbon dioxide, which was found to be approximately 280 parts per million before the Industrial Revolution, has reached a proportion of 380 parts per million and has accelerated. It has been found that increasing the proportions of carbon dioxide to more than 450 parts per million will increase the temperature to 2 degrees Celsius, which will lead to faster and irreversible melting of the ice of Greenland and Antarctica. Elevated atmospheric temperature by 2 degrees Celsius will lead to increased energy consumption to achieve and maintain the temperature of human comfort. The melting of ice in Greenland is expected to raise sea levels by 23 feet, which means that the face of the earth will be changed beyond recognition. Without proper action, it will be simply impossible to stop at 450 ppm. For this to happen, global changes in supply chains are needed that are linked to the introduction of a number of "green" practices. (McKibben, 2007; Ho et al., 2009).

In the past 200 years, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere has increased by more than 33%. The most accurate and complete data on CO_2 concentrations date back to 1958, when constant instrumental measurements began on Mount Mauna Loa in Hawaii, and they show a steady increase in its concentration. If at the beginning of these measurements, the concentration was 315 parts per million (ppm), then at the beginning of our century, it was 370 ppm, and in 2019 it was already 408 ppm. (https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html)

According to the World Health Organisation (WHO), 91% of the world's population is exposed to annual concentrations of particulate matter (PM)2.5, which exceed the norms recommended by the WHO. PM2.5 includes contaminants such as sulphate, nitrates, and carbon black. They penetrate the lungs and cardiovascular system and can be a high risk to human health. (https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution).

Regarding particulate matter, the Republic of Bulgaria is ranked 72nd in the ranking of countries with the most polluted air as of 05.2022 according to a study presented through the AirVisual Platform. (https://www.iqair.com/world-air-quality-ranking).

Statistics shows only a small proportion of air pollutants. Therefore, the benefits of building green supply chains in the sector would also significantly improve people's quality of life. The increase in the demand for aggregates in recent years has also increased the investment interest in the deposits of aggregates - gravel and deposits for the extraction of crushed stone fractions.

In 2020 alone, a total of 28 514 471 335 kg. of crushed stone, gravel, debris, and dust from rock materials were sold, according to data from the National Statistical Institute. (https://nsi.bg/bg/content/12271)

The intensive development of extractive activities related to aggregates leads to a reduction of natural resources and accelerated search for space for their storage, as well as to changes in the supply chain in the context of sustainable consumption. For decades, the extraction and transportation of these materials has created a series of negative effects on the environment. The existence of positive change should be linked to the introduction of innovative "green" practices and the distribution of responsibilities among all actors in the chain. Thus, the benefits and efforts for the implementation of environmentally friendly activities, as well as increasing the productivity of machinery and equipment will be consistently distributed. Based on the principles of sustainable development, this study examines the possible benefits of setting up green supply chains and their impact on key performance in the sector.

The design of the activities themselves in the chain connects the individual components that meet the conditions for achieving sustainable development and economic efficiency. As the characteristics of the activities have a strong impact on the reduction and elimination of waste, pollution, noise, and others in this development, a set of proposals for areas of future research is presented. They should look for empirical evidence of the link between the elements of the supply chain, the aspects of the green deal, and the economic performance. Such a key connection can be related to the possibility of integrated management, high added value of key operations, flexibility of the people involved in the chain, and others.

Defining a "green" supply chain

The establishment of a green supply chain is one of the best strategies for achieving sustainable development, reducing carbon emissions and dust, as activities are aimed at improving key environmental indicators. Dynamic changes on a global scale oblige organisations to look for opportunities to improve processes that have an impact, especially on the environmental and social environment. Therefore, the "green" supply chain is considered to be an innovative approach whose effectiveness is measured by improving the productivity of products and processes, taking into account the requirements of environmental standards adopted by relevant legislation. The key goal is to reduce waste and prevent the dispersion of harmful materials in the environment during all phases of the product life cycle.

According to one of the most commonly used definitions, green supply chain management is: "the process of using environmentally friendly raw materials and turning them into products that could be regenerated and reused at the end of their life cycle, thus creating a sustainable supply chain" (https://www.mhi.org/media/news/7056)

The modern "green" supply chain includes all the processes and operations performed by the participants. The beginning is set with the emergence of the concept of the product, its design, the selection of raw materials and suppliers, transport equipment, production processes, distribution channels, and disposal after the end of its life cycle. Environmental impacts should be kept to a minimum, with an emphasis on the optimal use of resources to create an environmentally friendly supply chain.

Another key point is to successfully integrate modern environmental management practices throughout the supply chain in order to achieve sustainable development that becomes a strong competitive advantage. This view was reflected in Srivastava's research back in 2007, wherein the "green" supply chain was defined as: "the integration of environmental thinking in supply chain management, including product design, supply and choice of materials, production processes, supply of the final product to consumers, as well as activities at the end of the life cycle of the product after its useful life ". (Srivastva, 2007).

Integration of "green" practices in the extraction of aggregates

The key objectives for sustainability in the supply chain are usually related to the availability of environmentally friendly and energy efficient operations, reducing the use of rare (scarce) resources, and recycling end-of-life products. An effective way to do this is to integrate good supply chain sustainability practices. A number of examples of sustainable extraction, processing, sorting, and transport of a number of resources are well known, including aggregates, which are widely used in various conventional production operations (housing, road network, railway infrastructure, cement production, etc.).

In addition, there are more complex ways to restore not only the material value of resources that would improve production operations (energy, labour, catalysts, fuel, etc.). These recovery forms include reuse at the level of components and parts in the form of spare parts for used machinery and equipment. The management of these supply chains contributes to the sustainability of the environment by reducing emissions and the consumption of non-renewable resources and energy. The economic effect of such activities is obtained mainly by reducing the cost of supply and processing of spare parts. Social sustainability is improved by achieving a safe and healthy living environment and increasing people's well-being.

The integration of "green" aggregate extraction practices is key to efficiency in three main processes: extraction (providing the right volume of output with the required quality), repair (repairing defective parts for reuse), and merging practices / experiences with other actors in the chain.

Extraction processes provide information to improve repair processes, such as quantities, structure, sorting, and quality classification of extracted materials. Extraction information can be at the level of products (quality), machinery (repair), components (recycling), materials (renovation), people (qualification), etc. depending on the quality required by customers in the relevant markets. The effective implementation of greening practices depends to a large extent on the needs of the clients and the legal norms for the respective regions of work. Repair, in turn, also includes many complex operations: disassembly of component modules, cleaning, inspection and adjustment, replacement of components, reassembly and commissioning. The processing of parts and components for reuse is considered to be component-level recovery in which the components are cleaned, reworked, and inspected strictly to achieve quality characteristics as newly-manufactured. Refurbished components can be used as spare parts, in repaired or resold machines. This category of "green" practices also includes parts / components or machines that are in working order but no longer meet the needs of an organisation. These machines or modules should be repaired and resold on the secondary market or disassembled into components to be used for after-sales services, such as mining. For end-of-life machines and equipment that have exceeded their economic or technical life, detail-level recycling is the only effective option. A key element in the repair process is that remanufactured parts, modules or machines that can be reused are integrated into the supply chain or another used by the organisation. Therefore, it is essential that the organisation has access to information about the needs of such machines / materials / components / modules in different markets worldwide.

According to the research presented above, the integration of "green" practices has a significant positive impact on the three main components related to achieving sustainable development: environmental, social, and economic. From an organisational point of view, however, the economic component is more used, which is associated with achieving greater financial gains. Effective management of an organisation in the context of green supply chains should achieve three key benefits related to sustainable development. In the first place are the environmental benefits of reducing the carbon footprint, dust particles, and proactive compliance with the law. In the second place are the benefits for the client from improving their satisfaction and attitude. In the third place are the informational benefits of integrating good green practices among all actors in the supply chain.

Key benefits of setting up a green supply chain

This section will present several key benefits for organisations working in the aggregates sector from building a green supply chain.

The establishment of a sustainable supply chain in the sector in question depends to a large extent on the source of the extracted materials. Here, efforts are focused on identifying all opportunities to reduce direct costs that would lead to improved activities. Strategies for optimal extraction, machine repair, renewal, reuse, etc. are applied, and some of the machines can be reused in some way in the same or alternative supply chain. For example, recovered components or modules could be marketed for secondary use to generate additional revenue. Others may be used inside the chain instead of new ones to reduce delivery time and costs. Vehicles and machines that meet the highest environmental standards are fast becoming a competitive advantage over those with lower performance. Managers' awareness of the high benefits of built-in value in renewable components and their reuse in various ways is part of modern management leading to sustainable development. For example, creating a program to recycle own and similar components and return them to working order is just one way to reduce the use of "fresh" raw materials by using recovered parts. Defective or high-cost defects, on the other hand, are sent for recycling to suitable places. In managing the green supply chain, managers coordinate the replacement of primary parts and modules with remanufactured components or materials, which could lead to significant savings in energy, water, and other resources. In addition, these activities lead to minimisation of waste, landfill and treatment costs, as well as various sanctions for violating environmental regulations. All the financial and other sector-specific advantages of building a green supply chain mentioned so far and other specific ones should be systematised into three main benefits, which could become strong competitive advantages. Some of the components of these benefits may not imply immediate financial value, but they can also increase the organisation's competitive advantage and ultimately lead to financial improvement in the long run.

The environmental benefits considered relate mainly to activities in two key processes that have an impact on the environment: carbon footprint / dust particles and a green public image. A number of regulations in this area have been adopted in recent decades, namely: the Directive on the Management of Waste from Extractive Industries (2006/21 / EC); The Environmental Liability Directive (2004/35 / EC), etc. They all hold organisations in the sector responsible for the proper conduct of extraction and transport activities. These regulations require the achievement of mandatory norms and goals, which over time become more stringent. Managers should take a proactive stance in this regard, ensuring compliance with legal regulations. One possibility is to implement a set of "green" measures aimed at tackling environmental problems by including in the price of aggregates some of the environmental costs associated with the extraction of aggregates, such as noise, dust, deterioration of appearance, and loss of biodiversity. Another possibility is to encourage and/or redirect demand from purposefully extracted aggregates to alternatives, such as recycled aggregates. The use of recycled aggregates, although it also has its costs for environmental protection in the form of energy consumption and noise generation, is an important aspect of reducing the environmental costs associated with extracting materials from the earth's interior (as long-term impacts on biodiversity). For example, the use of recycled materials does not interfere with new terrain or the seabed. Organisations that take steps to implement green practices before the legislature would be able to lobby for certain rules and regulations in line with their practices. In this way, they get the opportunity to provide themselves and the sector with a good image and public support in drafting legislative measures. In addition, with the advantage of being first on the market, they could gain experience in operations related to environmental standards and thus gain more market share. A good example of this is the creation of an electronic platform by several large organisations working in the sector, which can be used to connect participants in various chains for the exchange of information and current trends in international law (http://www.bapim.org).

In a highly competitive economic environment, improving the green image through the introduction of environmentally and socially responsible practices is an important part of the day-to-day operational activities of managers. Worldwide, a number of organisations, such as Greenpeace, Newsweek, and other voluntary initiatives, such as Global Reporting Initiative and Electronic Take Back Coalition, in various sectors of the economy publish rankings and reports on the environmental performance of large organisations. Thus, they bring to the fore activities related to reducing the harmful effects on the environment. Combined with the growing public interest in environmental issues and the growing "environmentally conscious" customer segment, these initiatives have increased the pressure on organisations worldwide. The ability to calculate, record, and communicate the reductions in carbon emissions and particulate matter resulting from green practices in the chain increases environmental benefits and becomes a powerful competitive advantage. In the Republic of Bulgaria, aggregates mining organisations comply with the Bulgarian Aggregates Producers Association (BAPMA) Ethical Code, which includes compliance with all legal regulations and requirements and the implementation of a sustainable business model aimed at caring for the social development, the environment, and the economic prosperity of the communities where the organisations operate.

The possible benefits for the client relate to the implementation of activities that would increase their satisfaction and loyalty. The use of "green" practices in the supply chain supports the development of the organisation and access to innovative practices in the field. First of all, a well-organised system for researching customer needs and assessing their attitudes could ensure their trouble-free service, as well as greatly increase their willingness to make a subsequent purchase. (Ramanathan, 2011) Similarly, the implementation of component reuse activities would increase the availability of spare parts, especially for older models whose parts are no longer manufactured or are very rarely manufactured. Improved spare part management processes will enable the organisation to reduce the use of "fresh" materials and raw materials for new components and modules. All these opportunities provided by the implementation of a "green" supply chain significantly contribute to customer satisfaction and attitude. Organisations that have started sustainable mining and processing activities and have established working channels for direct marketing are more likely to offer preferential contracts to potential customers to weed out others. This is an extremely successful tactic to negotiate different conditions with customers in the market, which should include the existence of "green" practices in terms of quality, quantity, and price of products delivered. Such contracts usually include conditions for long-term and large-scale deliveries, which are subject to special agreements for basic and ancillary services. This enables organisations to maintain mutually beneficial relationships with customers and prevent third parties from sourcing, processing, and transporting their products.

Last but not least, the informational benefits relate mainly to the sharing of valuable data on generally accepted "green" initiatives, supplies, defects / problems, machine failure rates, useful life of modules and others, customer complaints that lead to improved efficiency and effectiveness. For example, common emergencies, or conditions for sustainable and safe extraction, can be avoided in the future by other actors in the supply chain. Similarly, the creation of a database and the search for opportunities to "green" certain processes through the application of innovative practices would improve the attitude of customers and public authorities.

Limitations and future research

It is important to note that the considered benefits of creating an efficient "green" supply chain are considered through a theoretical study from the point of view of producers, and refer to the value acquired by them and not by the environment or customers. In addition, the findings presented have not yet been applied and studied in real organisations. Therefore, research in the aggregates sector is forthcoming in the near future.

Conclusion

The present study aims to identify effective benefits in implementing a green supply chain in order to achieve sustainability in aggregate extraction. The research approach itself has been used to identify the inter-relationships between individual factors in the green supply chain that affect competitiveness. The study of possible benefits confirms that environmental standards, green process design, and recycling are three key components that are the main reason for green practices. In addition, the adopted standards for environmental protection and safety have the strongest effect on extraction processes. Other economic and social ones contribute to sustainability, but without having a key impact. Such information will be useful for a number of managers, who should realise that for the management of the "green" supply chain they need to consider which of these components are more important and which are less important. Such categorisation of the components and their impact on the benefits presented should help in making operational and strategic decisions that will help to create a much more efficient and sustainable green supply chain. However, progress in this area needs to be constantly considered. It is therefore necessary to examine the issues raised in future research from the perspective of knowledge management and innovative technologies. Implementing appropriate management and dissemination models on the subject would increase the efficiency of the use of the green supply chain. Developing different models to study the impact of green practices on the efficiency of the aggregates business can lead to improved public confidence and competitiveness. It is obvious that suppliers, for example, play a key role in the success of such a supply chain. Therefore, the first step in this direction could be the design of a comprehensive model for choosing a "green" supplier through innovative approaches, and methods to achieve sustainable environmental goals.

References

Ho, Jonny C., Maurice K. Shalishali, Tzu-Liang Tseng, David S. Ang. 2009. Opportunities in Green Supply Chain Management. - *The Coastal Business Journal, (Vol. 8)*, no.1, 18-30.

McKibben, Bill. 2007. “450 Ways to Stop Global Warning”. - *Foreign Policy*, May/June 2007, *Issue 160*, 38-39.

Ramanathan, R. 2011. An Empirical Analysis on the Influence of Risk on Relationships between Handling of Product Returns and Customer Loyalty in e-Commerce. - *International Journal of Production Economics, 130*, 255-261. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.005

Srivastva, S. 2007. Green supply State of the art Literature Review. - *International Journal of Management Review, 9* (1), 53-80.

https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html

https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution

https://www.iqair.com/world-air-quality-ranking

https://nsi.bg/bg/content/12271

https://www.mhi.org/media/news/7056

http://www.bapim.org

THE ROLE OF FLEXIBLE WORKING TIME AS A FACTOR FOR WORK CONDITIONS

Nadezhda Kostadinova, Blagovesta Vladkova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia;
E-mail: nadezhda.kostadinova@mgu.bg; blagovesta.vladkova@mgu.bg

ABSTRACT. 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, and their direct connection with employee safety and satisfaction. Remote work and flexible part-time work are possible owing to the use of modern technical means, the Internet environment, and the development of information and communication technologies. This principle is at the heart of Industry 4.0 - in order to combine industrial production with modern technology which will fundamentally change various aspects of people's lives, such as life, work and leisure, working hours. These trends require considerable flexibility in the known forms of employment and are the reason for the introduction of adequate changes in labor law that are associated with the creation of new and different forms of jobs. The paper presents an overview of current trends in the choice of working hours for countries around the world and Europe.

Key words: (working hours, safety, employment trends, flexible working hours)

РОЛЯ НА ГЪВКАВОТО РАБОТНО ВРЕМЕ КАТО ФАКТОР ЗА УСЛОВИЯТА НА ТРУД

Надежда Костадинова, Благовеста Владкова
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В последните години темата за въвеждане на гъвкаво работно време и работа от разстояние започва все повече да намира своето място в търсене на съвременни ефективни методи за повишаване на производителността на труда, и пряката им връзка с безопасността и удовлетвореността на служителите. Дистанционната работа и плаващото работно време са възможни благодарение на използването на съвременните технически средства, интернет средата и развитието на информационните и комуникационни технологии. Този принцип е залегнал и в основата на Индустрия 4.0 – с цел да се обединят промишленото производство с модерните технологии, което ще промени основно различни аспекти на живота на хората, като бит, труд и почивка, работно време. Тези тенденции налагат значителна гъвкавост при познатите форми на заетост и са причина за въвеждане на адекватни промени в трудовото право, които са свързани със създаването на нови различни форми на работни места. Статията представя обзор на съвременните тенденции при избора на работно време за страни от света и Европа.

Ключови думи: (работно време, безопасност, тенденции при трудова заетост, гъвкаво работно време)

Introduction

Flexible working hours and teleworking are key factors in the development of modern economy. Most people understand what flexible working hours mean, but the term is still the subject of much discussion and its exact definition causes confusion. Flexible employment in practice refers to any work schedule that is outside the normal generally-accepted work model. This may mean that an employee has variable job characteristics, such as working hours, type of work, or even workplace. The process concerns employment arrangements in an enterprise or organisation in terms of working hours, workplace, and working and rest conditions. "Flexible employment is a way to help people work effectively and businesses and organisations to achieve their goals," said Simonetta Manfredi, Director of the Centre for Policy Research and Development, Oxford Brookes University. "It's about balancing service delivery and meeting individual needs. Flexible employment is a model through which both are applicable and possible", said in an interview Helen Gibbs, senior personnel consultant, London Borough, Sutton. Flexible working hours can have different forms and applications that are not mutually exclusive and can be categorised as follows:

The concept of a "flexible" labour market - The European Commission identifies flexible working hours as one of the most effective methods of combating unemployment and changing economic conditions through high employment levels, low inflation and unemployment, as well as the steady rise in real incomes. Flexible working hours are a response to pressure from employers to meet the needs of their customers and employees.

Numerical flexibility - Flexibility in the staffing schedule is one of the strongest weapons in the hands of the employer in a dynamically changing economic environment. The ability to change the number of staff depending on business requests or busy periods is an extremely important approach in order to help meet the needs of employers and a method of preserving jobs when the workload decreases in specific periods.

Functional flexibility - The economic crisis, as well as the increasingly applicable methods for optimising staff and striving to increase their productivity, naturally lead to updating employee training programs so that they are able to perform a wider range of tasks. Such flexibility leads to proven financial results and is a powerful tool for motivating and developing staff.

Flexibility in the workplace is a trend that is emerging, according to studies which increasingly show that the best employees consider flexibility a priority and link it to commitment and productivity in the company. A 2019 survey by FlexJobs (Boulder, Colorado) shows that 80% of the 7,300 workers interviewed will be more loyal to employers who offer flexible employment opportunities - a rising trend from 75% in the 2018 survey. These results show that flexibility is also an increasingly important factor in the prospects of staff retention and turnover reduction (Ashley Dunn, 2021).

Specifics in the application of different working hours around the world

Historically, workers today work 20 to 30 hours less per week than in the 19th century. In developed countries, the average working time on an annual basis dropped from 3,000 hours in 1870 to between 1,500 and 2000 hours per year in 1990. This long-term trend (fig. 1) is slowing down in almost all member countries of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and is sometimes reversed (Charlie Giattino et al., 2020).

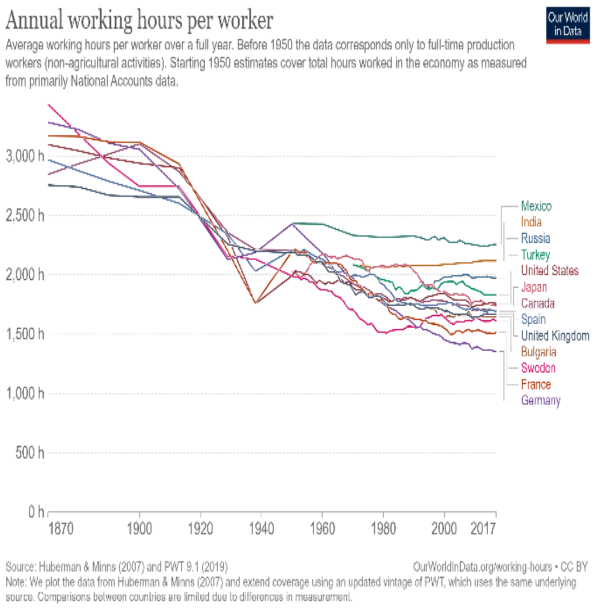


Fig. 1. Change in the duration of work

It is interesting to note that in primitive hunter-gatherer societies, working hours are much shorter than in more developed agrarian societies. Table 1 summarises the average length of the working week in a number of countries around the world. Moreover, hourly and weekly pay varies widely across countries –per hour-from $ 8.25 to $ 46.87; per week-from $ 338.34 to $ 1320.78) (Mihai-Alexandru Cristea, 2021).

According to latest ILO data, Asia is the continent where a higher percentage of people work longer: most countries (32%) do not have a universal national limit for a maximum working week, and another 29% have a high threshold (60 hours per week or more).

Table 1. *Average number of working hours per week worldwide*

Country	Number of working hours/week	Country	Number of working hours/week
Mexico	41	Canada	32,1
South Korea	37,8	Latvia	31,9
Greece	37,4	Japan	31,6
Chile	36,8	Lithuania	31,4
Israel	36,5	Slovenia	30,6
Poland	34,7	Belgium	30,4
Czech Republic	34,3	Switzerland	29,9
New Zealand	34,2	England	29,5
USA	34,2	France	28,9
Ireland	34	Luxembourg	28,9
Hungary	33,1	Austria	28,8
Italy	33	Iceland	27,9
Portugal	33	Sweden	27,9
Australia	32,9	The Netherlands	27,5
Estonia	32,9	Germany	26,6
Slovakia	32,5	Norway	26,6
Spain	32,4	Denmark	26,5

Only 4% of countries follow ILO recommendations and comply with international labour standards for a maximum of 48 hours or less. In the Americas and the Caribbean, 34% of countries do not have a valid working week limit, the highest share of all regions. Among the countries without such a limit are the United States. The absence of such country-wide regulation of the maximum working week duration allows it to reach 68 hours in a number of countries in Asia and the Middle East. Africa is the place where, in most countries, over a third of those employed in the labour market work more than 48 hours a week. In Tanzania alone, for example, the share of those working for over 48 hours/week is 60%. Surveys also identify trends for the working week duration by city. In 2016, the Swiss bank UBS published an analysis of 71 cities, where leaders are Hong Kong with an average of 50.1 hours of work week, Mumbai (43.7 hours), New Delhi (42.6 hours), and Bangkok (42.1 hours).

Current trends in working time in Europe

Labour law in the European Union limits working hours to 48 hours per week. The average full-time employee in the European Union works 37.1 hours per week (main job). In 2019, the longest working hours were reported in Romania (40.5 hours per week) and Bulgaria (40.4 hours per week). Figure 2 shows the average working time per week in all EU member states and the United Kingdom, three EFTA countries (Iceland, Norway and Switzerland), and four candidate countries (Montenegro, Northern Macedonia, Serbia, and Turkey).

In terms of working hours, Europe continues to be the best place for workers - all countries on the continent have a regulated maximum working week limit, with only Belgium and Turkey having a statutory working week of more than 48 hours. Flexible work arrangements, such as opportunities to switch between part-time and full-time work, flexibility in working hours and teleworking, usually give employees a greater ability to control how much, when, and where they can work.

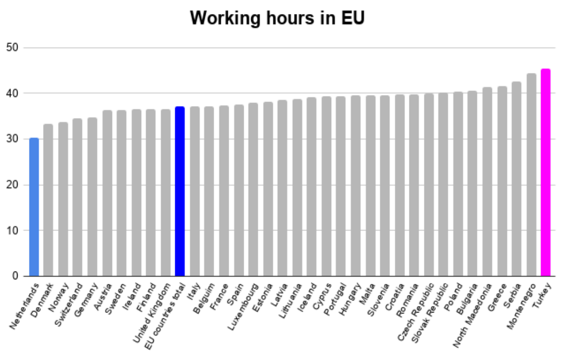


Fig. 2. Weekly workload in the EU 2019.

However, in 2019, only 18% could fully determine their working hours (Fig. 3), with more women (57%) than men (54%) in the EU unable to change their working hours (EIGE-Work-life balance, 2019); (https://clockify.me/working-hours).

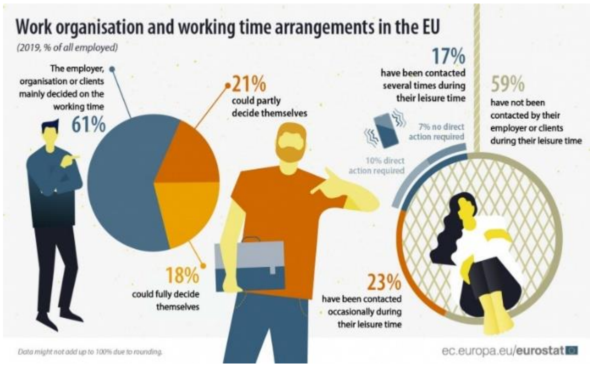


Fig. 3. Organisation of working time in the EU 2019 (Eurostat)

Overview of flexible working practices – Europe

The review of good practices in the field of flexible working hours and places in the EU member states shows a different approach to legal regulation. While in some countries there is a detailed legal framework, in others only basic principles and guidelines are regulated. Almost all European countries have introduced opportunities for late start and end of working hours. There are differences regarding the requirement for mandatory presence at the workplace at certain time intervals according to the specifics of the respective countries. An additional element that can contribute to greater freedom of employees in determining their working hours is the possibility of the established number of working hours per week/month to be unevenly distributed between working days. Thus, employees can adjust their work schedules to personal commitments, in compliance with the required number of hours worked for the period. Such an approach would allow additional flexibility by establishing, in addition to variation in the number of hours worked per day, a different number of working days per week for individual employees. (https://www.ipa.government.bg).

The following is an overview of the practices for regulating the work process in EU countries.

Malta - The practices of flexible working hours are considered a measure towards improvement of the balance between work and personal life of public administration employees, which is why they have been introduced as a general principle for all employees. Late start and end of the working day are allowed. Teleworking is also seen as an approach to employee incentives. According to the current legislation, an employee is allowed to work 90% of the working time each month from a distance.

In **Italy**, the principles of flexible working hours are regulated in national law as well as in collective agreements. For full-time employees, it is mandatory to work 5 days each week. The possibility of working remotely has been set forth in the Italian civil service regulations since 1998.

France - Officially regulated working hours in the French administration are 35 hours per week. The maximum number of hours worked may not exceed 10 hours per day and 48 hours per week (excluding overtime). Two main models of flexible working hours have been adopted:

- Obligation to work for a minimum of 4 hours a day;
- Opportunities for postponed start and end of the working day with mandatory periods in which they should be at work.

Spain has introduced a trial four-day work week. The Spanish government has regulated a 32-hour work week for three years, without a reduction in workers' compensation. The pilot program, similar to what Scotland is doing, aims to reduce the risk to employers by obliging the government to compensate for the pay gap when workers move to a four-day schedule.

Scotland launches a four-day trial week, fulfilling the pre-election promise of the ruling Scottish National Party. Workers will have reduced hours by 20%, but will not suffer a loss in compensation. The program will be funded by the SNP with £ 10 million ($ 13.8 million).

Between 2015 and 2019, **Iceland** implemented test programs for a 35 to 36-hour work week, without a commensurate reduction in pay. A survey of 2,500 employees was performed, as a result of which nearly 90% of the working population already has reduced working hours. There is an improvement in the work-life balance and a reduction in stress. (https://www.dw.com/).

In 1991, a 37-hour work week was introduced in **Denmark**. In recent years, the prevailing trend is for a more individual approach to reducing working hours and increasing annual leave. There is also a growing demand for telework. According to a 1997 study, 14% of men and 5% of women worked remotely from their homes at least one day a week.

In **Germany**, the principles of flexible working hours are regulated by the Working Time Ordinance which is applicable to all employees in the administration. According to said Ordinance, employees can benefit from late start and end of the workday as well, with period of mandatory presence at the workplace is between 9 a.m. and 3 p.m. Remote working is not explicitly regulated so each administration has the option to establish its own rules *(https://www.ipa.government.bg/analiz_na_dobri_praktiki_i/)*.

Part-time work in Germany can take many forms. Of interest is the "Mini-job" - a special form of employment, which is characterised by lower incomes or time constraints. Employees can be assigned to Minijob in several places. This form of employment leads to greater professional satisfaction and allows more freedom in personal life (Fig. 4). Among those who work 40 to 47 hours a week, only one in four is dissatisfied, while those who work 60 hours or more are dissatisfied with the lack of work-life balance.

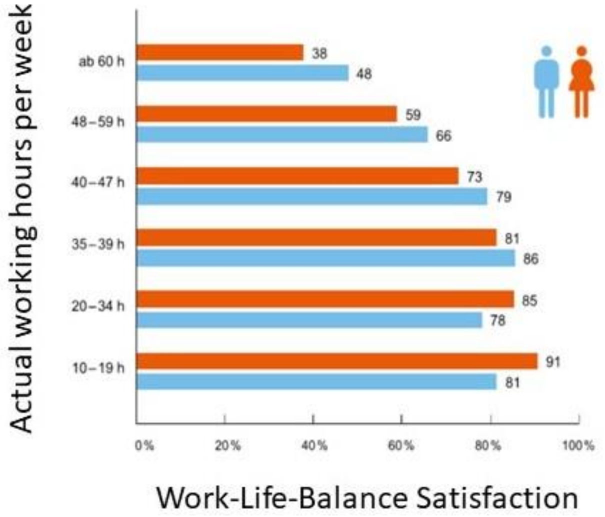


Fig. 4. Satisfaction with work-life balance according to working hours and gender (Figul, 2018)

Central and Eastern Europe

In Greece and Bulgaria, the working week is the longest of all the other countries in the European Union. In Greece, Bulgaria and Poland, people work more than 40 hours a week on average, according to Eurostat, the European statistical service. In Central and Eastern Europe (CEE), the working week for the Slovenes is 39.3 hours. It is less than 40 hours in Romania, Hungary and Croatia as well (fig. 5).

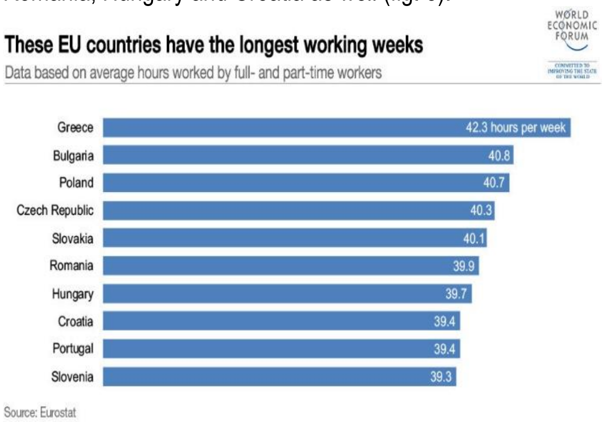


Fig 5. Duration of the working week for CEE -2018.
(https://www.weforum.org/agenda/2018/02/)

The data shows that for the entire EU, full-time employees work 40.3 hours per week on average. Men work more - 41 hours, and women - 39.3 hours. The longest working week is for employees in the mining and quarrying industries, and the shortest one - for those in the education sector.

Beside the forms of flexible working hours already mentioned, there are others, summarised in fig. 6.

Implementation of flexible working hours in Bulgaria

According to Eurobarometer data, Bulgaria ranks last in Europe in terms of flexible working arrangements. Only 39% of the employed people in our country have access to non-fixed working hours, part-time work or work from home. According to 86% of Bulgarian companies that participated in the Regus survey, flexible working arrangements stimulate performance.

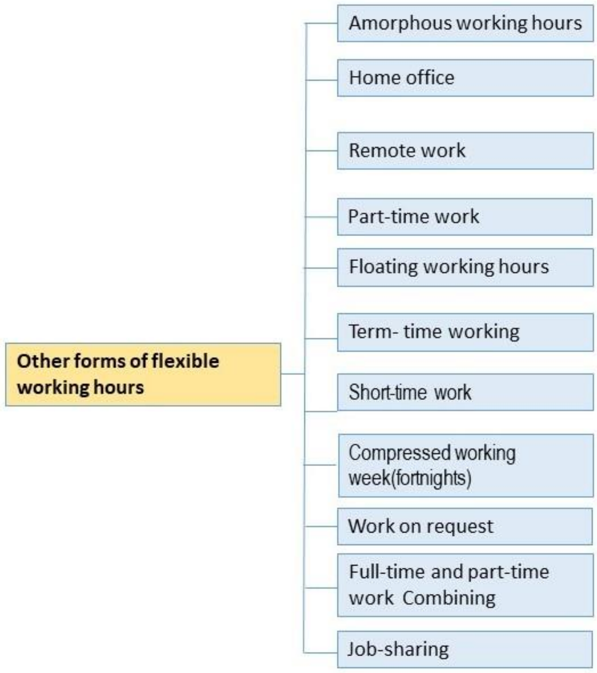


Fig. 6. Other forms of flexible working hours

At the same time, 74% of Europeans, who do not currently work, agree that flexible working conditions would give them a better opportunity to start paid work, and only 1 in 10 disagree that this way of working is better (https://www.investor.bg/).

In Bulgaria, part-time work is rarely used as a flexible form of employment. Thus:

- Women are more willing to work part-time;
- By age groups - young people between 15 and 24 years and people between 50 and 64 years are most willing;
- By sectors - agriculture and services;
- By educational degree - the share of persons working part-time increases with the decrease in educational degree.

In the survey, in which Bulgaria also participated, 81% of the respondents confirmed that they managed to hire and retain key personnel owing to the flexible working forms. According to 86% of the surveyed Bulgarian companies, flexible work solutions stimulate employee productivity. Bulgarian labour law regulates various forms of working hours in order to provide more flexible employment opportunities and opportunities for several jobs. For jobs carried out under specific conditions and risks to life and health, which cannot be eliminated, limited or reduced, regardless of the measures taken, workers benefit from: reduced working hours; additional paid annual leave; free food and/or supplements (Ilieva D., 2018).

Contemporary public attitudes and social processes related to the work process

The main approach to developing a part-time procedure is the applicability, both from the point of view of the organisation and of the employee. The approach to implementing part-time work can be modified according to the specifics of the functions and activities - part-time, reduced number of full working days per week, part-time working week (less than five days), or a combination of all options.

In addition to the statutory rules of operation, various companies also apply forms of flexible working hours. A good example is the well-known company GOOGLE - an American multinational corporation specialising in the Internet business. When it comes to flexible working hours, people usually associate it with Google's 20% policy. The company allows its employees to spend one-fifth of their time working on innovative, even crazy, projects of their choice. This feature has long been considered a source of innovation at Google, contributing to some of the most significant products such as Gmail, Google News, and Adsense. This rule is a sign of respect for the pursuit of personal development, regardless of position in the hierarchy. Work flexibly allows for adjustment of the work regime to the personal biological clock (Chalkiti, Carson, 2010). Such flexibility increases self-control, responsibility, satisfaction, and employee commitment; lower levels of absenteeism are achieved and late comings are virtually eliminated (Baltes, 1999).

The benefits of introducing flexible working opportunities may be summarised as follows:

- Improved productivity as a result of increased satisfaction;
- Increased commitment of employees to organisational activities;
- Improved work-life balance leading to stress reduction;
- Employee motivation increases (Trifonova, B., 2020);
- Opportunities for training and qualification of the staff are increased;
- Migration of employees in different locations within the enterprise is facilitated, as well as the remote work option;
- Saving time to travel to work and easing traffic in big cities; reducing environmental pollution.

Disadvantages of flexible working hours

A person’s professional activity is carried out in a certain environment and under certain conditions, which in case of non-observance of prescribed hygienic requirements can have adverse effect on the working capacity and health of the workers. It has been proven that longer working days also carry many risks. Working on a regular basis for 12 hours a day or 60 hours a week leads to risk to human health. The idea of a four-day work week is not new. It emerged in the late 1970's, with the average weekly load not decreasing. Employees prefer to work more hours a day in exchange for a longer rest. The short work week has advantages, but it also carries risks. Workplace maintenance costs are reduced, as the experience of Amazon, Google, Deloitte, and a number of small businesses shows. Amazon reports that they are experimenting with a 30-hour work week for certain employees. However, they receive 75% of the salary they would receive for a full-time job. Despite the shorter working week, the volume of work obligations remains unchanged. The consequences for employees working longer hours (over 10 hours a day) are different. Physical and emotional fatigue and stress accumulate and rest time is reduced until the next working day (Vassileva-Ivanova S., 2021). This increases the risk of accidents at work by 37% for employees working more than 12 hours a day and there are a number of health-related consequences (Nikolay Savov et al., 2019; Iliev, Zh. 2021). Workload remains unchanged. According to psychologists, people are not as productive when they are tired or stressed. This is especially true for older employees. Prolongation of the daily work process has a negative impact on the social aspect and the work-life balance.

Normal working hours (eight hours per day) – the optimal working hours in terms of mental health

Normal is the duration of working hours that is established for work under normal (usual) working conditions, normal intensity, and without specific risks to the life and health of employees, as well as in the absence of harmful effects of the working environment.

A study by sociologists from Cambridge and Salford undertaken over concerns that automated technology could require massive reductions in working hours found that the optimal working time for mental health is eight hours a day. The study was conducted in the period 2009-2018 in order to analyse how the change in working hours affected mental health and life satisfaction.

It is important to note that, with the onset of the global pandemic crisis in 2019-2021, rapid changes in the way the work process was organised were necessary (Getova, Iglika et al. 2021; Vessela Petrova et al., 2021). New forms of work were being introduced, which had the characteristics of both traditional jobs and flexible and non-standard approaches. Such trend could be defined as “WorkMix”. An interesting phenomenon is being observed, to the effect that even after returning to the usual rhythm of life, workers and employers continue to apply a combination of different forms of work - a hybrid form of duration and organisation of the work process.

The upward trend in the share of employed people practicing their profession from home has risen sharply from 15% to over 22% in the last 2-3 years and is due to the constraints imposed by the global pandemic crisis (Fig. 7).

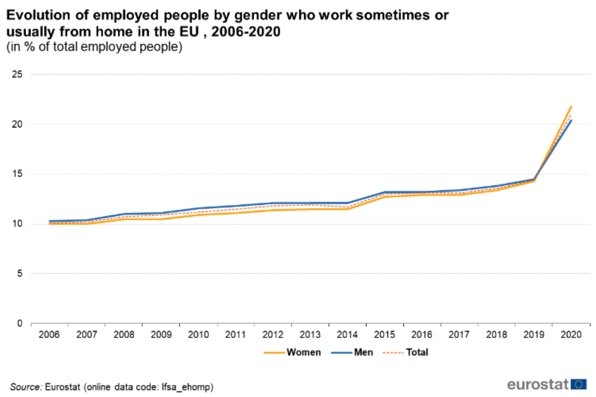


Fig. 7. Working from home 2006 -2020 (Eurostat)

The authors have conducted a survey in an electronic environment for attitudes and preferences regarding the organisation and duration of the work process. The survey was conducted in early 2022, with 246 respondents from various professional sectors in Bulgaria. Some of the results are presented in fig. 8 and 9. Over 38% of the participants prefer an 8-hour workday, but the large share (27.6%) who want to have flexibility in determining the distribution of their weekly workload should also be taken into account.

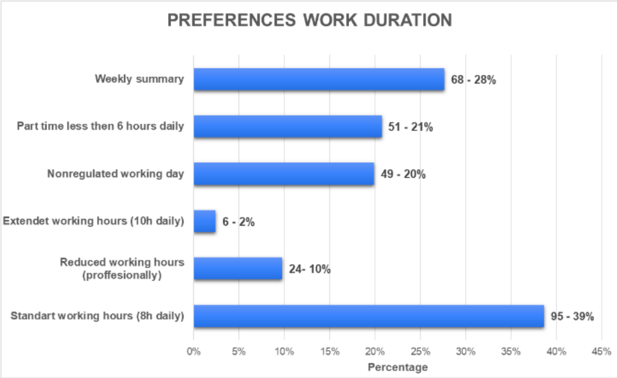


Fig. 8. Duration of working hours - survey 2022

In summarising the results regarding the organisation of the work process (fig. 9), it is seen that 59% of the respondents prefer a standard workplace. The choice of home as a home office is desired by over 35%. These results are also related to the professional realisation, age, and gender of the respondents. The authors will present full results and analyses of the survey in an upcoming publication.

.

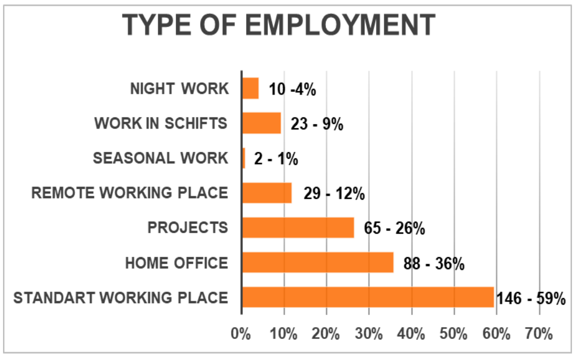


Fig. 9. Preferences for workplace organisation

Conclusion

Working time management is becoming an increasingly important element of companies' competitive strategies. Adapting to consumer demands and the dynamic environment requires a more diverse distribution of production time. As a result, new forms of flexible working hours have been introduced, and will continue to be, to allow for organisational flexibility and the adoption of flexible working schedules. Protection of the health and safety of workers must continue to be regarded as the primary task of any working time regulation. Flexibility of working hours is also important for individual workers to be able to better adapt their work schedules to each stage of their lives and to their individual preferences.

References

Average Working Hours (Statistical Data 2021), https://clockify.me/working-hours

Baltes, B. B., Briggs, T. E., Huff, J. W., Wright, J. A., & Neuman, G. A. 1999. Flexible and compressed workweek schedules: A meta-analysis of their effects on work-related criteria. *Journal of Applied Psychology, 84(4)*, 496–513. https://doi.org/10.1037/0021-9010.84.4.496, Copyright: © 2012, Pages: 27

Boulin, Jean-Yves, Michel Lallement, Jon C. Messenger and François Michon. 2006. Decent working time New trends, new issues, Copyright © International Labour Organization 2006, First published 2006, ISBN 978-92-2-117950-4; DOI: 10.4018/978-1-60960-783-8.ch614

Chalkiti, Kalotina (Charles Darwin University, Australia) and Dean Carson (Charles Darwin University, Australia)- Knowledge Cultures, Competitive Advantage and Staff Turnover in Hospitality in Australia's Northern Territory, January 2009 DOI: 10.4018/978-1-60566-790-4.ch010, In book: *Cultural Implications of Knowledge Sharing, Management and Transfer* Publisher: IGI Global

Cristea, Mihai-Alexandru. Which EU Countries Have the Longest Average Working Week? 02/06/2021, https://business-review.eu/future-of-work/which-eu-countries-have-the-longest-average-working-week-220545

Dimitrov A., N. Ivanova, R. Nesheva, N. Yanev. 2021, Preparation of industrial data for implementation in big data, *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – Sofia*, ISSN 2738-8808 (print) ISSN 2738-8816 (online), Volume 64, p. 151-155

Dunn, Ashley: „2021 Trends: flexibility in the workplace“, https://www.workdesign.com/2020/12/2021-trends-flexibility-in-the-workplace/

Employment outlook, CHAPTER 5, Working hours: latest trends and policy initiatives pp153-158, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

European Institute for Gender Equality (EIGE) Work-life balance (2019) / Flexible working arrangements in European Union https://eige.europa.eu/gender-equality-index/thematic-focus/work-life-balance/flexible-working-arrangements

Figul, S. 2018. *Masterarbeit.* TU – Sofia.

Getova, Iglika & Anastasova, Yordanka & Yanev, Nikolay & Trifonova, Mariana. 2021. Results and trends in e-learning of students, conducted during a lockdown, p. 4938-4943, *14th annual International Conference of Education, Research and Innovation*, DOI: 10.21125/iceri.2021.1130.

Getova, Iglika & Yanev, Nikolay & Anastasova, Yordanka & Trifonova, Mariana. 2021. Study and analysis of students' attitudes to their training in an electronic environment, *13th International Conference on Education and New Learning Technologies*, p. 3842-3849, DOI: 10.21125/edulearn. 2021.0812.

Giattino, Charlie, Esteban Ortiz-Ospina and Max Roser. Working Hours, First published in 2013; most recent substantial revision in December 2020.

Global Employment Trends for Youth 2020: Technology and the future of jobs International Labour Office – Geneva: ILO, 2020 ISBN 978-92-2-133505-4 (print) ISBN 978-92-2-133506-1 (web pdf)

Hoepner, Stefani. Where they work only four days a week 17.02.2022, https://p.dw.com/p/47B5s

Iliev, Zhivko. 2021. Simulation modal analysis of the driving sprocket of a scraper-chain conveyor", *XVI International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals*, Varna, Bulgaria. ISNN 2535 – 0854, pp 304-309

Ilieva D. 2018. https://otgovori.info/vidove-rabotno-vreme

Institute of public administration (ИПА), https://www.ipa.government.bg (in Bulgarian)

Institute of public administration (ИПА), https://www.ipa.government.bg, Analysis of good practices and preparation of proposals for the introduction of flexible working conditions, 2017, https://www.ipa.government.bg/bg/analiz-na-dobri-praktiki-i-izgotvyane-na-predlozheniya-za-vvezhdane-na-gvkavi-usloviya-na, (in Bulgarian)

Organisational Learning and Knowledge: Concepts, Methodologies, Tools and Applications, ISBN-13: 978-1609607838, ISBN-10: 160960783X, SciTech Book News Book News Inc., December 2011

Petrova, Vessela, Boriana Trifonova, Borislava Galabova, Emil Dimov. 2021: Challenges in human resources management in the context of the covid-19 pandemic, *International Scientific and Practical Conference Sustainable development and socioeconomic cohesion in the 21st century: trends and challenges*, Svishtov, 8th - 9th November 2021, ISBN 978-954-23-2069-2 (print) ISBN 978-954-23-2070-8 (online), pp 34-42

Savov, Nikolay, Teodora Hristova, Petya Gencheva, Exploring possible accidents and recommendations for biological waste treatment installations, *Quality-Access to Success*, 20(SI), January 2019, p. 195-200, ISSN 15822559, https://www.srac.ro/calitatea/en/arhiva/supliment/2019/Q-asContents_Vol.20_S1_January-2019.pdf

Smith, Rob. This country works the longest hours in Europe 20 Feb 2018. https://www.weforum.org/agenda/2018/02/greeks-work-longest-hours-in-europe/

Trifonova, B. 2020. Committed employees – innovative competitive advantage of mining companies, *Journal of Mining and Geological Sciences, 63*, MGU "St. Ivan Rilski", p.344-347

Vassileva-Ivanova S.: "Preconditions for Ergonomic Working Places '2021" in *FDIBA Conference Proceedings*, *vol. 5*, Nov. 2021, pp. 37-40

World Economic Forum, 2022, https://www.weforum.org/agenda/2018/02

ONGOING WORK IN THE MODULE IN ENGLISH FOR SPECIAL PURPOSES WITH STUDENTS AT THE UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY “ST. IVAN RILSKI”

Milena Purvanova

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

ABSTRACT. The article presents practical work on the issues of *Academic Terms* and *Specialised Mining and Geological Terms* on the syllabus for the module in English for Special Purposes (ESP) offered to students trained in the two levels within the courses of studies in *Computer Technology in Engineering* and *Geology and Informatics* at the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”. The objective of the activities is for students to produce training translation of three groups of sentences with variants for conveying concepts/terms lacking the grammar category of “gender”. The focus is on tasks on forward and back translation with term production. The learning tool used is that of a working/training table. Work is also targeted at translation stylistics. The implementation of the tasks includes: preparatory work in the Internet environment; revision of grammar categories, like pronouns, tense, types of sentence, etc.; independent work with a general English dictionary and a dictionary of terms. Errors, difficulties, and achievements in the student work are analysed. The results of the activity are discussed. The applicability of the assignment in distance learning is also considered, as well as its relevance when working with the “streamed” language groups of students from different courses of studies or with colleagues and lecturers being trained in language courses at the University of Mining and Geology.

Key words: ELT methods, ESP, terms, translation, gender.

ПРОДЪЛЖАВАЩА РАБОТА ПО ТЕРМИНОЛОГИЯ НА АНГЛИЙСКИ ЕЗИК В МГУ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

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

РЕЗЮМЕ. Статията представя практическа работа по темите „Академична терминология” и „Специализирана минно-геоложка терминология”, включени в учебната програма за модула по „Специализиран английски език” за студенти, обучавани в групите от двете нива по чуждия език в спец. КТИД и ГГИ в МГУ „Св. Иван Рилски“. Целта на предложените на занятията дейности е студентите да оформят учебни преводи на три групи изречения с варианти за предаване на понятия/термини, които са без граматическата категория „род”. Акцентът е върху задачи по прав и обратен превод с производство на термини. Използва се учебното средство работна/учебна таблица. Работи се и по стилистика на превода. Изпълнението на задачите включва: подготвителна работа в среда Интернет; преговор на граматически категории, като местоимения, време, видове изречения и др.; самостоятелна работа с речник по общ английски и терминологичен речник. Анализират се грешки, затруднения и постижения при работата по темата. Обсъждат се резултатите от дейността по задачите. Разглежда се и приложимостта на заданието в дистанционна форма на обучение, както и при работа със студентите от различни специалности в МГУ, обучавани „в поток“ или с колеги-преподаватели, включени в обучителни езикови курсове в университета.

Ключови думи: методика на преподаването на английски език, специализиран английски език, терминология, превод, род.

Въведение

Изучаването на техническа терминология в МГУ „Св. Иван Рилски“ е част от учебната програма по чужд език във всички специалности. Овладяването на техническа терминология е ключово и целево умение поради факта, че чрез употребата на правилните термини студентите в инженерните специалности доказват осмислянето на научни факти и владеенето на преподадени научни знания.

Настоящата разработка е в сферата на методиката на чуждоезиковото обучение. Насочваме вниманието към алгоритъм на работа в модула по специализиран английски език, изхождайки от знания и умения, придобити от курсистите в предхождащия го модул по общоупотребим английски език и от вече извършени с някои от студентите практически дейности по превод на терминология (вж. повече на: Purvanova et al., 2019a, b).

Обект

Учебните дейности са насочени към студенти от спец. „Компютърни технологии в инженерната дейност“ и „Геология и геоинформатика“, обучавани по английски език „в поток“ в I и II курс, както и към тези от III и IV курс в спец. КТИД.

Цел

Целта на предложените дейности е по време на занятията студентите да оформят учебни преводи на изречения, съдържащи академични и специализирани инженерни термини. Акцентът е върху задачи по обратен превод с производство на термини. Преговарят се различни глаголни времена. Включена е и езикова стилистика. Даваме примери за прилагане на дидактически критерии при подготовка на учебни материали.

Методика

В статията споделяме опита си от практическата работа по и последващо приложение на умения, придобити по темата „Институционално представяне”, която през 2019 уч. г. е включена за разглеждане в модула по специализиран английски език за студентите от спец. КТИД и ГГИ. На начален етап от обучението по терминология се предлага в I курс, но влиза и в учебните дейности с останалите курсове (II, III и IV).

Обхват

В учебната дейност през 2020 г. са включени студенти в бакалавърска степен от две специалности в два факултета при МГУ „Св. Иван Рилски“, обучавани по английски език „извън общия поток” в съответните факултети, и докторанти, изучаващи английски език в рамките на 30-те часа за чуждоезиково обучение по Правилника за обучение в ОНС „Доктор”. Разпределението е като следва:

- от МЕМФ – 80 бакалаври от спец. КТИД;
- от ГПФ – 2-ма бакалаври от спец. ГГИ;
- докторанти – от МТФ - 1; от ГПФ – 2-ма.

Алгоритъм на работа

За изпълнението на учебните дейности са залегнали следните стъпки:

- подготвителна работа - в общия случай включваща преговор на текст и дейности по него в рамките на реализиран през 2019 г. проект на кат. „Чужди езици“;

- самостоятелна работа с речник по общ английски и терминологичен речник.

В хода на и след изпълнението на задачите е включен и анализ на грешки, затруднения и постижения при работата по темата.

Дейности

I. Подготовка. Тя бе различна за студентите от различните курсове в двете специалности КТИД и ГГИ. Зависеше от запознатостта на студентите с изходния материал – база данни от общоакадемични и специфичи минно-геоложки термини, извлечени от учебен текст „Интервю“, разработван на английски и български език в рамките на проект по НИД № ХД 018/2019 г. на катедра „Чужди езици“ (Purvanova et al., 2019a, b).

На студентите-първокурсници бе предоставен текстът на английски език за запознаване със структурата, основните научни и технически насочености на отделните звена на висшето ни училище, както и с взаимосвързаността на трите факултета при МГУ. Задание, започнато по време на семинарно занятие и довършено като домашна работа, бе да се попълнят учебни таблици с термини според възможностите на курсистите, както следва:

- в групата с ниско входно ниво на владеене на английски език – селектиране от български на английски език на 49 бр. общоакадемични термини от текста;

- в групата с високо входно ниво на владеене на английски език – селектиране от български на английски език на 99 бр. минно-геоложки термини от текста;

- в същата група, но за студентите с най-високо входно ниво на владеене на английски език и по желание – селектиране от български на английски език на всички 148 общоакадемични и минно-геоложки термини от текста в интегрирана таблица. Тази дейност се зададе като задължителна и на студентите от ОКС „Доктор”.

На студентите от останалите курсове бе поставена задача у дома самостоятелно да си припомнят съдържанието на текста заедно с двуезичните таблици с термини, съставени през предходната учебна година.

Проверката на изпълнението на подготвителните задания бе осъществена както следва:

- в групите в I курс и за студентите от ОКС „Доктор” - чрез директно сравняване на преводните им варианти с попълнени контролни таблици, посредством:

∗ раздадени нагледни материали от преподавателя

∗ дейност „Работа в среда интернет“ с материал за четене статия, публикувана в каченото на сайта на МГУ сп. „Известия на ДЧЕС при МГУ” от 2019 г. На студентите бе осигурен достъп до материала чрез алгоритъм от стъпки: сайт на МГУ → Научно-изследователска дейност → Известия → сп. „Известия на ДЧЕС”, том XVIII/2019 г. → статията „Сравнителен анализ на когнитивните умения на студентите за разпознаване на специфични термини при работа с научни текстове на чужд език в МГУ „Св. Иван Рилски“ (краен отчет)“ от авторски колектив (*ibid*, b);

- в групите от II, III и IV курс, вече разботвали текста:

∗ устно производство на контролни термини;

∗ за студентите, неразполагащи с учебния текст и таблиците с термини – следване на гореописаните стъпки в алгоритъма по дейността „Работа в среда интернет“.

Изхождахме от познатите в педагогическата литература основни дидактически принципи на обучението - тези за активност, съзнателност, систематичност (още наричана последователност), достъпност, трайност в процеса на обучението (Andreev, 1987; Baranov et al., 1987). Нека да разгледаме същината на тези **принципи**:

- *съзнателност* – чрез даване на обяснения/ формулиране на езикови и граматически правила, стъпвайки на теорията на изучавания език, чрез съпоставяне на явленията от родния и чуждия език се имитират езикови единици, или се образуват и употребяват изучаваните езикови знаци, съставят се/образуват се/употребяват се по аналогия;

- *системност* – той налага предлаганите нови знания да заемат точно определено място в системата от знания, с която обучаемите вече разполагат, така че учебният материал да е организиран правилно и да се подпомагат когнитивните способности на учащите се; тук сравняването на езиковите факти и явления, а също и повторенията и обощенията, са ключови за развитие на езикови компетенции;

- *достъпност* – свързан е със съобразяването с опита/знанията/възможностите на учащите се; зависи от обема на езиковия материал, от степента на сложност на заданието, от времето, предвидено за изпълнението на задачата. Принципът се конкретизира чрез следните известни дидактически правила:

→ от простото към сложното;
→ от лекото към трудното;
→ от известното към неизвестното.

- *активност* – тя се възприема и като производство на езикови единици (външна) и в този смисъл е чисто говорна/писмена активност, и като умствена работа, съчетаваща мисленето с речевата дейност (вътрешна) и в този смисъл е емоционално-интелектуална активност. Нашето мнение е, че практическата активност на обучаемите винаги е свързана с умствената им дейност, която я направлява. Наблюденията ни са, че активността се увеличава, ако предлаганият учебен материал е достъпен, ако част от работата с него е подготвена в предходно занятие и ако е осигурена необходимата практика в хода на настоящото занятие.

- Оттук и последният принцип – за *трайност* на знанията. Роля за трайността на овладявания учебен материал има повторението. Прилагането на знанията в практиката пък е проява на трайно овладени знания. Сред факторите за трайността можем да откроим следните: спазване на всички изброени дотук принципи, особено на съзнателността при възприемане на преподавания езиков материал; използване на система от разнообразни упражнения; активно повтаряне на изучения езиков материал в нови съчетания и в различни ситуации; съчетаване на семинарна работа и домашна работа; задължителна проверка на знанията, за да се гарантират езиковите умения и навици.

II. Етап на начални разяснения. Преподавателят разяснява целта на новата дидактическа задача - наблягa върху практически умения, базирани на вече придобити от студентите знания по общоезикова граматическа и терминологична грамотност. Задачата е свързана с ***упражняване на граматически и затвърждаване на терминологични единици*** при учебен обратен превод (от български на английски език).

III. Заданието. На студентите се дава следното задание за работа на занятие:

Таблица 1. *Упражнение № 1 (обратен превод):*

The Present Simple ↔ The Present Continuous Tenses		
Translate into English using terms from the project tables:		
- Какво правите? - Обсъждаме новия граматически материал.	1.	
- Какво правите в специалността? - Обсъждаме компютърната дейност.	2.	
Инженерната дейност зависи от правилното функциониране на машините.	3.	
Обсъждаме как инженерната дейност зависи до голяма степен от правилното функциониране на съоръженията.	4.	
Машините функционират правилно и осигуряват безопасен работен процес.	5.	
Тези машини не функционират правилно и затова безопасният процес не е гарантиран.	6.	

За изпълнението на заданието от ключово значение е студентите да получат методически пояснения относно:

- *целта на упражнението* - че то не е самоцелно, а е по затвърждаване и преговор на терминологични единици от академичната и специализираната терминология;

- *граматическия акцент* – той е върху:

→ преговор на двете сегашни времена в английския език (сегашно просто и сегашно продължително);

→ обобщаваща функция на нулевия член с неброими съществителни имена и с броими същ. и. в множествено число;

→ словоред с подвижните обстоятелства в английското изречение;

- *комуникативната стойност* на задачата – при устна или писмена комуникация с англоговорящи да се генерират бързо нужните термини; автоматизирането на такова умение прави устния дискурс бърз и ефективен;

- *очакваните резултати* – постигане на бързина на терминологичното и граматическо производство; употреба на модели при институционално представяне и реклама на академичната структура; съставяне и употреба на коректни технически изрази.

Едва след това се преминава към поетапното изпълнение на задачите от студентите.

IV. Етап на изпълнение на заданието. Вярното изпълнение на задачата за превод би имало следния вид:

Таблица 2. *Упражнение № 1 (обратен превод - отговори):*

		- What are you doing? - We are discussing the new grammar material.
		- What do you do in the course of studies? - We discuss computer activity/activities.
		Engineering (activity) depends on the proper/correct functioning of the machines.
		We discuss how engineering depends *to a large extent* on the proper functioning of the facilities. =We are discussing how engineering *to a large extent* depends on the proper functioning of the facilities. =We are discussing how engineering *largely* depends on the proper functioning of the facilities.
		(The) machines function properly and provide a safe working process. =(The) machines function properly and ensure the safety of the working process.
		These machines are not functioning properly and therefore the safe [working] process is not guaranteed. =These machines are not functioning properly, therefore the safety of the [working] process is not guaranteed.

Важно е до всеки от обучаемите, работили по упражнението, да достигне верният вариант на превод (посредством записване на вариантите на дъската/диктуване/раздаване на предварително подготвен материал с отговорите/изпращане по и-мейл или в класрума при дистанционно обучение) и да се направи анализ на грешките.

V. Етап на последващо въвеждане на нов материал на основата на затвърдените групи термини. В този етап отново подчиняваме обучителните дейности на разгледаните по-горе водещи дидактически принципи. Въвеждаме знания за нова употреба на познат граматически материал, използвайки познати лексически и терминологични единици.

Акцентът е върху случая, когато на английски език думата не носи белега „род“, защото е лишена от информация за половата принадлежност. Пример за такава ситуация е даден още в урок № 3 в помагалото по компютърна терминология, ползвано в „ниската“ подгрупа в I курс (Olejniczak, 2013:24):

Стъпки при разработването на уебсайт
*Първо, обсъдете с **клиента** изискванията **му** и целевата аудитория. Разберете какви характеристики желае **той** да има на сайта **му** и от колко страници да е. Второ, анализирайте информацията от клиента..........*

В английския текст на ред 1 се използва думата CUSTOMER=клиент/потребител, която е в единствено число, но не е маркирана от категорията „род" на съществителното име. В такъв случай в последващия израз за притежание на английски не може да сме сигурни дали става въпрос за мъжки или женски род и съответно за „НЕГОВИТЕ" или „НЕЙНИТЕ" изисквания. Затруднението идва от възможното преводно предложение, което биха предложили курсистите (HIS), но то ще е буквално и неправилно. Защото ако се изпише „НЕГОВИТЕ изисквания", какво тогава се случва с жените-клиенти; и обратното, ако се изпише „НЕЙНИТЕ изисквания", то какво се случва с мъжете-клиенти?

Един изход от ситуацията в англ.ез. е да се напише „НЕГОВИТЕ или НЕЙНИТЕ изисквания", за да има целокупно удовлетворение. Но тогава изразът е дълъг, а сновен принцип в английския език е принципът за икономия на езиковите средства.

За да се избегне дължината на изказа, в английския се използва притежателно местоимение за 3 л. мн. ч.

Т.е.

[Discuss with] the customer **THEIR** requirements.......

Обучаемите веднага съпоставят с предадения на български еквивалент на фразата:

[Обсъдете с] клиента изискванията **МУ**.......

Т.е. налага се изводът, че в българския език все още не се отразява равенството на половете чрез подходящи езикови средства.

А: Още в този етап от обясненията преподавателят може да стимулира мисловните дейности на курсистите със задачите:

1. да се опитат да обобщят за каква подгрупа на същ.и. става въпрос в обсъждания пример (очакван отговор: групата на същ.и. за **професии**);
2. да дадат подобни примери на български (същите могат да се запишат н а дъската за последваща работа);
3. на студентите се предлагат за писмено упражнение на занятието набор от изречения с преговорени от академични и минно-геоложки термини:

Таблица 3. *Упражнение № 2 (обратен превод)*

Translate into English /using terms from the project tables where appropriate/:		
I. професии / occupation		
Добрият инженер уважава колегите **си**.	7.	
Миньорът разчита на колегите **си** при авария под земята.	8.	
Геологът разчита данните **си** с помощта на компютър.	9.	
Реализацията на информатика зависи от професионалното **му** обучение.	10.	

Припомня се и познат граматически акцент:

→ обобщаваща функция на неопределителния член "*a*" с броими съществителни имена в единствено число;

VI. Етап на изпълнение на новото задание. Предоставяме обобщен пример за неправилни студентски варианти на превод:

Таблица 4. *Упражнение № 2 (обратен превод – работен отговор):*

	7.	A good engineer respects his colleagues.
	8.	The miner relies on his colleagues in an underground accident.
	9.	The geologist relies on his data using a computer.
	10.	The implementation of computer science depends on his professional training.

Задължителен елемент от правилното разпределение и изпълнение на дидактическите задачи е анализът на грешките. В горния пример те се дължат се на:

- несъобразяване с входната информация;
- когнитивни пропуски в изр. 14 при предаване на чуждия език на омографите „информат**и**ка" със значение [+професия] и „информ**а̀**тика" със значение [+професия].

Резултатът от подобни грешки е несправяне с дидактическото задание.

Вярното изпълнение на тази задача за превод би имало следния вид:

Таблица 5. *Упражнение № 2 (обратен превод - отговори)*

I. професии / occupation		
Generalising function of the Indefinite Article		
	7.	A good engineer respects **THEIR** colleagues.
	8.	A miner relies on **THEIR** colleagues in case of an emergency underground. =A miner relies on **THEIR** colleagues in case of an underground accident. =A miner relies on **THEIR** colleagues in an underground accident.
	9.	A geologist reads **THEIR** data by means of a computer. = A geologist reads **THEIR** data with the help of a computer.
	10.	The occupational fulfilment of a computer engineer/expert/specialist depends on **THEIR** vocational training.

4. Обучаемите могат да се опитат да преведат записаните на дъската допълнителни примери (във варианти: устно; писмено; работа по двойки/в малки групи; писмено упражнение за домашна работа);

Б: Преминава се към следващата подгрупа съществителни, която се подчинява на правилото за думи без категорията „род" в 3 л. ед. ч., следвани от местоимения в 3 л. мн. ч. - тази на **събирателните** същ.и.

Алгоритъмът на работа на курсистите е сходен с гореописания:

1. Припомнят се/записват се на дъската някои събирателни същ. и.;
2. Припомнят се граматическите и синтактични особености на въпросната група същ.и., а именно, че в английския език те могат да са и в ед. ч., и в мн. ч. и се съгласуват с глагола в изречението по съответното число;
3. На студентите се предлагат набор от изречения за писмено упражнение на занятието:

Таблица 6. *Упражнение № 3 (обратен превод):*

Translate into English		
II. събирателни същ.и. / collective nouns		
- Знаеш ли какво се случи на събранието? - Да, групата си избра **неин** представител в Студентския съюз.	11.	
Правителството обсъди **негови си** проблеми.	12.	
Катедрата представи **нейно** решение на проблема.	13.	
Ще играе ли отборът със **свое** лого?	14.	

Ето какъв вид би имало некоректно изпълненото упражнение от студенти, които:

- не са обърнали внимание на обясненията;
- не са разбрали целта на упражнението;
- са използвали техническото средство Гугъл преводач, без да отчетат ограничените му стилистически възможности (долната таблица е обобщена илюстрация на регистрирани грешки в студентските преводи):

Таблица 7. *Упражнение № 3 (обратен превод – работен отговор):*

	11.	-Do you know what happened at the meeting? - Yes, the group has elected a representative to the Student Union.
	12.	The government discussed its problems.
	13.	The department presented its solution to the problem.
	14.	Will the team play with its logo?

4. Обсъждат се следните отбелязани грешки:

- прибягване до преводаческа трансформация [+ИЗПУСКАНЕ] в изр. 11, която е необоснована и противоречи на дидактическата задача;

- събирателните същ. и. в останалите изречения са в 3 л. ед. или мн. ч. със семантичния елемента [+човешки същества] и поради това се предпочита употребата на притежателното местоимение its, свързващо се със същ. и. в 3 л. ед. ч. със семантичен елемент [+неодушевени], да се заменя с their в 3 л. мн. ч.;

- неудачен избор на глаголно време в изр. 12 и 13: минало просто вместо сегашно перфектно.

Правилно изпълненото упражнение по превод би имало следния вид:

Таблица 8. *Упражнение № 3 (обратен превод - отговор):*

II. събирателни същ.и. / collective nouns		
	11.	-Do you know what happened at the meeting? - Yes, the group HAS elected **THEIR** representative to the Student Union.
	12.	The government HAS discussed **THEIR** issues.
	13.	The department HAS come up with **THEIR** solution to the problem. =The department has offered **THEIR** solution to the problem. =The department has presented **THEIR** solution to the problem.
	14.	IS the team going to play with **THEIR** logo? =Will the team play with **THEIR** logo?

5. Студентите дават подобни примери на български (същите могат да се запишат на дъската за последваща работа);

6. За затвърждаване на направените коментари и корекции и за автоматизиране на преподавания преводен модел, на студентите може да се дадат допълнителни задачи: съставените примери се зададат за упражнения по превод (във варианти: устно, писмено, за работа по двойки/в малки групи на занятието; писмено за домашна работа).

В: Следващ пример за лексическа единица, подчиняваща се на установеното на занятието правило, е **въпросителната дума WHO**:

Таблица 9. *Упражнение № 4 (обратен превод):*

Translate into English		
Кой не е предал домашното **си**? ≡ Кой не **си** е предал домашното?	15.	

Вярно изпълнение на тази задача за превод:

Таблица 10. *Упражнение № 4 (обратен превод - отговор):*

	15.	Who has not delivered **THEIR** homework? = Who has not handed in **THEIR** homework?

Г: Последна подгрупа думи, подчиняващи се на установеното на занятието правило, са няколко вида **местоимения** (дават се с дуплетните им форми):

→ **неопределителните** (SOMEONE=SOMEBODY или ANYONE=ANYBODY/някой),

→ **обощителните**, (ANYONE =ANYBODY/кой да е или EVERYONE= EVERYBODY/всеки),

→ **въпросителните** ANYONE =ANYBODY/някой)

→ **отрицателните** (NO ONE =NOBODY/никой).

В тяхната семантика не фигурира елементът [+полова принадлежност] и затова те не могат да бъдат в м.р. или в ж.р. Когато са използвани в английското изречение напр. като подлози, те винаги са в 3 л. ед. ч. Следователно и глаголът след тях ще се съгласува с подлога по лице и число и ще бъде в 3 л. ед.ч. Но всякакви местоимения СЛЕД глагола, напр. притежателни, трябва да са в 3л. мн. ч.

На обучаемите се дават за превод примери с тази група местоимения. Наборът от изречения включва академична терминология и следните вече изучавани глаголни категории и синтактични конструкции:

- разнообразие от видове изречения (изявителни, въпросителни, въпросителни с „нали?", отрицателни);

- глаголни времена (сегашно просто, сегашно продължително, минало просто, сегашно перфектно, бъдеще)

- модални глаголи.

Таблица 11. *Упражнение № 5 (обратен превод):*

Translate into English:		
IV. SOMEONE≡SOMEBODY / ANYONE≡ANYBODY / EVERYONE≡EVERYBODY / NO ONE≡NOBODY		
16.	**Всеки** обича края на семестъра.	
17.	**Всички** обичат края на семестъра.	
18.	**Никой** не ходи на занятия толкова рано.	
19.	**Всеки** може да преведе тези термини - те не са толкова трудни.	
20.	**Някой** събира ли информация за групата?	
21.	**Някой** трябва да каже на колегите **[си]** за промяната в часа на занятието.	
22.	**Кой** ще ми предаде домашното **си**?	
23.	**Всички** ли са получили заданията **си** за следващия път?	
24.	**Някой** не **си** е написал факултетния номер на теста.	
25.	**Всеки** може да **си** провери верните отговори в интернет.	
26.	**Някой** оставял ли **си** е чантата в залата?	
27.	**Никой** не **си** е написал и-мейл-а.	
28.	**Всеки си** донесе **негов** инструмент.	
29.	**Някой си** е сменил групата на теста, а не **му** беше разрешено.	
30.	**Всеки** ще й завиди, нали?	
31.	Нали **някой** ще донесе лаптоп?	
32.	Преподавателят предпочита студентите **му** да идват навреме в залата.	
33.	Нали **никой** няма да забрави?	

По-долу предлагаме и правилното изпълнение на задачата:

Таблица 12. *Упражнение № 5 (обратен превод - отговор):*

IV. SOMEONE / ANYONE / EVERYONE / NO ONE≡NOBODY		
16.		**Everyone** loves the end of the semester.
17.		**Everybody** loves the end of the semester.
18.		**Nobody** goes to classes so early.
19.		**Anyone** can translate these terms - they are not so difficult.
20.		Does **anyone** gather information about the group?
21.		**Someone** has to tell **THEIR** colleagues......
22.		**Who** will hand in **THEIR** homework?
23.		Has **everyone** received **THEIR** assignments for next time?
24.		**Someone** has not written **THEIR** faculty number of the test.
25.		**Anyone** can check **THEIR** correct answers on the Internet

26.		Has **anyone** left **THEIR** bag in the hall?
27.		**No one** has written an email.=**Nobody** has written **THEIR** e-mail
28.		**Everyone** brought **THEIR** own tool.
29.		**Someone** has changed **THEIR** group on the test and **they** were not allowed to.
30.		**Everyone** will envy her, won't **THEY**?
31.		Is **anyone** going to bring **THEIR** laptop?
32.		The teacher prefers that **THEIR** students come to the classroom on time.
33.		**Nobody** will forget, will **THEY**?

VII. Етап на анализ на изпълнението на заданието. Важен е по отношение на:

- затвърждаване на преподаваните езикови модели;
- осигуряване на коректив (чрез раздаване на верните преводни варианти и/или осигуряване на достъп до такива в електронна среда);
- стимулиране на студентската мотивираност и активност – напр. при открояване на най-добре справилите се със заданието обучаеми, същите се стремят да запазват темпа и качеството си на работа; онези курсисти, които не са изпълнили задачата правилно, се поощряват да работят усилено и усърдно, за да намалят количеството на грешки и да подобрят крайния си резултат.

Постигнати резултати

След изпълнението на дейността по задачите констатираме постигането на следните резултати:

- Реализиране на изпълнение на задания по обратен превод;
- Усвояване, автоматизиране и усъвършенстване на умения за превод от страна на студентите;
- Повишаване на знанията и уменията на студентите, свързани с производство на термини;
- Подобрена стилистика на изказа.

Приложимост

Получените умения са приложими в множество реални ситуации, подготвени и оттренирани в учебни такива, като:

→ даване на отговор на въпрос - в упр. 2 от урок № 1 в помагалото по компютърна терминология, ползвано във „високата“ подгрупа в I курс (Hill, 2018:10):

Why is a videoconference/teleconference useful? **A** videoconference is useful because you can have eye contact and **a** boss can be sure the workers are listening to what **THEY** are talking about. **A** teleconference is useful because when **a** worker is not at work, **THEY** can call the boss and tell **THEM** why **THEY** are not at work and when **THEY** are coming/will come back to work.

→ даване на дефиниция - в упр. 4 от урок № 3 в същото помагало за същото езиково ниво (*ibid*, 22):

The user profile provides information about **A USER** and the sites **THEY** browse = Профилът на потребителя дава информация за **ПОТРЕБИТЕЛЯ** и за сайтовете, които **ТОЙ** разглежда.

→ при описание на процес/диаграма - в IV курс, в упр. 8 и 9 от урок № 3 (Glendinning, 2006: 21, 184):

First, the customer puts **THEIR** card into the machine and enters **THEIR** PIN number on the keypad and the amount of money **THEY** want to withdraw. The ATM reads the information on the magnetic strip on the card. The strip contains the name of the account holder, **THEIR** account number, and details of the network it is linked to. This information is then sent to a central computer which holds information on many accounts. The customer's PIN number is checked, as well as the amount of money in **THEIR** account. If **THEIR** account has sufficient funds, the ATM is instructed to dispense the cash requested.

→ при обучение и на колеги-преподаватели в курсове за повишаване на езиковите им компетенции, но в този случай може да се надгради с фрази/изречения от педагогическата им и научна практика, като напр. от становища, изготвяни от тях на английски (даваме примерите заедно с отговорите):

… чрез **своята** компетентност и натрупан опит, докторантът много добре е приложил…	34.	…through **their** competence and experience amassed, the doctoral student has very suitably applied…
…в полза на експерименталната група по отношение на формираната у **нея** готовност за ефективни действия….	35.	…in favour of the experimental group in terms of **their** readiness for effective actions…

Заключение

В настоящата статия споделихме опит от практическата работа по обучението в модула по специализиран английски език в МГУ „Св. Иван Рилски“. Целта на предложените на занятията дейности беше постигната. Осъществи се повишаване на знанията и уменията на студентите при работа с терминология. В образователен аспект дейностите са с принос към повишение на езиковия капацитет на обучаемите, което пък е предпоставка за тяхната успешна настояща и бъдеща професионална изява.

Източници

Andreev, M. 1987. *Didaktika*. Narodna prosveta, Sofia, 414 p. (in Bulgarian)

Baranov, S. P., L. R. Bolotina, V. A. Slastenin. 1987. *Pedagogika*. Prosveshteniye, Moskva, 368 p. (in Russian)

Glendinning, E.H., J.McEwan. 2006. *Oxford English for Information Technology*. OUP. 224 p.

Hill, D. 2018. *English for Information Technology [2]*. Pearson Education Ltd. 80 p.

Olejniczak, M. 2013. *English for Information Technology [1]*. Pearson Education Ltd. 80 p.

Purvanova, M., M. Hristova, V. Panichkova, Ts. Vukadinova, M. Papazova, E. Balacheva, E. Davcheva. 2019a. Introducing Academic and Institutional Terminology and Analysis of Students' Skills to Recognise and Translate Specific Terms in Their Work with Scientific Foreign Language Texts at the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”. - *Journal of Mining and Geological Sciences*, 62, Number 4, 143-148.

Purvanova, M., M. Hristova, V. Panichkova, M. Papazova, Ts. Vukadinova, E. Balacheva, E. Davcheva. 2019b. Comparative Analysis of Students' Cognitive Skills to Recognise Special Terms in Their Work with Scientific Foreign Language Texts at the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski” - Final Report. – *Proceedings of the Department of Human Sciences, University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, XIX*, 55-176 (in Bulgarian with English abstract).

APPLICATION IN COURSE DESIGN 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 introduces the training in a module on teaching methods which was 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. Some of the theoretical foundations of the science of didactics are presented. The focus is on the constructive alignment and its application in the design of a course 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, and to stimulate the work of young university lecturers that should be consistent with these principles.

Key words: didactics, teaching methods, constructive alignment, planning a course.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ОБУЧЕНИЕТО НА ПРЕПОДАВАТЕЛИ ОТ МГУ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“ В МОДУЛ ПО ДИДАКТИКА ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА КУРС

Милена Първанова, Марин Евгениев

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

РЕЗЮМЕ. Статията е от областта на дидактиката. Запознава с 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. Представени са част от теоретичните основи на науката дидактиката. Акцентът е върху конструктивната подредба и приложението ѝ при проектиране на курс, който 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 и да се стимулира работата на млади преподаватели, която да е съобразена с тези принципи.

Ключови думи: дидактика, методика на преподаването, конструктивна подредба, планиране на курс.

Въведение

Колцина от нас не са чували или използвали фразата: „Преподаването е призвание” или кой да е от вариантите ѝ: „Преподаването изисква майсторство”, „Не можеш да преподаваш без обич към работата си или учениците/студентите си”, и т.н.? Отваряме темата, защото за част от авторския ни колектив – вече трето поколение преподаватели – подобни изрази са верую и, следователно, определят професионалните ни насоченост, норматив, етика, комуникационни задължения и всичко, що оформя битийността ни на преподаватели във ВУ. Средата, в която се проявяваме професионално, е динамична и разнообразна и нерядко в общуването си с колеги (в авторовия случай - в началото с „по-млади”, а с изтичането на годините вече просто преобладаващо с „млади”) от неангажиращи обяснения прехвърляме граници и започваме „да преподаваме на преподаващия”. Правим го с добри намерения. И с вярата, че от това има полза и че споделеният ни опит ще помогне на колеги, които са в началото на пътя си на преподаватели.

Особеност на преподаването в техническо ВУ е, че преподавателската квалификация не е задължителна. Добрият инженерен специалист не е длъжен да знае как да преподава и ако има критерии за тази своя сфера на изява, той добива и усета за успеха или не на актовете си на преподаване. Оттук следват и осъзнатите му търсения на знания за принципите, методите, средствата, източниците на информация и т. н. 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 статия е в сферата на дидактиката и се явява като продължение на предишна наша разработка в тази научна област (вж. Първанова и Евгениев, 2021). Насочваме вниманието към алгоритъм на работа, базиращ се върху теоретичните основи на науката дидактиката, преподадени 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. Към тях спадат асистенти и млади преподаватели, които все още не са докторирали или току-що са преминали към ОНС „Доктор”. Друга група, към която адресираме предложения дидактически метод, са колеги-инженери с известен стаж като университетски преподаватели, но с частични познания по преподаване, обикновено придобити чрез самостоятелно учене, по неструктуриран маниер, само по теми, които ги интересуват или ще са им полезни при преподаването на конкретно научно знание на студентите си (https://bg.wikipedia.org/wiki/Дидактика).

Цел

Общата цел на предложените дейности е да разпространим знанията, получени в обучителния модул по проекта до възможно по-голям брой колеги от МГУ „Св. Иван Рилски” с фокус върху подобряване на специфични и широко приложими умения. Конкретните ни цели са две:

– да представим теоретични постановки и да дадем практически пример за проектиране на курс чрез прилагане на конструктивно подравняване;

– да запознаем колегите и с метод за формулиране на резултати от обучението в своите курсове като задължителна стъпка при правилното планиране.

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”. Платформата на обучение Zoom бе предоставена от Центъра за електронно обучение/ELZ, E-Learning Center при ТУ – Виена (https://tuwel.tuwien.ac.at/). Занятията в Обучителен раздел 1: Основи на дидактиката, Аспект: Конструктивна подредба се водеха от проф. д-р Елизабет Вебер, маг. по методика, ТУ – Виена.

Дават се терминологични разяснения на понятия като „дидактика”, „съдържание”, „метод”, „резултат от обучението”; представят се теоретични постановки върху принципа на конструктивната подредба; въвежда се таксономията на Блум; прави се упражнение за включване на същата при формулиране на резултатите от ученето; накрая се дава пример за правилно изпълнение на задачите по конструктивната подредба.

Алгоритъм на работа

Понятия и работни дефиниции

1.*Дидактика* (от гр. „дидаско”=„уча”; „дидаскалос”= „учители”; откъдето идва и българската дума „даскал”) е термин, въведен в края на XVI и началото на XVII в. в педагогическата наука от Ян Амос Коменски. Чрез него той за изразяване схващането си за „изкуството да се обучават всички на всичко” (по Андреев, 1987:5). Съвременното схващане на тази педагогическа наука е, че тя е наука за образованието и обучението.

2.*Съдържание* – „Под съдържание на обучението се разбират обемът и качеството на знанията, уменията, навиците и начините на познание”, които трябва да се усвоят от обучаемите” (*ibid.*:119).

3. *Метод* (от гр. „методос”=”път/начин – напр. за изследване, познание, изложение, учене”); отук „методи на обучение” са „начини за работа [на учителя/преподавателя/обучаващия и обучаваните], с помощта на които се постига овладяване на знания, умения и навици (...) и се развиват (…) способностите” на обучаемите (*ibid.*:196).

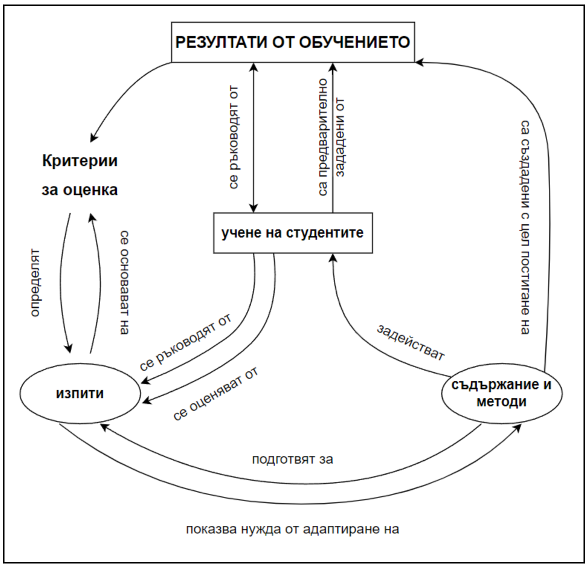
На фиг.1 представяме схема на разяснените към момента понятия, които са компоненти на обучението и с връзките помежду си оформят структурата на дидактиката.

Фиг.1 Структура на дидактиката

Дейности

I. Подготовка. Обучаващите се преподаватели разгледаха работен файл с конкретен казус, в който са налични проблеми, свързани с провеждането на курс на обучение. Използвайки приложението Padlet (https://bg.padlet.com/) с функционалностите на Jamboard, разделени в няколко класни стаи (Raums) на подгрупи от по трима обучаеми преподаватели, преподавателите водиха бележки относно забелязаните проблеми на курса, споделиха мнения за възможни решения и дадоха предложения за това как разглежданият курс би могъл и би трябвало да се проектира, така че да се избегнат проблемите.

II. Така логически се премина към **въвеждане на понятието *конструктивна подредба*** и разясняване на принципа на действие. Фиг. 2 представя в разгърнат вид конструктивните елементи и подредбата на функционалните връзки между тях.



Фиг. 2. Детайлна схема на принципа на конструктивната подредба

Подробно се разгледа темата за това как се формулират обучителни резултати. Обясни се връзката между резултати от обучението, съдържание и методи, оценяване, като в основата са обучителните резултати, от които се извеждат съдържанието, методите на преподаване и учене, а също и стратегиите за оценяване. Първоначалните въпроси, чиито отговор се търси при проектирането на курс, са какво преподавателят желае да постигне в курса си и какво иска студентите му да могат да правят в края на курса. Наблегна се, че компетенциите са част от резултатите. Направи се паралел между промяната на фокуса в преподаването преди 20-тина години и днес:

- изместване от *преподаване* към *научаване* – научаване на точното нещо по правилния начин;
- студентът е в центъра на вниманието;
- акцентът е върху резултата от научаването, докато в близкото минало е бил върху резултата от преподаването.

III. Важен момент в предаването на знания за конструктивната подредба бе т.нар. ***таксономия на Бенджамин Блум***, основаваща се на глаголи за действие (https://www.unmc.edu/facdev/teaching/teaching-resources/teachingtips/BloomTaxonomy_Learning Objectives .pdf). В Таблица 1 (вж. Приложение № 2 в края на статията) прилагаме предло́жения от д-р Елизабет Вебер списък с глаголи за действие.

Разглежданите нива на научаване са 6:

1. *знаене или запомняне* – разпознаване и запомняне на факти (напр. математическата формула $a^2+b^2=c^2$);
2. *схващане или разбиране* – разбиране какво означават фактите (т.е. кога да се използва горната формула);
3. *прилагане* – на факти, правила, понятия, идеи (напр. самостоятелно извършване на изчисления);
4. *анализиране* – раздробяване на информацията на съставните части;
5. *синтезиране или преценяване* – преценяване на стойността на информацията или идеите;
6. *създаване* – комбиниране на части, за да се създаде нова цялост.

Нива 1 и 2 обхващат *теоретичното знание*. Ниво 3 е *прилагането на теорията в практиката*; то е с много ограничен обхват, но надгражда над запаметяването и разбирането. На ниво 4 учещият намира отговор на въпроса защо явленията са такива /по какъв начин се извършват, т.е. това е нивото на разбиране какво се случва надолу в пирамидата от явления. На ниво 5 се оценява дали правилно е извършено действието или дали не е нужно да се поправи/подобри; при такива решения е нужно всичко от по-ниските нива. Ниво 6 увенчава наученото, защото на това ниво се прилага всичко научено преди, в нова ситуация.

Блум очаква всеки преподавател да включва всички нива на занятията си.

Чрез таксономията на Блум се описва наблюдаваното поведение, тя е ориентирана към действията, включва глаголи за действия. Вече 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”. Затова при оценяване на наученото от курсистите се използва моделът:

При успешно завършване на този курс, студентите могат да + глаголи за действия

Той задава *когнитивните цели*, които пък са свързани с *научаването като факт*.

Практическият съвет, даден на обучаващите се преподаватели, бе, че оптималният брой изявления за резултати от ученето трябва да е между 5 и 7, но без да се изключва и случай с от 4 до 8 бр.

IV. По метода на самостоятелната работа се прави ***упражнение за включване на таксономията на Блум при формулиране на резултатите от ученето*** посредством разсъждаване за това какви знания/умения/способности/наклонности трябва да може да покаже студентът и каквъв вид оценяване може да се използва, за да се демонстрират неговите знания/умения/способности/наклонности в края на курса.

Даваме алгоритъм на изпълнение на заданието като поредица от 4 задачи със стъпки:

Задача 1: (извършете я писмено)

<u>Стъпка 1</u>: *Помислете за курс, който водите/ще водите и вече сте мислили по него. С ключови думи запишете съдържанието, което покривате в този курс.*

____

<u>Стъпка 2:</u> *Сега отговорете на следните два въпроса за вашия конкретен курс:*

- *Какво искате да постигнете с този курс?*
- *Какво искате студентите ви да знаят или да могат да правят в края на курса?*

____

Задача 2: Нива на научаване (по Блум)

Разгледайте пирамидата за конструктивната подредба и нивата на Блум за научаване. Към кои от тези нива искате да се обърнете в курса си? Дайте писмен отговор:

____

Задача 3: Анализиране на резултатите от ученето

Стъпка 1: *Прочетете примерите за обучителни резултати а)-г):*

	Примери
а)	След успешно завършване на курса студентите могат да извършват изследователска работа.
б)	След успешно завършване на курса студентите разбират най-важните техники…..
в)	След успешно завършване на курса студентите могат да обсъждат интересни проблеми.
г)	Студентите могат да тренират презентационните си умения.

Стъпка 2: *Кажете доколко/защо те не могат да се считат за добри примери.*

	Примери - недобри	Обяснения/забележки
а)	След успешно завършване на курса студентите могат да извършват ~~изследователска работа.~~	„-“ твърде общо понятие, неконкретизирано
б)	След успешно завършване на курса студентите ~~разбират~~ (1) ~~най-важните~~ (2) техники (3)…..	„-“(1) твърде общо понятие; трябва да се конкретизира; „-“(2) твърде субективно понятие; „-“(3) твърде общо понятие; трябва да се конкретизира
в)	След успешно завършване на курса студентите могат да ~~обсъждат~~ (1) ~~интересни~~ (2) проблеми (3).	„-“(1) твърде общо понятие; „-“(2) твърде субективно понятие; „-“(3) твърде общо понятие; трябва да се даде конкретика относно проблемите;
г)	(1) Студентите могат да ~~тренират~~ (2) презентационните си умения	„-“(1) Липсва изказ за постигната цел в края на курса; „-“(2) тренирането е съдържанието на занятието, но не е цел;

Стъпка 3: *После се опитайте да намерите и дадете по-добра формулировка за всеки отделен забелязан недостатък в четирите изказа..*

Недобри примери	Обяснения/забележки и Корекции по примерите
а) След успешно завършване на курса студентите могат да извършват ~~изследователска работа.~~	„-“ твърде общо понятие, неконкретизирано
б) След успешно завършване на курса студентите ~~разбират~~ (1) ~~най-важните~~ (2) техники (3)…..	„-“(1) прилагат наученото, за да извършват…./да извършат сложен анализ на…./да формулират…./да сравнят/ съпоставят и противопоставят…. или: правят разграничение между….. или: прилагат…..; „-“(2) твърде субективно понятие; „-“(3) твърде общо понятие; конкретизира се чрез: техники ЗА… или: метод Х…в/във/при……
в) След успешно завършване на курса студентите могат да ~~обсъждат~~ (1) ~~интересни~~ (2) проблеми (3).	„-“(1) интерпретират, а после споделят мнения/спорят за/изтъкват аргументи „за“ и „против“ ……. „-“(2) твърде субективно понятие; „-“(3) твърде общо понятие; трябва да се даде конкретика относно проблемите - конкретизира се чрез: проблемите ЗА… или: темите за/касаещи……
г) (1) Студентите могат да ~~тренират~~ (2) презентационните си умения	„-“(1) Задължително да се добави изказа: „След успешно завършване на курса…“ „-“(2) тренирането е съдържанието на занятието, но не е цел; вместо тази дума да се употреби: приложат/използват

Задача 4: Формулиране на ваши собствени образователни цели

Въз основа на направеното дотук, формулирайте от 5 до 7 цели на ученето във Ваш собствен курс. Използвайте списъка с глаголи за действия на Блум. Използвайте го за лично сверяване на качеството на резултатите си.

____

Прилагаме изпълнението на Задача 4 като част от общото задание по формулиране на резултати от ученето в организиран собствен курс - в случая по чуждоезиково обучение:

След успешното завършване на курса, студентът може да:

* подрежда/класифицира/сортира терминологични знания в различни сфери на науката;
* генерира изявления, прилагайки езиковите методи;
* произвежда изречения/кратки описания на явления от съответния дял на инженерната наука;
* резюмира научна информация, която е прочел и схванал;
* прилага езикови умения при комуникацията си на професионално ниво;
* генерира изявления/текст по определена научна тема……

V. Постигнати резултати. След изпълнението на дейностите по задачите се констатира постигането на следните резултати:

- Критично мислене по предложен илюстративен курс за обучение;
- Запознаване с концепцията за конструктивната подредба;
- Запознаване с таксономията на Бенджамин Блум и глаголите за действия, включени в нея;
- Класифициране на глаголите за действия в 6 нива на научаване;
- Формулиране от обучаващия се преподавател на правилните образователни цели на курса, който той проектира.

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 както с някои теоретични постановки по дидактика, така и с метод за формулиране на резултати от обучението като задължителна стъпка при правилното планиране на собствени курсове.

Предоставената от лектора възможност за работа върху основния принцип на конструктивната подредба е полезна с оглед на правилното проектиране в бъдеще на обучителни курсове или при коригирането на вече предложени такива. Конструктивната подредба се разглежда като фундамент на преподаването - от планирането на курса до съдържанието и избора на метод за оценяване. Обучаващите се преподаватели анализират как действа този принцип и въз основа на неговото приложение разработват/редактират собствени курсове.

Разбирането и интегрирането на конструктивното подравняване при проектирането на собствен курс са ключови за успешната настояща и бъдеща професионална изява на младите колеги преподаватели и гаранция за предлагането на висококачествено обучение на курсистите ни.

Литература

Андреев, М.. 1987. *Дидактика*. Народна просвета, София, 414 стр.

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.

Scharmer, C. (2019, April 16). Vertical Literacy: *Reimagining the 21st-Century University*. Available online: Retrieved 23.08.2022, at 20:27h., from https://medium.com/presencing-institute-blog/vertical-literacy-12-principles-for-reinventing-the-21st-century-university-39c2948192ee

TrainESEE Teaching Methodology Workshop Flyer[1]

https://bg.wikipedia.org/wiki/Дидактика

https://bg.padlet.com/

https://trainesee2.eu/ - официален сайт на проекта[1]

https://tuwel.tuwien.ac.at/[1]

https://www.unmc.edu/facdev/teaching/teachingresources/teachingtips/BloomTaxonomy_LearningObjectives.pdf

[1] Посочените материали, предоставени по време на обучението, може да се разгледат на следния адрес: https://bit.ly/3fSh6Ny

Приложение № 1

Таблица 1. *Ревизирана таксономия на Бенджамин Блум за резултата от научаването*

Списък с глаголи за действие –Таксономия на Бенджамин Блум за целите на обучението						
№	**Ниво** **Знаене или запомняне** ➔	**Схващане или разбиране** ➔	**Прилагане** ➔	**Анализи-ране** ➔	**Синтезиране или преценяване** ➔	**Създаване**
1	цитират	подреждат	адаптират	анализират	оценяват	адаптират
2	дефинират	свързват	прилагат	оценяват	свързват	предвиждат
3	обрисуват	класифицират	изчисляват	разделят на елементи	построяват/ изграждат	сътрудничат си
4	номерират	преобразуват	координират	определят	избират	съчетават
5	намират	описват	показват	изчисляват	сравняват	общуват
6	наименоват/ поставят етикет	обсъждат	разработват	категоризират	конструират	съчиняват
7	изброяват	обясняват	драматизират	класифицират	обсъждат	изграждат/ конструират
8	намират	дават пример	използват	сравняват	преценяват	създават
9	съединяват	идентифицират	прилагат	съпоставят	формулират	проектират
10	запомнят	интерпретират	установяват	контрастират	генерират	улесняват
11	назовават	местоустановяват	проучват	корелират	градят хипотези	правят прогноза
12	припомнят си	намират	екстраполират	критикуват	интегрират	генерират
13	рецитират	съединяват	илюстрират	защитават	преценяват	инициират
14	записват	перифразират	инструктират	намират	оправдават	моделират
15	разпознават	докладват	интервюират	правят разрез на	управляват	преговарят/ договарят
16	избират	проучват	манипулират	отграничават	организират	организират
17	казват	сортират	модифицират/ променят	изучават	предвиждат	извършват
18	разполагат в таблица	обобщават	оперират с	разглеждат	предписват	планират
19		резюмират	поръчват	инспектират	подготвят	произвеждат
20		превеждат	упражняват	инвентаризират	очертават приоритети	предлагат/правят предложение
21			подготвят	проучват	произвеждат/ създават	изглаждат различията
22			произвеждат	решават/намират решение	правят официално предложение	преразглеждат/ ревизират
23			употребяват	обобщават	предлагат	намират решение на
24				изпитват	препоръчват	структурират
25					структурират	заменят
26					синтезират	
	Стратегии на обучение	**Стратегии на обучение**	**Стратегии на обучение**	**Стратегии на обучение**	**Стратегии на обучение**	**Стратегии на обучение**
1	Лекция	Въпроси	Практика	Разрешаване на проблем	Проекти	Симулации
2	Видео	Дискусия	Демонстрации	Казуси	Разрешаване на проблем	Критики
3	Илюстрации	Обзор	Презентации	Критични инциденти	Казуси	Сложен казус
4	Примери	Тест	Проекти	Дискусия	Разработване на план	Проектиране/ разработване
5	Визуални материали	Доклади	Ролева игра	Разпитване/Задаване на въпроси	Конструиране	Генериране на продукт
6		Упражнения	Микро-обучение	Тест	Симулация	Производство
По-нисък мисловен порядък			➔	**По-висок мисловен ред**		

Източник: https://www.unmc.edu/facdev/teaching/teaching-resources/teachingtips/BloomTaxonomy_LearningObjectives.pdf

CONSTRUCTIVIST NEO-VITALISM

Dobrin Todorov

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

ABSTRACT. The report analyses the emerging new contender in the ongoing struggle for affirmation as particularly significant and even dominant one among the available world outlooks. A picture of the world has gradually been clarified recently stepping on the achievements of modern biology and related biotechnologies. It is a matter of a different variant of naturalism – *bionaturalism* which can also be referred to as *neo-vitalism* since it places life at the centre of this world outlook. The older forms of vitalism and the current one both refer to life as to a metaphysical reality. The promoters of neo-vitalism consider the most common life characteristics as the basis of their world outlook and define it as both a supreme value and an ideal of everything that exists. Neo-vitalism has been considered in the variant presented by Kevin Kelly in his book “Out of Control. The New Biology of Machines, Social Systems and the Economic World” (Sofia, 2016).

Key words: world outlook, naturalism, neo-vitalism.

КОНСТРУКТИВИСТКИ НЕОВИТАЛИЗЪМ

Добрин Тодоров

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

РЕЗЮМЕ. В доклада се анализира появилият се нов претендент в нестихващата борба за утвърждаване като особено значими и дори господстващи между наличните светогледи. Напоследък постепенно се избистря картина на света, стъпваща върху постиженията на съвременната биология и свързаните с нея биотехнологии. Става дума за различен вариант на натурализма – *бионатурализъм*, който може да бъде наречен още и *нео-витализъм*, тъй като поставя в центъра на този светоглед животът. Както по-старите форми на витализма, така и сегашният говори за живота като за метафизическа реалност. Популяризаторите на неовитализма представят най-общите битийни характеристики на живота като основа на своя светоглед и го определят както за висша ценност, така и за идеал на всичко съществуващо. Неовитализмът се разглежда във варианта представен от Кевин Кели в книгата му „Извън контрол. Новата биология на машините, социалните системи и икономическия свят” (София, 2016).

Ключови думи: светоглед, живот, натурализъм, неовитализъм.

Въведение

Отношението човек – свят играе основна роля в живота на хората. Всяко конкретно човешко същество, независимо от това къде и кога пребивава в света, по необходимост заема някаква позиция спрямо него. Хората от всички епохи, общества и цивилизации разполагат най-малкото с определен *усет* за света като добронамерен, враждебен или неутрален. Те се плашат от непреодолимата му мощ, чувстват се в него като в уютен дом, осигуряващ им закрила, или го разглеждат като пластичен материал, от който да изградят желана среда за своето съществуване. Съзнателно или интуитивно хората търсят подредена *картина* на заобикалящата ги реалност. Съвременният човек също има потребност да получи що-годе ясна представа за организацията и начина на функциониране на действителността, в която е положен. Подобно на своите предшественици той се нуждае освен от *ориентири* в сложното и динамично битие, в което се намира, още и от *опори* за стабилно и предвидимо съществуване в него. Както винаги изборът на най-важна реалност – източник, „първи двигател”, последно битийно основание, водеща ценност и крайна цел – е между ограничен брой възможности. Основа при изграждане на своя светоглед днешният човек, подобно на своите предходници, може да търси в естественото (природата), свръхестественото (бог/овете), изкуствено създаденото от самите тях (културата), съвместно обитаваното със себеподобните (обществото) или в индивидуалното си битие. Днес се правят опити за изграждане и на *хибридни* картини на света, в които изброените като водещи форми на битието се комбинират.

Понастоящем в нестихващата борба за утвърждаване като особено значими и дори господстващи между наличните светогледи[1] се наблюдава още един[2] нов претендент. Напоследък постепенно се избистря картина на света, стъпваща върху постиженията на съвременната биология и свързаните с нея биотехнологии. Става дума за различен вариант на натурализма[3] – *бионатурализъм*, който може да бъде наречен още и *нео-витализъм*[4], тъй като поставя в центъра на този светоглед **животът**. Както по-старите форми на витализма, така и сегашните говорят за живота като за някаква *метафизическа реалност*, макар в опита да се наблюдава не животът като такъв, а винаги само отделни живи същества. Популяризаторите на неовитализма представят най-общите битийни характеристики на живота като основа на своя светоглед и го определят за висша ценност и идеал на всичко съществуващо.

Предвид разширяващото се влияние на неовитализма смятам за уместно да го анализирам както с оглед посочване на евристичния му потенциал, така и заради опасностите, съдържащи се в безкритичното възприемане на редица негови положения. Тук го разглеждам във варианта представен от Кевин Кели в книгата му „*Извън контрол. Новата биология на машините, социалните системи и икономическия свят*” (София: „Изток-Запад”, 2016)[5]. Спирам се на него тъй като книгата му може да се разглежда едновременно като *компендиум* от множество възгледи и изследвания на съвременни биолози, представени в популярна и привлекателна за широката публика форма, така и като своеобразен *манифест* на споделящите интересуващата ни тук картина на света.

Основни черти на живота като битийна форма

Животът като изява на битието има редица постоянни характеристики, които ще припомня накратко. Той се е появил при определени условия на Земята в далечното минало и постепенно е изградил своя обвивка – *биосфера*, в която се развиват неговите форми. Живите същества са *сложни системи*, съдържащи множество елементи, които действат съгласувано. Високата степен на компактност и подреденост в строежа им ги прави много *ефективни*. Живите организми притежават някои специфични характеристики при сравнение с „мъртвите тела”, сред които се откроява способностите им за *размножаване* и *самовъзстановяване* при увреждане. Многократното им *възпроизвеждане* се осъществява чрез наследствеността[6] като особено тяхно качество.

Живите същества реагират на външни въздействия благодарение на свойството *дразнимост*. Те активно регулират и *самоуправляват* своето съществуване: състав, структура и функциониране. Организмите имат динамично съществуване, насочено към собствения *растеж* чрез разгръщане на заложените в тях възможности („семена”). В процеса на своето съществуване живите същества придобиват нови свойства – еволюират, т.е. притежават способност за *саморазвитие*. Процесът на тяхното нарастващо многообразие и усложняване изглежда безграничен.

Живите същества имат способността да създават *ред* от хаоса в себе си, т.е. да противодействат на общия процес на ентропия. Те са *отворени* за постоянно взаимодействие със заобикалящия ги свят чрез обмен на вещества, енергия и информация. Живите същества притежават способност да *асимилират*, т.е. да преобразуват съобразно собствената си структура получените отвън вещества. Те притежават огромна *приспособимост* към действителността, в която са положени. Тяхната пластичност е значителна, но не и безкрайна, като границите ѝ се определят от рамковите условия за съществуването им. Когато последните съществено се променят живите същества загиват. Нарастващото умножаване на видовете и размножаване на индивидите вътре в тях води до *борба* за продължаване на съществуването им. Нейна проява е „естественият отбор”, а резултат – оцеляване на най-приспособимите.

Живите същества са склонни към *експанзия* чрез безгранично разширяване на обитаваните от тях райони и масовото им заселване. Те постепенно превземат „всяка материя” и поглъщат неживите битийни форми. Живите същества са способни на вечно *експериментиране* чрез изпробване на нови форми. Това променя основни характеристики на планетата Земя, посредством преразпределение на веществата в нея.

Животът като образец за човешкото творчество

Кевин Кели определя *същността* на живота по следния начин: „животът е *бездуховно*, почти математическо свойство, което може да възникне от *мрежоподобни* конфигурации на материята” (155)[7]. Той е „*спонтанно* възникващо свойство, което зависи от организацията на *неодушевени* части, но не може да бъде сведено до тях” (155). Животът е подчинен на строг *детерминизъм*, като „следва правила, също толкова *строги* като тези, на които се подчинява светлината” (155). Особеното тук е, че „този закономерен процес по съвпадение облича живота в *привидно* духовно одеяние” (156). В него като че ли е заложена скрита *воля*, която обаче не е свободна, а действа по необходимост: „резултатът от организацията трябва да се възпроизвежда при всяка възможност, което придава усещане за *неотложност* и *желание*” (156). Животът като тип организация „трябва по определение да създава непредсказуемото и *новото*” (156) по метода на пробите и грешките.

Кели е особено силно впечатлен от способността на живота за *самонарастване*, като неговото уголемяване достига не просто до покриване на планетата Земя, но може да придобие вселенски мащаб. Според него животът има толкова „агресивен характер” (155) и склонност да превзема нови територии, че е в състояние да „се разширява, докато изпълни Вселената” (153). Кели смята, че „животът ще възтържествува” (152) над всички останали битийни форми, т.е. е неизбежен *победител* в съревнованието помежду им. Той е предопределен да наложи своята власт над тях – да ги *подчини* – чрез принуда и поглъщане. Това превъзходство на живота се дължи както на огромния му потенциал за нагаждане към изискванията на средата, така и на способността му за приспособяване на средата към себе си – нейното преобразуване според нуждите му: „животът е специализиран в това да прави обкръжението си годно за живот” (198).

Според Кели животът е *самодостатъчен* – „няма друга цел освен себе си”, като е „едновременно източник и резултат”, т.е. при него се наблюдава „смесване на причина и следствие” (157). Той е „кръг от ставане, автокаталитичен комплекс” (158), като при този „странен кръговрат” не само си гарантира *оцеляване*, но и *уголемява* себе си. Животът „няма условия, няма моменти, които да не се превръщат веднага в нещо повече от самия живот” (158). Посоката в развитието на живота е към „нарастващо усложняване, все по-голяма дълбочина и загадъчност, продължаващи процеси на ставане и промяна” (157-158).

Кели идеализира живота и го превръща в *образец* за човешкото творчество. Според него е нужно внимателно да се изучава и следва примерът му, т.е. да му се *подражава*. Кели вярва, че е необходимо разпространението на жизнените стандарти върху *цялата действителност*. Той е убеден, че особеностите на „живата материя” следва да бъдат копирани както в „механичните системи” (9), така и в *социалния* живот на хората. Човешката култура само ще спечели ако *възпроизвежда* моделите на неговото устройство и функциониране. Кели смята, че в съвременния свят е възможно формирането на „необиологична цивилизация” (8), в която „логиката” на природата трябва да се *пренесе* върху културата. Това пренасяне на „биологиката” върху изкуствено създадените от хората обекти ще ги *оживотвори* и ще доведе до взаимното им преплитане. Тази „необиологична култура” ще „споява инженерните технологии и необузданата природа, докато двете станат неразличими” (670).

Според Кели биологичната природа на настъпващата *хибридна* култура произтича от пет *фактора*:

* „въпреки засилващата се технизация на нашия свят органичният живот – както дивият, така и питомният – ще продължи да бъде основната инфраструктура на човешкия опит в глобален мащаб;

* машините ще придобиват все по-биологичен характер;

* технологичните мрежи ще направят човешката култура дори още по-екологична и еволюционна;

* инженерно създадената биология и биотехнологиите ще засенчат приноса на механичните технологии;

* биологичните средства ще бъдат на почит като идеални” (670).

Същевременно според Кели е нужно да се внесе и „технологиката” в „живота” (9), като по този начин се създадат *хибридни* битийни форми, носещи черти както на живите същества, така и на техническите устройства. Този *смесен* (синкретичен) свят ще бъде „автономен, приспособен и съзидателен” (11). В него ще се осъществи „бионична конвергенция” (9) и изгради *обща система* на живото (роденото) и изкуственото (произведеното). Заимстването на принципи и модели от сферите на естественото и изкуственото битие ще доведе до изграждане на *съюзи* помежду им. Преливането и припокриването между живото и механичното ще предизвика трансформация на елементите, от които те са изградени, като целта е създаване на „по-сложни същества” (7) – „биологични машини” (11).

Кели констатира, че новите синтетични „светове” вече се „разработват” (189) и с тях усилено се *експериментира*. Той смята, че целенасоченото и контролираното създаване и усъвършенстване на „животински видове”, познато от хилядолетия, е пример за възможността да се правят „човешки творения” на ненаблюдавани в естествения свят жизнени форми. Днес вече се пристъпва към сътворяване на много по-сложни прояви на живот от отделните биологични видове чрез тяхното съчетаване в цялостни *еко-системи*. Той привежда примери за „изкуствено създадена биосфера от живи създания, фино балансирана да живее вечно” (189), т.е. е *самодостатъчна*. Съвременното биоинженерство позволява еволюцията на живота да бъде *управлявана*, а не да остане произволна. Нещо повече, тя дава възможност за *ускоряване* на подобренията с цел повишаване на ефективността в нея.

Изкуствените живи системи – основа на неовитализма

К. Кели набляга върху ограничеността на механистичното мислене, което според него позволява творчество само на „прости” продукти (8). Той смята, че в днешния и особено в бъдещия свят следва да се наложи една „универсална биология”, която да подпомага разбирането, създаването и управлението на *сложни вивисистеми*. Според него тези изкуствени живи системи следва да се превърнат както в основа за *преизграждане* на света, така и за универсалното му *обяснение*. Затова и те могат да послужат като отправна точка за създаване на цялостна картина на света.

Освен сложни Кели нарича вивисистемите още *колективни*, *мрежови*, *нелинейни* и *адаптивни*. Те са създадени от хората чрез възпроизвеждане принципите на структуриране и функциониране на живота в тях. Според него в този битиен клас се включват *разнородни* на пръв поглед реалности: „роботи, корпорации, икономики, електронни схеми”, а също свободният пазар и демокрацията. Ролята на „живите органични съвкупности” от типа „рояк” е да бъдат *архетип* на всички съвременни „големи системи” (42), които от своя страна са елементи в глобалната вивисистема.

Кели характеризира живите „екосистеми” като „сложни и с внушителен мащаб” – имащи „огромен обхват” и „богатство на нюанси” (10). Изкуствено създадените вивисистеми съществуват под формата на „динамични мрежи” (43), като могат да образуват „супермрежа” от свързани мрежи (36). Пример за такава съвкупност от множество автономни членове, всеки от които е от мрежов тип, представлява *интернет* (31). В перспектива целият свят се очаква да се превърне в „супермрежа”, която обхваща всички локални мрежи от различен вид.

Чрез термина „живи системи” Кели въвежда понятието *колективен организъм*, който притежава неопределени форма и размер, но висока степен на сплотеност между членовете му. Той представлява друго *измерение* на съществуването на „живото”: „Цялото живее в допълнение към живота на индивидите” (191). Отделните индивиди непрекъснато взаимодействат помежду си и не допускат *изолация* на някои от тях. Кели дава примери за такива „разпределени същества” (43) с ята от птици, рояци от пчели, пасажи от риби, „орди” от мравки и др. Всички те са илюстрации за единни общности с *процесуално* съществуване – „повече процес отколкото предмет” (43). Според Кели „самоподдържащите се системи *искат* да се случат” (192), т.е. приписва им се *воля* за съществуване.

Кели е ентусиазиран от достойнствата на все по-широко разпространяващите се изкуствени вивисистеми. Той изброява следните **плюсове** на живата система:

* притежава висока степен на *приспособимост* – лесно се преобразува и преподрежда (37);

* *гъвкава* е: „включва несъвършенството вместо да го отхвърля” (42) и така има висока поносимост към „грешката” (43);

* подлежи на „обучение, адаптация и еволюция” (43);

* притежава огромна и непреодолима *сила* и безгранична „способност за развитие” (нарастване) чрез безкрайно *новаторство* и включване на „новото” (абсорбиране) в себе си;

* има неограничена *вместимост* (капацитет), т.е. е способна на безкрайно количествено нарастване – никога не се „препълва” (43);
* разширява се „във всички посоки” (43) с постоянните цели на *оцеляването* и *експанзията*: животът, богатството, информацията се умножават като „напускат своята първоначална люлка” (37);
* в нея са заложени „възможности за експоненциални комбинации” на свързани членове (37-38), като „индивидуалните вариации и несъвършенства са допустими”, защото „не зависят от отделните си членове” (38) и тъкмо тези *несъвършенства* водят до новаторство;
* липсва ѝ определен *облик*: „няма външна форма” (43), като съществува с „размити характеристики” (40) и „без ясни граници” (42).

Същевременно Кели посочва и някои от **минусите** на изкуствено създадената жива система:
* *неефективност* – при нея се наблюдава голямо „прахосничество” на материали, енергия и усилия, както и „дублиране” на дейности, които частично се неутрализират от „спонтанно възникващите управляващи фактори” (38);
* *забавеност* на реакцията, понеже „органичната сложност се нуждае от органично време” (39), а следователно е нужно търпение и изчакване за самоорганизацията на сложната система-организъм;
* *неуправляемост*, тъй като в нея действа „нелинейна” (36), „странична”, „хоризонтална” причинност (39), т.е. са възможни развития във всякакви посоки;
* наличие на „*антиитуитивна*” логика на мрежите (45), която е „*парадоксална*” (39), тъй като елементите ѝ едновременно враждуват и взаимно се предполагат;
* *необяснимост* на случващото се с тях – „нещо просто се случва” от само себе си (39) и следователно никой не го разбира или предвижда.

Въпреки посочените недостатъци Кели смята, че бъдещето принадлежи на изкуствените вивисистеми. Той е склонен да омаловажи слабостите им за сметка на преувеличаване на техните предимства. Нещо повече, той формулира списък от „Девет божи заповеди”, включващ основните принципи на *биологиката*, извлечени от естествените живи системи, чрез придържането към които „човек може да стигне доста далече в ролята си на бог” (666) при изграждане на изкуствените вивисистеми. Според тези организационни *принципи* функционират всички сложни системи и са следвани от живата природа, създала „нещо от нищо” (665).

1) *разпределяй* съществуването: „когато сборът от частите може да даде в резултат нещо повече от частите, тогава това „повече” (това нещо от нищо) се разпределя между частите” (666);

2) *контролирай* от ниско към високо ниво: „в територията на бързите, мащабни и хетерогенни промени (на разпределената мрежа) е способно да управлява единствено множеството”, затова и „контролът трябва да почива на най-ниското ниво, където е простотата” (666);

3) култивирай нарастващата *възвръщаемост*: „всичко, което променя обкръжението си, за да увеличи производството на самото себе си, играе играта на нарастващата възвръщаемост” (667);

4) отглеждай *част по част*: „сложността се изгражда, като се сглобява малко по малко от прости модули, способни да оперират самостоятелно” (667);

5) наблягай на *периферията*: „здравата периферия ускорява адаптацията, повишава еластичността и почти винаги е източник на нововъведения” (667);

6) почитай *грешките* си: „грешката, била тя случайна или умишлена, трябва да стане неразривна част от процеса на съзидание” (668);

7) не се стреми към оптимални решения, а преследвай *множество цели*: „вместо да се бори за оптимизация на всяка функция, обширната система може да оцелее само като осигури задоволително ниво на голям брой функции” (668);

8) търси постоянно *неравновесие*: „нещото е устойчиво неравновесие – състояние на непрекъснато балансиране на ръба между вечното движение и вечното избягване на пропадането” (668);

9) *променяй* самата промяна: „промяната може да се структурира – това правят обширните сложни системи: координират промяната” (669).

Заплахи от безкритичното възприемане на неовитализма

Въпреки че голяма част от направените от К. Кели наблюдения са верни, все пак далеч не всички негови тези следва да се приемат безкритично. Така например може да се спори дали всички посочени от него положителни черти на живите системи от последно поколение са действително такива. Това, че те нямат начало и край в пространството, т.е. представляват *аморфна маса* от „разнородни компоненти” (43), не кара Кели да се замисли върху важността на проблема за спойката между тях, осигуряваща тяхното еднопосочно действие. Той не се притеснява и от отсъствието на собствена *физиономия*, създадена чрез ясно очертаване на техните предели. Всъщност Кели легитимира *безформеността* и *хаотичността* на битието. Чрез нейното налагане като идеал на хората се казва, че те следва да свикнат с *неопределеността* в действителността. А тази неопределеност ражда несигурност в очакванията на хората и страх от възможни скрити заплахи. Най-подходящото за тях поведение в този свят с размит облик е *хамелеонщината*, т.е. непоследователността и безпринципното нагаждане към обстоятелствата на конкретната ситуация без последователност в действията им.

Като възвеличава вивисистемите Кели застава срещу „застоя”, „покоя” и „сковаността” в света и прави апология на *промяната* – процесуалното съществуване на всяко битие. Той се възхищава как в хода на своя живот живите системи се „учат”, „адаптират”, „лекуват”, не само за да оцеляват, но и да „еволюират”. Ала за да е възможно това развитие вивисистемите се нуждаят от постоянни смущения и *катаклизми*. Кели не отчита опустошителния ефект от тези бедствия върху съществуването на хората. Според него „турбуленцията ще спаси света” (191). Ала заплахата от такава турбуленция ражда у човешките същества постоянен *страх* от бъдещето. Страхът от своя страна поражда *недоверие* към всеки и всичко, което ги заобикаля и е потенциална заплаха за оцеляването им. То пък лесно преминава в *ненавист* и агресия. Така се създават предпоставки за оправдаване *конфликтите* между хората.

Чрез утвърждаване примера за функциониране на сложните вивисистеми Кели насърчава хората да се откажат от стремежа си за намиране на траен *баланс* и ги подтиква да приемат съществуване в „динамичното равновесие” (192). Според него е важно *оцеляването* на живата система, като човек не бива да се „интересува от какъв тип е поддържаният живот” (192) – всичко, което просъществува, е добре дошло, дори то да е чудовище. Нейната цел е „успехът” при биологичното възпроизвеждане на глобалната вивисистема, в която всички форми на живот са *равноценни*. Човешката сред тях няма предимство и не следва да се съхранява непременно. Това разбиране всъщност означава зачеркване на *хуманистичната* идеология, стъпваща върху аксиомата за особените място, предназначение и отговорност на човечеството в света.

Кели не се притеснява от обстоятелството, че живите системи нямат общ „център” и не е ясно кой *управлява* процеса на избор на поведение (15), ако изобщо някой го управлява. Без да се тревожи той приема *без-контролността* на случващото се от страна на човека. Кели смята за съвсем приемливо съществуването на хората в свят „извън контрол”. Ала премълчава, че в подобен свят властва по-силния и неговата принуда, а не свободния избор на автономните личности.

Кели смята, че живите системи от второ поколение следва да заимстват „духа” си от „дивия свят на природата”, която се определя от него като „фабрика за идеи” (11). Когато в необиологичната култура „*Технос* бъде одухотворен от *Биос*” в резултат ще се получават „артефакти, които могат да се адаптират, учат и еволюират” (669). Той обаче не обяснява как животът ще разпространи своя „дух” след като го е определил като *бездуховно* свойство на битието. Изобщо Кели произволно борави с понятията *дух* и *идеи*. Изглежда според него те имат представителство във всяко битийно измерение. Теза, която звучи наивно и говори или за липса на философска образованост, или за съзнателно противопоставяне на хилядолетна мисловна традиция, стояща в основата на „западната” цивилизация.

Кели с безразличие констатира, че недиферен-цираната маса в живата система е повече „сбор” (21), отколкото единно *цяло*. Според него не е проблем, че живите системи са лишени от *йерархия* и ясно разпределение на ролите на участниците в тях. Той смята за предимство обстоятелството, че техните елементи поддържат силни *хоризонтални* връзки помежду си. Кели на практика оспорва основния – „вертикален” – принцип, според който са изградени всички обществени структури в съвременния свят. Предлага се цялата система от социални *роли* и *рангове* да бъде сринатa и на нейно място да се изгради нова, в която всички човешки индивиди заемат само *едно ниво* в общественото устройство. Разликите в личните способности, квалификация и постижения се пренебрегват. От всеки човек се очаква да влияе в *еднаква* степен върху публичните дела, независимо от това дали е в състояние да се ориентира в тях и да дава смислени предложения.

Кели с благосклонност установява, че в изкуствените живи системи цари *равенство* – липсва господство на някои от индивидите, като „тълпата” (мнозинството) „побеждава” (16), а крайното „решение” се получава чрез „усредняване на мненията” на участниците (19). Тяхното съществуване става без заповеди „отгоре” чрез т.нар. „разпределено” управление на системата. Тъй като липсва общ властови център на живата система тя притежава „децентрализирано битие” (45). Кели апелира за създаване на „мрежова култура”, която наподобява „съществуването на рояка” (45). Според него живата система трябва да „моделира културата на хората, които живеят в мрежов свят” (45). Същевременно Кели твърди, че в живата система от вида на мрежата („паяжината”) съществува „сложна йерархия” (39), така че участниците в нея все пак не съществуват съвсем на едно ниво. Не е ясно на каква основа се формира тази йерархия, какви са нейните елементи и взаимоотношенията помежду им.

Кели е възхитен от факта, че живите системи съществуват под формата на саморегулиращ се „хаос” и създават „спонтанен порядък” (37), като изпитват постоянни колебания и смущения. Кели изказва спорната теза, че „разнообразието осигурява стабилност” на единния организъм, като „определено ниво на сложност поражда самодостатъчност” (202). Той е убеден, че „ако една сложна система успее да постигне общ баланс след определен период на нагаждане, след това малко неща могат да я извадят от релси” (187). Тук обаче възниква въпросът дали тя изобщо ще „заработи” и на каква „цена”, т.е. колко от индивидите които я съставят ще оцелеят докато тя се утвърди. Кели признава, че преди вивисистемата да се стабилизира се преминава през критичен период, през който е възможно тя да *загине*. Тази перспектива ни най-малко не го притеснява. Той приема, че живата система постоянно търси *равновесие* в отклоняващите се от него движения на нейните елементи. Ала дали балансът е винаги постижим и ако не – спокойно ли следва да се приеме леталният изход на живата система, особено ако тя включва човешки същества?

Кели с нетърпение очаква, че след създаването им живите системи ще се „освободят” от човешката опека и ще започват сами да се *досъздават* и саморегулират. Той приветства процеса на бавно, но неуморно „творчество” на огромен брой „биомашини” по метода на пробата и грешката. То е възможно, тъй като според Кели вивисистемите имат „групов интелект” (18), общо „съзнание” (19). Ала тази теза е твърде трудно защитима, а ако отговаря все пак на реалността, тя по-скоро следва да буди тревога, а не възхищение. Това колективно съзнание няма ясен облик, принцип на функциониране, носители и механизми за самоконтрол.

Кели не вижда противоречие в редополагането на твърденията, че живите системи чрез своя „разум” свободно *целеполагат* и същевременно, че в тях е заложен „алгоритъм” за поведение и „обща насока” (21) на движение. Изглежда, че той в крайна сметка се примирява с отказът от преднамереност в действията им, като приема резултатите от тях каквито и да са те. Следствието от този начин на мислене за хората е, че те трябва да се ръководят в живота си от максимата „Каквото и да се случи, все е добре”. Възприемането му ражда примирение с обстоятелствата и готовност за *подчинение* на всеки властник с авторитарна нагласа, който се докопа до властта и е в състояние да налага волята си на хората, претендирайки че защитава интересите им.

Кели приема без да се замисли и обстоятелството, че живите системи се развиват „без предразсъдъци” и „без наставничество” (43), т.е. те не се учат от културното наследство. Ала това означава, че те няма от кого да възприемат и определени *ценностни* предпоставки. Другояче казано, те са безхаберни към *духовните* ценности за сметка на материалните, гарантиращи им оцеляване и експанзия. Това означава, че постиженията на цивилизацията във вивисистемата трябва да се изоставят, да се узакони *разкултуряването* (варваризацията) на хората, които са част от глобалната вивисистема.

Процесът на развитие на живите системи според Кели е *безсубектен*. Той не подлежи на контрол от страна на хората. Според него, живите системи имат право на „съпротива срещу контрола на човека” (42). Резултатът от това хаотично движение на живите системи е отказ от *свободната воля* на хората, които са част от тях. А следователно и бягство от поемане на *отговорност* както за човешките дела, така и за състоянието на света. Разтворен във вивисистемата и лишен от право целенасочено да ѝ влияе след като веднъж я е създал, човекът губи стойност. Той се *обезличава* – в тази жива система няма място за личности. Според Кели, вивисистемата е „разпределено същество” без индивидуална „идентичност”: „никоя част не може да каже „Аз съм Азът” (42). Това означава, че една от основополагащите ценности на „западната” цивилизация – *оличностяването*, с лекота се отхвърля. Човешките индивиди се разтварят в масата от себеподобни, самата представляваща част от по-сложната вивисистема.

Кели смята, че заради адаптирането си живата система може така да се преподреди, че индивидите да се *жертват* заради нейното благоденствие. Той без задръжки заявява, че „отделните единици нямат значение” (37), тъй като „това, което „живее вечно” е колективният, сумарен живот на общността” (189). Кели спокойно приема липсата на гаранции, че хората ще оцелеят – техните изкуствени „рожби” могат без угризения да ги *унищожат* в името на благоденствието на вивисистемата. На всеки живял във времената на „реалния социализъм” тази мисловна фигура е добре позната, макар тогава официалната идеология да оправдаваше жертването на отделните човешки индивиди с благополучието не на „жива”, а на „социална” система.

Според Кели „разумът на рояка” (45) следва собствена „антиинтуитивна” *логика* на мрежите, която отделните човешки индивиди не разбират. Те и не бива да търсят *обяснение* какво и защо се случва, а с него и смисълът на ставащото. На тях следва да им е достатъчно *описанието* на събитията: къде, кога, как, кой, колко. Според Кели хората трябва да приемат „бъркотията на живота” (41). Той твърди, че „ако струпате живот на едно място и после му предоставите достатъчно свобода, за да култивира условията, нужни за неговото процъфтяване, той ще продължи вечно и не е нужно човек да разбира как се е получило” (198). Възниква обаче питането дали човекът ще продължи да е такъв ако престане да *проумява* случващото се около и с него, или ще се превърне в една от множеството „прости” живи системи, образуващи „сложната” и глобална вивисистема?

Според Кели хората следва да примирят с факта, че „изборът” на поведение се прави от живата система, чието действие е *спонтанно* и не е в предварително определена посока. Грешките и провалите остават без последствия, защото не е ясно кой ги е направил. Индивидите се скриват в масата от себеподобни. Това обаче не е хуманно решение на проблемите за *източникът* и *насоката* на „творческия порив” на живата система. Остава неясен въпросът дали само нуждата от оцеляване и приспособяване я тласка или в експанзията си тя все пак има своя *ръководител*. Кели загатва, че „стадото” се нуждае от „пастир”, който да го подтиква да върви в дадена посока. Някаква „невидима ръка” (42) го тласка към желания от неафиширания водач резултат, който за целта *манипулира* естествените склонности на хората. Пита се обаче кой ще да е този лидер и откъде произтича правото му да изпълнява тази роля.

Категоризиране и оценка на неовитализма

Неовитализмът представлява картина на света от *смесен* вид. Той представлява опит за надмогване на някои от традиционните деления на светогледите по осите *монизъм – плурализъм*, *холизъм – партикуларизъм*, *хомогенност – хетерогенност*. По отношение на други ключови разграничения неговите представители дават явно предпочитание на една от противостоящите си позиции: те са несъмнени поддръжници на *динамичния* възглед за функционирането на света и категорично отхвърлят схващането за постоянството в устройството и поведението му; ясно се противопоставят на вертикалното устройство на действителността за сметка на *хоризонталното*. Неовиталистите не полагат в основата на своя светоглед някакъв абсолют, т.е. безотносителна към конкретни условия реалност, която действа винаги по един и същи начин. Мислещите в тази парадигма автори акцентират върху зависимостта от определени обстоятелства на живото битие, вкл. човешкото, т.е. изповядват неприкрит мисловен *релативизъм*. Те предлагат и преход към еклектично разбиране за характера на връзката на човека с вселената: тя е едновременно *вътрешна* (органична), т.е. вечна, здрава и неразкъсваема по отношение на цялата жива система, от която той е част, и *външна* (механична), т.е. временна, хлабава и прекъсваема спрямо непосредствено заобикалящите индивида други живи същества. Тази *двойственост* прави съществуването на хората нестабилно, несигурно и непредвидимо, а следователно и постоянно изпълнено с тревоги и страхове.

Според неовиталистите единството и целостта на действителността се осигурява от *живота*, който поглъща в себе си всички нейни форми. Иначе казано, неовитализмът е нов вариант на добре известния от миналото *редукционизъм* като подход към действителността. В случая за модел за устройството и функционирането на всичко съществуващо, вкл. създаденото от хората, се представя живата природа. За разлика от класическия витализъм в неовитализма хората не просто се възхищават на природата и се стремят да не влизат в конфликт с нея, а я *пресъздават* в своите собствени изкуствени творения („живи машини”). Този „самоподдържащ се затворен свят” (192) се състои от „по-сложни същества” (7), които представляват „частично механизъм, частично рояк” (40). Така *конструираната* изкуствена действителност представлява „сбор от много автономни членове” (36), които образуват *съвкупност* от разнородни елементи. Най-важна нейна характеристика е *количеството* – Кели неслучайно набляга върху принципа

„количеството е качество” (44) при устройството и функционирането на вивисистемата. Той обаче пренебрегва факта, че този принцип невинаги е обратим – далеч не всяко качество има количествено изражение. Съществуват битийни проявления и съответните им категориални мисловни изрази, които могат да бъдат определяни само *съдържателно* (качествено), а не формално (количествено). Тяхното пренебрегване прави битийната картина непълна, опростена и едностранчива. Вследствие от нейното възприемане от хората се очаква да действат в един свят, в който стойност имат само *измеримите* неща. Неподлежащите на измерване и изчисление неща се пренебрегват, а това означава, че *духовното* битийно измерение губи ценността си за човешките същества.

Неовитализмът е идеология, имаща за цел подтикване на хората към формиране чрез имитация на вече наличния (заварен) природен свят в неговата *биологична* форма. При неовитализма изграждането на необиологичния свят става по формулата на известния от миналото *деизъм*, при който Бог като създава, „влага семената” и „пуска в движение” своето Творение, като повече не се намесва в хода на неговото развитие. В случая човекът застава на мястото на свръхестествения Творец, който изгражда изкуствена жива система. Хората са призвани първоначално да *създадат* сложни живи системи, а след това да ги *освободят* и сами и да стигнат до „някаква саморазвиваща се хармония” (199). Те поемат ролята на „полубогове”, които изграждат свой „Ноев ковчег”. За разлика от християнския Бог обаче те не са истински творци, доколкото той твори „от нищо”, а те само *преправят* намереното като материал битие: в най-добрия случай хората са сръчни *занаятчии*, които се опитват да му подражават в своята дейност. Хората не притежават и важната му способност на „провидение”, т.е. те нямат предварителни знания за бъдещото съществуване на своите изкуствени екосистеми. Оставят се в ръцете на „рожбите” си, като се отказват да ги *управляват* и насочват. Така „освобождавайки” ги от собствения си контрол създават предпоставки самите те да бъдат „поробени” от тях.

Използването на биотехнологиите като съзидателна сила на необиологичния свят означава и внедряване в него на определен тип *социално* инженерство. За да отговарят на изискванията на глобалната вивисистема хората следва да преустроят своя обществен живот. В него основен става принципът на *оцеляването* чрез приспособяване към непрекъснато променящите се обстоятелства. Успех постигат най-гъвкавите и бързо нагаждащи се към условията индивиди. В така конструираната био-социално-културна реалност няма място за ярки личности, открояващи се сред множеството на еднакво важни индивиди. Тук се действа без задръжки в името на *колективните* интереси на споделената вивисистема, но без да се ограничава егоистичната воля за власт над нейните обитатели.

Успоредно с преизграждането на обществото се предлага и реконструиране на човешките *организми*. От самите хора се очаква да изоставят обичайното си биологично устройство и да го заменят с *хибрид* между живо същество и техническо устройство (киборг), чийто идеал е ефективността. Иначе казано, да се *разчовечат*[8] и да надмогнат природно заложеното си битие, като обединят в себе си както естествени органи, така и изкуствено създадени технически средства. Това означава отписване човешкия род, какъвто го познаваме досега. Чрез „подобряване” на човешкото битие се предизвестява *смъртта* му. Перспектива, която поне у мен поражда ужас, а не ентусиазъм.

Екзистенциалните последици от евентуалното възприемане на бионатурализма от хората с *хуманистична* нагласа ще са тежки[9]. Симбиозата между животно и машина има за следствие загубата на богатството на човешкия дух. „Новият“ човек, представляващ част от сложна вивисистема, може да използва само част от своите ментални сили. В нея някои от ключовите черти на човешката *душевност* като усещания, възприятия и чувства, както и воля се разпространяват върху живата природа от втори порядък. Ала от спектъра на *духовните* способности на „новите хора” следва да отпаднат ключови представители: практическият разум, респ. моралното оценяване и поведение; способността за съждение, т.е. оценяването според естетически ценности; вярата и свързаните с нея надежда, любов и мъдрост. Те стават излишни в новата необиологична цивилизация.

В неовитализма се отхвърля водещата роля на *духовните ценности* в човешкия живот – истина, добро, красота, свобода, справедливост, любов. А следователно и решението на базисния проблем за *смисъла* на човешкото съществуване се предрешава в полза на търсене на материалното благоденствие. На хората се предлага съществуване без планиране и очаквания за бъдещето, т.е. тук и сега. Животът им да бъде фокусиран върху *оцеляването* и *моментното благополучие*, постигано бързо, лесно и удобно. Той много прилича на възхваляваното на Ф. Ницше благоденствие на животните. Разликата между тях и тунингованите хора на бъдещето ще бъде в това, че последните ще са снабдени с мощни *технически* средства. Дали тази перспектива е привлекателна всеки от нас решава сам? За мен не е.

Бележки

1. Повече за борбата между днешните светогледи виж книгата ми *Многоликото битие и новото световъзприятие на съвременния човек*, София: „Парадигма”, 2019.
2. За един от тях – *информатизмът* – елемент в особената светогледна мозайка, която определя съзнанието на съвременните хора виж моя текст „Дали информатизмът е светогледът на бъдещето?“ //сб. *Предизвикателствата на постиндустриалното информационно общество*, София: УИ „ТУ-София”, 2022.
3. От лат. naturalis – естествен. Класическият новоевропейски първообраз на натурализма се основава върху постиженията на *физиката*. Натурфилософията от епохата на Новото време е опит за *умозрително* осмисляне на природата чрез философско обобщение на постиженията на тогавашното опитно-експериментално и математизирано естествознание, създавано по образеца най-вече на механиката, което дава основание тя да бъде определяна не просто като физикалистка, но и *механицистка*.

4. Класическият витализъм (философия на живота) е учение, създадено през XIX век, което поставя в центъра на разглеждане категорията „живот". То стъпва върху убеждението, че представителите на живата и неживата природа са *принципно различни* по състав, начини на функциониране и значимост в света. Живите същества се идеализират, като хората се призовават да съществуват според общите принципи на *живота*, който се обявява за висша ценност.
5. В целия текст по-нататък ще посочвам в скоби страниците, на които се намират приведените от тази книга цитати.
6. Генетическо кодиране признаците на организма чрез синтез от нуклеиновите киселини ДНК и РНК, и на белтъци.
7. Навсякъде курсивът в цитатите е на К. Кели.
8. Повече за симбиозата между човек и машина и следствията от нея виж текста ми „Разчовечаване" //*Известия на ДЧЕС* в МГУ „Св. Иван Рилски", Т. XX, 2020.
9. За протичащата днес дехуманизация виж текста ми „Дехуманизация и образование" //сб. *Проблеми и перспективи на философското образование в България*, Ч. 2, София: УИ „Св. Климент Охридски", 2021.

THE COMPANY CULTURE IN SUPPORT OF THE ENTERPRISES FROM THE MINERAL AND RAW MATERIAL INDUSTRY DURING A CRISIS

Boryana Trifonova

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

ABSTRACT. Company culture is a set of values and beliefs of employees in an organisation in the direction of achieving common goals. Practice has shown that in companies with a clear company culture, the relationship between management and human resources are strong and they can thus overcome any crisis faced. They can even make use of the difficulties to strengthen and for corporate development. A crisis is a time when real values need to be reconsidered. In a complex and unpredictable environment, the companies from the mineral and raw material industry have taken a number of risk management measures in order to preserve the health and efficiency of employees. The purpose of this report is to identify recommendations for establishing and maintaining a high level of corporate culture in enterprises that are important for dealing with crisis challenges.

Key words: company culture, human resources management, mineral and raw material industry, crisis.

ФИРМЕНАТА КУЛТУРА В ПОДКРЕПА НА ПРЕДПРИЯТИЯТА ОТ МИНЕРАЛНО-СУРОВИННАТА ИНДУСТРИЯ ПО ВРЕМЕ НА КРИЗА

Боряна Трифонова

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

РЕЗЮМЕ. Фирмената култура е съвкупност от ценностите и вярванията на работещите в една организация в посока постигане на общите цели. Практиката показва, че предприятията, в които има ясно изразена фирмена култура, връзките между мениджмънта и човешките ресурси са здрави и така те могат да преодоляват всяка появила се криза. Дори могат да използват трудностите за укрепване и фирмено развитие. Кризата е времето, в което трябва да се преосмислят истинските ценности. В сложната и непредвидима обстановка, предприятията от минерално-суровинната индустрия предприеха редица мерки за управление на риска, с цел запазване здравето и работоспособността на служителите. Целта на доклада е да се посочат препоръки за изграждане и поддържане на високо ниво на фирмена култура в тези предприятия, които са от значение за справяне с кризисните предизвикателства.

Ключови думи: фирмена култура, управление на човешки ресурси, минерално-суровинна индустрия, криза.

Въведение

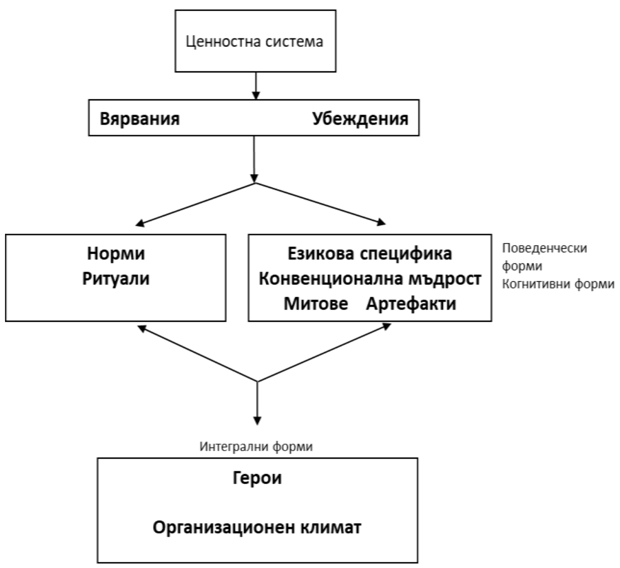
При срещата на всеки един от нас с конкретното предприятие, ние виждаме отличителните му черти и си изграждаме мнение за него. Възприемаме нещата, до които можем да се докоснем – облеклото на служителите, фирмената емблема, логото, обзавеждането на офиса, поведението на служителите. Невидимите, скритите за нас елементи, обаче, са в основата на стабилната, добре работеща и развиваща се организация, която работи с визия за бъдещето. Именно фирмената култура е тази съвкупност от динамичните, в повечето случаи скрити страни на стопанската дейност, като ценности, вярвания, норми, убеждения, оценки, нагласи на работещите в предприятието насочени към постигане на общите цели.

Минерално-суровинният отрасъл има стратегическо значение за икономическата стабилност и енергийна независимост на страната. Но също така, тази индустрия се характеризира със значителни рискове за безопасността за здравето и работоспособността на работещите в нея, въпреки сериозното техническо и технологично обновление през последните години. Гаранция за устойчивото й развитие са нововъведенията и инвестициите в технологии и човешки ресурси. От особено значение при планиране разширяването на минното производство по време на криза, е прогнозиране на печалбата и нейното разпределение (Aleksandrova, Zlatanov, 2008). Минните предприятия често пъти използват отчисления от печалбата за увеличаване на производствените мощности, но част от тях също биха могли да бъдат насочени към мероприятия за повишаване на фирмената култура, обединявайки се около една обща цел – повишаване на ефективността при минимални материални и времеви ресурси. Целта на доклада е да се посочат препоръки за изграждане и поддържане на високо ниво на фирмена култура в тези предприятия, които са от значение за справяне с кризисните предизвикателства.

Значение на фирмената култура за предприятията

Съществуването и развитието на предприятията в съвременното общество се характеризира с нова ценностна ориентация, повсеместно използване на дигиталните технологии, усъвършенстване на управленските методи, ориентация към качествено изпълнение на задачите и постигане на дългосрочни цели. Всичко това е невъзможно без изграждане на сплотен екип от вдъхновени и ангажирани с целите на организацията личности. Възприемането на определена фирмена култура като част от изграждането на ефективните екипи е предпоставка за конкурентоспособността на предприятието.

Фирмената култура стъпва върху възприетите и спазвани от отделните служители в предприятието ценности. Това са материалните и идеални предпоставки на човешката активност и реалната мотивация на развитието. Определени типове ценности, които са специално предназначени да произвеждат развиващи ефекти в дадената организация, могат да бъдат отнесени като „ниша на развитие“ на фирмената култура в тази организация. Служителите, започвайки работен процес, са вече изградени индивиди с различен и уникален светоглед. Те имат своя ценностна система, която ги определя като личности с присъщите им взаимоотношения, присъстваща в живота им като **вярвания** и рационализираща се като **убеждения**. Но когато тези убеждения се свържат с потребностите на индивидите, те стават мотиватори за определен вид тяхно поведение. Културните форми съществуват в две основни направления: поведенческо и когнитивно. Подредени по степен на нарастваща символност, когнитивните форми са: **езикова специфика** (стил, жаргон и споделеност на подразбирането, която може да наречем още и семантичен консенсус); **конвенционална мъдрост** (споделени твърдения, изразявани в сентенции, аксиоми и др.); **митове**; символи-**артефакти**. (Paunov, 2007) Подредени по същата логика, поведенческите форми на фирмената култура са **нормите**, в т.ч. табутата и **ритуалите**, в т.ч. церемониите. Последните форми, които са интегрални и съчетават в себе си и познавателното, и поведенческото начало са **героите** и **организационния климат** (фиг. 1.).



Фиг.1. Форми на фирмената култура (Paunov, 2007)

Ценностите, заедно с вярванията и убежденията, както и културните форми се отнасят за отделното предприятие и за средата, която я заобикаля. Важно е да се изтъкне ролята на мениджърското въздействие при формиране и управляване на фирмената култура. Акцентът е правилното използване на всички комуникационни възможности и канали, с чиято помощ да се засили чувството на идентичност на служителите с организацията, а оттук – и ангажираността им, да се осигури възможност за повече участие на заетите в процеса на вземане на решения на всички равнища и да се генерират идеи за развитие на бизнеса и дейността.

Важните характеристики на фирмената култура, които може да бъдат обобщени са:

- реализира се във взаимоотношенията на субективните и обективните предпоставки за работа;
- тя е средство за изграждане на психофизиологични структури и диспозиции при условията, създадени от трудовите задължения, организационните и социалните фактори;
- предполага съществени възможности за развитие на личността в диалектическа взаимовръзка между човек и фирмена среда, респективно между индивид и общество, при което от особено значение са личната инициатива и творческото начало;
- създаването на фирмената култура е целесъобразна дейност, предназначена за изграждане на определени духовни ценности.

За създаване на фирмена култура ключов момент се оказва формирането на общите цели да се извършва чрез разясняване на стратегическите ценности на организацията и осигуряване на възможност индивидуалните цели да се впишат по някакъв начин в общите цели. Положителна практика в тази насока са различните форми на контакт със служителите – общи събрания, дискусионни групи, бюлетини и др. подобни събирания, при които хората имат възможност да обсъждат проблемите на организацията, да могат да изложат идеите си пред аудитория или най-малко да се почувстват съпричастни към процеса. В днешните необичайни и трудни условия, ръководителите и специалистите по управление на човешките ресурси трябва да бъдат активни и своевременно да предложат на висшия мениджмънт адекватна стратегия и адекватни оперативни мерки за работа с хората. (Ararski, 2021) Практиката показва че предприятията, в които има ясно изразена фирмена култура, връзките между мениджмънта и човешките ресурси са здрави и така те могат да преодоляват всяка появила се криза. Дори могат да използват трудностите за укрепване и фирмено развитие.

Изследване на фирмената култура в минерално-суровинната индустрия

Съществуващата фирмена култура в предприятията включва ефективна стратегия за решаване на проблеми по време на работния процес, като трудови конфликти, технологични трудности, подронен авторитет, накърнен имидж, загуба на ентусиазъм, девалвиране на стимулите, апатия и др. Но надеждността на тази култура се проверява най-вече в критични ситуации – рецесии, растящи загуби, фалит. В такива случаи без съмнение от огромно значение са мениджърските умения, лидерските качества, поливариантността на мениджърското мислене.

Но не по-малко важни са единството, съчувствието и човечността.

Вниманието, което се обръща на фирмената култура, е незначително още в етапите на проектиране на открити или подземни рудници. В повечето случаи се залагат технико-икономически критерии (Aleksandrova, 2007) или софтуерни инструменти, които не отчитат възможността за възникване на кризисни ситуации или пандемични обстановки, оказващи неблагоприятно въздействие върху мотивацията и съпричастността на персонала. Качествените характеристики на тези параметри са трудно прогнозируеми и проектантът или не ги отразява, или залага относителна степен на риск.

От началото на 2022 г. беше проведено анкетно проучване сред големите компании от минерално-суровинната индустрия, на което се отзоваха 14 от предприятията. Проучването е свързано с поведението на тези предприятия в условията на трудни и необичайни условия, каквито налага съвременната криза. Само част от въпросите са насочени към изградената фирмена култура и нейното влияние върху резултатите на тези компании. Те са елемент на анализ в настоящата разработка и повод за даване на препоръки в посока подобряване на конкурентоспособността им.

В изследването се акцентира на определяне на степента, в която фирмената култура влияе върху поведението на индивида в дейността на предприятието. Първият въпрос е: Как бихте оценили информираността на висшия мениджмънт относно това, което се случва дори и на най-ниските организационни нива (таблица 1)?

Таблица 1. *Информираност на висшия мениджмънт*

Как бихте оценили информираността на висшия мениджмънт относно това, което се случва дори и на най-ниските организационни нива?	Брой отговори	Относителен дял %
Отлична	8	57%
Добра	6	43%
Не добра	0	0
Слаба	0	0

В изследваните предприятия се наблюдава изградена система за вертикална комуникация „отдолу-нагоре“, като основната ѝ цел е висшето ръководство да получава точна информация за възникнали проблеми в предприятието. 57% отлична и 43% добра информираност свидетелстват за лидерските качества, добре действащата комуникация, заинтересованост и желание за сътрудничество от страна на мениджърите. Тези елементи предразполагат служителите да споделят това, което им пречи, без да се притесняват от мястото си в йерархията.

Следващият въпрос е: В затруднената обстановка как предпочитате да контактувате със служителите си (може да се посочат повече от един отговор) ? (таблица 2)

Много високият процент – 86% от отговорите са за предпочитаното традиционно общуване в предприятията от минерално-суровинния отрасъл. Явно използването на исторически утвърдените лични комуникации помагат точно да се установят и решат междуличностни конфликти и проблеми и да се генерират идеи за развитие на осъществяваната дейност.

Таблица 2. *Предпочитан информационен канал в предприятията*

В затруднената обстановка как предпочитате да контактувате със служителите си?	Брой отговори	Относителен дял %
Традиционно общуване	12	86%
Делово онлайн общуване	4	29%
Чрез социалните мрежи (може да са на конкретното предприятие)	3	21%

Доказано е, че за ангажираността на служителите е от съществено значение откритата, навременна и честна комуникация, която изгражда доверие в управлението и управленските решения. Все пак, по-малкото използване на дигиталните технологии във време на пандемия ограничава навременността на информацията и затруднява процеса на вземане на правилни и адекватни управленски решения.

Третият въпрос е ориентиран към провежданите мероприятия в предприятията от минерално-суровинния отрасъл с цел насърчаване и задълбочаване на социалните връзки. (таблица 3.)

Таблица 3. *Мероприятия за насърчаване и задълбочаване на социалните връзки*

Има ли практика във Вашето предприятие да се организират мероприятия за насърчаване и задълбочаване на социалните връзки?	Брой отговори	Относителен дял %
Да, всеки месец	10	72%
От време на време	2	14%
Само ако са свързани с работата	2	14%
Няма такава практика	0	0

В по-голямата част от предприятията от отрасъла се организират всеки месец мероприятия под формата на спортни състезания, екскурзии, конкурси, тиймбилдинги, петъчни събирания с колеги, на които присъстват масово служителите. Това е показателно за изградените колективи, екипност, разбирателство между колегите в работата и извън нея.

Важно е да се отбележи изразеното мнение на ръководния персонал относно въпроса: Защо назначените служители се задържат на работа при Вас (може да се посочва повече от един отговор)? (фиг. 2.) Високите проценти са за отговорите: Работата, отговаря на очакванията и Възможност за кариерно развитие, а най-долу в класацията са: Участие в управлението и Откровени комуникации.

Изводите, които се налагат за състоянието на фирмената култура в тези предприятия по модела на Хенди и Харисън (Hristov, 2021) са, че тя спада към Културата на задачите. Характерното за този тип култура е:

- Висока степен на сътрудничество и силно разделение на властта;
- Компании, които работят в бързо променящи се условия;
- Способност на служителите да работят в екип;
- Ориентация към изпълнение на целите;
- Слаб контрол и чести конфликти.

Фиг.2. Причини да се задържат служителите в предприятията от минерално-суровинния отрасъл

Изводи и препоръки към предприятията от минерално-суровинната индустрия

Положителното, което се наблюдава в изследваните предприятия, е изградената система за вертикална комуникация „отдолу-нагоре“, като основната ѝ цел е висшето ръководство да получава точна информация за възникнали проблеми в предприятието. Отличната информираност свидетелства за лидерските качества, добре действащата комуникация, заинтересованост и желание за сътрудничество от страна на мениджърите. В тези предприятия се залага на използването на исторически утвърдените лични комуникации, които помагат точно да се установят и решат междуличностни конфликти и проблеми. Доказано е, че за ангажираността на служителите е от съществено значение откритата, навременна и честна комуникация, която изгражда доверие в управлението и управленските решения. Но по-малкото използване на дигиталните технологии ограничава навременността на информацията и затруднява процеса на вземане на правилни и адекватни управленски решения.

В по-голямата част от предприятията от отрасъла се организират всеки месец мероприятия под формата на спортни състезания, екскурзии, конкурси, тиймбилдинги, петъчни събирания с колеги, на които присъстват масово служителите. Това е показателно за изградените колективи, екипност, разбирателство между колегите в работата и извън нея. Фирмената култура в тях се характеризира с: висока степен на сътрудничество и силно разделение на властта; способност на служителите да работят в екип; ориентация към изпълнение на целите, но слаб контрол и чести конфликти.

Препоръките, които могат да бъдат дадени на ръководствата на тези предприятия са в посока на по-широко използване на дигиталните технологии в ежедневната работа, възможност за установяване на личния принос на всеки един от екипа и зачитане на този принос. За повсеместното осъществяване на контрол е необходимо да се обърне внимание на откровените комуникации със служителите, както и да им се дават повече възможности за участие в управлението. Ориентацията на мениджмънта към отключване потенциала на служителите, насърчаване на креативността им, ще доведе до повишаване производителността на труда и представянето на бизнеса на пазара.

Заключение

Предприятията от минерално-суровинния отрасъл днес имат все по-голямо значение за устойчивостта на обществото. Уроците на кризата, които трябва да следваме са, че обществото изисква много по-голяма ангажираност и сплотеност, както и отговорност. За преодоляване на трудностите е необходимо повишаване на фирмената култура чрез преосмисляне на истинските ценности и критерии във взаимоотношенията. Необходимо е разгръщането на вътрешнофирмения процес на организационно развитие, който чрез система от квалификационни и стимулиращи мероприятия да доведе до усъвършенстване на управлението на човешките ресурси в тези предприятия.

Литература

Aleksandrova, E., P. Zlatanov, 2008. Planirane na razshiryavaneto na minnoto proizvodstvo po metoda na dinamichnoto optimizirane. – *International scientific conference "Science in the context of globalization", Kardjali, 3, Part 2*, 332-336, (in Bulgarian with English abstract)

Aleksandrova, E. 2007. Iconomiceski podhod pri proektirane na rudnizi. – *International scientific conference "The Challenges for Science in Relation to Bulgaria's EU Membership"*, Stara Zagora, 45-51, (in Bulgarian with English abstract)

Ararski, V. 2021. Covid I upravlenieto na horata v organizaciata. https://alphaquality.org/covid19/Covid-i-upravlenieto-na-horata-v-organizaciata (in Bulgarian)

Hristov, T. 2021. Model za organizatsionna kultura na Hendi i Harisyn.https://www.novavizia.com/model-za-organizatsionna-kultura-na-hendi-i-harisyn/ (in Bulgarian)

Paunov, M. 2007. *Organizatsionna kultura*, UIzd. Stopanstvo, 193 p. (in Bulgarian)

OPPORTUNITIES FOR THE ACQUISITION OF A COACHING QUALIFICATION IN SPORTS FOR GRADUATES OF THE UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY “ST. IVAN RILSKI”

Vanya Tzolova[1], Bisser Tzolov[2]

[1]University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, e-mail: vania_tzolova@abv.bg
[2]National Sports Academy „Vassil Levski“, 1700 Sofia, e-mail: bissertz@abv.bg

ABSTRACT: The dynamic changes in the labour market increasingly require for people to reorient themselves professionally with the acquisition of a new professional qualification. Such reorientation is also observed in sports, where people with professions from different areas of public life seek realisation as coaches, teachers, managers, animators etc. And this is largely prompted by the high socio-economic importance of sports in the modern world, including by the numerous opportunities for employment and good income it offers.

Previous publications have considered the possibilities for acquiring a sports professional qualification in the conditions of higher (including post-graduate) education. Greater attention was then paid to the teaching qualification in physical education. Due to the importance of the issue, its social and educational significance, this publication aims to enrich the analysis by clarifying in detail the possibilities for obtaining a coaching qualification in sports for graduates ~~from~~ of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski”. The issue is considered not only from an educational, but also from a labour and professional, as well as legal and normative point of view. The publication pays special attention to the curricula and syllabi provided for training in this profession by the Centre for Post-Graduate Qualification at the National Sports Academy "V. Levski”.

Keywords: employment, professional qualification, coaching qualification, postgraduate qualification, specialisations, courses, curricula and syllabi

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ТРЕНЬОРСКА КВАЛИФИКАЦИЯ В СПОРТА ОТ ЗАВЪРШИЛИ МГУ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

Ваня Цолова[1], Бисер Цолов[2]
[1]Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София
[2]Национална спортна академия „Васил Левски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ: Динамичните промени на трудовия пазар все по-често налагат хората да се преориентират професионално с придобиването на нова професионална квалификация. Такова преориентиране се забелязва и в спорта, където лица с професии от различни области на обществения живот търсят реализация като треньори, учители, мениджъри, аниматори и др. И това в най-голяма степен е продиктувано от високата социално-икономическа значимост на спорта в съвременния свят, в т.ч. от многобройните възможности, които той предлага за трудова реализация и добри доходи.

В предишни публикации бяха разгледани възможностите за придобиване на спортна професионална квалификация в условията на висше (вкл. следдипломно) образование. По-голямо внимание тогава бе отделено на учителската квалификация по физическо възпитание. Поради важността на проблема, неговата социална и образователна значимост настоящата публикация има за цел да обогати анализа, като бъдат изяснени подробно възможностите за придобиване на треньорска квалификация по вид спорт от завършили МГУ „Св. Иван Рилски“. Проблемът е разгледан не само от образователна, но и от трудово-професионална и законово-нормативна гледна точка. В публикацията е обърнато специално внимание на учебните планове и програми, които предоставя Центърът за следдипломна квалификация в НСА „В. Левски“ за обучение в тази професия.

Ключови думи: трудова реализация, професионална квалификация, треньорска квалификация, следдипломно обучение, специализации, курсове, учебни планове и програми

Въведение

Интензивните социално-икономически процеси в съвременния глобален свят поставят все по-високи изисквания пред хората относно трудовата им реализация. Динамичните промени на трудовия пазар често налагат те да допълват или изцяло да сменят своята професия, което би се осъществило трудно, без преди това в условията на образователен процес да са придобили допълнителна или нова професионална квалификация. Такова професионално преориентиране все по-често се забелязва и в спорта, т.е. лица с професии в областта на икономиката, архитектурата, правото, инженерните и компютърните технологии и пр. търсят реализация в спорта като треньори, учители, мениджъри, аниматори и др. И това в най-голяма степен е продиктувано от високата социално-икономическа значимост на спорта, в т.ч. от многобройните възможности, които той предлага за трудова реализация и добри доходи.

В предишни публикации (Цолов и Цолова, 2016; Tzolov, Gavrilov and Tzolova, 2017; Tzolova, 2017; Tzolov and Tzolova, 2018) са разгледани възможностите за придобиване на спортна професионална квалификация в условията на висше (вкл. висше следдипломно) образование. По-голямо внимание бе отделено на учителската квалификация по физическо възпитание, както и на спортномениджърската.

Цел и анализ

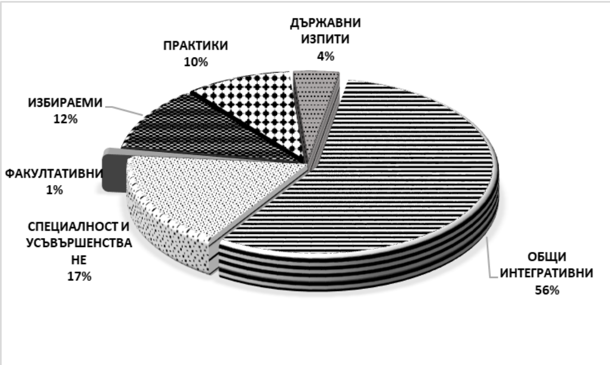
Поради важността на проблема, неговата социална и образователна значимост и проявения интерес си поставихме за **цел** да обогатим анализа от предходните ни публикации, като разгледаме подробно възможностите за придобиване на треньорска квалификация по вид спорт от завършили МГУ „Св. Иван Рилски“.

Разглеждаме проблема не само от образователна, но и от трудово-професионална и законово-нормативна гледна точка през призмата на няколко основни нормативни документа, които имат пряко отношение към квалификацията в спорта – Закон за висше образование (ЗВО), Закон за професионално образование и обучение, Закон за физическото възпитание и спорта, Национален класификатор на професиите и длъжностите в България и Наредба № 1/04.02.2019 г. за треньорските кадри на ММС.

Преди да изясним възможностите за придобиване на треньорска квалификация, нека поясним, че специализираният нормативен акт, който регламентира професията, е именно Наредба №1/04.02.2019 г. Тя категоризира треньорските длъжности в пет нива, съответно инструктор, помощник-треньор, треньор, старши треньор и главен треньор. Първите две са за лица със средно образование, а следващите три – за лица с висше образование, като за главен треньор се изисква и магистърска степен.

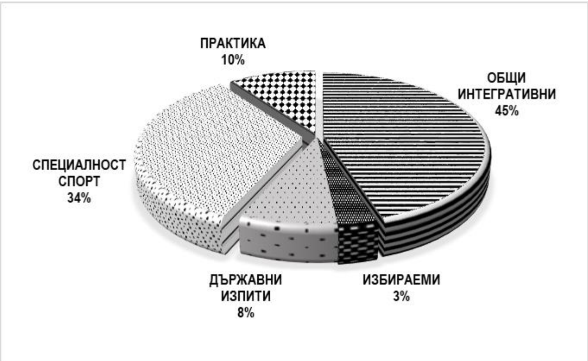
Що се отнася до длъжностите „инструктор“ и „помощник-треньор“, то придобиването им става в съответствие със Закона за професионалното образование и обучение и отговарящите на тях степени на професионална квалификация. В закона са регламентирани субектите (институциите), които имат право да осъществяват квалификацията – професионални колежи за IV степен, центрове за професионално обучение за III степен на професионална квалификация, както и спортни училища. За придобиването на квалификации по този закон, освен лицата от системата на средното образование могат да се обучават и такива, които имат висше образование. С оглед на по-високия си образователен ценз и в съответствие с изискванията на Наредба № 1 на ММС, обаче, имащите висше образование е по-добре да се насочат за придобиване на треньорска квалификация в съответствие с изискванията на Закона за висше образование. Именно в тази посока ще разясним какви възможности има за завършилите МГУ „Св. Иван Рилски“ да придобият треньорска квалификация или правоспособност за трудова реализация в спорта.

Възможностите в тази посока са четири. Първата е свързана с обучение в бакалавърска степен в НСА „В. Левски“. Практически това е придобиване на второ висше образование, което в конкретния случай може да бъде само в платена форма. Академията предоставя възможност за бакалавърско треньорско обучение по 69 вида спорт плюс още 4 – „Треньор по кондиционна подготовка“, „Треньор по бойно-приложна физическа подготовка и охранител“, „Треньор по бойно-приложна физическа подготовка в БА и МВР“ и „Треньор по адаптирана физическа активност и спорт“. Обучението може да бъде в редовна или задочна форма с продължителност съответно от 4 години или 5 години. Учебният план, по който се извършва обучението, е с хорариум от 243 ECTS или 7290 учебни часа, от които 3404 часа са аудиторна заетост и 3886 – самостоятелна работа. Учебните дисциплини са структурирани в 4 блока (фиг. 1): 1. Задължителни, включващи дисциплини, отразяващи общото интегративно спортно знание, специалността по вид спорт, усъвършенстването по специалността и практиките с общ хорариум от 202 ECTS. 2. Избираеми теоретични дисциплини с хорариум от 11 ECTS. 3. Избираеми практически дисциплини с хорариум от 17 ECTS и 4. Факултативни дисциплини с хорариум от 3 ECTS. За подготовката на държавните изпити са предвидени 10 ECTS самостоятелна работа. След успешното завършване на курса на обучение лицата получават квалификацията „Треньор по вид спорт“ или съответно „Треньор“ по изброените допълнително четири други вида физическа активност.



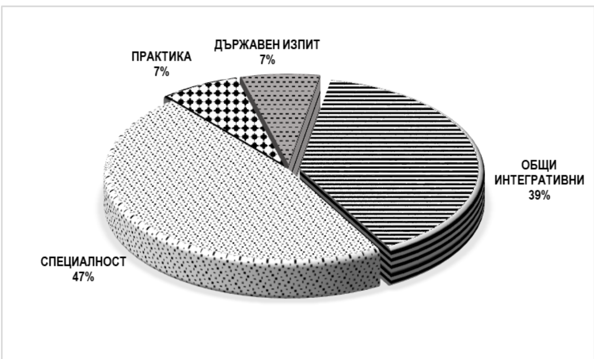
Фиг. 1. Структура на учебния план за придобиване на треньорска квалификация в ОКС „бакалавър“

Втората и значително по-подходяща възможност за придобиване на треньорска квалификация от завършили МГУ „Св. Ив. Рилски“, а това се отнася и за завършили други университети, е по линия на следдипломното обучение в НСА „В. Левски“. Този вид обучение се явява съществен елемент от системата за подготовка и квалификация на кадри в областта на физическото възпитание, спорта, кинезитерапията и на свързаните с тях дейности. Възможността е продиктувана както от законовата уредба в системата на висшето образование, така и от факта, че Спортната академия има акредитация не само в професионално направление 7.6. Спорт, но и в 1.3. „Педагогика на обучението по …. (физическо възпитание)“, 7.4. „Обществено здраве“ и 7.5. „Здравни грижи“. Структурата в НСА, която провежда това обучение, е Центърът за следдипломна квалификация (ЦСДК), който е специализирано учебно-научно звено. Той се ръководи от хабилитирано лице и в него има учебно-научен съвет, който обсъжда и приема учебни планове и програми, учебни помагала, теми на учебно-научни разработки и други материали. Обучението с най-голям дял в ЦСДК е именно това за треньорската квалификация, което може да се осъществи по над 60 вида спорт. Съобразно ЗВО, правилника и учебната документация в ЦСДК квалификацията може да бъде придобита от лица, притежаващи висше образование или такива, които в хода на специализацията ще придобият висше образование (ОКС „бакалавър“). Обучението по различните видове спорт е с продължителност 18 месеца (3 семестъра), провежда се в задочна форма по специализиран учебен план с хорариум от 60 ECTS (1800 академични часа). Учебният план включва 19 дисциплини, условно структурирани в три блока: 1. Общи интегративни дисциплини, 2. Специалност по вида спорт и практика, 3. Избираеми дисциплини. За държавните изпити (теоретичен и практически) са предвидени 5 ECTS самостоятелна работа (фиг. 2). След успешното завършване на специализацията съответното лице получава Свидетелство за професионална квалификация „Треньор по вид спорт“, с което може да се регистрира в Регистъра на треньорските кадри в ММС на длъжност „треньор“.



Фиг. 2. Структура на учебния план за придобиване на треньорска квалификация в ЦСДК

Тук може да допълним, че в ЦСДК всички желаещи, притежаващи висше или средно образование, могат да се обучават краткосрочно с продължителност около три месеца за придобиване на правоспособност за най-ниската длъжност „Инструктор“. Хорариумът на обучението е от 15 ECTS или 450 учебни часа, от които 220 аудиторни. Структурата на учебния план е отразена на фиг. 3, като той включва 9 дисциплини и 1 комплексен държавен изпит, съчетаващ теория и практика.



Фиг. 3. Структура на учебния план за придобиване на правоспособност за „инструктор“ в ЦСДК

Четвъртата възможност се изразява в придобиване на правоспособност, съобразно изискванията на Наредба № 1 за длъжността „Помощник-треньор по вид спорт“, а не в придобиване на професионална квалификация. Тази възможност е регламентирана в чл. 7, ал. 2, т. 4 на същата наредба, където е указано, че сред минималните изисквания за заемане на длъжността „Помощник-треньор“ е съответното лице да има „завършено висше образование с образователно-квалификационна степен „бакалавър“ и придобита образователно-квалификационна степен „магистър“ по вида спорт“. Тъй като обучението в ОКС „магистър“ по вид спорт в НСА не дава професия, то на практика чрез него се дава възможност на бакалаври от други висши училища, респективно от МГУ „Св. Ив. Рилски“, да практикуват като помощник-треньори. Обучението за тези лица е в рамките на три семестъра. В първия, или в т.нар. семестър „Допълнително обучение“, те се запознават с базовото спортнопедагогическо и медико-биологично знание, след което се включват в двата основни семестъра, които са с общ хорариум от 60 ETCS.

Заключение

Възможностите за професионална треньорска реализация пред завършилите МГУ „Св. Ив. Рилски“, което се отнася и за дипломирани в други висши училища, минават през участие в специализиран образователен процес, лидер за провеждането на който е НСА „В. Левски“. Две са образователните направления в Спортната академията за придобиване на професионална квалификация „Треньор по вид спорт“ и две са тези, които предоставят възможност за придобиване на правоспособност за длъжностите „Помощник-треньор“ и „Инструктор“. Практиката в НСА показва, че по-предпочитани от висшистите са обученията (специализациите и курсовете) в ЦСДК, които се провеждат в задочна форма. Обучението се извършва чрез широка гама от методи и средства, които включват лекции, семинарни упражнения, консултации, дискусии, модерни презентации, стажантски практики и др. Интересът към обученията в ЦСДК е много голям, като всяка година от над 1000 обучаващи се около половината се включват в треньорски специализации и курсове.

Литература

Tzolov B., V. Gavrilov, V. Tzolova. 2017. Increasing of the quality of higher education in sports, *SCIENCE, Engineering & Education. – Sofia: Univ. of Chem. Technology and Metallurgy, 2 (1)*, 135-138.

Tzolova V. 2017. Opportunities for Acquiring a Teaching Qualification for Physical Education and for Continuing Education, – *Journal of Mining and Geological Sciences. part IV. Humanitarian and Economics Sciences. Univ. of Mining of Geology “St. Ivan Rilski”, Vol. 60*, 71-73

Tzolov B., V. Tzolova. 2018. Postgraduate Studies at NSA “V. Levski” as an Opportunity for Vocational Qualification and Carreer Development. *Journal of Mining and Geological Sciences. part IV. Humanitarian and Economics Sciences. Univ. of Mining of Geology “St. Ivan Rilski”, Vol. 61*, 41-44.

Закон за висшето образование, актуализация 2022.

Закон за професионалното образование и обучение, актуализация 2018.

Закон за физическото възпитание и спорта, 2019.

Национален класификатор на професиите и длъжностите в България, 2011.

Наредба № 1/04.02.2019 за треньорските кадри на ММС.

Правилник за устройството и дейността на ЦСДК при НСА „В. Левски“, 2015.

Цолов, Б., В. Цолова. 2016. Алтернативи за следдипломно обучение в спорта. – *Сп. Известия*, 26-29.

SCIENTIFIC AND PSYCHOLOGICAL APPROACH IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING AT TECHNICAL UNIVERSITIES

Perihan Yusein

University of Mining and Geology ”St. Ivan Rilski“ - Sofia, Kardzhali Branch; 6600 Kardzhali, perihan.yusein@abv.bg

ABSTRACT: Teaching English in technical universities has peculiarities in terms of vocabulary, grammar, needed and developed skills due to the originality of the goals, tasks, content, forms, and methods of the learning process. Studying English for specific purposes and mastering skills for professional communication exert influence on the content of the studied matter and the structure of the teaching process. The purpose of this article is to outline the specific features of scientific and psychological approach of teaching English to technical students. This publication refers to the psychological aspect in foreign language teaching for students in engineering courses of studies and aims to describe the procedure of teaching English using scientific approach. Considering the characteristics of students, we can effectively develop their cognitive activity.

Keywords*:* scientific and psychological approach, language skills, English for specific purposes

НАУЧЕН И ПСИХОЛОГИЧЕСКИ ПОДХОД В ПРЕПОДАВАНЕТО НА ЧУЖД ЕЗИК В ТЕХНИЧЕСКИТЕ УНИВЕРСИТЕТИ

Перихан Юсеин
Минно-геоложки университет ”Св. Иван Рилски“ - София, Филиал Кърджали, 6600 Кърджали

РЕЗЮМЕ. Обучението по английски език в техническите университети има особености по отношение на лексиката, граматиката и необходимите умения поради оригиналността на целите, задачите, съдържанието, формите и методите на учебния процес. Изучаването на английски език за специални цели и овладяването на умения за професионална комуникация оказват влияние върху съдържанието на изучавания материал и структурата на учебния процес. Целта на тази статия е да изтъкне спецификите на научно-психологическия подход при преподаването на английски език на студенти по технически науки. Тази публикация се отнася до психологическия аспект в обучението по чужд език за студенти от инженерни специалности и има за цел да опише методите на преподаване на английски език с помощта на научен подход. Отчитайки особеностите на студентите, можем ефективно да развиваме тяхната познавателна дейност.

Ключови думи: научен и психологически подход, езикови умения, английски за специални цели

Introduction

The role of English in the field of mining engineering, science, business, and information technology is ever increasing. The English language performs the function of education, self-education and communication. Students are interested mainly in the practical use of language as an efficient tool for becoming competent in view of the modern labour market. In this respect, university education should prepare students capable of working in a real professional environment. Socio-economic conditions require future engineer qualities as sociability, willingness to adapt to change working area, and entrepreneurship.

The scientific approach (Creswell, 2003) in foreign language teaching is based on the selection of authentic readings that are interesting and relevant at the right level for students. They must be related to activities and materials that highlight specific discourse features to facilitate comprehension of the specialised texts. These supporting materials and activities build on students' existing language and content knowledge.

Another approach very suitable for developing students' ability to speak English in specific business and professional field is the psychological approach. This approach to English language teaching must be closely connected with the culture-oriented method (Halskov, 2000), taking into account the characteristics of professional thinking in different situations. The learners need to know what is appropriate for the target environment. Their attention should be drawn to switching, high level of concentration, visual memory, high speed, and accuracy of operations (Winter, 2016). Strengthening of cognition motivation, responsibility, awareness, independence, and critical attitude are also necessary for them. The development of mental abilities – the ability to abstract, to make generalisations, theoretical thinking, and decision making are important for the students of engineering specialties. In the teaching process, a teacher acts not only as a foreign language specialist, but also as an expert in the possibilities and technologies of intercultural learning.

Research Methods

This research is a descriptive qualitative research. It is aimed to describe the implementation of scientific and psychological approach in English language teaching in technical universities. The current study used techniques for collecting data obtained through the observation of teaching-learning process and lesson plan and it consists of information concerning the mode and difficulties on teaching-learning process, and the perception of an English teacher in applying the scientific and psychological approach, based on curriculum 2021/2022.

A description of the personality of a university lecturer includes initiativeness and creativity. An English language teacher should have knowledge of their speciality, love their job and students, and solve professional tasks quickly and with excellent results. A teacher must also be competent from a psychological point of view in order to properly organise the educational process, and must have the necessary personal and professional qualities. There are a lot of approaches (Hutchinson and Waters, 1986): classical, like the transfer of knowledge and skills, and innovative – implementing a comfortable, creatively organised environment for training.

Findings and Discussion

Research findings include the information found during observation of teaching-learning process. The procedures in applying a scientific approach are observing, questioning, experimenting, associating and communicating. They are core concepts of the scientific approach. These procedures are possibly influenced by attended professional development and teaching competence. They consist of:

Observing: Making conversation with students related to the recent studied material and writing some dialogues or sentences;

Questioning: Asking the students to make questions related with the studied lesson;

Experimenting: Dividing students into two groups and each group has to find out the rules for changing active voice to passive voice;

Associating: Asking the students to work in groups to analyse passive voice expressions;

Communicating: Asking students to present their result of discussion.

In point of view and perceptions of the teachers, the scientific approach is an approach that integrates students' skills, attitude, and knowledge by implementing observing, questioning, experimenting, associating, and communicating in the teaching-learning process. This means that teachers have good understanding of what the scientific approach is.

It was observed that in the first phase – questioning, the teachers had difficulty in asking students to create questions. In the second phase – experimenting, the teachers had difficulty in motivating the students to work independently. In the next phase-associating, the teachers found it hard to invite the students to analyse the studied matter. In the motivating phase the students present their work in English. The students are shy, quiet and passive. There are several factors posing difficulties to the teacher in implementing a scientific approach: the students' inability in analysing the material, the students' difficulty in finding the answers, the students' lack of vocabulary mastery and the students' lack of critical thinking. It is not easy to understand the reason for these difficulties. It is possible that the students' previous education was still influenced by the teacher-centred method. Also, maybe students are still influenced by the English teaching method (Rogova et al., 2017) focusing on reading comprehension and structure aspects. It is true that environment surrounding does not allow students to practice English and they do not have friends to talk to in English.

The solutions which can be used to solve the problem in applying scientific approach in teaching English are:

In the observing step: Asking the students to observe and identify the objects of observation.

In the questioning step: Giving opportunities to ask and promoting the motivation of the students to make them more active. Giving time and facilitating students to find the information related to the lesson.

During experimenting: Giving the students some stimulating questions and examples related to the recent material.

In associating: Asking the students to compare the materials related to the recent material.

In communicating: Translating the students' missing word or sentences and giving them the correct words or sentences while they speak out the wrong words. Asking the students to discuss the information that was received in the group discussion and designing the discussion result.

The factors influencing teachers' perception can be due to the situation, the students' ability, personal experience, experience with formal knowledge of both school subjects and pedagogical experience with schooling and instruction.

The teacher's perception shows an approach to teaching process using affective, cognitive, and psychomotor abilities with strategy used is contextual learning-problem based learning, project-based learning, inquiry learning, and discovery learning. The expectations are that the teaching process will produce the creative, innovative, effective, and productive students by strengthening integrated knowledge, skills, and attitude.

The scientific approach is based on the selection of authentic readings that are relevant, interesting, and at the right level for the student, in connection with activities and material that highlight specific rhetorical and discourse features in order to facilitate comprehension of the specialised texts.

Before designing a course, producing a syllabus, and starting teaching, it is important to conduct a needs analysis – determining to what extent, in what ways, and for what purposes students will use English in their university program and later in their jobs. Data for need analysis can be collected from current students, university faculty, graduates, and survey in the discourse of the specific course units. Assessment of the needs of students also can be derived from common sense and experience acquired in the classroom. My colleagues in technical disciplines informed me that students need to use English specifically for reading research in their final year (when they prepare their diploma thesis) and for using technical documentation. Potential employers of our students are interested in their English ability to read and understand technical instructions. The special way is the information to be selected, organised, and presented in writing for communication and understanding among engineers and scientists. These rhetorical elements permit the students to read and understand the content of texts specific to various subjects. Specialised terminology and vocabulary are also connected with the scientific approach. My mode of teaching entails comprehension of the text content through interactive learning tasks and responses to comprehension questions. I make instructional objectives clear through the reading assignment. The reading topics must be highly interesting, important, and up-to-date, including cutting-edge research that does not yet appear in students' engineering coursework. The aim of the engineering English course is to develop students' reading skills for comprehension of science, technology, and engineering materials. My goal is to help students as we work together and advance their knowledge and proficiency in English as it relates to reading comprehension. For a successful engagement with students, ESP teachers should be interested in the subject area and actively seek to learn more about it. They should consult specialists on the subject matter and their confidence will grow as they understand their role, learn more about the subject matter, and work with experts in the field.

At the first class meeting of the semester, students are asked to complete a questionnaire entirely in English about their engineering studies:

- Explain briefly what mining engineering is.
- What are some of the things that mining engineers do?
- What are your particular interests in this field of engineering?
- In what ways is English important to you in your field of engineering?

Students' responses allow the teacher to acquire information about student needs as well as an initial assessment of their level of written English proficiency. Teachers might choose to have the students discuss the questionnaire items and the theme of the lectures in pairs or small groups. The comprehension questions have a strategic purpose, at so early a stage, to convince students of the relevance and value of the course.

Scientific approach emphasises on several elements in English teaching – classification, comparison, cause and effect, exemplification, definition, description, hypothesising, reasoning (deductive, inductive), the statement of research problems, prediction, and reporting (Littlewood, 2017). The students must complete exercise to demonstrate they can identify, understand, and analyse the use of key words. Students can collaborate with a partner and the teacher monitors and facilitates their work.

The core of the English course is the content-specific readings related to mining engineering and the assigned work for those readings. Each week, a simple systematic worksheet exercise connected to a new reading enables students to concentrate on reading the texts while deriving essential meaning from them. One reading in the semester is given as an exercise, in which about 15 important concept words are deleted from a text of about 400 words. Students read the text and fill in the blanks with the most appropriate words. While considering words to fill in the space, students focus their attention on reading strategies and use their general knowledge of engineering to complete the task.

Studying terminological units plays a great role in studying technical English and translating specialised texts. Professional vocabulary mainly occurs in the process of reading specialised texts. These include descriptions of machines, equipment, tools, or technological processes. The lexical material includes multi-word terms consisting of groups of attributes denoting properties and characteristics of objects and phenomena.

We should not forget the diversity of interests and individual needs, objectivity of self-esteem, patience, professional self-improvement, and culture of behaviour. The most important task of the teacher is to develop students' need for self-analysis, self-assessment and self-development. The successful solution requires replacing the abstract learning process with the practical experience of student in real life. The work must be accompanied by computer presentations for the formation of socio-cultural competences. This process is more interesting when the students participate in role-playing games demonstrating and modelling real-life situations (interview, negotiations in business relations) of professional orientation as an integrated feature of the occupation.

Conclusion

University education should train technical students capable of working in the real circumstances of a professional environment. The dominating target of teaching English as a foreign language is the communicative competence. Students advance their scientific literacy when they develop a critical awareness of the specific linguistic conventions that govern their specific fields of study.

The procedures used in teaching English were: observing, questioning, experimenting, associating, and communicating. These five steps are concluded in the scientific approach that strives to raise three domains (cognitive, affective, and psychomotor) and is willing to create productive, innovative, and creative students. The main task is to teach them to cope with the problem of translating simple and compound terms in a professional discourse and choosing language means to make abstracts of special texts. Students are expected to get knowledge of the scientific language style and corresponding language skills.

The main difficulty faced by the teacher in implementing a scientific approach was the students' lack of vocabulary mastery. The basic solution proposed and used by the teacher to overcome the problems in applying a scientific approach was motivating the students to be more active in learning.

The next research can employ a survey using a questionnaire to receive a general pattern from the wider teacher's group.

References

Creswell, J. W. 2003. *Research design qualitative, quantitative and mixed method approaches* (2nd edition) Thousand Oaks. CA: Sage publication.

Halskov, N. D. 2000. *Modern methods of foreign language teaching: a guide for teachers*, Moscow.

Hutchinson, T. A. Waters. 1986. *English for specific purposes: A learning centered approach*. New York, Cambridge University Press.

Littlewood, W. T. 2017. *Foreign and second language learning. Language acquisition research and its implications for the classroom*, Cambridge University Press.

Rogova, G. V., F. M. Rabinovich, T. E. Sakharova. 2017. *Methods of teaching foreign languages in high School*, Moscow.

Winter, I. A. 2016. *Psychology of teaching foreign languages at school*, N.Y.

UNIVERSITY OF
MINING AND GEOLOGY
“ST. IVAN RILSKI”