

ГЕОМЕХАНИЧНА ОЦЕНКА НА УЧАСТЪК "ПРОПАДА", РУДНИК "МАЛКО ТЪРНОВО", БУРГАСКИ МЕДНИ МИНИ – ЕАД

Венцислав Иванов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: nis@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Над иззетите участъци на закрития рудник "Пропада" от Малкотърновското рудно поле са настъпили разкъсвания и пропадания на земната повърхност. В близост до най-голямото от тях преминава трасето на международния път. Въз основа на геомеханичния анализ на влиянието на основните фактори – напрегнато състояние, физикомеханични свойства и структурни характеристики на скалите и масива и въздействието на минните работи е оценена геомеханичната устойчивост на системата Вместващ масив/Подземни изработки. Дадени са препоръки за ограничаване развитието на пропадането за минимизиране на влиянието му върху строящия се път.

GEOMECHANICAL ASSESSMENT OF PROPADA SECTION, MALKO TARNOVO MINE, BOURGASKI MEDNI MINI EAD

Ventsislav Ivanov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: nis@mgu.bg

ABSTRACT. Breaks and failures of the ground surface have occurred above the mined area of the abandoned Propada underground mine, Bourgaski Medni Mini EAD. There is a project for building of an international road from Bulgaria to Turkey, passing in the vicinity of the biggest failure. An assessment of the geomechanical stability of the system Host massif/underground workings is made on the basis of analysis of the influence of the basic geomechanical factors – stress state, physical-mechanical and structural properties of the rocks and massif and the effect of extraction.

Recommendations are given for the limitation of failure and minimizing of its influence on the road in building.

Увод

Участък "Пропада" се намира в северната част на Малкотърновското рудно поле. Рудник "Пропада" е подземен, разкрит е с щолня и спяпа вертикална шахта (№1) до хоризонт 170, след което разкриването е продължило с нова спяпа шахта (№2) до хоризонт 40. Експлоатационните хоризонти са 11, разположени през 40 ÷ 50 m. Медно-желязната руда е от скарнов тип руди – магнетитова, магнетит-халкопиритна и халкопирит-борнитова. Рудните тела са стълбообразни, имат сложна форма, съдържат стерилни участъци и са с размери – по посока 90 ÷ 530 m и по наклон 70 ÷ 600 m. Разработването на запасите е извършвано чрез три системи на експлоатация: камерно-стълбова система; система с магазиниране; система с изземване, чрез хоризонтални слоеве и запълване, със сухо скално запълнение.

Участъкът е експлоатиран в периода 1957 – 1994 г. През годините на разработване, от находището са добити 1709,6 хил. t руда със средно съдържание на мед 0,94, или 16070 t метал мед. Рудник "Пропада" е закрит през 1995 г. поради неефективност на добива, изчерпване на запасите и сложни минно-геоложки условия.

Проблем

В резултат от експлоатационната дейност терена, над добивните участъци, е нарушен от разкъсвания и пропадания. Най-голямото от тях е с приблизителна площ

10 dka и дълбочина над 30 m. На фиг. 1 е показана фотография на пропадането над рудно тяло № 1. В близост до него преминава трасето на международния път Малко Търново – Истанбул. Въз основа на важността на новоизграждания инфраструктурен обект, сигнал от кмета на Малко Търново и решения на държавните органи, е възложена направата на представената тук геомеханична оценка.



Фиг. 1 Пропадане над рудно тяло № 1

I. Обобщена характеристика на находище “пропада”

Рудник “Пропада” е в СИ край на контактната зона на т. н. Малкотърновски плутон, внедрен в нискометаморфни карбонатни и карбонатно-теригенни скали. Малкотърновският интрузив е сложно, съставно тяло, образувано от неколккратно внедряване на диференцирани магми [1, 2]. Интрузивните наставки, шест на брой [2], са представени хронологически от габросиенити, диорити и кварц-диорити (в СЗ част). Четвъртата и петата наставка са изградени от гранити и гранитпорфири (в южната му част). В шестата наставка са внедрени дайкоподобни тела, разпространени в ЮИ част на интрузива [3]. Основната роля при внедряването на Малкотърновския интрузив е субекваториалното разломяване, проявявало се от север към юг. Реконструкцията на формата на интрузива [2] в проблемния участък го представя като малък шок с изпъкнала на север и издължена в И – З посока дъговидна форма, вложена дискордантно във вместващите го метаморфити.

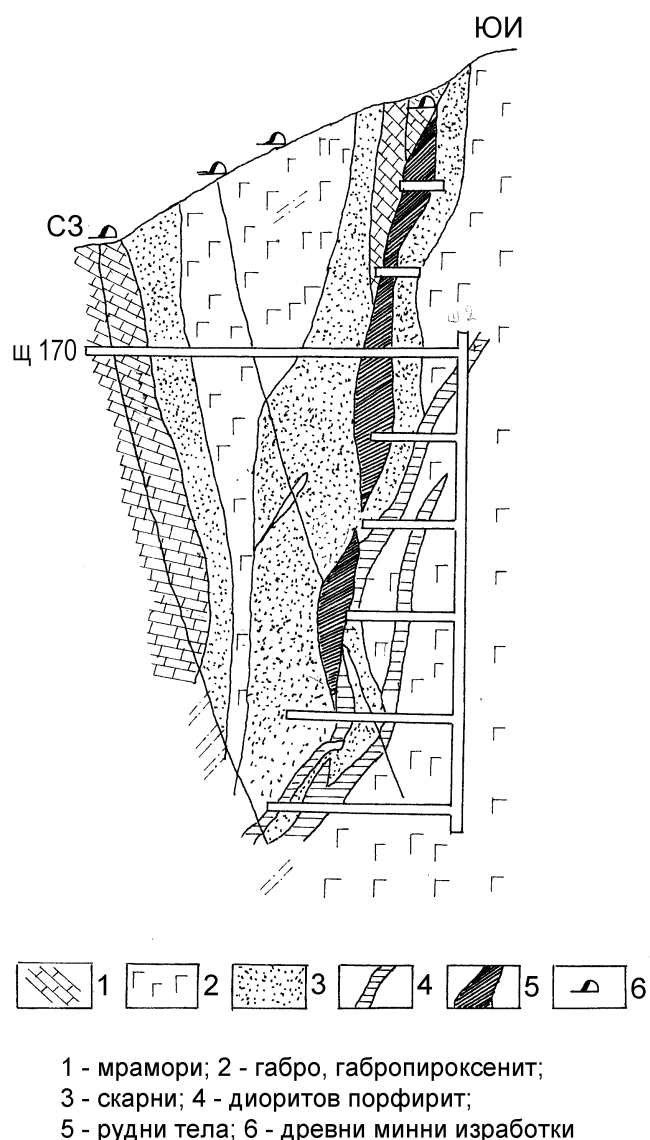
Всички изследователи [2, 14] определят като основен структурен елемент, контролиращ пространственото разпределение на орудяването, контактът на интрузива с вместващите скали. Тъй като вместващите скали са главно мрамори, около шока са развити магнезиеви и калциеви скарни, които със своята пористост са увеличили проницаемостта на контактната зона, при проникването на рудоносните флуиди. Рудообразователният процес приключва през IV – VI етап на образуването на интрузива.

Рудните тела са развити в екзоконтактната зона. Те са стълбообразни, ориентирани субвертикално и успоредно на контакта. Най-голямото рудно тяло (р. т. № 1) е със сложна, неправилна форма и височина около 300 m, дължина 50 – 250 m и изменяща се дебелина от 2 ÷ 45 m. Мощността на рудното тяло е максимална над хоризонти 380 и 413 и в дълбочина намалява. Най-богатите участъци на мед почти съвпадат с участъците с най-голяма мощност, като в дълбочина съдържанието на мед също намалява. В рудно тяло 1 е бил съсредоточен основният добив от находището. Северно от р. т. 1 от кота 170 до кота – 80 са установени още две рудни тела (р. т. №№ 2 и 3). Орудяването в тях е впръснато-прожилково.

Известно е изследване на **напукаността** [2], което е установило четири системи първични пукнатини, характеризирани както следва:

- I^a система – пластови пукнатини, стръмни, гладки и издържани, с честота 2 - 4 пукнатини на линеен метър;
- II^a система – перпендикулярна на система I, по-слабо развита, стръмнозападащи, гладки, издържани и протяжни, с гъстота 2 ÷ 3 на линеен метър;
- III^a система – полегати (10° – 30°) пукнатини с изменяща се посока, с равни стени и гъстота 1÷3 на линеен метър;
- IV^a система – стръмни, издържани по посока и наклон, с интензитет 3 ÷ 4 на линеен метър.

На фигура 2 е показан геоложки разрез на рудната зона.



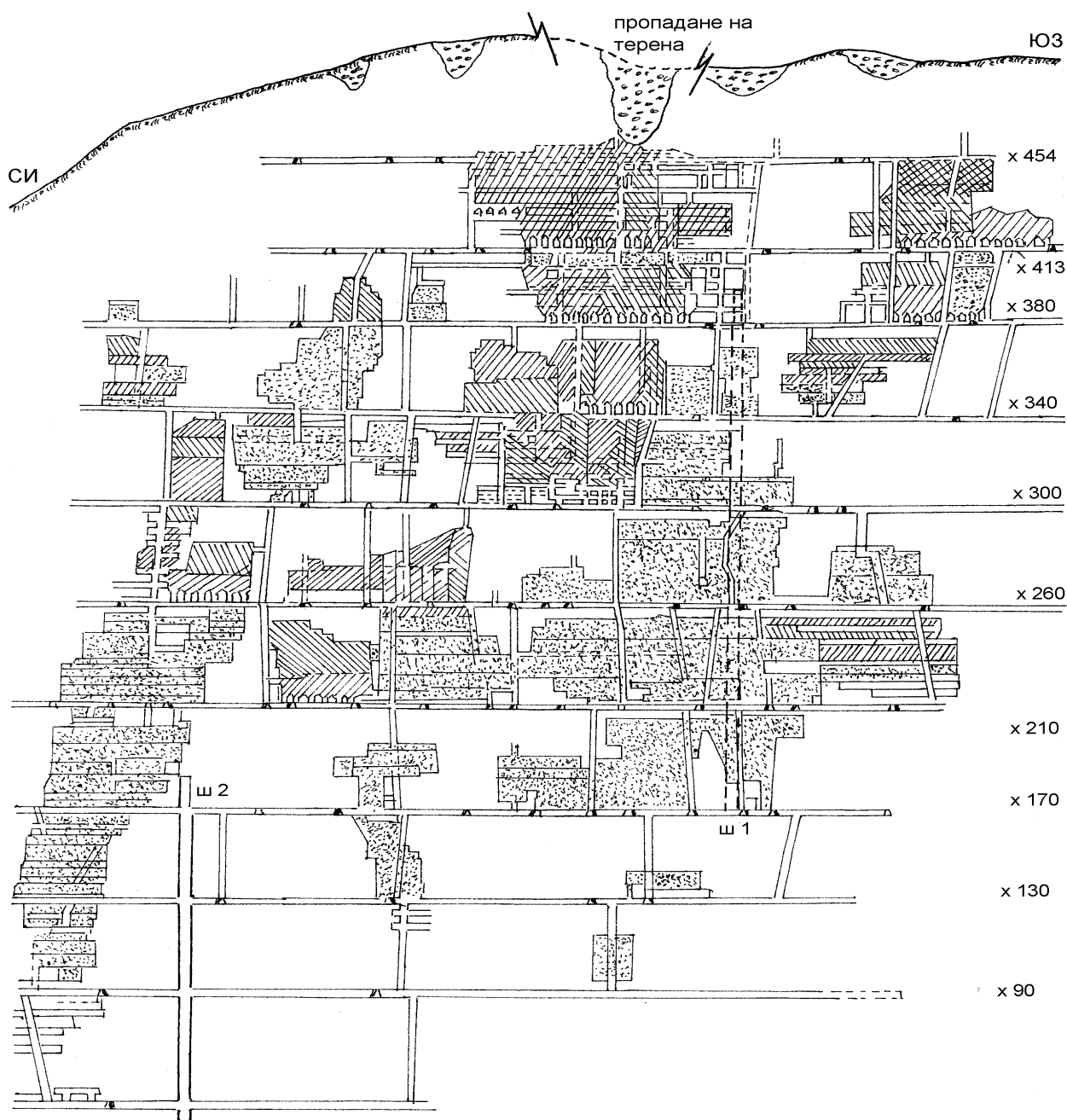
Фиг. 2 Геоложки разрез на участък “Пропада”

Хидрогеоложките условия в находище Пропада се определят като сложни [1]. Установени са три типа подземни води: пукнатинно-грунтови, пукнатинно-жилни и пукнатинно-карстови. Окарстените мрамори съдържат значителни количества подземни води, които са свързани и образуват карстов басейн. Пукнатинно-жилните води са главно в тектонските зони и в повечето случаи се локализируют по контактите (мрамори – скарни, скарни интрузивни тела и скарни – дайки). Различните типове подземни води са в хидравлична връзка и се подхранват от валежи и карстови източници.

Минно-техническите условия, стоежа и свойствата на скалите, типа и условията на залягане на рудните тела са определящи при избора на технологията на добива. От прилаганите системи на разработване – камерно-стълбова система и системите с магазиниране на рудата и слоево изземване със запълнение, основно са прилагани последните две., като съотношението им на приложение в хода на експлоатация се е изменяло както следва:

До хоризонт 210, мащабът на процентно приложение е 9 : 47 : 44 в полза на системата за магазиниране, след него, в дълбочина се прилага системата с изземване на

хоризонтални слоеве и сухо скално запълнение, добивано от вътрешни кариери.



Фиг. 3 Вертикална проекция

II. Характеристика на проблема

Устойчивостта и геомеханичното състояние на масива, нарушен от експлоатацията на залежа, се определя от съвместното въздействие на следните групи фактори:

- Напрегнато-деформирано състояние (НДС), формирано от началното естествено поле на напрежение и индуцираното, вследствие добивните операции, поле на напрежение в масива;
- Физикомеханическите свойства на изграждащите скали, геоложкия строеж и структурните характеристики на масива;
- Технологичните въздействия върху горните групи фактори, определящи НДС на системата "Вместващ

масив/Подземни изработки" (ВМ/ПИ) и нивото ѝ на устойчивост.

При изоставяне на рудника, след закриването му, НДС на системата ВМ/ПИ, е неизвестно. Геомеханичните процеси се определят само от действието на природни, неуправляеми и неизвестни фактори (действащи напрежения, строеж, свойства, характеристики на средата, акумулиране на подземни води, климатични и планетарни явления), развиващи се в техногенно нарушен и разуплътнен (от мрежа сервизни изработки и добивни пространства) вместващ масив. На второ място, обикновено обектът е недостъпен за измервания или изследвания, които биха дали актуална информация за рисковите фактори,

определящи геомеханичната устойчивост на системата ВМ/ПИ. От трета страна, едно параметрично изследване, е отбелязано в [6], изисква богата, многомерна база данни за всеки рудник или участък, за да се води ефективен и екологичен добив или закриване. В повечето случаи се разполага със силно ограничен, несистемен, ниско информативен набор от данни, които затрудняват анализите и решенията.

Изложеното накратко, отразява съвкупността от неопределености на задачата за геомеханичната оценка на НДС на системата ВМ/ПИ, идентификацията и оценката на рисковите фактори, определящи устойчивостта на масива, нарушен от минни изработки.

Основен възможен подход в случая е т. н. "метод на последователните приближения" [7, 8], състоящ се в системен итеративен анализ на всички признаци и факти (и качествени и количествени), по факторите напрегнато състояние, свойства и характеристики на масива и ефектите от технологичните въздействия, упражнявани върху него. На база анализ на безспорни факти – иззети обеми, геометрия и конфигурация на мрежата подземни изработки, разкъсвания и пропадания на терена и др. п.; комбиниран с експертно-аналитични оценки чрез методите на експерименталната геомеханика, е възможно получаването на приблизителни комплексни и надеждни заключения за механизмите на загуба на устойчивост и разрушаване на масива [9, 8].

III. Геомеханична оценка на находище "пропада"

III.1. Напрегнато състояние на скалния масив

Генотипът и разпределението на естественото поле, магнитудите и ориентацията на индуцираните от технологичните операции напрежения, както и резултантното поле на действащите напрежения, могат да бъдат определени само и единствено чрез специални *in situ* измервания. Информация за такъв род изследвания, в предоставената ни и допълнително събрана от нас документация, за "Пропада" няма.

За нуждите на настоящата оценка и характеризиране на напрегнатото състояние на естественото поле в района, допълнително са установени следните признаци:

- Скалният комплекс на находището е изграден от метаморфни и интрузивни скали. Такива участъци от земната кора са характерни с обстоятелството, че в тях действат тектонски напрежения [9];
- Рудното поле е разположено в зона на контрастни движения на земната кора [10, 17], което е установен признак [8] за действието на съвременни тектонски напрежения;
- Регионът се характеризира с определен сеизмичен потенциал [7], който по геоложки и сеизмологични данни е от 4 – 4,5 степен по МШК, което е доказан признак за действащо тектонско напрежение [8].

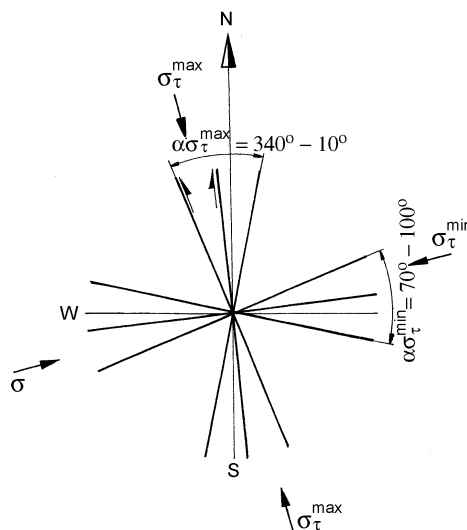
Горните признаци ни дават основание да приемем хипотезата за тектонски генотип на естественото поле в района на находище "Пропада", което означава, че наред с гравитационната, се прогнозира действие на тектонски компоненти на напрежения.

Известно е, че на база геоложка информация са разработени методи за предварителна оценка и определяне на разпределението на естественото поле [13, 9]. Без подробности, ще отбележим, че методите са основани на решаването на обратната задача – по установените разломни нарушения се възстановява полето на тектонските напрежения, обусловило тези нарушения [9].

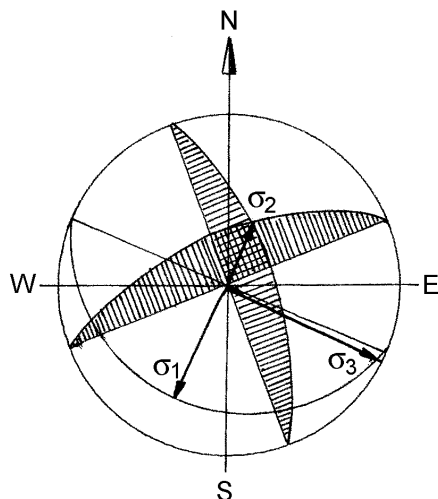
Данни за разпространението на рудоконтролиращите разкъсвания са публикувани в [2, 3]. Въз основа на тях е извършена реконструкция на палеополето в Малкотърновския регион. Получените от нас резултати са следните:

- Максималното натисково тектонско напрежение е със субмеридианна ориентация ($A\sigma_T^{max} = 340^\circ - 355^\circ$) - СЗ – С;
- Минималното натисково тектонско напрежение е в направление СИ – И ($A\sigma_T^{min} = 70^\circ - 85^\circ$);

Полученото разпределение е потвърдено, чрез втора реконструкция, извършена по сеизмологични данни [9, 1], основана на взаимовръзки между направлението на максималния тектонски натиск и разпространението на сеизмоактивните зони [14, 15, 16]. Реконструкцията е извършена по данни за дислокацията на епицентрите с най-висока магнитуда в региона [9]. Получените резултати показват, че максималното натисково тектонско напрежение е с ориентация С – СИ ($A\sigma_T^{max} \approx 10^\circ$), съответно минималното - σ_T^{min} е в посока И – ЮИ ($A\sigma_T^{min} \approx 100^\circ$). На фигура 4 са показани обобщените резултати, очертаващи диапазона на изменение на тектонските компоненти на палеополето в региона Малко Търново.



Фиг. 4 Реконструкция на регионалното палеополе по тектонски и сеизмологични данни



Фиг. 5 Реконструкция на локалното поле по данни за напукаността [2]

Въпреки известни условности в използваните данни (точност и пълнота на използваната информация, достоверността на изобразяване на разкъсванията в геоложките карти и др.) това изследване дава основание за следните заключения:

- Регионалното поле на естествени напрежения е от тектонски генотип;
- Разпределението на тектонските компоненти обуславя действието на субхоризонтален (тектонски) максимален натиск, в направление С – СИ, респективно – минимално тектонско (субхоризонтално) напрежение 3 – ЮЗ.

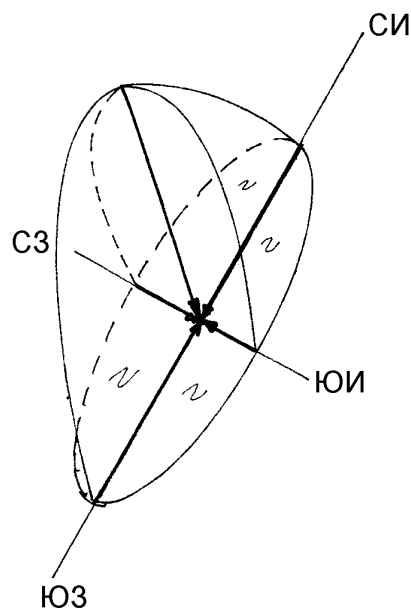
За определяне на характеристиките на локалното поле от нас са използвани цитираните изследвания на напукаността в участък “Пропада” [2]. Разработени са методи за реконструкция на полето на напрежения по спрегнатите системи пукнатини (системите, възникнали едновременно при едни и същи напрежения) и тяхната ориентация относно минималния тектонски натиск [9, 11]. Резултатите от тази обработка са дадени на фиг. 5. Съгласно това построение, направлението на $\sigma_T^{\max}$ е с азимут 15° , а минималното тектонско напрежение е с ориентация 105° .

Анализ на естественото поле на напрежение на находището

На база изложените анализи за естественото поле на напрежения в района на участък “Пропада” със задоволителна увереност може да се приеме, че:

1. Наред с гравитационната компонента, в региона и в находището действат тектонски (хоризонтални/субхоризонтални) напрежения, като разпределението на локалното поле е в съгласие с това, на регионалното.
2. Напрегнатото състояние на скалния масив е резултантно от взаимодействието на гравитационната и тектонска компоненти. Конфигурацията на полето на напрежение има форма на елипсоид (вж. фиг. 6) с вертикална ос - $\sigma_{\gamma H}$ и хоризонтални оси - $\sigma_T^{\max}$, $\sigma_T^{\min}$. Гравитационната компонента на

хор. 170 е $\sigma_{\gamma H} \approx 10 \text{ MPa}$ (при $\gamma_{\text{ср}} = 0,028 \text{ MN/m}^3$). Във височина тя намалява и на хор. 454 е с приблизителна стойност $1,5 \text{ MPa}$. Големината на тектонските напрежения $\sigma_T^{\max}$ и $\sigma_T^{\min}$ може да се определи само чрез измерване. Важното е, че те се наслагват върху гравитационното поле и конкретната геометрия на елипсоида на напрежения зависи от дълбочината, строежа и физикомеханическите свойства на масива, и на малки дълбочини може да превишава значително тази, обусловена от теглото на покриващите скали.



Фиг. 6 Елипсоид на напреженията в района

III.2. Строеж, физикомеханични свойства (ФМС) и структурна характеристика на масива и рудната зона.

Районът е изграден от разкриващия се горнокреден интрузив, ограден от ореол сиенодиорити, габро, скарни и мрамори [1, 3].

Главните системи пукнатини са три, формиращи масив със средноблокова напуканост $0,15 < a < 0,5 \text{ m}$ [2]. Пукнатините са издържани, протяжни, стръмнозападащи, с гладки стени и са пукнатини на разкъсване.

Контактната зона между интрузива и скалите от ореола контролира орудяването, формата и геометрията на рудните тела. Те са два типа – стълбообразни (в проблемната зона) и гнездовидни. Основният добив за находището е бил от стълбообразните рудни тела [4, 5] Масивът е изпитвал многократни тектонски въздействия, налице са нарушения и тектонски зони, които са основно по контактите – мрамори/скарни и скарни/интрузивни скали. Последните, на много участъци, са хидротермално променени, а в приповърхностната зона са изветрели, глинясали и много слаби [1, 5].

Прегледът на предоставената и допълнително проучена информация показва, че данни от специализирани изследвания на ФМС на скалите в лабораторни условия липсват. Налице са таблици [1], в които скалите са категоризирани по следния начин:

- рудни зони и тела	- VIII, IX, X категория
- мрамори	- VII – VIII категория
- скарни	- IX, X и XI категория
- интрузивни скали	- VIII, IX и X категория

За целите на анализа, от нас е прието, че рудно тяло 1 е вместиено в относително по-здрави околни скали. Мраморите са окарстени, оводнени и склонни към самообрушаване. Близко до повърхността масива е с ниски якостни свойства.

Въз основа на наличната информация за свойствата и напукаността на скалите, за получаване на една оценка на “качеството”, геомеханичното състояние, и една обобщена характеристика на масива в проблемната зона, от нас са приложени съвременни геомеханични системи за класификация и техни производни [18].

За целите на изследването, поради неопределености в изходната информация, от нас са възприети интервали на изменение на стойностите на параметрите.

Например, за цитираните по-горе якостни категории е известно, че в минната практика на времето са използвани три схеми за категоризация [12], което в източника [1] не е прецизирано.

Поради тази причина ние възприемаме, че относително по-слабите разновидности са с якост на натиск 6–9 MPa, здравите скали са с якост 10–12 MPa. За определяне на параметъра RQD сме използвали отношението $RQD(\%) = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$ [18], където

$$\lambda \cong 1/\bar{x} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad \bar{x} - \text{средното разстояние между}$$

пукнатините на един линеен метър. При анализите са търсени две оценки – песимистична и оптимистична за качеството на масива. Тук ще дадем крайните резултати, без междинните определения.

Приложени са класификациите на Bienjowski (RMR) и на Barton (Q).

- По системата RMR на (Bienjowski) [18]

За проблемните зони рейтингът на масива е $RMR^{\min} = 40$, съответно $RMR^{\max} = 61$. Съгласно тези стойности, класификацията отнася скалите при песимистичната оценка в зоната между клас 3 – 4 (лош до задоволителен) и за $RMR = 61$ - клас 3 – 2 (задоволителен до добър). Времето на стоене на една незакрепена изработка с ширина 3 m за ниския рейтинг е 3 дни, за високия е 3 седмици, което означава, че за осигуряването им трябва да се използва крепеж, поради неустойчивостта на масива;

- По Q системата [20] на Barton: получени са резултати - $Q^{\min} = 0,234$, за $Q^{\max} = 4,42$.

Класификацията отнася масива в класове “лош - задоволителен”. Класификацията Q е по-детайлизирана от тази на RMR и препоръчва за изработките, пресичащи отслабените зони лек до среден крепеж или анкери.

Другите две приложени класификации - $MRMR$ на Laubsher и MBR на Kendorsky [18] са широко използвани в минната практика. Те са производни на класификацията RMR на Bienjowski.

- Класификацията $MRMR$ е използвана за определянето на склонността на масива към самообрушаване и хидравличния радиус на подсечената от добивните блокове площ. В конкретния случай $MRMR$ е в диапазон 35/56, което означава, че масива е с лоша (ниска) устойчивост, а склонността му към обрушаване е добра. Хидравличния радиус $Rh = 16 \text{ m}$, което за плитко заложените добивни пространства (на хор. 413) означава, че вместиения масив е неустойчив, с негативна характеристика на отношението “устойчивост/обрушаемост”;
- Последната приложена схема за класификация е MBR (Modified Basic RMR) на Kendorsky [18]. По същество тя дава връзката между класификациите RMR и $MRMR$. Получените за MBR стойности съответно са 46/64, поради слабата устойчивост препоръчват дървен крепеж или анкерирание с рядка стъпка в тектонските зони.

Въпреки отбелязаните условности за използваните входни данни, резултатите от горните класификации дават една приближена представа за интегралните характеристики и геомеханичния статус на масива в разглеждания участък. В използваните източници [1, 5] и по събрани устни съобщения е дадена информация за случаи на самообрушавания и използването на дървен крепеж в тектонските и контактните зони при мраморите и скарните. Това, по същество, е позитивна верификация на гореизложената характеристика на масива в анализиранияте зони на ниска устойчивост.

III.3. Технологични въздействия и движение на скалите

Добивните работи нарушават равновесието на естественото напрегнато състояние на масива. Степента на това нарушаване и “реакцията” на масива (переразпределението на индуцираните напрежения) е в пряка зависимост главно от дълбочината и изземваната мощност, реда и интензивността на разработване, коефициента на извличане, размерите и пространствената конфигурация на мрежата изработки и др.

В зависимост от магнитудите на естественото поле, ФМС и структурните характеристики на масива и изброените по-горе фактори, в някои точки от него, около добивните пространства, възникват зони на концентрация и се иницира преразпределение на действащите напрежения. В отделни участъци настъпват разрушавания, след което поведението на масива се определя от структурните характеристики на изграждащите го скали и съдържащите се в тях нарушения. С развитието на минните работи зоните на загуба на устойчивост се разширяват: обемът

повлиян масив нараства и изграждащите скали се деформират, преместват и движат към иззетото пространство.

Прилаганите системи на разработване, при равни други условия, предопределят следната специфика в съпътстващите геомеханични процеси.

Системата с магазиниране на рудата се характеризира с обстоятелството, че формираните след изземването иззети пространства не се поддържат и след пълното източване на магазинираната руда, те се обрушават. Състоянието на земната повърхност над добивните участъци зависи от дълбочината на залагане на иззетите пространства, степента на подработването ѝ, височината на зоната на обрушаване, напрегнатото състояние и геомеханичните характеристики на горележащите скали.

Системата с магазиниране е приложима при устойчиви вместващи скали. Процесите на движение на скалите, при нея, се характеризират с висока интензивност и неравномерност, особено при експлоатация на малка дълбочина, където движенията на земната повърхност преминават във внезапни провалявания над добивните пространства. Характерът и продължителността на процесите на движения са специфични и се определят емпирично за конкретните минно-технически условия [7,21,22].

Системата за изземване чрез хоризонтални слоеве и запълване се прилага, за да се ограничи загубата на устойчивост на масива чрез изкуствено поддържане на добивните пространства, посредством различни видове запълнение. Основната ѝ цел е да се осигури плавност на процесите на движение и да се избегнат внезапни провалявания [21, 7, 22].

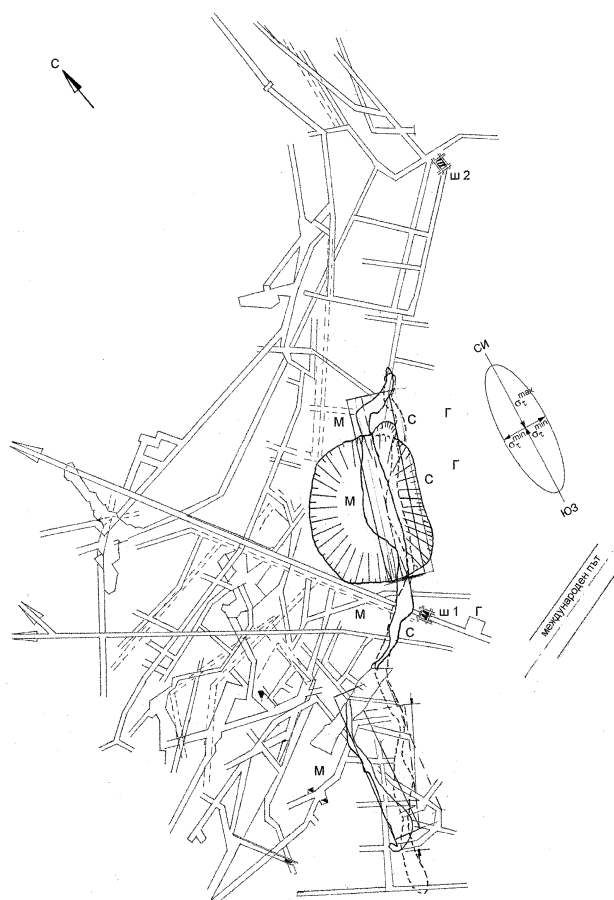
Известно е, че след нарушаване на естественото НДС на масива, движението на скалите в случая е функция на поддържащата роля на запълнението, проявяваща се след неговото уплътняване [7, 8, 22]. Известно е също така, че системите със запълване обуславят по-високи амплитуди на движение (до 10 – 12 %), в сравнение с другите системи с изкуствено поддържане на добивните пространства [7, 21]. Известно е накрая, че поддържащия ефект на запълнението зависи от контакта на вместващите скали и напрегнатото състояние. Масивът, изграден от запълнение, постепенно намалява обема си, вследствие на слягането [21, 23]. Най-голямо е слягането при сухото скално запълнение, което в зависимост от гранулометричния състав се изменя от 15 -20 % до 30 -35 % [23], съответно за запълнението от дребни и едри късове. Така, че въпреки ниската себестойност и висока производителност "вкарването" на сухото запълнение в режим на работа е затруднено от неговите свойства и начина му на доставка [23, 21].

IV. Анализ на геомеханичната обстановка в района

Както бе отбелязано, основно за проблемния участък, е рудно тяло № 1, в което са съсредоточени запасите с най-високо съдържание ($2 \div 10\%$) [4, 5] и обем. Сложният по форма руден стълб западащ стръмно ($80 \div 85^\circ$) на СЗ е

вместен в контакта мрамори, откъм З – ЮЗ и скарните на И – СИ. Продуктивната зона, разпространена в посока СИ – ЮЗ е с дължина 150 – 200 m, дебелина, изменяща се от няколко метра (7 – 10 m на х. 454) до 25 – 35 m (х. 340/300) е развита във височина 280 m (до х. 170). В рудното тяло са концентрирани най-мощните минни работи, с максимален годишен добив 82 хил. t руда [1, 5].

За целите на анализа, на фиг. 7 е показан план на експлоатационния участък, върху който са нанесени контурите на пропадането и рудното тяло, на плитко заложените иззети пространства и на част от мрежата сервисни изработки. На същата фигура е показано разпределението на тектонските компоненти на напреженията $\sigma_T^{\max}$ и $\sigma_T^{\min}$ (относителен опън), както и взаимното разположение между границата на пропадането и трасето на пътя Малко Търново – Истанбул.



Фиг. 7 План на експлоатационния участък на находище "Пропада"

Главните геомеханични фактори, обусловили загубата на устойчивост и мащаба на пропадането, действали в периода на експлоатация са:

- напрегнато състояние – тектонско поле, със сложна конфигурация – относително ниска гравитационна компонента и хоризонтални (тектонски) напрежения, определящи по същество разпределението му. Те са с неизвестни магнитуди, но е доказано, че на малка дълбочина те обикновено превишават вертикалната [8, 9, 13]
- задоволителни якостни свойства на изграждащите скали, но масива е с ниски структурни (и якостни)

характеристики в отслабените зони – приповърхностните, контактните и тектонските – $RMR = 40 - 60$; $Q = 0,234 - 4,42$, които са разпространени в проблемния участък; наличие на подземни води, влошаващи допълнително интегралните характеристики на масива;

- плитко заложи експлоатационни блокове с неподдържани иззети пространства с размери, превишаващи дълбочината на минните работи, припокриващи се (до хоризонт 300) във височина.

Взаимното влияние на горните фактори и технологичния режим на изземване на рудното тяло са създали условия за интензивни движения на горележащите скали, развиващи се до земната повърхност. Това се потвърждава и от получените оценки за структурните свойства на масива – хидравличен радиус $R_n = 16 \text{ m}$ и отрицателно съотношение между устойчиво поведение и склонността към обрушаване на скалите, залягащи над горницето на експлоатационните блокове.

За проверка на резултатите, получени от геомеханичните класификации, допълнително са извършени обобщени изчисления на височината на развитие на зоната на обрушаване $h_{обр}$ над добивните пространства, съгласно методика, изложена в [22]. Разчетите показват, че зоната ще се развива до $h_{обр} \approx 50 \text{ m}$, над горните стени на иззетите блокове. Фактическата дебелина на покриващия комплекс има същата дебелина – $40 - 50 \text{ m}$, но в нея влизат и кватернера и почвения слой, които по методиката се изключват от разчета – работи се само със слоя коренни скали [22].

По всяка вероятност, още след изземването на първите блокове, вместващият масив бързо губи устойчивост и настъпват първоначални увреждания на терена над тях. Мулдата е несиметрична – движенията при тези условия са максимално развити, при максимални ъгли на движение и разкъсване, с което се обуславят и внезапните пропадания [7, 22]. От проведени анкети с бивши ИТР специалисти бе потвърдено, че пропадания е имало още в началния етап на разработването, даже някои от анкетираните свързват тези явления с името на находището.

Вероятно тези инциденти на загуба на устойчивост и разрушения са в основата на решението за смяна на системата на разработване. Въведена е системата с изземване на слоеве и запълване, която от хоризонт 300 става основна за разработването на запасите в дълбочина.

Новата система, обаче, по своята същност, не ограничава движението на скалите (вж. т. II.3). Освен това, запълнението е добивано от вътрешни кариери, с което разуплътняването, нарушеността на масива и празните пространства в него се увеличават, така че в геомеханичен аспект, ефекта от прилаганата система със запълнение не отговаря на планирания. В случаят, запълнените пространства, заедно с неиззетите безрудни участъци от рудното тяло оказват възпиращ ефект срещу мащабен

колапс, по цялата експлоатирана зона и внезапни пропадания на повърхността над нея.

След закриването на участъка факторите, определящи до тогава НДС на системата ВМ/ПИ се променят. Протичат процеси на преразпределение на напреженията и релаксация – липсва развитие на мрежата изработки и образуване на иззети пространства: реализират се движения и вътрешни обрушавания в неустойчиви участъци и източените магазини, променя се режима на подземните води и др. п. Тези процеси са насочени към установяването на ново неустойчиво равновесно състояние на системата ВМ/ПИ. Същественото е, че състоянието ѝ вече се обуславя единствено от природни явления и тя от техническа, се превръща в техногенно-природна система [6].

В смисълът на изложеното, от голяма практическа полза за оценката би била информация за процесите на движение на скалите, каквато липсва в предоставените и допълнително проучените материали. Няма данни за параметрите на движение, няма информация за маркшайдерски наблюдения; за времето на възникване, развитието, размерите, обема и масата на пропадането. Всичко това отнася находище Пропада към обектите с неизучен процес на движение на скалите.

Механизми на разрушаване на масива

Плитко заложените и незапълнени добивни пространства, в условията на тектонско поле, обуславят съществени особености в НДС на вместващия масив. Проблемът е изследван основно и чрез числено моделиране е доказано, че в зависимост от съотношението дълбочина на разработване (H)/размери на добивното пространство (L) се предизвикват аномални разпределения на компонентите на индуцираното поле [8, 9]. В случаят $H/L < 1$, при което в горницата и стените на магазините се обуславя появата на концентрации ($1,7 \div 2,0$) на напрежения, както и действие на опънни напрежения. Те предизвикват разрушения и загуба на устойчивост вследствие **превишаване на якост** в зоните на концентрация.

Вторият механизъм на разрушаване, работещ в находището, е разрушаването от **структурни придвижвания по нарушения** с ниска тангенциална якост на разделителните повърхности. Те се обуславят от блоковата структура на масива и стръмните контактни повърхности, подземните води и глинисалите нарушения вследствие описваните в [1, 5] ендо и екзогенни изменения и процеси.

В периода на експлоатация, при загубата на устойчивост са се проявявали и двата вида механизми на разрушаване. След закриването на участъка, основен и най-вероятен механизъм на разрушение е разрушаването чрез структурни придвижвания на блокове, загубили статичното си равновесие.

V. Заключение

1. В резултат от акумулирането на негативни въздействия от специфични геоложки, геомеханични и миннотехнически фактори при разработването на рудното тяло чрез системата с магазиниране, която обикновено не предвижда поддържане на плитко заложените иззети пространства е нарушено природното напрегнато състояние на масива. Инициирани са неблагоприятни геомеханични процеси и движения на скалите от покриващия комплекс, достигащи земната повърхност. Системата Вместващ масив/Подземни изработки е загубила устойчивост и терена над иззетите пространства е увреден от разкъсване и пропадане с големи размери.

2. След закриването на участъка, развитието на геомеханичните процеси във времето се определя единствено и само от неконтролируеми и неуправляеми вътрешни и външни за системата ВМ/ПИ фактори. Мащабът на пропадането, неговата геометрия и етап на развитие се обуславят от действащите напрежения, тангенциалната якост на подсечените блокове и времето за релаксация и преразпределение на тези напрежения, до достигането на ново, равновесно НДС на системата.

3. Поради неизучения процес на движение на скалите е налице геомеханичен риск, обуславящ вероятност от последващо развитие на разкъсването, чрез пропадания на отслабени структурни блокове. Въз основа на описаните в текста оценки на рисковите фактори, геометрията и пространствената конфигурация на мрежата изработки прогнозираме, че вероятно последващо развитие на нарушената повърхност ще се реализира по направление СИ – ЮЗ, в зоната на окарстените по-слаби и оводнени мрамори откъм Ю – ЮЗ, на експлоатационните блокове.

4. Важността и категорията на строящия се международен път Малко Търново – Истанбул, местоположението и ориентацията на трасето му спрямо изоставения подземен участък, пораждаат два проблема, относно изолацията на пътя от вредното влияние на подработената повърхност. Възможните подходи към тези проблеми са следните:

- За намаляване на геомеханичния риск от развитие на зоната на разкъсване и пропадане, най-подходящо инженерно мероприятие, според изложената оценка, е уплътняването на покриващия комплекс чрез запълване на пропадането със стерилни скали или строителни отпадъци.

- Запълнението ще минимизира или ограничи вероятните движения, чрез увеличаване ъглите на движение на скалите над иззетите пространства.

- По предоставената ни графична документация е видно, че в ЮЗ край на рудничното поле, на около 45 m от добивните пространства предизвикали пропадането се намират иззети пространства, образувани чрез същата система на експлоатация. Според нас, районът съдържа всички описани рискови фактори, които обуславят геомеханична ситуация, сходна с анализирания. Отработените пространства са с по-малки размери, но според данните за ориентация на трасето СИ – ЮЗ, пътят ще мине в непосредствена близост или частично над иззетите блокове, което е опасно.

- Изложеното налага конкретна оценка, предшествана от изготвяне, съпоставяне и обвързване на маркшайдерска (руднична) и геодезическа (от строителите на пътя) информация за фактичното взаимно разположение на подземния участък и изграждания на повърхността път.

5. Надеждността и достоверността на настоящата геомеханична оценка и дадените прогнози са в пряка зависимост от точността, достоверността и надеждността на предоставената ни информация.

Литература

1. Кръстев Н., Велкова М. – Обяснителна записка за резултатите от извършените детайлни геологопроучвателни работи, през периода 1959 – 1962 на участък "Пропада" от медно-желязното месторождение "Малко Търново", Бургаско, Геофонд МОСВ;
2. Попов П. – Структура на Малкотърновския интрузив и значението ѝ за локализация на медните орудявания, годишник ВМГИ т. XXVI, св. II, 1980;
3. Стойнов С., Стойнова М. – Фактори, контролиращи орудяванията в участъците "Младеново" и "Пропада", сп. Рудодобив и металургия", кн. 10, 1971;
4. Медните находища в България, Техника;
5. Стойнов С. и др. – Минерало-петрографски изследвания и структурни особености на находища "Пропада" и "Младеново", Малкотърновски руден район с оглед орудяванията в дълбочина, годишник ВМГИ – НИС, 1970;
6. Иванов В. – Методология за геомеханична оценка на състоянието на масива при ликвидирани подземни рудници, Сборник доклади Международна конференция по геомеханика, 2007, Несебър, България;
7. Турчанинов, И.А. "Основы механики горных пород" Л. Недра, 1989;
8. Марков Г. А. – О распределении горизонтальных тектонических напряжений вблизи поверхности в зонах поднятия земной коры, ФТПРПИ, N5, 1975
9. Методические рекомендации по изучению НДС горных пород на различных стадиях геологоразведочного процесса, М. 1986;
10. Boncev E. – Seismotectonic features of Bulgaria, *Geologica Balcanica*, 12.02.1982;
11. Herget G. – Stresses in Rock, A. A. BALKEMA, 1983;
12. Нормативи и правила за технологично проектиране на подземни рудници, техника, 1980;
13. Козырев А. - Геомеханическое обеспечение разработки месторождений Кольского полуострова" Апатиты, 1989.
14. Vapzarov I., Mishev K. – Main features and Dynamics of the Morphostructures in Bulgaria, Significans for Seismic Zoning, *Geologica Balcanica*, 12.02.1982;
15. Boncev E. etc – A Method of Compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria, *Geologica Balcanica*, 12.02.1982;
16. Тектонски строеж на България, техника, София, 1971;
17. Добрев – Изостазия и вертикальные движения земной коры на территории Болгарии, *Geologica Balcanica*, 15.02.1985;
18. Миланович, П. Класификация стенског масива и нъихови примена, РГФ, Београд, 1997;
19. E. T. Hoek Rock Engineering AA Balkema, 2002;

20. Barton et al, Application of the Q-system in design decisions, NY, Pergamon, 1980;
21. Именитов В. Р. – Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений, М. Недра, 1978;
22. Хрисчев, Г. и др. "Опазване на съоръженията и обектите от вредното влияние на подземните минни работи", Техника, 1978;
23. Рыжков Ю. А. - Механика и технология формирования заледочных массивов, М., Недра, 1985

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Подземно разработване на полезни изкопаеми", МТФ