

ГЕОМЕХАНИЧНА ОЦЕНКА НА УВРЕДЕНИ ОТ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА УЧАСТЬЦИ ОТ МАСИВА, В РАЙОНА НА РУДНИК „ВЪРЛИ БРЯГ“

Венцислав Иванов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, nis@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. След закриването на рудник „Върли бряг“ и възстановяване земите на населението в реални граници, се планира развитие на промишлената зона „Меден рудник“ на община Бургас, която обхваща терени, разположени над бившите експлоатационни участъци. В периода 1998 – 2009 г. до компетентните общински структури постъпват сигнали, писма и жалби от собственици за разкъсвания и пропадания на площи от земната повърхност, която междувременно е заселена и застроена с промишлени и селскостопански постройки.

За осигуряване разработката на проект за техническа рекултивация на увредените терени е извършена настоящата геомеханична оценка. Предмет на оценката е състоянието на системата „Вместващ масив/Добивни участъци“ по елементите и напрегнатото състояние, физико-механични и структурни характеристики на масива и ефектите от прилаганите технологии.

GEOMECHANICAL ASSESSMENT OF DAMAGES IN THE ROCK MASS SECTIONS IN THE AREA OF "VARLI BRIAG' MINE

Ventislav Ivanov

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

ABSTRACT. With regard the closure of "Varli Briag" mine and restitution of real plots to the people, a development of the industrial zone "Meden Rudnik", Bourgas municipality was planned. The zone comprised areas, located over the former mined out sections. Correspondence, inquiries and claims of land owners were submitted to competent municipal authorities in the period 1998 – 2009 regarding faulting and settlements of areas on the earth surface, which in the mean time has been built over with industrial and agricultural buildings.

The present geomechanical assessment has been performed with the objectives of providing data for the design of technical recultivation of the damages areas. Subject of the system is the condition of the "Host massif/Mined sections" system, i.e. the elements and stress-strain-state, physical-mechanical and structural characteristics of the massif and effect of methods used.

Увод

Върлибрежкото рудно поле се намира на около 8 km югозападно от гр. Бургас. То е с площ приблизително 50 km², ограничено е от север и юг между Бургаското и Мандренското езера, от изток - от крайбрежната част на Бургаския залив и на запад, от местността Бей конак.

Морфологията на района е слабо хълмиста, с най-висока кота 209 m (връх Шилото) и е насечена от сухи дерета.

Масивът, в района на находището, е изграден от вулканични, интрузивни и седиментни комплекси. Той е със сложна структура, определена от тектонските разломи, развити във вулканската задруга. Находището е жилно, жилите са оперяващи към основния рудопроводящ разлом [1].

Рудните жили (над 20) са с различна дължина – от няколкостотин метра до 5 km, основно дебелината им е от 10^{cm} до 1 – 3 m, но на места е 8 – 15 m. Жилите са разпространени в СИ направление и са стръмнозападащи (70 – 85°), в дълбочина някои са до 1200 m. Жилите не са орудени по цялото си простиране, а образуват рудни стълбове.

Геоложкото проучване на находище „Върли бряг“ (1947-48; 1960-62) го поделя на участъци „Ленко“ 1 и 2, „Надежда“, „Труд“, „Червено знаме“, „Мир“ и т. н.

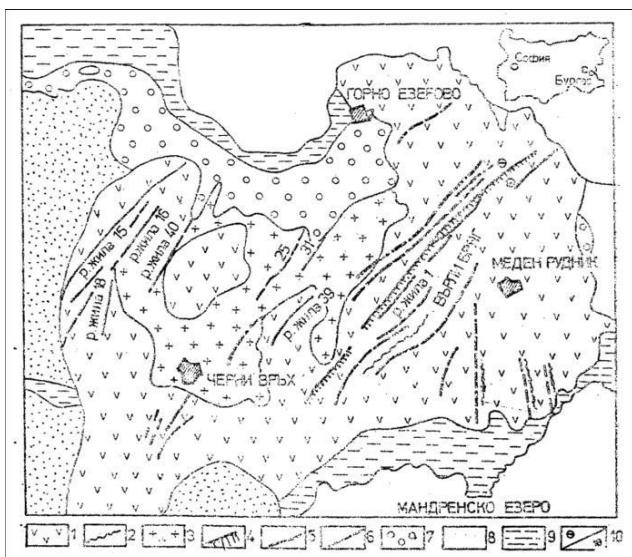
Запасите са разкрити с множество вертикални шахти (16), достъпът до жилите е чрез травербани. Основните системи на разработване са: 1) с магазиниране на рудата и 2) с изземване на хоризонтални слоеве и запълнение (отначало сухо скално, впоследствие чрез хидро-запълнение). Максималната експлоатационна дълбочина достига 960 m в района на участъци „Ленко“ 1 и 2.

Рудник „Върли бряг“ е експлоатиран в периода 1943 – 1995 г. За времето на работа са добити 7865000 t руда, със средно съдържание на мед 1,08 %. Рудникът „Върли бряг“ е закрит през 1995 г. поради влошаващо се качество на рудата и изчерпване на запасите в дълбочина, и неефективност на добива в сложните минно-геоложки условия.

I. Обобщена характеристика на находище „Върли бряг“

Върлибрежкото рудно поле е изградено от сенонски вулкански и интрузивни скали, покрити в периферните си

ЮЗ и СИ части с палеогенски, неогенски и квартнерни наслаги. Те изграждат една куполовидна антиклинала с централно ядро от интрузив, наричана Върлибрежка (Карабаирска) (фиг. 1), в чиято ЮИ част е медното рудно находище „Върли бряг“. Основна роля, в структурен план, имат разломяванията в няколкото си стадия на образуване, вследствие сложния тектонски строеж на района.



Фиг. 1 Върлибрежко рудно поле [1]

В находището най-голямо разпространение имат сенонските ефузивни скали – разновидности андезити, техните туфи и туфобрекчи. Орудяването е в плутоничните скали. Рудните жили са с посока $20^\circ - 40^\circ$, западът на ЮИ – под ъгъл $70^\circ - 85^\circ$. Рудата е основно от сулфидни минерали, като преобладаващ минерал е халкопиритът.

Главната разломна структура, контролираща положението на рудните жили с промишлено значение в находище Върли бряг е т. н. рудна зона 13. По същество, тя е основен рудоразпределящ и рудовместващ (в дълбочина) канал. Зоната 13 е с направление $35^\circ - 48^\circ$ (СИ). На дължина е проследена на повече от 7 km, в дълбочина до 1200 m, под наклон $60^\circ - 75^\circ$. Към р. з. 13 са привързани рудовместващите структури, поделени според местоположението си. Във висящия блок са рудните жили 13а, 1, 2, 3, 4 и в дълбочина рудни жили 101, 102, 103, 105, развити в участъците на отгъване на главния разлом. Жилите в лежащия блок са 10, 11, 12. Всички рудни жили са субпаралелни спрямо р. з. 13, развити изцяло във вулканския комплекс и имат морфология аналогична на р. з. 13. Рудна зона 13 е изградена от силно натрошени, брекириани до напълно стрити вулканити, интензивно хидротермално променени. Изграждащите вместващия масив скали са с лабораторна якост на натиск в диапазона $120 - 140 \text{ MPa}$ и на места до 200 MPa (рудник „Мир“); в рудните зони $40 - 80 \text{ MPa}$; обемната плътност на скалите $\gamma = 0,028 \div 0,029 \text{ MN/m}^3$.

Напукаността на масива е изследвана [2], като са установени три системи пукнатини. По ориентация и

гъстота системите са, както следва: I - $120^\circ / 75^\circ$ и интензитет 0,37 $n/\text{l.m.}$; II - $325^\circ / 79^\circ$ и интензитет 0,49 $n/\text{l.m.}$; III - $235^\circ / 65^\circ$ и гъстота 0,41 $n/\text{l.m.}$.

Установените ъгли на движение за рудник „Върли бряг“ са: $\beta_1 = 80^\circ - 90^\circ$; $\gamma_1 = 75^\circ - 85^\circ$; $\delta_1' = 85^\circ$. Ъглите на разкъсване са, съответно: $\beta_1'' = 90^\circ$; $\gamma_1'' = 85^\circ$ и $\delta_1'' = 90^\circ$.

Подземните води в находище „Върли бряг“ са от два типа: пукнатинно-грунтови (с плитка циркулация) и пукнатинно-жилни – развити в дълбочина. Плиткоциркуационните води се проявяват близо до повърхността, захранват се по водопроводящи пукнатини на изветряне от инфилтриращи се валежни водопритоци и дебита им е непостоянен. Максимумът му е през м. юни, минимумът – през м. август, когато не надхвърля $1 - 2 \text{ l/s}$. Пукнатинно-жилните води с дълбока циркулация са с турбулентно и ламинарно движение, по посока, съвпадаща с разпространението на тектонските нарушения, с дебит $6 - 8 \text{ l/s}$, нарастващ в дълбочина. В най-дълбоките хоризонти водата изтича под напор. Водата е хипертермална (43° C), слабоминерализирана, по състав хидрокарбонатно – хлоридно – калциево – магнезиева.

Обводнеността на масива се реализира основно чрез капеж, при пресичането на изработките с рудните зони.

II. Обобщена геомеханична оценка на находище „Върли бряг“

Геомеханичната устойчивост на вместващия, подземните изработки масив, еднозначно определя състоянието на земния релеф, над добивните пространства. Три групи фактори имат ключово значение за състоянието на земната кора, при воденето на подземна експлоатация на всяко находище на полезни изкопаеми. Това са:

1. Напрегнато и деформирано състояние (НДС) на масива. То включва в себе си познаването на действащото в района разпределение на природното поле на напрежения, както и това, на индуцираното поле, вследствие разработването на рудните жили.

2. Геоложкият строеж, структурните особености и физикомеханическите свойства (ФМС) на скалите, изграждащи засегнатия участък, определящи реакцията на скалния масив.

3. Ефектите от технологичните въздействия (прокарване на изработки, създаването на иззети пространства, пробивно-взривни работи, нарушаване режима на подземните води и др.) върху горните групи фактори, определящи интензитета и мащабите на вредните въздействия от експлоатацията върху състоянието на масива, resp. върху локалната екосистема.

Геомеханичното състояние на тази сложна система „Вместващ масив/Добивни участъци“ зависи от още

няколко специфични (но важни) за оценката му обстоятелства, а именно: времетраенето и интензитета на експлоатация на находището, времетраенето и начина на техническата ликвидация и последствията ѝ за състоянието на системата (липса поддръжане на техногенните пространства и сервизните изработки), липса на водоотлив (при нарушение на хидрогеложките условия), планетарни явления (като климатични фактори, сейзмичност, движение на земната кора и др.).

II.1. Оценка на естественото напрегнато състояние на масива в района на находище Върли бряг.

Магнитудите и ориентацията, генотипът на природното поле на напрежения се определят само и единствено чрез експериментални *in situ* измервания. Предоставената и проучването на събраната от нас допълнителна информация показва, че такива специализирани изследвания не са извършвани.

В условията на пълна неопределенност, за получаването на търсената информация, е приложен методът на последователните приближения, състоящ се в събиране, систематизиране и анализ на всички (количествени и качествени признаки) по фактор НДС, посоката е от регионален към локален формат [3;5].

A. Регионално поле на естествени напрежения в Бургаското рудно поле.

Тъй като то е изследвано по друга задача [19], тук, за краткот ще дадем крайните резултати за генотипа и разпределението му.

❖ Регионалното поле на естествени напрежения е от тектонски генотип.

❖ Разпределението на тектонските компоненти показва, че максималното хоризонтално/субхоризонтално напрежение е с ориентация СЗ-ЮИ, респективно, минималното е с посока СИ-ЮЗ.

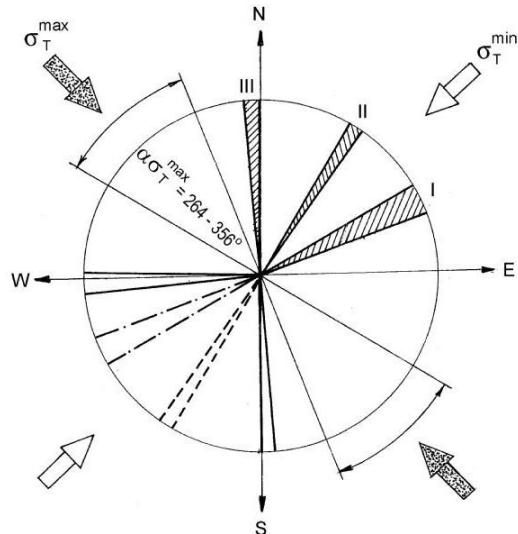
Полученото разпределение е в най-общо съгласие с една качествена оценка на посоката на тектонския натиск, определена на база анализ на движенията на крилата на разломите на БРП [12]. Там се предполага, че максималното тектонско напрежение е със субекваториална, а минималния натиск е със субмеридиална посока.

Б. Локална оценка на естественото поле

За оценка на полето на действащите естествени напрежения в рудника е извършена реконструкция, чрез данните за тектониката на разкъсване [3,5].

При анализа са използвани само разломите с еднаква възраст и от еднакъв ранг (съизмерими с размерите на находище „Върли бряг“) и имат сходна кинематика на придвижване, а критерият за разпределението на тектонските компоненти е ъгълът между динамо-двойките системи на разломяване [11], които в случая са I и III.

Резултатите от това изследване са показани на фиг. 2



Фиг. 2. Реконструкция на локалното поле на напрежения

На фигурата е показана сводната диаграма на простиране на разломите, отразяваща последният етап на тектонските въздействия и са нанесени определените, съгласно [3,4], направления на действие на главните тектонски напрежения σ_T^{\max} и σ_T^{\min} в рудното поле.

Извършената реконструкция позволява следните изводи:

❖ Полетата на напрежения в участъците на рудник „Върли бряг“ са от тектонски произход;

❖ Структурата и тектонският строеж на участъците са формирани в сходни условия, а сравнително малката площ на разглежданата територия дават основание да се приеме, че участъковите полета на напрежения са еднородни за находището;

❖ Ориентацията на максималните тектонски компоненти е:

- $\sigma_T^{\max} (\alpha = 264^\circ \div 356^\circ / \text{СЗ - ЮИ})$, максимален тектонски натиск

- $\sigma_T^{\min} (\alpha = 354^\circ \div 80^\circ / \text{СИ - ЮЗ})$, минимален тектонски натиск (относителен опън)

❖ Разпределението на локалното поле е в съгласие с определеното по-горе разпределение на регионалното поле.

Анализ на естественото НДС на рудника

Напрегнатото състояние на скалния масив в находището е комбинация от взаимодействието на две компоненти на напрежения – гравитационна и тектонска. Гравитационната компонента е леко определима. Ако се отчете дълбочината на водените минни работи, при средна обемна плътност на изграждащия комплекс $\gamma_{\text{ср}} = 0,028 \text{ MN/m}^3$, гравитационната компонента $\sigma_{\text{гн}}$ – се изменя от ~ 0 (на повърхността) до 25-26 MPa на дълбочина 960 m; (участък „Ленко“ 1 и 2).

Тектонската компонента съдържа в себе си два елемента:

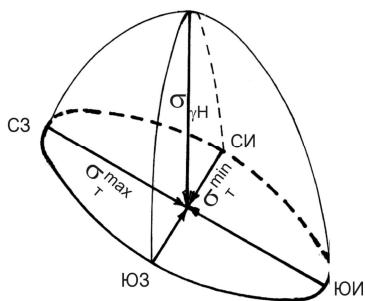
- остатъчни напрежения – възникнали в периода на тектонските въздействия в геоложкото минало, действащи най-вече около разломните структури;

- напрежения от съвременни тектонски процеси (доказани от издигането на земната кора в района на Бургаската депресия с 1 mm/год). [9,11].

Тектонската компонента не може да бъде определена без специални измервания. Важно е обстоятелството, че тя се наслагва към хоризонталните напрежения от страничния отпор и големината ѝ зависи от много допълнителни фактори (релеф, свойства, дълбочина и т.н.). Нейното влияние трябва да се отчита за всяка конкретна ситуация, което в случая се затруднява от изброените в началото неопределенистости. Може по допълнително установени факти да се предположи само, че е по-вероятно съотношението $\frac{\sigma_{\gamma H}}{\sigma_T}$ е отрицателно.

Предположението е базирано на големината на амплитудите на вертикалните издигания на земната кора [4,9].

Конфигурацията на естественото поле, в находище „Върли бряг”, има форма на елипсоид, показан на фиг.3, с оси $\sigma_{\gamma H}$, σ_T^{\max} и σ_T^{\min} , изменящи амплитудите си в зависимост от дълбочината, свойствата, релефа, структурните особености на строежа и характеристиките на естествената напуканост на масива.



Фиг. 3. Конфигурация на естественото поле на напрежения в находище „Върли бряг”

II.2. Структурна характеристика и ФМС на скалите от вместващия експлоатационните участъци масив

Строеж на масива – най-общо, районът на находище „Върли бряг” е изграден от горнокредни вулкански и интрузивни скали, сред които е включена система от сближени и разклоняващи се или субпаралелни рудни жили. Рудоносните разломи са развити основно във вулканските скали. Масивът е със сложен строеж, претърпял тектонски въздействия, като рудовместещите скали са интензивно тектонски обработени. В тях са развити различни системи пукнатини, формиращи блоковата структура на масива. Рудата и вместващите скали са склонни към самообрушаване. Системите пукнатини са ориентирани в съгласие с ориентацията на системите разломи в участъците. В зоните на орудяване скалите са хидротермално променени, натрошени, брекчирани, до напълно стрити. Контактите с рудните жили са ясни и маркирани с тектонска глина.

Като цяло, вместващият масив е изграден според лабораторните данни от относително здрави, на места много здрави (участък „Мир”, „Надежда”, „Капчето”), крехки, високомодулни скали. Масивът, обаче, съдържа структурни нееднородности (разломи, пукнатини) от различни рангове, съществено влияещи върху якостно-деформационното му поведение в естествени условия.

Структурни характеристики

За целите на настоящата оценка, използвайки наличните данни за якостните характеристики на скалите в лабораторни условия, строежа и структурните нарушения, от нас са приложени геомеханичните класификации (*RMR*, *NGI*, *GSI*) за характеризация на качеството [13] и механичното състояние на вместващия масив, в проблемните участъци на рудник „Върли бряг”. Наличната информация съдържа много неопределенистости – якостните параметри са дадени без да са конкретизирани за отделните участъци, а по литологически разновидности, не са указаны местата на вземане на пробите и методите на изпитване. Тази забележка по принцип се отнася и до данните за напукаността, параметрите на процесите на движение на скалите и др.

Поради отбеляните неопределенистости, анализите и оценките са диапазонни – пессимистична и оптимистична. Тук са посочени крайни резултати, без да се излагат междуинните определяния.

За определяне на категорията и устойчивостта на вместващия масив са използвани класификационните системи *RMR* на Биенявски [13] и системата *Q* (*NGI*) на Бартон [14]. Рейтингът на *RMR* дава клас на масива, чрез времето на стоеене на незакрепена изработка с определено сечение. Анализирани са две ситуации – за вместващ масив без нарушения и в районите на тектонски отслабените зони.

За ненарушените скали

- $RMR^{\min} = 70$, което отнася масива към II клас, време на стоеене на незакрепена подготвителна изработка с широчина 3 m, над 8 месеца, за скали с $C = 2 - 3 \text{ MPa}$ и ъгъл на вътрешно триене по-голям от 10^0 ;

- за $RMR^{\max} > 90$ - I клас масив, времето на стоеене е над 10 г., при $C > 3 \text{ MPa}$, $\varphi > 40^0$;

За тектонски обработени зони – получени са следните стойности:

- $RMR < 50$ - клас III – IV, време на стоеене за подготвителните изработки 7 – 10 дни, при $c < 4 \text{ MPa}$ и $\varphi < 40^0$;

- $RMR^{\max} > 60$ - в граничната зона III – II клас, времето на стоеене около 1 месец.

Извършена е проверка и чрез класификацията *Q* (*NGI*) на Бартон. Получени са следните резултати

За ненарушен масив

$Q^{\min} = 30$, съответно $Q^{\max} > 100$, което и в двета случая попада в зоната, където крепеж не е необходим.

За тектонски зони

$Q^{\min} = 15$, $Q^{\max} = 60$, при което системата препоръчва лек крепеж и/или единични анкери в неустойчиви локалитети [14]

Изложеният анализ трябва да се приема като първо приближение поради обстоятелството, че някои от основните изискуеми характеристики на масива, заложени като параметри в класификационните системи, са определени експертно при отбелязаните по-горе неопределеноности (напр. RQD , характеристиките на естествената напуканост и др.) Независимо от това, получените стойности за целите на оценката са приети като интегрални, което позволява да се идентифицират възможните механизми на загуба на устойчивост и разрушаване на масива. В случаите са следните:

- ❖ в дълбоките хоризонти възможните разрушения са от превишаване на якост и от индуцирана сейзмичност;
- ❖ с намаляване на дълбочината, загубата на устойчивост на системата ВМ/ДП ще е обусловена от структурни придвижвания по равнините на нарушенията.

II.3. Технологични въздействия

Минните работи нарушиват естественото НДС на масива. В зависимост от прилаганата технология на добива, мощността, дълбочината и интензивността на изземване настъпва преразпределение на напреженията и се индуцира ново поле на напрежения. В участъци от масива възникват концентрации на напрежения, а в скалите от горнището напреженията са на опън. Тези напрежения обуславят локални разрушения, след което сработват зоните, съдържащи нарушения от нисък ранг. Тази напуканост обуславя на свой ред структурни разрушения [8]. Вместващите скали започват да се деформират, преместват и движат към иззетите пространства. Интензитетът на движение при стръмнозападащи рудни жили, в тектонско поле, големи размери и сложна конфигурация на иззетите пространства е висок.

Движението на скалите е основна проява на механическите процеси, съществуващи минните работи, след формиране на допълнителното поле. Основните параметри на движение на скалите са юглите на движение и разкъсване. В използваната информация има само една група данни за рудник „Върли бряг“. Те са определени в периода 1960 – 1972 г. и не отговарят на днешните минно-технически и геомеханични условия [2].

Няма, също така, налични данни от инструментални наблюдения, не са открити и данни за времето на възникване, характера, геометрията и размерите на реализираните се пропадания и разкъсвания на земната повърхност. Наличните данни не позволяват анализ, което относя находище „Върли бряг“ като обект с неизучен процес на движение.

При равни други условия, прилаганите системи на разработване предопределят степента на наруширане на геомеханичното състояние и „реакцията“ на масива.

Системата за магазиниране на рудата се характеризира с обстоятелството, че образуваните след изземването добивни 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 залагането на празните магазини, степента на подработването и височината на зоната на обрушаване, НДС и ФМС на скалите. Системата с магазиниране е приложима в устойчиви въместващи скали. Процесите им на движение се характеризират с висока интензивност и неравномерност, особено на малка дълбочина, където деформациите и движенията на земната повърхност често преминават във внезапни пропадания над добивните пространства. Характерът и продължителността на процесите на движение са специфични и се определят емпирично за конкретните геомеханични условия [3,2,15]. Системата за изземване чрез хоризонтални слоеве и запълнение се прилага, за да се ограничи загубата на устойчивост на масива, чрез изкуствено поддържане на добивните пространства. Използват се различни видове запълнения, чрез които се осигурява плавност на процесите на движение, като целта е да се избегнат внезапни обрушавания и/или мащабен колапс [3,2,15].

След наруширането на естественото НДС на масива, движението на скалите се ограничава от поддържащата функция на запълнението, проявяваща се след неговото уплътняване или консолидация [3,10,2]. Известно е, че системите със запълване обуславят по-високи амплитуди (до 10 – 12 %) на движение, в сравнение с другите системи с изкуствено поддържане на добивните пространства [2,3]. Известно е накрая, че поддържащият ефект на запълнението зависи от напрегнатото състояние и контакта му с въместващите скали. Масивът, изграден от запълнение, постепенно намалява обема си, вследствие на слягането [15,16]. Най-голямо то е при сухото скално запълнение, което в зависимост от гранулометричния си състав се изменя от 15 – 20% до 30 – 35 % [16], съответно за запълнение от дребни или едри късове. Казаното, по принцип, се отнася и до хидрозапълнението, но слягането при него е до 10 %. От първостепенна важност при системите със запълване е вкарването на масива от запълнение в режим на работа, в зависимост от състава, свойствата и начинът му на полагане.

III. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ НА ГЕОМЕХАНИЧНАТА ОБСТАНОВКА В ПРОБЛЕМНИТЕ УЧАСТЬЦИ

III.1. Участък „Ленко“

Минно-технически условия

В участъците на находищата „Ленко“ 1 и 2 са водени най-мащабните и интензивни минни работи. Основното количество запаси са в главната рудовместваща структура – рудна зона 13 – 13A и стикованите в нея рудни жили

(№№1, 101, 102, 103), съдържащи значителни промишлени запаси. Рудният стълб и жилите са в сложен структурен възел, с голяма мощност („Ленко 1“) и с по-малка мощност, и по-малко оруден в „Ленко 2“. Запасите са разкрити с две вертикални шахти, с правоъгълно сечение $10m^2$, прокарани в горнището на р. з. 13 и след 500 м метър разкриват долнището на рудните жили. Шахтите са на 90 м една от друга, по направление СИ – ЮЗ (следват р. ж. 1). Шахтата „Ленко 1“ е с дълбочина 930 м, „Ленко 2“ е 987 м и са свързани помежду си чрез травербани. Рудният стълб в централната си част е с мощност 15 м, рудните жили са маломощни 1,5 – 2 – 2,5 м, стръмно, (почти вертикално) западащи, с ясни контакти и кварц-карбонатна спойка. Рудната зона е изградена от силно натрошени до напълно стрити, хидротермално променени вулканити.

Експлоатацията на участъци „Ленко“ 1 и 2 достига дълбочина 830 м (р. з. 13) по р. жила 1 – от повърхността до хор. 550; по р. ж. 101 (сляпа), разработването е между



a.

хор. 500 до хор 740. По р. жила 102 (също сляпа), орудена от хор. 640 до хор. 840 няма експлоатация; по р. жила 103 (сляпа) запасите са локализирани в околошахтовия целик [3,4] и са изземвани преди закриването на рудника.

Основно приложение в годините на добива, в участък „Ленко“, има системата с магазиниране на рудата. Размерите на добивните блокове са: ширина 50 – 80 м; височина 40 – 50 м и дебелина 2,5 - 3,0 м. Системата с хоризонтални слоеве и запълнение са прилагани под хор. 640. параметрите на блоковете са същите, запълнението е сухо скално от прокарване на изработки и от вътрешни карieri. Хидрозапълнение е прилагано при отработването на околошахтовия целик (р. ж. №№ 101 – 103) и отделни блокове на р. з. 13А.

На фиг. 4 са показани протяжни разкъсвания и пропадания на терена по протежението на р. ж. 1.



b.

Фиг. 4.

Геомеханични фактори

Основните геомеханични фактори, обуславящи загубата на устойчивост на системата ВМ/ДП и предизвикали разкъсванията и пропаданията на терена са:

- Напрегнатото състояние – действащо тектонско поле на напрежения с аномално разпределение – сравнително ниска (в горните хоризонти) гравитационна компонента и превишаващи я хоризонтални (тектонски) напрежения, определящи по същество устойчивостта на системата и параметрите на полето [10];
- Добри якостни свойства на изграждащите скали, но строежът и структурните характеристики (стръмнозападащи рудносни зони, преобладаваща отвесна напуканост, с ниска тангентиална якост; ясни контакти и глинисти прослойки, обуславящи ниска тангентиална якост по разделителните повърхности на нарушенията от висок ранг [3].
- Плитко заложени експлоатационни блокове, с неподдържани иззети пространства, при покриващи се във височина; отработени участъци, чиито размери превишават дълбината на разработване, обуславящи концентрации и зони на опън в горнищата на магазините от тектонското разпределение [17].

Съчетаването на горните фактори обуславя разрушавания от структурни придвижвания на малка

дълбочина, както и от превишаване на якост в дълбоките хоризонти. Движението на скалите при тези условия са максимално развити, с максимални ъгли на движение и разкъсване, формира се несиметрична мулда, с което се създават условия за внезапни пропадания, още с изземването на първите блокове.

На база на резултатите от приложените геомеханични класификации са извършени допълнителни изчисления за определяне зоните на неустойчивост над добивните пространства, чрез получавания хидравличен радиус R_h [14] височината на обрушаване h_0 [14], както и безопасната дълбочина (h_o) на отработване [2].

За иззетите пространства (във висящия блок), зоните на обрушаване се развиват до 40 - 50 м над горнищата на иззетото пространство, а безопасната дълбочина (при всички условия на значението ѹ) е значително по-голяма от тази, на която са заложени приповърхностните магазини.

От проведените анкети с бивши ИТР специалисти от рудника, се потвърдиха гореизложените обстоятелства – в участъците „Ленко“ 1 и 2 е имало както вътрешни (в дълбочина) внезапни пропадания, така и разкъсвания на терена.

III.2. Участък „Надежда“

В находище „Върли бряг“ от голямо промишлено значение са още няколко рудовместстващи структури, развити във висящия блок, над основния тектонски рудопроводящ разлом. В тях, освен посочените по-горе, са образувани още р. ж. №№ 104, 10 и 12. Системата от всичките тези почти вертикални, простиращи се на значителна площ рудни жили е била обект на дългогодишна експлоатация както в участъци „Ленко“ 1 и 2, така и в участъци „Труд“ и „Надежда“. За да избегнем повторения при анализа на минно-техническите и геомеханични условия, които са аналогични на тези в „Ленко“ 1 и 2, тук ще дадем само конкретните характеристики на създадената в участъка обстановка.

Рудното поле „Надежда“ е разкрито с две вертикални шахти – шахта „Надежда“ (ш. № 2), дълбочина 349 м и шахта № 8 с дълбочина 625 м. Двете шахти са свързани с етажни травербани. Експлоатираните жили са 1, 2, 13, 13A, 101 ÷ 105.

Запасите са иззети през 60-те години на миналия век. Дълбочината на минните работи е 250 и 350 м. Тук също са реализирани значителни обеми вътрешни обрушавания на магазини, около ствола на шахта „Надежда“, както и обстоятелството, че размерите на добивните пространства надвишават дълбината им на залагане. При аналогични други условия (НДС, свойства, нарушеност) загубата на устойчивост и разкъсванията по терена се дължат на обстоятелството, че зоната на обрушаване надхвърля 50 м. Фактическата дебелина на покриваща комплекс е със същата дебелина (40 – 50 м), но в нея влизат кватернерните наслаги и почвения слой, които по методиката се изключват от разчетите – работи се само с

дебелината на коренните скали [2]. И тук, според анализа, най-вероятно вместващият масив е загубил устойчивост още след източването на плитко заложените блокове.

Вероятно тези инциденти са предизвикали и смяната на системата на разработване. Въведена е системата с изземване на слоеве и запълване, която от хоризонт 130 (фиг. 8^А) става основна за участъка.

III.3. Участък „Ударник“

Минно-технически условия

Участъкът експлоатира запасите от рудни жили №№ 4 ÷ 13, 9, 10 и 20. Находището е разкрито с една наклонена шахта и вертикални шахти №№ 4, 11, 9. Запасите са напълно погасени от повърхността до кота - 240, след което жилата 4 се стикова с рудна зона 13, иззета до хор. - 440. Р. ж. 10 (в района на ш. 11) е иззета от повърхността до хор.- 605. Участъкът се характеризира с най-висока концентрация на добивни работи на единица площ. Прилаганите системи на разработване са с магазиниране (в горните хоризонти) и хоризонтални слоеве, и хидрозапълнение. На фигура 5а. са показани снимки на каскадно пропадане по р. ж. 4, с размери 200 – 250 м и дълбочина 6 – 8 м. При огледа е установено, че стъблото от електропроводната мрежа високо напрежение е на 6 – 7 м от зоната на разкъсване на споменатото каскадно пропадане на терена. На фиг. 5б. е показана отворена щолня към ш. 9.

Тук трябва да се отбележи, че това е районът с най-интензивно (и нерегламентирано), според нас, застрояване. За илюстрация, на фиг. 5в. е показана снимка на постройки, директно върху шахта 4.



а.



б.



в.

Фиг. 5.

За целите на оценката на устойчивостта на масива и тук са извършени обобщени изчисления на височината на развитие на зоната на обрушаване, и напуканост на масива, съгласно [2]. За иззетите пространства от висящия блок, зоните на обрушаване и разуплътнение (при непълното плоенно подработване) са в границите на 50 – 60 m (в района на наклонената шахта) и 80 – 94 m за блоковете в зоната между шахти №№ 9 и 11. Фактическата дебелина на скалите от покривката е съответно 30 – 50 m. При установените по-горе интегрални механични характеристики, разуплътнението на масива и движението на скалите, съществуващи минните работи, обуславят загубата на устойчивост на системата ВМ/ДП. С изключение на десния фланг, прилаганата в участъка система на разработване е с магазиниране на рудата в горните хоризонти. Налице са и вътрешни обрушавания и пропадания на хоризонти. Всичко това предопределя

значителните площи разкъсвания на земната повърхност – най-големите за рудник „Върли бряг“.

III. 4. Участък „Капчето“

Участъкът е експлоатиран през 70-те години и е разположен в СИ край на рудното поле „Върли бряг“, и по същество е самостоятелно рудопроявление. Запасите са в р.ж. 50. Разкриването е със сляпа вертикална шахта, дълбока 188 m, свързана чрез извозна щолня. Жилата е разработвана чрез система с хоризонтални слоеве и хидрозапълнение. Минно-техническите условия са сходни с тези, от останалите участъци на находището.

На фиг. 6а,б са показани снимки на актуалното състояние на релефа. Щолнята е затворена, по горнището ѝ има пропадане, което продължава до комина K1, който е отворен злоумишлено. На 7 – 8 m от комина има ново разкъсване и пропадане с размери 30 x 20 m и дълбочина 7 – 9 m.



а.

Фиг. 6.



б.

В геомеханичен аспект, тук ситуацията се различава с обстоятелството, че пропадането и разкъсванията на терена не са обусловени от добивните работи. Орудяването с промишлено съдържание е на дълбочина ≥ 60 m, което обяснява липсата на развитие на движението на скалите до повърхността. Пропадането е развито по направлението на щолнята, дебелината на покриваща слой е 15 – 20 m, но в нея влизат кватернера и хумусния слой. Най-вероятно, тук разрушенията са от структурни придвижвания, вследствие разуплътняване на масива от плитко прокараната щолня, за което свидетелства геометрията на разрушението и неговото развитие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат от взаимодействието на специфични геологични и минно-технически условия, под въздействието на концентрирано, дългогодишно разработване на сближените, стръмозападащи рудни жили, във въместващия масив са акумулирани рискови геомеханични фактори, обусловили развитието на неблагоприятните, съществуващи добива процеси, на загуба на устойчивост на системата „Въместващ масив/Добивни пространства“, развили се до земната повърхност.

Над участъци „Ленко“ 1 и 2, „Надежда“ и „Ударник“ са се образували несиметрични мулди, с максимални движения и ъгли на разкъсване, което е обусловило и внезапните пропадания на повърхността и в дълбочина на масива. Основните причини за това са тектонското поле на напрежения, структурните характеристики на масива, иначе изграден от здрави скални разновидности, както и прилаганата система на разработване с неподдържани иззети пространства, на малка дълбочина. Реализираните разрушавания на масива в близост до повърхността са от структурни придвижвания по разделителните повърхности, вследствие ниската тангенциална якост на нарушената и/или тектонските разломи.

Съгласно оценката, опасни за застрояване са всички зони от терена над проблемните участъци. Това е така, защото наред със структурните характеристики на масива, генотипа на полето на напрежения от участъците на рудник „Върли бряг“ за периода на съществуване са добити 7 865 000 t руда. Една обобщена оценка, на практиката на жилните находища в страната е установила, че за добива на 1000 t руда се прокарват 120 m³ сервисни изработки, 100 m³ добивни пространства и 350 m³. Отнесено към участъците на рудник „Върли бряг“, във въмстващия масив са образувани общо над 4,5 млн m³ техногенни празнини и разуплътнени обеми скали.

Изложеното, наред с данните от оценките, обуславя неустойчиво състояние на масива и опасност за хора и животни в районите, засегнати от минните работи. В смисълът на изложеното, никой не е в състояние да опише подробно опасните зони, тъй като негативните въздействия върху земната повърхност са комплексни, с неизучени, по времето на експлоатация, взаимозависимости и понастоящем зависят от случайното им съчетаване, при което да се инициират вероятни инцидентни обрушавания, и продължаващи разкъсвания на терена или свързването на зоните на разкъсване между проблемните участъци. Анализът показва, че вероятното развитие на нарушенията може да се очаква предимно по направлението на минималния тектонски натиск (СИ – ЮЗ).

След закриването на рудник „Върли бряг”, развитието на геомеханичните процеси във времето се определят **само и единствено** от неконтролируеми и неуправляеми външни за системата фактори (НС, подземни води, неблагоприятна ориентация на мрежата неподдържани подземни изработки относно тектонските компоненти, планетарни и климатични явления). Изложеното, наред с обстоятелството, че в жилните находища процесите на движения са неизучени (потвърдено от сигналните писма за нови разрушения от 2008 г. на участъци, отработени преди около 60 години), потвърждава тезата на извършения геомеханичен анализ за риск от продължаващи внезапни инциденти от техногенно-природен произход.

За намаляването на геомеханичния риск от развитие на зоните на разкъсване и/или пропадане на масива, според представената оценка и успешните практики, най-подходящо инженерно мероприятие за стабилизирането на покриващия комплекс е запълването на пропаданията с достатъчен обем от стерилни скали и/или твърди строителни отпадъци. С това ще се осигури минимизиране или ограничаване на вероятни структурни придвижвания на подсечени блокове, чрез увеличаването на ъглите на движение на скалите над иззетите пространства.

Всичко изложено, извършените огледи, при които се установи мащабно застрояване, използването на няколко координатни системи и липсата на данни от пресъставянето на планове на подземните работи, налагат необходимостта от изгответянето на актуален кадастър на нарушенията, предварително обвързан с маркшейдерска (руднична) и геодезическа (на общинските служби) информация за осигуряването на адекватен и актуален проект за техническа рекултивация на засегнатите, от вредните въздействия на добива, райони.

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

Достоверността и надеждността на настоящата геомеханична оценка и дадената прогноза са в пряка зависимост от точността, достоверността и надеждността на предоставената ни информация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Б. – Медните находища в България – с. Техника 1987.
2. Хрисчев Г. и др. - Опазване на съоръженията и обектите от вредното влияние на подземните минни работи - Техника, 1978.
3. Турчанинов И. А. и др. - Основы механики горные пород - Недра, 1989.
4. Beyth F. G. H. - A Geology for Engineers - 1988, W & Sons.
5. Методические рекомендации по изучению НДС горных пород МР41-06-079, 1986.
6. Геология и металогения на Бургаския руден район - ред. П. Попов, трудове МГУ, 1993 г.
7. Техническа ликвидация на рудник „Върли бряг” – работен проект КНИППИ „Нипроруда”, 1994.
8. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок - Л. НАУКА, 1978.
9. Voncev E. - Seismotectonic features of Bulgaria - Geologica Balcanica, 12.2.1982.
10. Herget, G - Stresses in Rock - A. A. Balkema, 1982.
11. Марков Г. А. - Тектонические напряжения и горное давление в рудниках Хибинского массива - Л. НАУКА, 1987.
12. Геология и металогения на Бургаския руден район - ред. П. Попов, трудове МГУ, 1993 г.
13. Миланович П. и др. - Класификације стенског масива њихова примена - Београд, 1997.
14. Barton et al, Application of the Q-system in design decisions, NY, Pergamon, 1980.
15. Именитов В. Р. – Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений - М. Недра, 1978.
16. Рыжков Ю. А. - Механика и технология формирования закладочных массивов, М., Недра, 1985.
17. Hoek E. - Rock Engineering - AA Balkema, 2002.
18. Hoek E. et all - Support of Underground Excavations in Hard Rock - A. A. Balkema, 1995.
19. Иванов В. - Геомеханична оценка на масива, след закриване на рудник "Росен", "Бургаски медни мини" ЕАД, Год. на МГУ "Св. Иван Рилски", т. 49, св. II, 2006.