



**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА МИННИЯ МАСИВ ПРИ СЛОЕВА СИСТЕМА НА
РАЗРАБОТВАНЕ СЪС СУХО СКАЛНО ЗАПЪЛНЕНИЕ НА ИЗЗЕТОТО ПРОСТРАНСТВО**

Г. Дачев, Кр. Дерменджиев, К. Куцаров
д-р инж. Георги Дачев e-mail: g.dachev@me.government.bg
Проф. д-р инж. Кръстьо Дерменджиев e-mail: krderm@mgu.bg
д-р инж. Кирил Куцаров e-mail: kbkutsarov@gmail.com

**INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF THE MINING MASSIF IN A LAYERED SYSTEM OF
DEVELOPMENT WITH DRY ROCK FILLING OF THE SEIZED SPACE**

PhD. Eng. Georgi Dachev e-mail: g.dachev@me.government.bg
Prof. PhD. Eng. Krastyo Dermendzhiev e-mail: krderm@mgu.bg
PhD. Eng. Kiril Kutsarov e-mail: kbkutsarov@gmail.com

ABSTRACT

Under certain mining-geological and mining technical conditions, it is suggested to use a layered system of development, with dry rock filling of the seized spaces. Using Rockscience's software product - Phase² ver. 9.0 the expected stressed and deformed state of the mining massif in the underbite and extraction space is investigated and analyzed. Based on the results of the study, it is proposed to maintain a stable state of the underbite space. An order of seizure of the ore body has also been proposed, as a geomechanical analysis has been carried out on basic indicators that may affect the stability and the proposed order of seizure.

Въведение

За ефективното прилагане на системата на разработване и добивната технология от особена важност е начинът на управление на състоянието на минният масив, фиг.1. При всички случаи неговото състояние се определя от физикомеханичните свойства на масива, неговата нарушеност и изискванията за охрана на съоръжения ситуирани под земята и на повърхността. Втората основна стъпка е изборът на начин на управление на скалния натиск (т.н. напрегнато и деформирано състояние): с целици; със или без използване на крепеж и/или със запълване на иззетите пространства. Този избор проектно се решава чрез изследване на очакваното поведение на минния масив в призабойното пространство и се коригира след отпочване и развитие на минностроителните и добивни работи. На фиг. 1 са представени класовете и подкласовете на системите за подземно разработване и е представена връзка между напреженията и деформациите в зависимост от прилаганата система.

При разработването на стръмнозападащи средно дебели рудни зони (рудни тела) със слоеви системи на разработване и сухо скално запълнение може да се прилагат две технологични схеми - последователна и паралелна. И двете са подробно описани и качествено оценени с техните предимства и недостатъци [1,2]. При тези оценки се приемат две хипотези: добивното пространство е устойчиво и се поддържа без крепеж; добивното пространство е неустойчиво и устойчивото му състояние се осигурява с крепеж.



Фиг.1 Връзка между напреженията и деформациите в зависимост от прилаганата система при подземно разработване

При определени физикомеханични свойства на минния масив, параметри и геометрия на системата и добивните пространства и при двете хипотези остават следните открити въпроси:

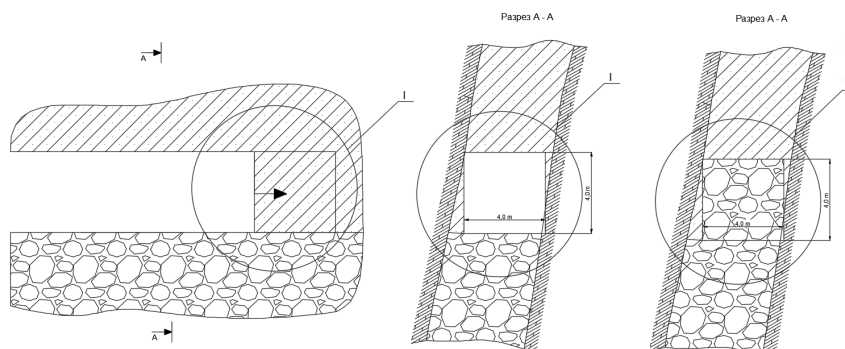
- при какви параметри на добивните и работни пространства е възможно да се работи без крепеж? Как се променя напрегнато-деформираното състояние на масива при различни параметри на добивните и работни пространства?
- при какви минногеоложки условия и набор от физикомеханични свойства на минния масив една или друга добивна технологична схема може да бъде приложена успешно? и др.

В настоящия доклад е направен опит да се отговори на поставените по-горе въпроси.

Основни добивни технологични схеми

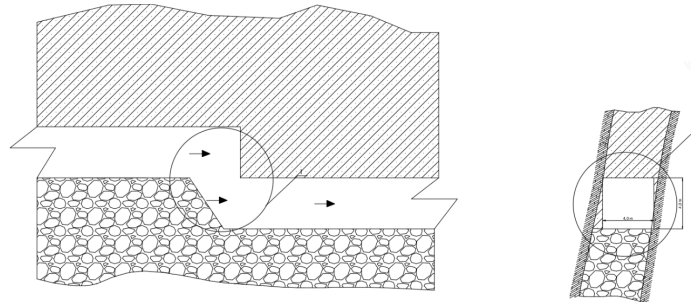
Описаните по-нататък добивни технологични схеми са основа на изчислителните и изследователски модели за анализа на напрегнатото и деформирано състояние на минния масив в призабойното пространство. Представени са две технологични схеми.

Първата-последователна схема, фиг.2, включва: добивни работи в рамките на глух забой – галерия с размери 4x4 m и напредък от 2,5 m.; дължина на добивната изработка от 50 до 150 m. Изработката е ограничена от таван и стена от естествен масив и непроменени свойства, а в долнище, иззето пространство запълнено със сухо запълнение, с определени свойства. След прокарането на слоевата галерия-добив, оборудването се изтегля и започва нейното запълване с товаро-транспортни машини. При запълването се постигат следните параметри: коефициент на запълване 95%; кохезия 0,1 МРа и ъгъл на вътрешно триене 34,5 градуса. Очакван разпор от 0,1 МРа. В дълбочина запълненият масив се уплътнява и придобива по-високи якостни показатели.



Фиг.2. Последователна схема на отработване на рудното тяло

Втората технологична схема е с паралелна работа в две съседни слоеви галерии: една – горе в добив и една долу в запълване – фиг. 3. Параметрите на слоевите галерии се запазват. Добивните и запълвачните работи се извършват последователно в общ цикъл на минните работи. Призабойното пространство е под формата на обратно стъпало. Забойт е с две открити плоскости, а запълнението не оказва въздействие върху състоянието на минния масив и устойчивостта на работното пространство.



Фиг. 3. Паралелна схема на отработване на рудното тяло

Минно-технически условия на отработване на рудното тяло

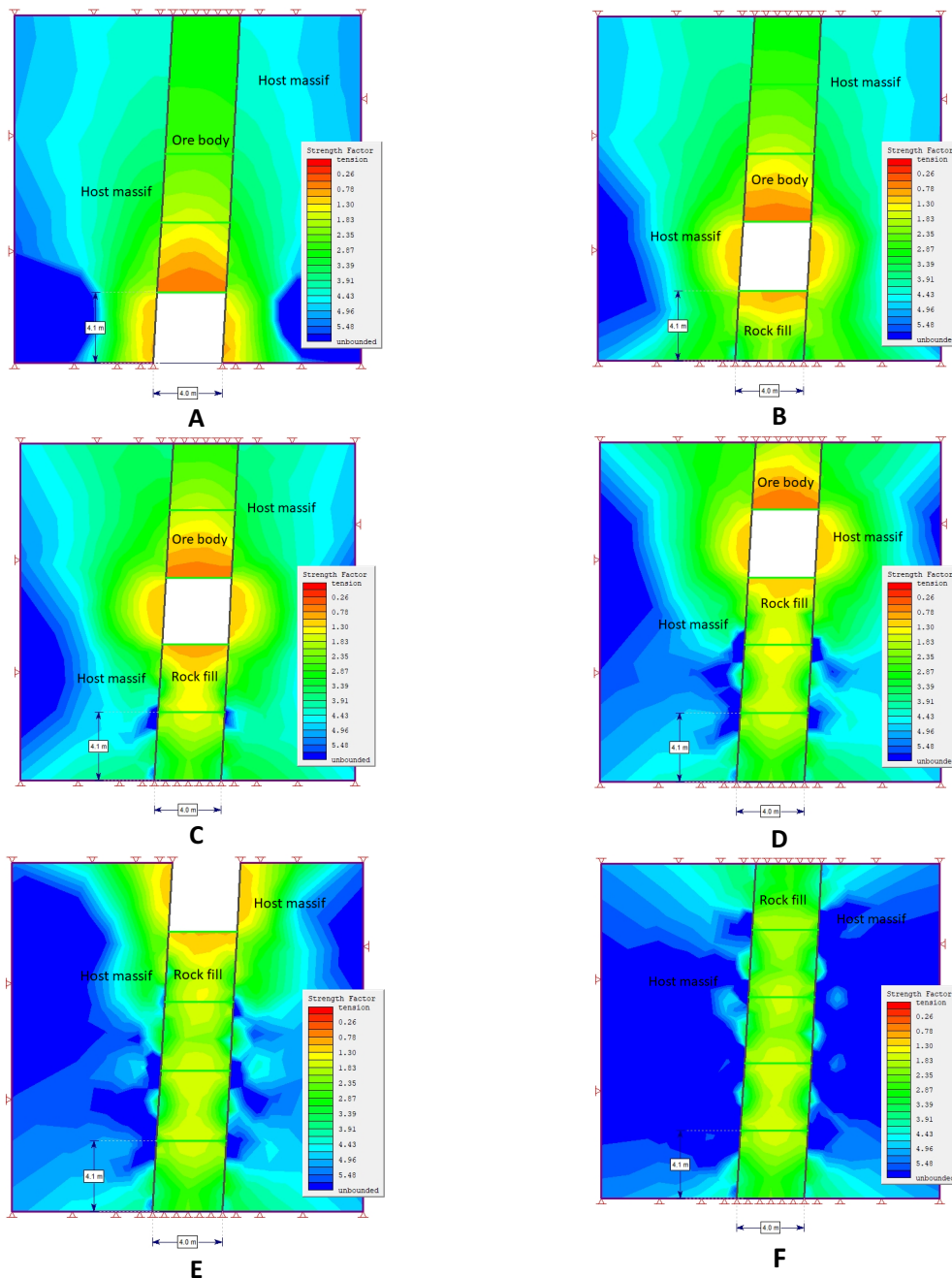
Прилагането на системата и добивните технологични схеми се предвижда да се осъществи в рудни зони с дебелина между 4-5m. Зоните са с променлива дължина по простиране, от 50 m до 150 m. Наклонът на рудното тяло варира от 70 градуса до 90 градуса (стръмно западащи рудни тела). Средната дълбочина на разработване е 125m. Обобщените физикомеханични свойства на масива са представени по-долу. Рудната зона /рудното тяло/ се характеризира с: средно обемно тегло 27 kN/m^3 ; якост на едноосов натиск -35-48 MPa; якост на опън - от 4 до 9 MPa; модул на Еластичност – 22 500 – 28 000 MPa; коефициент на Поасон – 0,09-0,11; кохезия – 13,5 – 15,2 MPa и ъгъл на вътрешно триене 33,5 – 35 градуса. Вместващите скали в долнище и горнище се характеризират с: средно обемно тегло 32 kN/m^3 ; якост на едноосов натиск – от 74 до 96 MPa; якост на опън - от 8 до 14 MPa; модул на Еластичност – 48 000 – 63 400 MPa; коефициент на Поасон – 0,07-0,09; кохезия – 17,0 – 19,8 MPa и ъгъл на вътрешно триене 32,0 – 34 градуса. Сухото скално запълнение се характеризира със следните показатели: кохезия – 0,1 MPa и ъгъл на вътрешно триене 34,5 градуса. При използване на критерия на Mohr-Coulomb за якостта на натиск на несвързания масив – скално запълнение е приет индекс нула. Резултатите за физико-механичните свойства са набавени от лабораторни изследвания извършени съгласно стандартите на ISRM [3].

Изследване на състоянието на минния масив в призабойното пространство

За изследване на очакваното състояние на минния масив в призабойното и добивно пространство при двете основни технологични схеми е използван лицензираният програмен продукт на Rocscience Phase² v9.0. Чрез него се определят максималното главно действащо напрежение - σ_1 , минималното главно действащо напрежение – σ_3 , коефициентите на локална устойчивост FS (Factor of safety) и абсолютните деформации при всеки етап от развитие на минните работи (изземване на всеки слой и запълване на вече иззетия), фиг.4.

От проведените числени изследвания с програмния продукт на Rocscience Phase² v9.0. се установи, че напреженията в тавана на слоя имат магнитуд, изменящ се в диапазон от 3,0 MPa до 4,2 MPa. Изследването показва още, че около иззетия слой не се образуват зони на концентрация на опънови напрежения при използване на подпорен крепеж за горнището. Концентрация на близки до опъновите напрежения се образува само през първия етап, по време на прокарване на слоевата минна изработка на най-долно ниво. При изследване на напрегнатото състояние във вместващия около слоевите галерия масив не се наблюдават опасни опънови напрежения в стените. Параметричния анализ за състоянието на системата вместващ масив/открити добивни пространства дава възможност да се

определи и девиатора на напрежения ($\sigma_1 - \sigma_3$). Получените резултати от тези изследвания установяват, че девиатора на напрежения в масива около прокараната минна изработка/слова галерия е в интервала от 2,4 до 3,2 МПа. Този резултат показва, че значителен прираст на напрегнато състояние във вместващия около слоевите минни изработки масив през различните етапи на отработване на рудното тяло няма да има, което гарантира локалният му стабилитет. Оценката за състоянието на масива е извършена на базата на коефициента на локална устойчивост (FS). Анализът установява, че коефициента FS през различните етапи се променя от 1,3 до 1,5.



Фиг.4. Анализ на устойчивостта при етапите на отработване на рудното тяло

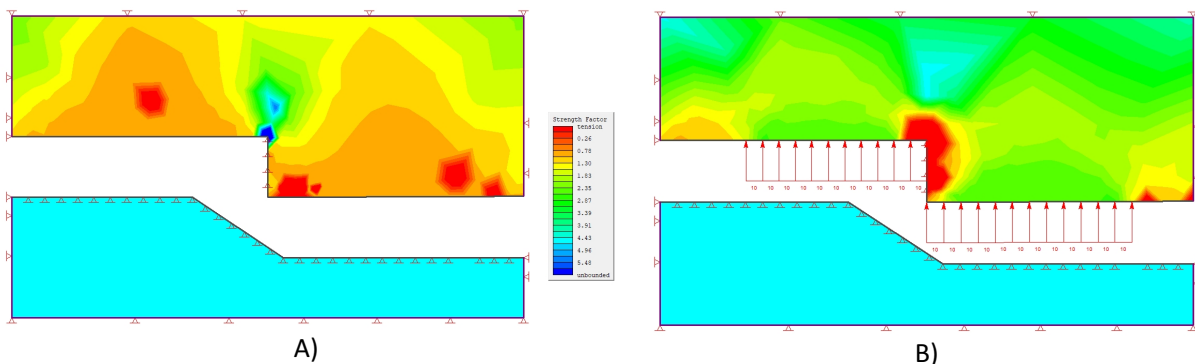
С помощта на числения модел Phase² ver.9.0 са анализирани етапите при изземване на блока с височина от 20 м – /5 ленти по 4 м/ по мощността на рудното тяло. За осигуряване на горницето при

изземване на всеки слой е симулирано закрепване с подпорен крепеж в тавана, стените не се крепят. Изследван е коефициента на устойчивост – Factor of Safety при изземване на всеки слой. Анализирани са състоянието на двата контакта – лежащ и висящ парамет – лява и дясна стена и таван на слоя. Формата –напречното сечение на изработката е идеализирано, като са избрани размери 4x4 m за работа на минната техника и оборудване с цел осигуряване на технологичните процеси.

Резултатите показват че в избрания възходящ ред на изземване и непосредствено запълване на издетите слоеве коефициента на сигурност $FS \geq 1,5$ за стените и $FS \geq 1,3$ за тавана на камерата, при задължително използване на подпорен крепеж.

Изследвания са извършени и при едновременно изземване/добив от два слоя, при насрещни забой и/или изпреварващи забой. Резултатите от геомеханичният анализ показват, че задължително при работа с насрещни забой/изпреварващи забой трябва да се крепи освен тавана, но и стените.

Численият модел демонстрира формиращите зони с висока концентрация на опънови напрежения в тавана при варианта без крепеж, което предполага изкубяване и/или скъсване на горницето и/или пропадане, фиг.5. Това се установява и чрез стойностите на коефициента на устойчивост при изземване на един слой и непосредствено запълване на следващия за работа върху него.



Фиг 5. Анализ на устойчивостта при едновременно изземване/добив от два слоя. А – без крепеж; В – с използване на подпорен крепеж за осигуряване на тавана.

При закрепване на призабойното пространство с висящ крепеж с подпор 10 kN настъпва промяна на напрегнатото състояние съпроводена с повишаване на устойчивостта на масива /повишаване на коефициента на устойчивост, фиг 5.

Извършено е обследване на устойчивостта на системата вместващ масив/открито добивно пространство (призабойно пространство) посредством числения модел Phase2 ver.9.0. Анализите са направени при мощност на рудната зона от 2,0 m, от 2,5 m и от 3,0 m. Изследването показва, че при дебелина на рудната зона до 3m призабойното пространство е устойчиво и може да се работи без крепеж. Анализът е показал, че при мощности над 3,5 m при работа под неосигурено горнище създава предпоставки за увеличаване на хидравличния радиус и образуване на свод с концентрации на опънови напрежения.

Изводи и предложения

Анализът на резултатите от изследване на поведението на минният масив в призабойното пространство и при двете технологични схеми показва, определено сходство. При заложените параметри на слоевата галерия и при двете технологични схеми е необходимо тя да се закрепва с лек крепеж, с отпор минимум 10 kN. Приложеният анализ позволява да се обследва напрегнатото-деформирано състояние (НДС) на системата на разработване и да се дефинира нейната устойчивост при всеки етап от отработване на рудното тяло (при отработване на всеки слой). Резултатите са много надеждни когато се използват реални характеристики от които моделът се нуждае – т.н. база данни.



Литература:

- [1] **МИЛЧЕВ, М.**, Кр. Дерменджиев. Очаквани прояви на скалния натиск при слоева система с възходящ ред на изземване и запълване. Сб.докл. от X Международна конференция по Геомеханика, 19–23 септември 2022., Варна, България, с.74–82
- [2] **ДЕРМЕНДЖИЕВ, Кр.**, Г. Стоянчев, К. Куцаров. Крепеж за добивни изработки при разработване на неустойчиви рудни жилни и пластообразни залежи. Сб.докл. от X Международна конференция по Геомеханика, 19–23 септември 2022., Варна, България, с.53–58.
- [3] **BROWN E. T.** Editor "Rock Characterisation Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, 1991.
- [4] **DACHEV G.**, Stefanov D. Analysis of the geomechanical state of isolated inter-room support pillars. Geotechnical challenges in karst ISRM Specialised Conference/Međunarodna konferencija 8. Savjetovanje Hrvatskog geotehničkog društva Omiš – Split, Croatia, 11-13 April 2019, page 175-180.
- [5] **DACHEV G.**, Kutsarov K., Georgiev D. The safe and effective acquisition of geo-resources as the main objective of geomechanics. XIth Expert counseling with international in the area of underground and surface exploitation and geological exploration of mineral resources Podelks Poveks 2018, Struga, R. of Macedonia 09-11 November 2018, page 143-149.
- [6] **ДАЧЕВ, Г.**, Ръководство за упражнения по приложна механика на скалите, ISBN 978-619-160-822-5, (2017).