## **Proceedings of the**

## **X INTERNATIONAL GEOMECHANICS CONFERENCE**



19 – 23 September 2022 Varna, Bulgaria

## **EDITORIAL BOARD**

Prof. DSc Nikolay Nikolaev, Assoc. Prof. Dr. Evgeniya Aleksandrova, Prof. Dr. Dimitar Anastasov, Dr. Eng. Tsvetomir Velkov, Prof. Dr. Michail Vulkov, Prof. Dr. Krastyo Dermendzhiev, MSc Eng. Tzvetan Dilov, Prof. Dr. Ventzislav Ivanov, Prof. DSc Kolyo Kolev, Prof. Dr. Chavdar Kolev, Dr. Eng. Nikolay Milev, Prof. Dr. Georgi Mihaylov, Assoc. Prof. Dr. Veliko Parushev, Assoc. Prof. Dr. Ekaterina Serafimova

SCIENTIFIC AND TECHNICAL UNION OF MINING, GEOLOGY AND METALLURGY

ISSN: 1314-6467

2022, Bulgaria

## **GOLD SPONSOR**



**SILVER SPONSORS** 



## **BRONZE SPONSOR**





## Dear Ladies and Gentlemen, Dear Colleagues, Dear Guests,

Allow me on behalf of the Organizing Committee to congratulate the participants in **X Jubilee International Geomechanics Conference**.

The International Geomechanics Conference has become a traditional scientific event that has proven its authority and

importance over the years. The topics of the conference, determined by the members of the National Editorial Committee, are current and significant. The big challenge facing the mining industry is the rational use of mineral resources.

The days of cheap energy are gone. Many things indicate that the world is entering a period when energy will be considered a rare and more expensive commodity and this will also lead to other challenges for the mining industry in the area of researching new more efficient techniques and development technologies. Another challenge is the continuous increase in the depth of operation, both for open pit and underground mines. This means an increase in the level of risk, which has a significant impact on the safety of working conditions. New geomechanical methods are needed to recognize and predict risk.

In the conference this year involved colleagues from Bulgaria, Germany, Japan, North Macedonia, Serbia and Ukraine. I would like to thank you for your participation in X Jubilee International Geomechanics conference, which contributes to the success of the forum.

I would like to express my sincere gratitude to the Golden Sponsor – Dundee Precious Metals, Silver Sponsors – Geotechmin OOD, Ellatzite Med AD, Geotrading AD, Geostroy AD and the Bronze Sponsor – Asarel-Medet AD.

I would like to wish you fruitful work, useful discussions, business-important proposals and solutions and many scientific successes.

It is our hope that you have been able as well to get a touch of our Sea capital city, our Country, and the Bulgarian people, perhaps, with the intent to visit us again in 2024 on the occasion of the next XI INTERNATIONAL GEOMECHANICS CONFERENCE.

Be healthy and good luck!

Dr. Eng. Kremena Dedelyanova Chairperson of the Organizing Committee





DESIGN AND CONSTRUCTION OF INFRASTRUCTURE PROJECTS

DESIGN AND CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL PROJECTS

DESIGN AND CONSTRUCTION OF CIVIL PROJECTS

**GEODETIC AND MINE SURVEYING SERVICES** 

www.geostroy.com

МАЛКИ СТЪПКИ. ГОЛЕМИ СЛЕДИ. SMALL STEPS. BIG TRACES



www.geotechmin.com



A PARTNER YOU CAN RELY ON www.geotrading.bg

# ELLATZITE MED

## **GEOTECHMIN GROUP**

Ellatzite-Med AD, part of GEOTECHMIN GROUP, is among the leading mining companies in Bulgaria, dealing mainly with open-pit mining and primary processing of copper porphyry gold-bearing ores from Ellatzite deposit.

The company operates on two work sites - Mine Complex, Etropole and Flotation Complex, Mirkovo.

Ellatzite-Med is one of the major investors, taxpayers and employers in Bulgaria. Today the company employs over 2,000 employees. Among the most important priorities of the company are optimal utilization of natural resources, innovations, improving safety measures, responsible investments in the environment, and corporate social responsibility.

Ellatzite-Med AD is certified under the international standards ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 and ISO 50001:2018.

"Елаците-Мед" АД, част от Група ГЕОТЕХМИН, е водеща минна компания в България, която осъществява открит добив и първична преработка на меднопорфирни златосъдържащи руди от находище "Елаците".

Дружеството оперира на две работни площадки - Рудодобивен комплекс, гр. Етрополе и Обогатителен комплекс, с. Мирково. "Елаците-Мед" е един от големите инвеститори, данъкоплатци и работодатели в България.

Днес в компанията работят над 2000 служители. Едни от най-важните приоритети на дружеството са: оптимално използване на природните ресурси, иновации, подобряване на показателите за безопасност, отговорни инвестиции в околната среда и корпоративна социална отговорност. "Елаците-Мед" АД е сертифицирано по международните стандарти ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 и ISO 50001:2018.

#### **УПРАВЛЕНИЕ**

с. Мирково 2086, Тел: (02) 923 77 21, e-mail: office@ellatzite-med.com

РУДОДОБИВЕН КОМПЛЕКС гр. Етрополе 2180, Тел: (02) 923 76 72, e-mail: mine.complex@ellatzite-med.com

ОБОГАТИТЕЛЕН КОМПЛЕКС c. Мирково 2086, Teл: (02) 923 77 29, e-mail: flotation.complex@ellatzite-med.com

#### HEAD OFFICE

2086 Mirkovo, Bulgaria, Tel: (+3592) 923 77 21, e-mail: office@ellatzite-med.com

MINE COMPLEX 2180 Etropole, Bulgaria, Tel: (+3592) 923 76 72, e-mail: mine.complex@ellatzite-med.com

FLOTATION COMPLEX 2086 Mirkovo, Bulgaria, Tel: (+3592) 923 77 29, e-mail: flotation.complex@ellatzite-med.com



## •МИНИ МАРИЦА-ИЗТОК• ЕАД енергийна независимост и национална сигурност



"Мини Марица-изток" ЕАД, гр. Раднево е най-голямото открито въгледобивно предприятие в Република България. Неговата дейност е с определяща значимост, както за националния енергиен баланс, така и за икономическия просперитет на региона и страната. Основната мисия и цел на дружеството е: енергийна независимост и национална сигурност чрез ритмичната доставка на въглища за термичните централи в региона. Дружеството има три открити рудника в експлоатация: рудник "Трояново-1", рудник "Трояново-север" и рудник "Трояново-3". Те доставят лигнитни въглища на термичните електроцентрали в комплекса "Марица-изток": "ТЕЦ Марица изток 2" ЕАД, "ТЕЦ Контур Глобал Марица Изток 3" АД, ТЕЦ "Ей И Ес-Гълъбово" и "Брикел" ЕАД.

Седемдесет години историята на "Мини Марица-изток" е историята на съвременния открит въгледобив в България. Най-голямото българско въгледобивно дружество работи за енергийната независимост и сигурността за развитието националната икономика. "Мини Марица-изток" ЕАД (ММИ) е 100% държавно предприятие, което експлоатира най-големите лигнитни мини в България, разположени в югоизточната част на района на Горнотракийската низина с обща площ на лигнитното находище около 240 кв.км.

Добиваната електроенергия от лигнитните въглища е с относително най-ниска себестойност и висока конкурентоспособност, което предопределя изключително важното значение на добива от Източномаришкото находище за енергийния баланс и енергийната независимост на страната.

Цяло седемдесетилетие лигнитните въглища, добивани в "Мини Марица-изток" са единственият конкурентен местен енергиен ресурс в електроенергийния баланс на Република България сред останалите енергийни източници.

От началото на експлоатацията на "Мини Марица-изток" ЕАД до юли 2022 г. вкл. в дружеството са добити 1 278 527 986 тона въглища и са разкрити, транспортирани и насипани 4 940 182 548 кубични метра земна маса.

"Мини Марица-изток" ЕАД е живата история на откритият въгледобив в България. Развитието на дружеството е цел и мисия на няколко поколения българи. От основаването си досега, комплексът е част от енергийната независимост на страната ни. Той е най-големият на Балканския полуостров и стратегически обект от националната сигурност.



From Nature to people, from people to Nature!



ASAREL-MEDET JSC MINING AND PROCESSING COMPLEX 4500 Panagyurishte, Bulgaria Tel: +359 0357 60210 e-mail:pbox@asarel.com



REPRESENTATIVE OFFICE 168 Sofia, 102 Bulgaria Blvd. Belissimo Business Center, Floor 6 Asarel-Medet JSC office Tel: 359 02 808 25 10 office@asarel.com



Федерацията на научно - техническите съюзи (ФНТС) в България, е творческо професионално, научно-просветно, неполитическо сдружение с нестопанска цел на юридически лица - съсловни организации, регистрирани по ЗЮЛНЦ, в които членуват инженери, икономисти и други специалисти от областта на науката, техниката, икономиката и земеделието. През 2015 г. ФНТС чества 130 години от учредяването си.

ФНТС обединява 19 национални сдружения - научно-технически съюзи (НТС) и 34 териториални сдружения - ТС на НТС, в които членуват над 15000 специалисти от цялата страна.

ФНТС е съучредител и член на Световната федерация на инженерните организации (WFEO). ФНТС членува и в Европейската федерация на националните инженерни асоциации (FEANI).

ФНТС е собственик на еднолично дружество с ограничена отговорност "ИНОВАТИКС" ЕООД което се занимава с инженерно-внедрителска дейност.

ФНТС издава свой собствен вестник "Наука и общество". Членове на ФНТС издават 12 научно-технически списания.

Към ФНТС функционира Център за професионално обучение, лицензиран от НАПОО - към Министерски съвет.

Основните задачи на ФНТС са:

- Да утвърждава организацията като активен член на гражданското общество, да съдейства за повишаване общественото влияние и престижа на българските инженери, икономисти, специалисти в земеделието, техници, учени и изобретатели.
- Да стимулира и насърчава творческата активност и постижения на своите членове, както и да защитава професионалните им интереси.

ФНТС, съвместно с националните и териториалните сдружения, организира годишно повече от 600 научно-технически мероприятия: конференции, симпозиуми, семинари, дискусии и др.

Нашият Дом на техниката се намира на ул. Г. Раковски 108, в гр. София.

Повече информация ще намерите на www.FNTS.bg.

## By courtesy of



FEDERATION OF THE SCIENTIFIC ENGINEERING UNIONS IN BULGARIA

## WITH COOPERATION

- Ministry of Energy in Bulgaria
- Ministry of Economy in Bulgaria
- Ministry of Environment and Water in Bulgaria

## **CO-ORGANIZERS**

- University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"
- University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy
- Geological institute, Bulgarian Academy of Sciences
- University of Transport "Todor Kableshkov"
- University of Structural Engineering & Architecture "Lyuben Karavelov"
- Bulgarian Chamber of Mining and Geology
- Antech TFA Ltd.
- Asarel-Medet JSCo
- Association Bulgarian Coal Mining
- Videx JSCo.
- Geostroy JSCo.
- Geotechmin Ltd.
- Geotrading JSCo.
- Dundee Precious Metals Krumovgrad EAD
- Dundee Precious Metals Chelopech EAD
- Ellatzite Med JSCo.
- Kaolin JSCo.
- Metropolitan JSCo.
- Maritza-Iztok Mines JSCo.
- Minproekt JSCo.
- Minstroy Holding JSCo.
- Niproruda JSCo.
- Association Industrial Cluster Srednogorie

## WITH MEDIA PARTNERS

Journal Mining and Geology Journal Geology and Mineral Resources Newspaper Rudnichar Publishing house Ore and Metals, Russia Newspaper Science and Society

## **ORGANIZING COMMITTEE**

## Chairman:

Dr. Eng. Kremena Dedelyanova

## Honorary Chairmen:

Prof. DSc Eng. Tzolo Voutov

Prof. DSc Nikolay Nikolaev

## **Deputy Chairmen:**

Prof. DSc. Eng. Nikolay Valkanov Prof. Dr. Ivaylo Koprev Prof. Dr. Slaveyko Gospodinov

Dr. Eng. Vladimir Vutov

MSc Eng. Shteryo Shterev

## **Scientific Secretaries:**

Dr. Eng. Georgi Dachev MSc. Eng. Ivan Avramov Dr. Julian Dimitrov

Dr. Krassimira Arsova

## Members:

MSc Eng. Dimitar Angelov Dr. Eng. Nevena Babunska MSc Eng. Rumen Bikov Prof. Dr. Stoyan Bratoev Dr. Eng. Ivan Vutov Dr. Eng. Vladimir Genevski

Prof. Dr. Iliya Garkov

MSc Eng. Dragomir Draganov Prof. DSc. Dimcho Iossifov

MSc Eng. Ivan Kozhuharov Dr. Eng. Krasimir Karparov Prof. Dr. Ivan Markov Assoc. Prof. Dr. Ivan Mitev

Prof. DSc Valeri Mitkov MSc Eng. Delcho Nikolov Prof. Dr. Pavel Pavlov MSc Eng. Dancho Todorov Prof. Dr. Stanislav Topalov MSc Eng. Ilza Chinkova MSc Eng. Yasen Chaushev Chairperson, Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy

Honorary Chairman, Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy Chairman, National Committee of Rock Mechanics

Chairman, Bulgarian Chamber of Mining and Geology Rector, University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" Vice-rector, University of Architecture, Building and Geodetics

Vice-chairman, Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy

Vice-chairman, Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy

Ministry of Energy Zinkgruvan Mining AB, Lundin Mining Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy

Executive Director, Kaolin JSCo.

University of Transport "Todor Kableshkov"

Executive Director, Minproekt JSCo.

Executive Director, Metropolitan JSCo.

Chairman of the Board of Directors, Geotrading JSCo.

Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy

Executive Director, Dundee Precious Metals Chelopech EAD, Dundee Precious Metals Krumovgrad EAD

Executive Director, Ellatzite Med JSCo.

Scientific and Technical Union of Mining, Geology and Metallurgy

Executive Director, Eurotest-Control JSCo.

Asarel-Medet JSCo Rector, University of Architecture, Building and Geodetics

Executive Director, Bulgarian Chamber of Mining and Geology

University of Mining and Geology St. Ivan Rilski Executive Director, Asarel-Medet JSCo

University of Mining and Geology St. Ivan Rilski Executive Director, Niproruda JSCo.

Chairman, Association Bulgarian Coal Mining

Executive Director, Maritza-Iztok Mines JSCo.

Maritza-Iztok Mines JSCo.

## **INTERNATIONAL ADVISORY COMMITTEE**

Prof. Michael Zhuravkov	- Belarus
Corr. member Victor Prushak	- Belarus
Prof. Ivan Vrkljan	- Croatia
Assoc. Prof. Dr. Petr Konicek	- Czech Republic
Prof. Carsten Drebenstedt	- Germany
Dr. Eng. Michael Bardanis	- Greece
Prof. Ákos Török	- Hungary
Prof. Risto Dambov	- North Macedonia
Prof. Anton Sroka	- Poland
Prof. Petru Ciobanu	- Romania
Prof. Vassilii Barishnikov	- Russia
Prof. Viktor Gordeev	- Russia
Acad. Mikhail Kurlenya	- Russia
Dr. Iosif Wolfson	- Russia
Dr. Eng. Milinko Radosavljevic	- Serbia
Prof. Nebojsha Gojkovich	- Serbia
Prof. Vladimir Sedlak	- Slovakia
Assoc. Prof. Dr. Joze Kortnik	- Slovenia
Prof. Ersin Arioglu	- Turkey
Prof. Resat Ulusay	- Turkey
Prof. Garri Litvinskii	- Ukraine

## **TOPICS**

- A. Physical and mechanical properties of rocks and rock mass.
- **B.** Stress and strain condition of the rock mass. Interaction between rock mass and engineering structures.
- C. Measuring in geomechanics. Remote methods. Monitoring.
- D. Evaluation of the stable condition. Blasting and Seismic Loading. Dynamic activities of rock stress. Probability method. Hazard and risk in geomechanics.
- E. Environment protection in mining and construction activities.

## **CONTENTS**

## Topic A

Physical and mechanical properties of rocks and rock mass

Физико-механични свойства на скалите и скалния масив

Физико-механические свойства горных пород и горных массивов

A-1 PHYSICAL - MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LIMESTONES FROM THE LOCALITY 3 VIDOVISTE, THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA AND THEIR APPLICATION AS CONSTRUCTION STONE

Gorgi Dimov, Blagica Doneva

<u>А-2</u> ФИНО КЛАСИРАНЕ НА КВАРЦОВ ПЯСЪК СЪС СИТОВА МАШИНА HAVER FINE-LINE 8 Методи Златев, Клаус Фененкьотер

## Topic B

23

1

Stress and strain condition of the rock mass. Interaction between rock mass and engineering structures

Напрегнато и деформирано състояние на скалния масив. Взаимодействие между масива и конструкциите

Напряженно-деформированное состояние массива горных пород. Взаимодействие между массивом и конструкциями

- <u>В-1</u> ГЕОМЕХАНИЧНА ОЦЕНКА НА РЕДА НА ИЗЗЕМВАНЕ НА ЗАПАСИТЕ В ПОДРАБОТЕН 25 И НАДРАБОТЕН МАСИВ МЕЖДУ ХОРИЗОНТ 380 И ХОРИЗОНТ 440 В БЛОК 19 Иван Георгакиев, Делчо Делчев, Цветомир Велков
- В-2 ГЕОМЕХАНИКА НА ПОДДЪРЖАЩИТЕ ЦЕЛИЦИ ПРИ КАМЕРНО-СТЪЛБОВА СИСТЕМА 33 НА РАЗРАБОТВАНЕ Георги Михайлов
- **<u>B-3</u>** ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF LOG PILING AS A SHALLOW GROUND 47 IMPROVEMENT TECHNIQUE FOR LIQUEFACTION PREVENTION BY MODEL TESTS Rana Ito, Nikolay Milev, Takashi Kiyota, Masataka Shiga, Atsunori Numata, Takumi Murata
- **<u>В-4</u>** КРЕПЕЖ ЗА ДОБИВНИ ИЗРАБОТКИ ПРИ РАЗРАБОТВАНЕ НА НЕУСТОЙЧИВИ РУДНИ 53 ЖИЛНИ И ПЛАСТООБРАЗНИ ЗАЛЕЖИ Кр. Дерменджиев, Г. Стоянчев, К. Куцаров
- <u>В-5</u> ОТНОСНО ВЕРИФИКАЦИЯТА НА НОВ МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ В МЕХАНИКА НА 59 МУЛДАТА I Михаил Вълков, Кристина Илиева-Стойчева
- <u>В-6</u> ОТНОСНО ВЕРИФИКАЦИЯТА НА НОВ МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ В МЕХАНИКА НА 65 МУЛДАТА II Михаил Вълков, Кристина Илиева-Стойчева
- <u>В-7</u> ЕДНО ТЕХНОЛОГИЧНО РЕШЕНИЕ ЗА ОВЛАДЯВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИ 70 ПРОЦЕСИ НА ВТОРИ НАСИПИЩЕН ХОРИЗОНТ В РУДНИК "ТРОЯНОВО- 1" Стоил Стоилов, Иван Марков, Динко Динков

- В-8 ОЧАКВАНИ ПРОЯВИ НА СКАЛНИЯ НАТИСК ПРИ СЛОЕВА СИСТЕМА С ВЪЗХОДЯЩ 74 РЕД НА ИЗЗЕМВАНЕ И ЗАПЪЛВАНЕ Милчо Милчев, Кръстьо Дерменджиев
- В-9 ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА МАСИВА С ЦЕЛ ОПАЗВАНЕ 83 НА ПОДЗЕМНИ И НАДЗЕМНИ ОБЕКТИ ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА РУДНИ НАХОДИЩА ЗА УСЛОВИЯТА НА "ГОРУБСО-МАДАН" АД Десислава Атанасова-Венкова

Topic C

Measuring in geomechanics. Remote methods. Monitoring

Измерване в геомеханиката. Дистанционни методи. Мониторинг

Измерение в геомеханике. Дистанционные методы. Мониторинг

- <u>С-1</u> ПРОЕКТИРАНЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ 93 НА ДЕФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ В РАЙОНА НА "ОТКРИТ СКЛАД ЗА РУДА №1" НА РУДОДОБИВЕН КОМПЛЕКС НА "ЕЛАЦИТЕ-МЕД" АД Ив. Василев, И. Иванов
- <u>С-2</u> СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПУКАНОСТТА НА 102 МАСИВА В КАРИЕРА ЗА ДОБИВ НА РИОЛИТ Евгения Александрова, Димитър Кайков, Данаил Терзийски, Надежда Стойчева
- <u>С-3</u> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПУЛЬСУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО 110 ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОИСКА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И. М. Скопиченко, С.М. Кузнецов, С.Ф. Михайлюк
- <u>C-4</u> POSSIBILITIES OF BUILDING NEW UNDERGROUND GAS STORAGES IN SOUTHEAST 113 EUROPE AND THEIR GEOTECHNICAL MONITORING Roumen A. Ivanov, Nevena I. Babunska-Ivanova
- <u>С-5</u> ТОЧНОСТ НА МАРКШАЙДЕРСКИ ИЗМЕРВАНИЯ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА 118 ГЕОМЕХАНИЧНИ ПРОЦЕСИ Милена Бегновска, Радослав Сираков
- <u>С-6</u> АUTOCAD CIVIL 3D, ГРАФИЧНА СРЕДА ЗА РЕШАВАНЕ НА НЯКОИ МАРКШАЙДЕРСКИ 128 ЗАДАЧИ ЗА УСЛОВИЯТА НА РУДНИК "КРУШЕВ ДОЛ" Недко Тодоров
- <u>С-7</u> МАРКШАЙДЕРСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА 136 СКАЛНИЯ МАСИВ В ОПОРЕН ЦЕЛИК В МЕТАЗАЛЕЖ В РУДНИК ЗА ДОБИВ НА ОЛОВНО-ЦИНКОВА РУДА Александър Цонков, Радослав Сираков
- <u>С-8</u> ИНОВАТИВНИ МАРКШАЙДЕРСКИ МЕТОДИ В УСЛУГА НА ГЕОМЕХАНИКАТА ЗА 144 УСЛОВИЯТА НА РУДНИК ЧЕЛОПЕЧ Росен Димитров, Сергей Михалев, Христо Добрев
- <u>С-9</u> ОТ БАЛОНА ДО ДРОНА Желязко Динев, Иван Гидиков, Николай Петров

150

Topic D

Evaluation of the stable condition. Blasting and Seismic Loading. Dynamic activities of rock stress. Probability method. Hazard and risk in geomechanics

Оценка на устойчивото състояние. Взривни и сеизмични въздействия. 161 Динамични прояви на скалния натиск. Вероятностен подход. Опасност и риск в геомеханиката

Оценка устойчивости. Взрывные и сейсмические воздействия. Динамические проявления горного давления. Вероятностный подход. Опасность и риск в геомеханике

- ВЕРОЯТНОСТНА ОЦЕНКА НА ФУНКЦИОНАЛНАТА ВРЪЗКА НА ОПИТНИТЕ ДАННИ 163 D-1 Николай Николаев, Велико Парушев
- D-2 ВЪРХУ ЕДИН МЕТОД ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ЦЕЛИЦИ, ИЗГРАДЕНИ В ТВЪРДИ 168 МАТЕРИАЛИ

Николай Николаев, Георги Михайлов

РИСКЪТ ПРИ ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯ НА ИНФОРМАЦИОННА 174 D-3 АСИМЕТРИЯ Славейко Господинов, Николай Вълканов

- ОЦЕНКА НА ДВА ВЗАИМНОЗАМЕНЯЕМИ ПОДХОДА ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ЗЕМНАТА D-4 181 ОСНОВА ЗА ЦЕЛИТЕ НА ПЛОСКОТО ФУНДИРАНЕ НА СИЛОЗНО СТОПАНСТВО И ОТСТРАНЯВАНЕ НА ПРОПАДЪЧНИТЕ СВОЙСТВА НА ПОЧВЕН ПЛАСТ С ОТНОСИТЕЛНО ГОЛЯМА МОЩНОСТ ПОД НЕГО Николай Милев
- ЕКСПРЕСЕН АНАЛИЗАТОР ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ЪГЛИТЕ НА ОТКОСИТЕ ЗА 192 D-5 ЛИТОЛОЖКА РАЗНОВИДНОСТ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ПРОЦЕСА НА ОПТИМИЗАЦИЯ НА РУДНИК "ЕЛАЦИТЕ"

Никола Тошков, Любомир Свиленов, Желязко Ялъмов

INTERNAL DUMP SLOPE STABILITY RISK ASSESSMENT ON OPENCAST COAL MINE D-6 201 TAMNAVA-WEST

Pavlovic Natalija, Petrovic Branko, Subaranovic Tomislav, Jakovljevic Ivica

- ПВР ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ОСТАТЪЧНИТЕ ДЕФОРМАЦИИ В МЕКИ И СРЕДНО ЗДРАВИ D-7 208 СКАЛИ В РУДНИК "ЕЛАЦИТЕ". МОНИТОРИНГ НА ВЗРИВО-СЕИЗМИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ МАСИВА Григор Мишев, Владимир Билев, Радослав Асенов, Павел Недков, Росен Борисов
- D-8 МИННО-ГЕОЛОЖКО ОВЛАДЯВАНЕ НА ЗЕМНИТЕ НЕДРА 216 Георги Константинов, Огнян Кованджийски
- D-9 ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ОТКОСИТЕ НА НОВОИЗГРАЖДАЩИЯ СЕ ЧЕТВЪРТИ 223 НАСИПИЩЕН ХОРИЗОНТ В ПОЛЕТО НА Р-К "ТРОЯНОВО -СЕВЕР" Ивайло Василев, Ясен Чаушев, Илия Карагяуров
- ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ D-10 230 Людмила Пимоненко, Наталия Вергельская

- **D-11** ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПЛОЩАДКИ НА СТЪПАЛАТА НА РАБОТНИЯ 235 БОРД НА РУДНИК "ТРОЯНОВО-3" Георги Владиславов, Красимир Кадифейкин, Стилян Стоянов
- D-12 THE FEATURE OF THE REVITALIZATION AND LAND-RECLAMATION WITH SELECTIVE 242 DUMPING IS REDUCED TO SEPARATING THE FERTILE SOIL WHEN CARRYING OUT THE OVERBURDEN MINING AND ITS SPREADING OVER THE SURFACE OF ALREADY DEPOSITED WASTE MASS Sasa Ilic
- <u>D-13</u> A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE QUARRYING DIRECTION AND THE 246 ORIENTATION OF ROCK DISCONTINUITIES FOR THE "KAZANITE-1" QUARRY Dimitar Kaykov, Nadezhda Stoycheva

Topic E

Environment protection in mining and construction activities

255

Опазване на околната среда при минни и строителни дейности

Охрана окружающей среды в горных и строительных деятельностях

<u>Е-1</u> ПРИЛАГАНЕ НА НОРМАТИВНАТА УРЕДБА В ОБЛАСТТА НА УПРАВЛЕНИЕТО НА 257 МИННИТЕ ОТПАДЪЦИ, МОНИТОРИНГА, КОНТРОЛА И ИНСПЕКТИРАНЕТО НА СЪОРЪЖЕНИЯТА ЗА МИННИ ОТПАДЪЦИ – ОСНОВНИ АСПЕКТИ И НАСОКИ ПРИ ПРИЛАГАНЕТО Блино Торорора Горори Понор

Елица Тодорова, Георги Дачев

<u>Е-2</u> МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ ТЕРРИКОНОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 271 ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА НА ЭКОЛОГИЮ РЕГИОНА Наталия Вергельская, Виктория Вергельская, Василий Мельник, Дина Головченко



# TOPIC A

Physical and mechanical properties of rocks and rock mass

Физико-механични свойства на скалите и скалния масив

Физико-механические свойства горных пород и горных массивов





## PHYSICAL - MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LIMESTONES FROM THE LOCALITY VIDOVISTE, THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA AND THEIR APPLICATION AS CONSTRUCTION STONE

## Gorgi Dimov<sup>1</sup>, Blagica Doneva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Goce Delcev, Faculty of natural and technical sciences, Stip, gorgi.dimov@ugd.edu.mk

## ABSTRACT

The paper represents the physical and mechanical characteristics of limestones from the Paleozoic carbonate massif on the locality Vidoviste, the Republic of North Macedonia. Investigated terrain is situated in the eastern part of the Republic of North Macedonia, more precisely in the Kocani region, in the area of the village Vidovishte, and administratively belongs to the Municipality of Zrnovci. Investigation terrain occupies an area of about 0,42 km<sup>2</sup>.

From macroscopic analyses can be concluded that the area is composed mainly of fine granular limestone with grey colour and layered plate texture structure.

The physical – mechanical characteristics of the material (high pressure strength, high wear resistance, frost resistance etc.), their chemical composition and mineralogical – petrographic characteristics showed that his material can be used in civil engineering for construction purposes, as a crushing aggregate for concrete and asphalt mixtures and more.

*Keywords:* limestones, physical – mechanical characteristics, chemical composition, mineralogical - petrographic characteristics.

## Introduction

The research area where geological research has been performed on the mineral raw material limestone is the locality called "Vidovishte-Pripecani" and is located in the eastern part of the Republic of Macedonia, more precisely in the Kocani region, in the area of the village Vidovishte, and administratively belongs to the Municipality of Zrnovci. The research area from Kocani is about 10 km away, and the closest settlement to the location is the village of Vidoviste. The area is located on the right side of the regional road Stip - Kocani - in the immediate vicinity of the villages Vidoviste and Pripecani, under the slopes of the mountain Plachkovica (Fig. 1).



Fig. 1: Geographical position of the investigated area



The river Bregalnica passes in the immediate vicinity of this area. Several smaller tributaries flow into this area, such as the Orizarska River, Zrnovska River, Gradeska River, Kochanska and Osojnica. Also in this area are present underground waters that are accumulated in the river terraces of alluvial sediments around Bregalnica, and also in its deeper sediments. [4]

The microclimatic conditions of the wider vicinity of the location arise from the registered parameters for the climate of the Kocani valley with elements of sub-mountain climate. The penetration of cold air in the winter months along the valley of the river Bregalnica and the mountain Plachkovica is predominantly felt in this valley.

The climate is subcontinental. The average annual temperature is 12.8° C, the absolute minimum temperature is -25.2° C, while the absolute maximum temperature is 35.5° C.

## Geological features of the area

The wider area of the exploitation field "Vidovishte - Pripecani" municipality of Zrnovci is built of Precambrian, old Paleozoic and Quaternary rocks. The Precambrian is represented by muscovite gneisses, leptinolites and mica. Old Paleozoic is represented by quartz - amphibole shales, phyllites – metasandstones and marbles, marble carbonate shists, graphite shists and phyllites and albite – quartz - sericite shists. Quarter is represented by calcareous limestone, proluvium and alluvium (fig. 2). [2]



Fig. 2: Geological map of the vicinity of the investigated area [1]



The limestones are locally marbled and intensively karstified (forming larger caverns filled with terra rossa) and limonitized.

The geological composition of the investigated field "Vidoviste - Pripecani" is relatively simple. With the performed geological research, the presence of limestone on the entire surface of the concession area was ascertained. From the geological map (Fig. 1), it can be seen that in the northern part of the area there are carbonate schists from the series of marbles and carbonate schists while in the southern part of the area there are are marbles (marbled limestones) from the same series.

Carbonate schists (M) are mainly gray. On some places are noticed carbonate schists with darker or lighter (pale pink) schists without any regularity. These rocks are schistose and this structural characteristic causes the carbonate to separate into slabs of various sizes. The dip elements of foliation are range from EP = 240/50 to EP = 275/60. The thickness of these plates ranges from 2-10 centimeters.

The rocks present in the investigated field, in terms of their hydrogeological function can be classified as follows: [3]

- *hydrogeological collectors* with fissure - karst type of porosity, where we classify marbled limestones and carbonate schists.

All rock masses that are present are classified from an engineering-geological aspect. Namely, the following types of rock masses are present:

- A group of unbound rock masses

Deluvial deposits can be classified into unbound rock masses. These are mainly medium - density incoherent materials. They occur locally in a part of the explored field and have a relatively small thickness.

- A group of tightly bound rock masses

Marbles and carbonate schists are classified in this group. They are cracked in blocks mainly with "dm" less often with "m" dimensions.



Fig. 3: Part of the investigated area Vidovishte

## Physical - mechanical parameters of marbleized limestone

The examinations for compressive strength of the limestone were performed on dry and water-saturated cubes, and the abrasion resistance test was performed on cubes in dry condition.

The obtained results of the laboratory examinations of the physical-mechanical characteristics of the limestone from the locality "Vidovishte" expressed as mean arithmetic value are presented in Table 1.

- The following characteristics were examined: [5]
- 1. Compressive strength in dry state
- 2. Compressive strength in a water saturated state
- 3. Pressure strength after 25 freeze-thaw cycles
- 4. Water absorption



- 5. Abrasion resistance (Bohme)
- 6. Volume mass with pores and cavities
- 7. Volume mass without pores and cavities
- 8. Density degree
- 9. Porosity
- 10. Persistence of effect of ice

No.	Characteristic	Method according MKS	Unit	Sign	Results
	Compressive		MPa	$\sigma_{p  min}$	79.9
1.	strength in dry state	B.B8.012		$\sigma_{p \max}$	98,5
				$\sigma_{p \text{ sred}}$	90,0
	Compressive		MPa	$\sigma_{ m p\ min}$	77.8
2.	strength in a water	B.B8.012		$\sigma_{p max}$	84.4
	saturated state			$\sigma_{p \ sred}$	82.0
	Pressure strength		MPa	$\sigma_{ m pmin}$	69,7
3.	after 25 freeze-thaw	B.B8.012		$\sigma_{p max}$	74,5
	cycles			$\sigma_{p \text{ sred}}$	72,6
4.	Water absorption	B.B8.010	% /m/m/	U	0,20
5.	Abrasion resistance	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup>	Ab	25
6.	Volume mass with pores and cavities	B.B8.032	kg/m³	γr	2690
7.	Volume mass without pores and cavities	B.B8.032	kg/m³	γz	2710
8.	Degree of density	B.B8.032	% /m/m/	G	98.9
9.	Porosity	B.B8.032	% /m/m/	Р	1.1
10.	Persistence of effect of ice	B.B8.001	Damages and losses /%/	М	No mass loss or major damage Mass loss under 0.1 %

Table 1. Physical - mechanical characteristics of limestone

## **Chemical analysis**

The average composition of the studied samples has been listed in table 2. The results revealed that CaO is the main oxide in all studied samples.

•	•
Loss in ignition	41,82 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,46 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00 %
CaO	51,53 %
MgO	1,11 %
Sulfates (SO <sub>3</sub> )	0.021%
Chlorides (CI)	0.0033%
Insoluble residue + SiO <sub>2</sub>	3,28%

Table 2. Average chemical composition of the limestone



#### Mineralogical – petrographic analysis

Microscopic examination shows that it is a carbonate rock that is mainly composed of calcite. Additional minerals are muscovite, quartz and rare grains of ore mineral.

The rock has a granoblastic structure and a parallel oriented texture. Calcite occurs in irregular grains of uniform shape and size. Calcite grains are oriented in one direction and slightly elongated. In calcite is seen cleavage as parallel polysynthetic lamellae, which extend along the elongation of the crystals as a result of pressures on the rock.

Thin muscovite leaves, as a secondary mineral, with a leaf length of 150 - 300 microns, run along the orientation. The amount of muscovite is about 2 - 3 %, microscopically estimated by eye.

Quartz grains are quite rare, in irregular, partially rounded shape, also isolated grains with a size of about 300 microns. Ore grains are also sparse, irregular micrograins, slightly elongated with rock orientation. The calcite mass is quite poorly pigmented with citric oxides due to which the sample has a rosy color.

Muscovite as a harmful component affects the physical - mechanical characteristics of the stone, but its quantitative presence is small so it is not expect its influence on the strength characteristics.

According to the mineralogical-petrographic composition and structural characteristics, this calcite marble is a favorable stone for use in construction purposes, as a crushed aggregate for concrete and asphalt mixtures, etc., in accordance with the physical - mechanical characteristics of the stone.

Its additional processing (washing) is recommended, in order to further reduce the concentration of harmful components (micas).

#### Conclusion

The investigation area "Vidovishte" is located at about 10 km from Kochani, and administratively belongs to the Municipality of Zrnovci. In the wider vicinity of the research area, there are number of different lithological composers that occurred at different periods of the earth's crust development. The most valuable for this investigation are Paleozoic marbles and carbonate schists.

Based on the conducted chemical analyses, marbles and carbonate schists contains:  $Fe_2O_3 - 1,46 \%$ , CaO - 51,53 %, MgO - 1,11 %, Sulfates (SO3) - 0.021 %, Chlorides (CI) - 0.0033 %, Insoluble residue + SiO<sub>2</sub> - 3,28 %.

According physical - mechanical examinations of compressive strength in dry and water saturated state, water absorption, abrasion resistance, volume mass with and without pores and cavities, coefficient of volume mass, porosity and persistence of effect of ice, marbleized limestone has favorable properties and can be successfully used as raw material for aggregate for making concrete mixtures.

From the conducted geological investigation on the mentioned locality, can be concluded that this raw material is present in sufficient quantity for exploitation.

#### **References**

- 1. Rakicevic T, Dumurdzanov N. and Petovski P. (1965 1968): Basic geological map of the Republic of Macedonia sheet Shtip 1:100 000
- Rakicevic T, Dumurdzanov N. and Petovski P. (1968): Interpreter of Basic geological map of the Republic of Macedonia – sheet Shtip 1:100 000
- 3. Elaborate from the performed detailed geological research of mineral raw material limestone of the locality "Vidovishte Pripechani", Municipality of Zrnovci, SAJA MV, DOOEL Veles, 2016
- 4. Stojanovik M. (2005): Deposits of non-metallic mineral resources in Macedonia, 2005
- 5. Civil Engineering Institute Macedonia (2016) Report on Examination of Physical and Mechanical Properties of Rock Samples



## ФИНО КЛАСИРАНЕ НА КВАРЦОВ ПЯСЪК СЪС СИТОВА МАШИНА HAVER FINE-LINE

#### Д-р инж. Методи Златев, директор "Продажби" HAVER NIAGARA GmbH, Германия E-mail: m.zlatev@haverniagara.com Инж. Клаус Фененкьотер - HAVER NIAGARA GmbH, Германия E-mail: k.fennenkoetter@haverniagara.com

## РЕЗЮМЕ

При добив и преработка на твърди минерални суровини, производство на синтетични суровини и междинни продукти, преработка на продукти от хранително-вкусовата промишленост, възстановяване на ценни материали от процеси на рециклиране се получават смеси от разнородни по големина частици. Голямо предизвикателство към съвременните технологии за преработка е да произвеждат междинни или крайни продукти от получените насипни материали. Към техния материален състав и физични свойства могат да се поставят определени изисквания, отнасящи се преди всичко до състоянието на дисперсност. В зависимост от вида на суровината и целта на технологичния процес трябва да се прилагат различни методи за преработка, като например раздробяване, класифициране, сортиране и др. В публикацията се разглежда проблема за механичното сухо пресяване на фин кварцов пясък, както и се правят основни разяснения относно хода и оценката на процеса пресяване, и наличната за него класификационна технология.

## ULTRAFINE SCREENING OF SILICA SAND WITH THE NIAGARA FINE-LINE SCREEN

## ABSTRACT

In the extraction and processing of solid mineral raw materials, the production of synthetic raw and intermediate products, the processing of products in the foodstuffs, drinks and tobacco industry as well as the recovery of recyclables in recycling processes, mixes of particles of different sizes are obtained. It is the task of the processing equipment to produce intermediate or end-products from these particle mixes. The material composition and physical properties of these products, especially with regard to their dispersity, must meet certain requirements. Depending on the type of raw material and the processing objective, different processing methods, e.g. size reduction, sizing, sorting, agglomeration, etc. must be applied. The following paper addresses the problems of dry mechanical screen sizing of ultrafine silica sand. These problems are examined in detail following some basic remarks on the process sequence, evaluation of a screening process and the sizing equipment available for this purpose.

#### Последователност и оценка на пресевния процес

След извличане и преработка - например раздробяване - на различни суровини или междинни продукти те обикновено са налични, като насипен материал с различни по размер и форма частици. За по нататъшната обработка на тези смесени материали е необходимо те да се разделят на различни по големина фракции. Като такива могат да бъдат разглеждани руди, респ., рудни концентати, индустриални минерали, пластмасови смляни отпадъци и много други [1]. Най-често използваният процес на механична класификация е пресяването. Процесът на пресяване се извършва чрез многократно статистическо сравняване на размера на частиците на материала, който трябва да бъде пресяван, с отворите на ситото на стационарна или подвижна разделителна повърхност (пресевна повърхност с размер на отворите w), като в същото време се извършва транспортиране на материала, който трябва да бъде пресяван, от точката на подаване към края на разделителната повърхност (виж. фиг. 1). Дебел слой продукт се натрупва в точката, в която материалът се подава към разделителната



ситова повърхност. Към края на разделителната повърхност финият материал, напр. пясък (d<w) се отделя чрез непрекъснато статистическо сравнение (класификакация) между различните размери на частиците d на материала, който трябва да се пресее, и размера на отворите на ситото w. Отделянето на финия материал се извършва по време на пресяването. Колкото по-малко е съотношението d/w, толкова по-голяма е вероятността дадена частица да премине през отвора на ситото [6]. В края на разделителната повърхност частиците с d > w образуват едрия материал, а зърната с d < w - финия материал. Трудно е отделянето на такива частици, които са приблизително толкова големи, колкото е размерът на отвора (d ≈ w). Частици с размер 0,8w < d могат да доведат до намалена ефективност на пресяването. Песъчинки с размер w < d < 1,2w могат напълно да блокират отворите на ситото.



Фигура 1: Схематично представяне на процеса на скрининг

За отчитане на успеха на процеса пресяване могат да се използват различни критерии за оценка, като например:

А. Степен на пресяване <sub>Пр</sub>

Известни са различни зависимости за определяне на класа на пресяване. Общоприетото определение е:

$$\eta_{\rm S} = \frac{(F_{\rm F,A} - F_{\rm F,G})*(F_{\rm F,F} - F_{\rm F,A})}{(1 - F_{\rm F,A})*(F_{\rm F,F} - F_{\rm F,G})*F_{\rm F,A}}$$
(1)

Всъщност това означава:

F<sub>F,A</sub> - съдържание на фини частици (масови проценти) в подаваната за пресяване суровина.

- F<sub>F,F</sub> - Количество фини частици (масови проценти) преминали през отворите на ситото (финна фракция)



 F<sub>F,G</sub> - съдържание на финни частици (масови проценти) не успели да преминат през отворите на ситото (останали в едрата фракция)

Като недостатък може да се отчете, че не се отчита разпределението на отделните класове по размер на частиците в продуктите (финна и едра фракция).

В. Ефективност (Добив) на пресяване по финна фракция η<sub>S,F</sub>

Вместо параметърът "общото" качество на пресяване съгласно уравнение (1) често се използва добивът по финна (подситова) фракция η<sub>S,F</sub>.

$$\eta_{S,F} = \frac{(F_{F,A} - F_{F,G})}{(1 - F_{F,G}) * F_{F,A}}$$

(2)

В идеалния случай, когато едра фракция (надситовата фракция) не съдържа фини частици (F<sub>F,G</sub> = 0), добивът на маломерни частици е η<sub>S,F</sub> = 1.

С. Количество частици попаднали погрешка в неправилната фракция("финни частици попаднали в едрата фракция" F<sub>UK</sub> и " едри частици попаднали във финната фракция" F<sub>UK</sub>)

За да се оцени качеството на продукта от едър и фин материал, може да се вземе предвид и делът на извънгабаритните частици (вж. фигура 1). Извънгабаритната фракция е масовият дял на пресятия едър или фин материал, която е попаднала в "неправилната" зърнена фракция, тъй като процесът на разделяне не е идеален (техническо пресяване). В зависимост от дължината на ситото, количеството на подаваната суровина, размера на отворите и т.н., в едрия (надситовата фракция) материал често се съдържат фини частици и обратно, едри частици в подистовата фракция. Тяхното количество в съответната фракция определя качеството на пресяване, по надситов- или подситов продукт. Появата на извънгабаритни частици е нормален, специфичен за ситото процес, който може да бъде сведен до минимум, но не и напълно избегнат. Наличието на едри зърна (надситови) във фината фракция може също така, да бъде причинено от производствени и/или свързани с експлоатацията промени в параметрите на пресевната повърхност, проблеми с уплътнението, повреда на облицовката на ситото или от частици с некубична (пръчковидна) форма във входящия (изходния) материал на ситото. Предпоставка за определянето на дела на неправилно класифицираните зърна е наличието на съответните данни за разпределението на размера на частиците и определянето на размера на частиците (зърната) или на размера на ситовия отвор, при който в случай на занижаване или надвишаване се получава погрешно класирани зърна. Въз основа на тези резултати могат да се направят ясни заключения относно качеството на продуктите за класификация, съгласно TL Gestein-StB 04 [7].

## Ситова класификация

Процесът на класификация е често обвързан с различни проблеми, изисквания свързани с приложението и обработката на суровините. За да бъде технически осъществен този процес, е необходимо голямо разнообразие от ситови машини за класификация. Според Höffl [3] отделните видове класификатори могат да се характеризират със следните особености:

- Според начина на движение на ситовата повърхност, напр. неподвижни стационарни сита и решетки, барабанни и вибриращи сита с въртяща се или вибрираща ситова повърхност

- Геометричната форма и положението на ситовата повърхност спрямо хоризонталната, напр. правоъгълни или кръгли, хоризонтални или наклонени разделителни повърхности.

За задачите по пресяване в диапазона на грубо (w ≥ 100 mm), средно (100 mm > w > 10 mm) и фино (10 mm > w > 1 mm) класифициране на най-фините зърна (1 mm > w > 0,025 mm) се доказаха пресевните машини, принадлежащи към групата на вибриращите пресевни машини. При тях ситовите повърхности върху които се подава материала за пресяване, го транспортират чрез вибрирация [2, 6]. Осцилиращото движение разхлабва (разрохква) слоя транспортиран материал, което осигурява необходимото относително движение между финните (подситови) частици към ситовата повърхност. При това трябва да се вземат предвид съответните свойства на пресяваният материал, като напр. Зърнометрия (разпределение по форма и размер), влажност на материала, грапавост на песъчинките и



др. По принцип на действие, тези машини се разделят допълнително на такива с вибриращ корпус на ситовата машина (напр. кръгови, елиптични и линейни вибриращи сита) и машини със стационарен корпус и вибрация само на ситовата повърхност (машини с директно възбуждане на ситовата повърхност).

Screening system	Feed particl e size (max.) [mm]	Feed rate (max.) [t/h]	Screenin g rate per deck [m <sup>2</sup> ]	Numbe r of decks [-]	Cut- point range [mm]	Drive power [kW]	Total weigh t [t]	Application areas
Eccentric- SM (F – CLASS)	≦ 500	≦ 1500	318	13,5	2125	7,590	2,53 0	Product screening; Scalping; Impurity separation
Free- vibrating screening- SM (T – CLASS)	≦ 300	≦ 800	0,324	13,5	0,515 0	375	0,22 5	Product screening (dry, wet); Impurity separation
Linear – SM (L – CLASS)	≦ 300	≦ 1500	0,919,2	23,5	0,312 5	45150	0,52 5	Product screening (dry, wet); Dewatering
Multideck – SM (M – CLASS)	≦ 10	≦ 75	5,6	≦ 11	0,088	1530	510	Product screening Industrial minerals; Foodstuffs, Synthetic and chemical products
FINE - LINE	≦8	≦ 100	4,511,2 5	13	0,13,0	2,642 6,4	214, 5	Product screening (dry); Filler removal; Reject removal

Табл. 1: Продуктова гама "Скрининг технологии" на HAVER NIAGARA GmbH Мюнстер (извадка)

Фирма HAVER NIAGARA [5] предлага широк спектър от технологии за класификация в съответствие с нуждите на всеки клиент, за всички отрасли и продуктови групи (вж. табл. 1). Иновативната пресевна система HAVER Fine-Line за сухо класифициране [8, 9], която се управлява с директно възбуждане на част от конструкцията на ситото, е разработена специално за класифициране на фини и ултрафини фракции. С тази иновативна разработка може да се избегне основният недостатък на този тип пресевни машини, който се състои в големите подвижни маси. Тъй като кинетичната енергия се предава на пресявания материал единствено чрез разделителната (ситовата) повърхност, напълно достатъчна е вибрацията само на ситовата повърхност. Ниското динамично и статично натоварване има положителен ефект върху проектирането на стоманената конструкция, която е олекотена.

На фигура 2 е показан принципът на конструкцията на вибрираща пресевна машина с директно възбуждане (задвижване) на ситовата повърхност, като за пример е използвана пресевната система HAVER FINE-LINE. Вибрациите (с ускорение до 14 \* g), генерирани от дебалансните двигатели (1), се предават на биелни планки (3) чрез предавателни механизми (2). По този начин предизвикват вибрации на ситовата повърхност. Чрез промяна на честотата, амплитудата на вибрациите и наклона на повърхността на ситото HAVER FINE-LINE, може лесно да се адаптира към специфичните изисквания на клиента за продукт и класификация. Постигната е специфична производителност до около 12 t/h за  $1m^2$ , за различни материали за сухо пресяване (напр. варовик, доломит, силициев карбид, гипс, талк и различни видове руди) с разделяне в диапазона от 0,063 mm до 3 mm. Необходимата енергия  $W_0$  за пресевна машина с директно възбуждане е приблизително 1,1 kWh/t. И при двата процеса на пресяване специфичната потребност от енергия се увеличава с намаляване границата на разделяне.





#### Легенда:

- 1. Небалансирани двигатели
- 2. Предавателни механизми
- 3. Биелни планки (с PU покритие)
- 4. Ситова повърхност
- 5. Клапа

Фигура 2: Принцип на функциониране на HAVER Fine-Line

На фиг. 3 е показана HAVER FINE-LINE в атрактивен машинен дизайн в прахонепроницаемо изпълнение с инсталирано автоматично почистване на ситовата повърхност. Допълнителна информация е представена в табл. 1.



Фигура 3: Машина HAVER FINE-LINE mun HD 1800\*3750

#### Експериментални изследвания върху класификацията на фини частици от кварцов пясък

От техническа гледна точка, процесът на пресяване е сравнително несложна за изпълнение операция. При оптимизирането и оценяването на процеса на сортиране обаче трябва да се вземат предвид голям брой влияещи променливи, които произтичат главно от

- свойствата на материала, който трябва да се пресее (напр. размер на частиците и разпределение на тяхната форма, плътност в суров и насипен вид, количество на подаваната суровина, влажност, пропускливост и т.н.),

- използваната ситова повърхност (напр. материал, дебелина на телта, тип на производство, повърхност на ситото, геометрия и размер на отвора, открита ситова повърхност и др.).

- конструкцията и експлоатационните параметри на пресевната машина (напр. тип и размер, честота и амплитуда на вибрациите, ъгъл на наклона, мощност на задвижването, помощни средства за пресяване- тръскащи топки и т.н.).



- изискванията към резултата от пресяването (напр. качество на пресяване, селективност, специфична производителност на пресяване, съдържание на надситови частици в подситовата фракция и съответно подситови в надситовата фракция и др.).

Това налага провеждането на задълбочени експериментални изследвания, които имат за цел да се оцени метода на пресяване и да се направи обоснован избор на подходящата за целта пресевна повърхност и машина.

#### Материална оценка на кварцов пясък

За провеждане на необходимите експериментални изследвания клиентът на международната компания Haver Niagara предостави за оценка насипна проба от около 400 kg фин кварцов пясък. Той бе подложен на цялостна материална и гранулометрична оценка. За да се определи разпределението на размера на частиците на доставения кварцов пясък, след вземане на проби и разделяне, бяха извършени две тестови пресявания с тестова ситова машина на HAVER & BOECKER тип EML-200-T [12].

Средните стойности от двата ситови анализа бяха въведени в система RRSB (DIN 66145) (вж. фигура 4). Осреднените стойности на анализа водят до права линия, т.е. основният сбор на пробите за анализ е нормално разпределен. При  $Q_3(d) = 63,2$  % може да се отчете характерният размер на частиците  $d_{63}$ . Коефициентът на еднородност n на кварцовата проба може да бъде отчетен след успоредно преместване с полюса в крайната размерна лента. Колкото по-голямо е n, толкова по-монодисперсна (равномерно зърнеста) е анализираната обемна проба. В резултат на анализа, може да се каже, че предоставената кварцова проба с размер на частиците 0/0,4 mm може да се характеризира с параметъра на позицията  $d_{63} = 120 \, \mu$ m и параметър n = 1,95.



Фигура 4: Разпределение на кварцовия пясък по размер на зърната в мрежата RRSB



Наред с разпределението на размера на частиците, формата на кварцовите зърна също може да окаже голямо влияние върху процеса на пресяване и качеството на продуктите. В практиката се използват различни методи за характеризиране на формата на частиците, които се вземат предвид във валидните стандарти за осигуряване на качеството на материала. В допълнение към характеризирането на формата на частиците на макро- (кубичност) и мезо- (закръгленост) е възможно и описание на микро-формата (грапавост) [11]. За характеризиране на формата на зърната на кварцовите частици са използвани следните параметри за форма:

- Макроформа: кубичност (съотношение между най-големия и най-малкия размер на зърното Д/Ш).

- Мезоформа: закръгленост С (коефициент показващ отношението между обиколката на окръжност с площ равна на площта на чатицата U<sub>K</sub>, и обиколката на самата частица U<sub>P</sub>).

Вземайки под внимание тези характеристики, отново бяха подготвени две проби за анализ, които бяха подадени на HAVER CPA (Computerised Particle Analyser) [10], за да се определи разпределението на формата на частиците. HAVER CPA използва динамичен анализ на изображенията, за да анализира в реално време както размера, така и формата на частиците. Анализаторът на частици се състои основно от камера за линейно сканиране (сензор), LED светлинен източник, електромагнитно подаване на материала (вибрираща питателна система) и софтуерен интерфейс за управление на устройството и гранулометрична оценка на резултатите от анализа. Границите и изискванията към технологията на заснемане при определяне на размера и формата на частиците (отношение размер (площ) на пиксела към ту размера (площ на частица) са изследвани и документирани [11]. По време на процеса на заснемане в свободно падане, кварцовите частици се сканират двуизмерно и в реално време. Благодарение на пространствената и статистическата ориентация на кварцовите зърна при свободно падане могат да се регистрират почти всички ориентации на на изображението [4, 11].

На фигура 5 са показани стойностите на кубичността по фракции в анализираните кварцови проби (средна стойност от 2 измервания). Наблюдава се следната тенденция: колкото фракцията е пофинна, толкова стойността и е по висока. Най-висока е стойността и във фракция 0/0,09 mm има повече деформирани (удължени, раздробени) кварцови частици. Закръглеността С се определя като коефициент на обиколката на окръжност U<sub>K</sub> с площ равна на проекционната площ на заснетата частица и обиколката на самата частица U<sub>P</sub>. Ако U<sub>K</sub> се замени с равноплощна окръжност A<sub>K</sub> с еквивалентен диаметър D<sub>A</sub>, след заместване и преобразуване се получава следния израз [4]:

(3)



Фигура 5: Разпределение на формата на зърната (кубичност L/W) на кварцовия пясък



Тъй като обиколката на реалните частици U<sub>P</sub> е винаги по-голяма от обиколката на проекционния кръг с равна повърхност U<sub>K</sub>, кръговата окръжност C приема стойности между 0 и 1, като C = 1 съответства на идеален кръг ( сферична чатица). На фигура 6 са показани стойностите на сферицитета на анализираните кварцови проби (средна стойност от 2 измервания) по фракции. Всички стойности са в интервала 0,8 < C < 0,9, което показва висок дял на относително кръгли кварцови песъчинки. Забелязва се ясната тенденция, че кварцовите частици с фракция 0/0,09 mm показват най-големи отклонения от сферичната форма. Това впечатление се потвърждава и от сравнителния преглед на макроизображенията на двете фракции 0/0,09 mm и 0,15/0,25 mm. Също така може да се види, че кварцовите зърна в зоната на желания отрязък за разделяне и по-малките (d < 0,1 mm) имат значителна грапавост на повърхността. Те могат да окажат неблагоприятно въздействие върху процеса на пресяване. В допълнение към гранулометричните параметри, обемната плътност на кварцовия пясък е определена в съответствие с DIN ISO 692 и EN ISO 60 с  $\rho$ S = 1,44 g/cm<sup>3</sup>. Съдържанието на влажност е определено чрез сушене в сушилня при T = 105 0<sup>C</sup> с f = 0,07 тегловни %.



Фигура 6: Разпределение на формата на зърната (цикличност С) на кварцовия пясък

## Организиране, програма и изпълнение на изследванията

С цел производство на висококачествени стъклени изделия (монитори за смартфони) при първия етап на класификация чрез сухо пресяване трябва да се отдели фракцията 0/0,09 mm от предоставената кварцова фракция 0/0,4 mm (съгласно фиг. 4), която след последващо класиране при 0,04 мм трябва да се превърне в продуктова фракция 0,04/0,09 mm. Клиентът постави следните изисквания за качество на процеса на пресяване:

- Финна фракция в надситовия продукт F<sub>UK</sub> ≦ 11...13 [М.-%] и
- Едра фракция в подситовия продукт F<sub>ÜK</sub> = 0 [М.-%] тегловни проценти

За провеждане на тестовете за сухо пресяване на кварцов пясък беше използвана полуиндустриална пресевна машина Fine-Line от типа НЕ 500\*1250 от машинната програма на HAVER NIAGARA GmbH (вж. фиг. 7). Следните параметри на машината и на работата се запазват постоянни по време на теста:

- Обороти на дебалансираното задвиждане;
- Амплитуда на вибрациите;
- Размери на повърхността на ситото: ширина В = 500 mm; дължина L = 1250 mm; повърхност на ситото AF = 0,635 m<sup>2</sup>;



## - Наклон на ситовата повърхност.

За класифициране в диапазона на средните, фините и ултрафините частици обикновено се използват ситови повърхности с квадратни или правоъгълни ситови отвори. В допълнение към формата на отворите на ситото, откритата ситова повърхност (площ) на ситото А<sub>Ö</sub>, видът на производството и използваният материал също са от голямо значение за избора на ситовата повърхност. Откритата ситова повърхност (площ) характеризира процентното съотношение на площта на всички отвори към общата ситова площ. Във връзка с определянето на размера на отвора w трябва да се вземе предвид и диаметърът на телта d<sub>D</sub>, използван при производството на ситови повърхности, който се определя от съответни производител на ситови плетки [5].

За всеки размер на отвора обикновено се посочват няколко диаметъра на телта, за да може да се предложат на потребителя оптимални условия за избор по отношение на качеството на пресяване, износването и експлоатационния период. В случай на сита с квадратни отвори трябва да се търси съотношение w/d<sub>D</sub> = 1,6...2,5 за размери на отворите w ≦ 3 mm. Такива ситови покрития обикновено имат оптимална твърдост за процеса на пресяване. Трябва също да се отбележи, че колкото по-дебел е диаметърът на телта на ситовата мрежа, толкова по-голямо е съпротивлението при преминаване през отворите на ситото. Колкото по-голямо е избраното съотношение (големината на отвора / дебелина на проводника w/d<sub>D</sub>), толкова по-малък е рискът от запушвания на ситовата повърхност от частици подлежащи на пресяване. В таблица 2 са обобщени съответните данни за използваните ситови повърхности. Информация за площта на отворената ситова повърхност, която също се влияе от избора на диаметъра, на тел, може да се намери на фиг. 8. Стойностите са изчислени в съответствие с DIN/ISO 9044. При планирането на програмата за анализ са включени и следните значими влияещи променливи:

- Време за пресяване: t<sub>D</sub> = 30...60 s; за избрани индивидуални тестове до t<sub>D</sub> = 16min.
- Промяна на специфичната пропускателна способност на ситото в диапазона A<sub>SP</sub> = 0,4...1,0 t/(h за m<sup>2</sup>)
- Промяна в обтягането на мрежата
- Работа на пресевната машина с и без въздушна аспирация.

Вид на материала за ситова повърхност	Форма на отворите	Размер на отворите w [mm]	Диаметърна на телта d₀ [mm]	Отношение w/d <sub>D</sub> [-]
Неръждаема стомана	Квадратна	0,09	0,056	1,61
Неръждаема стомана	Квадратна	0,09	0,040	2,25
Полиамид	Квадратна	0,09	0,075	1,20
Неръждаема стомана	Правоъгълна	0,083; 0,58	0,071	-

Табл. 2: Характеристики на тестваните ситови повърхности

За провеждане на експерименталните изследвания, показаната на фиг. 7 ситова машина беше интегрирана в тестовата инсталация (фиг. 9) на техническия център (R&D Centre) на HAVER NIAGARA GmbH в Мюнстер. Чрез цикличен подавател (1) кварцовият пясък се подава в контейнер за съхранение (2). Вибропитател (3) изтегля материала от бункера и го подава към пресевната машина HAVER Fine-Line (4). За да може да се променя пропускателната способност на подавания материал, вибрационният питател се регулира безстепенно по отношение на наклона и честотата. Като помощно средство за пресяване под пресевната повърхност може да се включи устройство за аспирация на въздух (7), което може да се регулира непрекъснато. Аспирацията е геометрично проектирана така, че



само минимална част от материала от подситовата фракция да се увлича с въздуха. Материалите, събрани, като подситова фракция (5) и надситова фракция (6), се претеглят и се изчислява гранулометрията с помощта на технологията за анализ на HAVER&BOECKER [5].



Фигура 7: HAVER Fine-Line mun HE 500\*1250 (версия за пилотна инсталация)



Фигура. 8: Влияние на диаметъра на телената нишка върху площта на свободния отвор на ситовите повърхности





#### Основни елементи:

- 1. Подаване на материала
- 2. Контейнер за съхранение
- 3. Вибропитател HAVER NIAGARA с електрическо задвижване
- 4. HAVER NIAGARA Fine Line (Тип: HE 500\*1250)
- 5. Подситова фракция
- 6. Надситова фракция
- 7. Устройство за аспирация на въздух

Фигура 9: Блок-схема на тестовата инсталация

#### Представяне и обсъждане на тестовите резултати

Основният фокус на експерименталните изследвания в настоящото проучване се състои в определяне на свойствата на ситовата повърхност и условията на пресяване върху качеството на получените пресяти продукти.

Акцентът на изследването бе поставен върху стоманените повърхности с квадратни отвори, които се предлагат с два различни диаметъра на нишката. Тестовете бяха допълнени с включването на полиамидна повърност и телена такава с правоъгълни отвори (вж. табл. 2). Поради ограниченото количество материал, предоставен от клиента за изследване, времето за пресяване трябваше да бъде лимитирано до 30-60 секунди за всеки тест. Опитите са проведени с промяна количеството на подаваната суровина (специфична пропускателна способност на ситото А<sub>SP</sub>) с показаната на фиг. 9 схема на провеждане на експеримента. След всеки тест за класифициране отделно произведените продукти "груб материал" и "фин материал" бяха подложени на аналитично сито за определяне на дела на липсващите частици.

Резултатите от тестовете са показани на фиг. 10 (едри частици във финна фракция) и фиг. 11 (дребни частици в едрата фракция). Както се очакваше, при телената мрежа с квадратни отвори с увеличаване на специфичната пропускателна способност на ситото  $A_{SP}$  се наблюдава прогресивно нарастване на съдържанието на дребни частици в едрата фракция. При ограничаване на специфичната пропускателна способност до стойности  $A_{SP} \leq 0,7$  t/h m<sup>2</sup> може да се постигне зададената от клиента спецификация  $F_{UK} \leq 13$  M.-%. Според фиг. 11 и за двата диаметъра на телта в диапазона 0,4  $\leq A_{SP} \leq 1,0$  t/h m<sup>2</sup> не е открита едра фракция в подситовия продукт ( $F_{UK} = 0$  тегл. %), което съответства и на изискването на възложителя. Изненадващо, тестваната полиамидна тъкан увеличаването на специфичната производителност на ситото води до намаляване на съдържанието на дребна фракция в надситовия продукт. Същевременно, в подситовата фракция бяха открити едри частици, които могат да бъдат с понижено качество за стойностната фракция на частиците 0/0,09 mm - фиг. 11. Намаляващият процент на подситови частици в надситовата фракция с увеличаване на специфичната производителност на ситото може да се обясни с факта, че по-голямата височина на слоя материал задържа граничните частици върху мрежата на ситото, което води до максимален брой статистически сравнения на размера на частиците от материала на ситото с отворите на ситото. Частици от


надситовата фракция, открити в подситовият продукт на ситото, могат да се обяснят с разширяването на полиамидните нишки и по този начин с известно "изкривяване" на формата на отворите на обтегнатата повърхност.



Фигура 10: Влияние на специфичната производителност на ситото върху количеството финни частици в надситовата (едрата) фракция



Фигура 11: Влияние на специфичната пропускателна способност на ситото върху количеството едри частици в подситовата (фината) фракция

Интелигентната комбинация от опъване на мрежата, пропускателна способност и количество на надситовите частици може да доведе до оптимално техническо и икономически ефективно решение за класификация на фини частици от кварцов пясък при използване на полиамидни мрежи. Телените



повърхности с продълговати отвори са неподходящи за предвиденото приложение. Съдържанието на грешно классирани частици (качество на пресяване) и съответно добивът на продуктова пясъчна фракция са ниски. От друга страна, съдържанието на надситови частици в подситовата фракция е много високо, което се дължи на специфичната форма и размер на отворите на мрежата и сравнително голямата отворена площ на ситото (А<sub>Ö</sub> = 50 %; фиг. 8).

Тъй като едрия материал съдържа предимно частици с неправилна (пръчковидна или плояковидна) форма на зърната, използването на този вариант на мрежата може да представлява интерес за потребителите, които се интересуват от подобряване на формата на частиците на надситовата фракция. По време на тестовете за пресяване бе установено, че отворите на ситата се запушват много бързо с повечето от използваните ситови повърхности.

Това състояние може да бъде предотвратено чрез комбиниране на функцията за самопочистване на HAVER FINE-LINE и използването на специални ситови повърхности HAVER. Поради своята гъвкавост (в сравнение с телената нишка, с  $d_D = 0,056$  mm), използването на полиамидната мрежа води до по- бавно запушване на повърхноста, на ситото (по-дълъг период на пресяване). При допълнително тестване на пресяването трябва да се изясни дали запушването на решетъчните мрежи може да се предотврати чрез използване на телена мрежа с намален диаметър на телта ( $d_D = 0,04$  mm), но с увеличена отворена пресевна площ ( $A_{\ddot{O}} = 10$  %, фиг. 8). Както може да се види на фиг. 12 по време на изследването, металната ситова повърхност с  $d_D = 0,04$  mm има значително по-ниско съдържание на подситови частици в надситовата фракция от повърхността с  $d_D = 0,056$  mm, при което специфичната пропускателна способност на ситото  $A_{SP} = 0,91$  [t/h\*m<sup>2</sup>] продължава да бъде сравнително висока. След няколкоминутен тест за издръжливост, образуването на запушвания по ситовата повърхност значително намалява, което доказва пригодността на телената нишка с  $d_D = 0,04$  mm за предвиденото широкомащабно приложение.



Фигура 12: Влияние на диаметъра на телта върху фракцията на свръхразмерите



Фигура 13: Влияние на опъването на ситото и на прахоулавянето върху свръхголямата фракция

В последния етап на анализите бе изследвано влиянието на натягането на ситовата повърхност и количеството въздух за въздушната сепарация върху качеството на пресяване. В съответствие с началните ни очаквания, намаляването на обема на въздушния поток V<sub>L</sub> води до намаляване качеството на пресяване, съответно увеличаване количеството на частиците попаднали в грешната фракция (фиг. 13). Това се дължи на влиянието на силите на прилепване и на потока върху процеса на пресяване които са доминиращи при класификацията на финодиспергирани и много финодиспергирани материали.

За оптимален процес на пресяване от голямо значение е и опъването на ситовата повърхност. При монтажа й тя се опъва механично в надлъжна посока. Това създава оптимално осцилиращо движение (наслагване на основни и естествени вибрации) върху нея, което води до повишаване на ефективността на пресевния процес. Както се вижда и от фиг. 13, намаляването на силата на опъване води до значително влошаване качеството на пресяване.



Тези основни машинно-технически параметри бяха взети под внимание при разработването на новата серия FINE-LINE на HAVER NIAGARA. Ревизионните врати за поддръжка дават възможност за бърза и лесна смяна на ситовата повърхност за много кратко време. Външните устройства за опъване осигуряват бързо и оптимално регулиране на платното. Управлението на опъването на платното на екрана се вижда от "визуален индикатор".

## Заключение

За производството на висококачествени продукти от стъкло е необходимо да се класира кварцов пясък 0/0,4 mm с желан размер на частиците w=0,09 mm. Ситовата система HAVER Fine-Line е използвана за суха класификация, за която чрез обширни експериментални изследвания се установява подходяща конфигурация на машината и подходящ режим на работа. Разумно се оказа използването на телена нишка с диаметър на телта  $d_D$ =0,04 mm, която следва да работи при специфична пропускателна способност на ситото ASP = 0,5...0,7 t/h m<sup>2</sup>. Използването на особено гъвкави полиамидни мрежи може да се окаже рентабилна алтернатива на обичайните телени мрежи (например с диаметър на телта  $d_D$  > 0,04 mm). Благодарение на своята гъвкавост (в сравнение със стоманената мрежа с по-дебели проводници), тя има по-малка склонност към запушвания. Като недостатък може да се отбележи факта, че в подситовата фракция се наблюдава наличието на частици с размер по-голям от този на отворите на ситовата повърхност.

Процесите на обогатяване в минната промишленост са водоемки. Все по-лошите качества на рудите (по-бедни) ще изострят проблема в бъдеще [13]. Ресурсът вода ще става все по ограничен и скъп. Следователно разработването на нови методи за сухо обогатяване могат да бъдат едно възможно решение. Технологията на ултразвуково [14] пресяване е един от възможните решения в областта на ултрафинното класиране.

Статията предоставя въведение в проблема и разглежда основните правила за един системен подход при сухото пресяване на финни фракции.

# Литературни източници

- [1] Panayotova M., Pavlov P., Panayotov V., Plastic waste recycling. Periodical "Geology and mineral resources" Nr. 7/8 2009., ISSN 1310-2265, p. 8-13.
- [2] Schubert, H.: Aufbereitung fester Stoffe, Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, (1996)
- [3] Höffl; K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen, Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, (1986)
- [4] Lampke, J.; Messerschmidt, C.; Folgner, T. & Lieberwirth, H.: Well rounded Granulation of mineral fertilisers. AT Mineral Processing 01-02/2015
- [5] Технически документи на HAVER NIAGARA GmbH, Мюнстер и Draht-Weberei, Оелде
- [6] Schmidt, P., Körber, R.; Coopers, M.: Sieben und Siebmaschinen (Grundlagen und Anwendung). Willy-VCH Verlag, Weinheim 2003
- [7] TL Gestein-StB 04: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004/ Fassung 2007
- [8] HAVER NIAGARA: <u>http://www.haverniagara.com/</u>
- [9] Fine Line: http://www.finescreening.com/
- [10] CPA- Computer particle analyser: <u>http://www.haver-partikelanalyse.com/photooptische-partikelanalyse/haver-cpa-portfolio/haver-cpa-2-1/</u>
- [11] Zlatev M.: Beitrag zur quantitativen Kornformcharakterisierung unter besonderer Berücksichtigung der digitalen Bildaufnahmetechnik, Technischen Universität Bergakademie Freiberg <u>http://d-nb.info/978198808/34</u>
- [12] HAVER & BOECKER Analysensiebmaschine <u>http://www.haver-partikelanalyse.com/siebanalyse/</u>
- [13] Dr.-Ing. Joachim Harder, Trends in Dry Processing, AT MINERAL PROCESSING 07-08/2013
- [14] https://www.haverboecker.com/de/produktloesungen/industriesiebe/ultraschal lsiebsysteme/





# TOPIC B

Stress and strain condition of the rock mass. Interaction between rock mass and engineering structures

Напрегнато и деформирано състояние на скалния масив. Взаимодействие между масива и конструкциите

Напряженно-деформированное состояние массива горных пород. Взаимодействие между массивом и конструкциями





# ГЕОМЕХАНИЧНА ОЦЕНКА НА РЕДА НА ИЗЗЕМВАНЕ НА ЗАПАСИТЕ В ПОДРАБОТЕН И НАДРАБОТЕН МАСИВ МЕЖДУ ХОРИЗОНТ 380 И ХОРИЗОНТ 440 В БЛОК 19

Иван Георгакиев<sup>1</sup>, Делчо Делчев<sup>2</sup>, Цветомир Велков<sup>3</sup> <sup>1</sup>Дънди Прешъс Метълс Челопеч, България, Ivan.Georgakiev@dundeeprecious.com <sup>2</sup>Дънди Прешъс Метълс Челопеч, България, Delcho.Delchev@dundeeprecious.com <sup>3</sup>Дънди Прешъл Метълс Челопеч, България, Tsvetomir.Velkov@dundeeprecious.com

#### GEOTECHNICAL ASSESSMENT OF THE MINING SEQUENCE OF UNDERMINED AND OVERMINED

# ROCK BETWEEN RL 380 AND RL 440 IN BLOCK 19

# Ivan Georgakiev<sup>1</sup>, Delcho Delchev<sup>2</sup>, Tsvetomir Velkov<sup>3</sup> Dundee Precious Metals Chelopech, Bulgaria, <sup>1</sup>Ivan.Georgakiev@dundeeprecious.com, <sup>2</sup>Delcho.Delchev@dundeeprecious.com, <sup>3</sup>Tsvetomir.Velkov@dundeeprecious.com

#### ABSTRACT

The extraction of mineable reserves as part of undermined or overmined rock at Block 19 required a thorough geotechnical assessment of the particular rock by applying empirical rock classification methods such as Q, GSI, Matthews Stability Graph, Map3D and Phase2D digital modeling. The mining sequence model produced by that assessment reflects the influence of any preceding mining operations to date and any structural alterations, which impact the stability of the assessed rock. The authors used the results of the empirical classification and digital modeling to determine the safest mining sequence of mineable reserves in view of full ore extraction with minimum loss, within the existing mining and technological environment.

#### <u>Въведение</u>

След смяна на използваната система на добив с подетажно обрушаване през 2004г. с камерна система на разработване с последващо запълване, бе наложено временно блокиране на рудни запаси в зоната между двете системи на разработване. Част от тези запасите се намират под обрушено и нарушено минно пространство, докато в периферията си една част от запасите са разположени под скален масив.

В следствие развитието на добивните дейности при двете системи на разработване, естественото поле на напрежение в блокирания масив и около него е променено. Тези промени водят до нуждата от оценка на устойчивостта на минния масив в отделните етапи на погасяване на блокираните запаси и избор на подходящ ред на изземване.

Изборът на подходяща последователност на изземване на рудните запаси, гарантира безопасното им и пълно изземване при минимални загуби, съобразно съществуващите минно-технологични условия.

#### Местоположение и параметри

Временно блокираните рудни запаси в Блок 19 (фиг.1) са локализирани между хор.380 и хор.440 и разделят зоните на приложение на система с подетажно обрушаване и на камерна система с последващо запълване. Условно разделени са на западна и източна част, като размерите на разглежданата зона в западната част са около 220m дължина и 45m ширина (ориентирани СЗ-ЮИ) и 130m дължина и 45m ширината (ориентирани С-Ю) в източната си част. Иззетото пространство над разглежданите запаси е с височина около 520m и е запълнено с обрушени скали. Долната им част (хор.



380) е ниво на тавани на камери, които са иззети и след това запълнени, в интервала между хор.290 и хор.380. Иззетите камери са с приблизителна дължина 60m, ширина 20m и височина от 30m до 90m.

Окварцената зона на рудното тяло между хоризонти 380 и 440, е грубо лещовидна, издължена в направление северозапад-югоизток, форма. Скалите в зоната на рудното тяло са предимно силно окварцени вулкански брекчи и туфи. Вместващите скали са представени от неокварцени вулкански туфи и андезити. Границата на окварцената зона на блока на юг, югозапад, запад и северозапад са ограничени от тектонски зони, след които скалите са неокварцени. На северозапад, север и североизток окварцената зона на блока е интерпретирана по сондажни данни и геоложка картироква. На югоизток окварцената зона граничи с тази на 18 блок. В средата на окварцената зона преминава тектонско нарушение вътрешно за блока, с променлива ширина, запълнено с тектонски обработен неокварцен масив.



Фигура 1. 3D модел на блокираните рудни запаси и на част от иззетите пространства в Блок 19 на рудник "Челопеч" – горе – по системата с подетажно обрушаване, долу – по камерната система с отбиване на рудата с дълбоки сондажи и последващо запълване на камерите: 1 – зона от рудното тяло, иззето с подетажно обрушаване; 2 – иззети и запълнени камери с камерната система с дълбоки сондажи.



**Фигура 2**. Стереографска проекция (долна полусфера) и роза диаграма на структурните нарушения на хор. 380.





**Фигура 3**. Стереографска проекция (долна полусфера) и роза диаграма на структурните нарушения на хор. 405.



**Фигура 4**. Стереографска проекция (долна полусфера) и роза диаграма на структурните нарушения на хор. 425.

Рудният масив е с едноосова якост в границите 95-115МРа. Якостта на окварцените неорудени скали е между 80-95МРа, а на неокварцените – в границите 60-80МРа. В масива са установени множество отделни структурни нарушения.

Блокираните рудни запаси в Блок 19 са подложени на характерните за рудник "Челопеч" високи хоризонтални напрежения. От горната си страна те са притиснат от обрушените скали, които създават вертикални напрежения около 10 МРа. В долната си част са напълно разтоварен, тъй като отдолу няма сериозен отпор.

#### Системи на разработване.

При разработването на запасите в находище "Челопеч", чрез прилагане на системата с подетажно обрушаване, се е достигнало до значителни нарушения на целостта на масива горележащи скали, достигащи и до прояви на повърхността. Продължаващото прилагане на тази система би повлияло негативно върху основните минни дейности в различни аспекти, в т.ч. занижени технико-икономически показатели на рудника, базирани на високите стойности на загубите и обедняването и др. Вследствие на това, през 2004 год. системата на разработване с подетажно обрушаване е заменена с камерна система с последващо запълване на иззетите пространства, като между двете зони на приложение на тези системи е оставени блокирани запаси.

При оценката на блокираните рудни запаси, в зависимост от минния масив над хор.440 се формират две зони на разработване. Една част от запасите ще се разработват с прилаганата до 2004г. система с подетажно обрушване, а в зоната със здрав масив чрез камерна система с последващо запълване.

#### Геомеханична оценка на масива

За определяне геомеханичничните характеристики на масива и с цел по-доброто му охарактеризиране са използвани няколко емпирични метода на изследване, представящи най-пълно неговите геоложки и минни особености. По разработената от Норвежкия геотехнически институт система за качеството на масива Q' и получената емпирична зависимост е определен геоложкият индекс за якостта на скалния масив GSI – формула (1) [1]. Използван е и графическият метод (диаграма на устойчивостта), известен като Mathews stability graph [3]. Направено е и цифрово моделиране с програмата MAP 3D и Phase2D.



$$GSI = 9\ln Q + 44 \tag{1}$$

При определяне на геомеханичните показатели са отчетени реалните характеристики на масива оказващи влияние върху бъдещи минни дейности в него. Използвана е събраната до момента база данни от реалните характеристики и поведение на масива при водене на добивните дейности в блок 19. Това включва отчитане на естествените нарушения в масива и по-конкретно интензивността на напукване, грапавостта и степента на изменение на стените на нарушенията, наличието на запълнение и тяхната оводненост (табл.1)

Оценено е влиянието на ориентацията на нарушенията върху устойчивоста на бъдещите добивни изработки (табл.2)

Таблица	1.
---------	----

	Стой			
Показатели	ност			
		МИН.	ср.	макс.
Качество на масива по Deer	RQD	70%	80%	91%
Число за брой системи пукнатини	J <sub>n</sub>	6	4	3
Число за грапавина на пукнатините		3	3	3
Число за изменение стените на пукнатините		1	1	1
Модифицирана оценка на масива		35,0	60,0	91,0
Геоложки индекс за якост	GSI	71	76	80

Таблица 2.

Показатели		Стойност				
		С-И	Ю-И	Ю-3	C-3	Таван
Ф-р за влиянието на индуцираните напрежения в масива	А	0.20	0.18	0.28	0.19	0.11
Ф-р за влияние ориентацията на нарушенията	В	0.78	0.71	0.81	0.76	0.56
Ф-р за отчитане загуба на устойчивост от гравитация	С	4.02	3.87	3.82	4.30	2.00
Число на стабилност	N'	15.24	18.23	18.64	16.65	4.84
Хидравличен Радиус	HR	5.47	4.85	4.85	6.58	4.83

Показателят за качество на масива по Deer (RQD), отнесен към класификационния параметър характеризиращ системите пукнатини *J<sub>n</sub>*, дава относителна представа за размера на естествения структурен блок. Отношението на параметрите *J<sub>r</sub>* и *J<sub>a</sub>* отразява сцеплението между стените на нарушенията, или якостта на срязване, като е взета най-неблагоприятната система нарушения, влияеща върху качеството на масива в граничния целик на бл.19 в рудник Челопеч.

При по-нататъшното изследване устойчивостта на масива е приложен графическият метод на Mathew (Mathews stability graph). Методът се прилага за определяне на устойчивостта на откритите площи на подземни изработки и за оценка на необходимостта от крепене. Той обвързва геомеханичните условия и състоянието на масива, изразени чрез интегралния показател N' - формула (2) и геометрията на проектираното добивно пространство, отчетено чрез хидравличния радиус (HR). В интегралния показател N' участва модифицираната оценка на Q-фактора, означена с Q' [4], когато параметърът  $J_w$  – отчитащ наличието на подземни води и факторът *SRF* – за напреженията, се приемат равни на единици. Интегралният показател N', наречен число на стабилност, се определя от израза:

$$N' = Q'.A.B.C , \qquad (2)$$

където Q'е модифицирана оценка на масива;

- А фактор, отчитащ индуцираните напрежения в масива около добивното пространство;
- В коригиращ фактор за ориентацията на нарушенията;



Таблица ?

С – фактор, отчитащ възможността за нарушаване на устойчивостта на стената от действието на гравитацията.

При този метод влиянието на напреженията се отчита чрез фактор А. За целта са определени стойностите за якост на едноосен натиск на образец и за индуцираните напрежения (табл.3). За отчитане на най-неблагоприятната стойност е взета минималната якост на образец с максималните индуцираните напрежения и обратно за максималните стойности на фактор А.

			10011040 0.			
Показатели	Стойност, МРа					
	мин.	cp.	макс.			
Якост на едноосов натиск ( $\sigma_{c}$ )	87	115	145			
Индуцирани напрежения (σ₁)	106	104	103			

Влиянието на ориентацията на пукнатините (фиг.2, фиг.3 и фиг.4) се отчита чрез фактора В, като са взети критичните за всяка една страна пукнатини, факторът С отчита възможността за нарушаване на устойчивостта на стената от действието на гравитацията. Обобщените резултати и получените стойности за числото на стабилност за отделните стени и таван на камери са показани в таблица 2.

При така получени стойностите за числа на стабилност (N') и зададени хидравлични радиуси (HR), се очаква поведението на стените на камерите в граничния целик да бъде устойчиво, с ниска вероятност за необходимост от крепеж (фиг.5).



Фигура 5. Диаграма на устойчивостта.

#### Избор на ред на изземване след 2D и 3D моделиране на добивните работи

За намиране на оптимален и безопасен начин на изземване на блокираните рудни запаси в блок 19 са моделирани отделни варианти за реда на изземване. Разликата между отделните модели е в последователността на изземване на отделните камери и часта за изземване с подетажно обрушаване, като са взети предвид технологичните възможности за достъп до всяка една от тях.

Използвана е и набраната информация и опит при успешното разработване на блокираните запаси в блок 150.

В модела избран за погасяване на блокираните запаси, са проектирани 11 броя добивни камери в източната част и 28 броя в западната част на 19 блок. Останалите запаси в западната част ще бъдат иззети с подетажно обрушаване. Редът на изземване е съобразен така че да се постигне равномерното преразпределение на напреженията без да се допуска повишаване концентрация им в участъците от масива около добивните пространства.

Изземването започва с отварянето и запълването на добивни камери в периферията на рудното тяло като се редуват в двата му участъка – източен и западен, между хор.380 и хор.405 (фиг.6), и



последващо отваряне и запълване на камерите в централната му част. Успоредно с тях добива продължава с отварянето на добивните изработки от хор.405 до хор.425 (фиг.7 и фиг.9) в същия ред – от периферията към центъра като се редуват също в двата участъка на блока. След погасяването на запасите определени за разработване с камерна система на добив с последващо запълване се пристъпва към погасяване на надработените запаси чрез система на добив с подетажно обрушаване (фиг.8 и фиг.10).



Фигура 6. Главно напрежение- *о*1. Мар3D модел хор.380



**Фигура 7.** Главно напрежение- **о**1. Мар3D модел хор.405



Фигура 8. Главно напрежение-  $\sigma_1$ . Мар3D модел хор.425





Фигура 9. Главно напрежение- о1. Phase2D модел между хор.405 и хор.425



Фигура 10. Главно напрежение- σ<sub>1</sub>. Phase2D модел на хор.425

#### Мониторинг на преместванията

С цел осъществяване на дългосрочен мониторинг на преместванията, установяване на евентуален механизъм на разрушаване и управление на геомеханичния риск от разрушения на масив, в него се монтират уреди за наблюдение на движенията. Този метод дава възможност за управление на риска едновременно с извършване на минно-добивните работи.

Местата, ориентацията, дължината и броят на уредите се избират въз основа на пълен преглед на геомеханичните характеристики на разглеждания масив. Вземат се предвид магнитудът и направленията на очакваните движения, мястото и видът на другите инсталирани инструменти и развитието на минните дейности. Изборът на подходящи уреди за извършване на наблюденията, броят и местата на залагането им се извършва предвид специфичните условия в масива. Инсталират се два вида екстензометри – SMART CB (Cable Bolts) и SMART MPBX (Multi Point Borehole Extensometer). Те се монтират в специално пробити за целта сондажи в направление на очакваните премествания. Сондажните екстензометри SMART CB имат предимството, че освен големината на преместванията отчитат и натоварването върху уреда.

## Заключение

Оценката на устойчивото изземване на блокираните запаси от блок 19 в рудник "Челопеч" е важна задача за дългосрочното планиране на рудника. Безопасно изземване на запасите може да се извърши, само след провеждане на редица изследвания, въз основа на които да се изяснят сложните геомеханични задачи, свързани с определяне на актуалната степен на устойчивост. В такива случаи



теоретичните постановки трудно достигат до инженерни решения. Затова, в световната практика се използват емпирични методи, които освен, че обобщават натрупания опит, свързват тясно геоложките и минните особености, характеризиращи състоянието на скалния масив.

В съответствие със общоприетата минна практика, задачата в рудник "Челопеч" е решена, като са приложени емпирични и числени методи на механиката на скалите. Използвана е системата за качеството на масива Q, геоложкият индекс на якост GSI (Hoek) и графичният метод на Mathews. Приложено е и числено моделиране със софтуера Map3D и Phase2D, по които методи е изграден геомеханичен модел, който включва добивните камери, масива на блокираните запаси, прокараните в него изработки, както и зоната на обрушаване до повърхността и е направен избор на реда на изземване.

Обобщените резултати от иследванията по различните методики показват устойчивост на добивните изработки без крепене при получените хидравлични радиуси, които би следвало да се исползват при проектирането. Напрегнатото състояние на масива в моделите показват, че изборът на ред на изземване е необходимо да се разгледа по подробно след натрупване на допълнителни данни за поведението на масива след началото на добива от първите добивни изработки.

# <u>Литература</u>

- 1. Стефанов, Др., Велков, Цв., Георгиев, Н., Георгиева, Т. 2014. Изследване състоянието на граничния целик в рудник "Челопеч"
- 2. Hoek, E., 1994. Strength of rock and rock masses. News J. ISRM 2 (2).: 4-16.
- Mathews, K. E., E. Hoek, D. S. Willie, S. B. V. Stewart, 1981. Prediction of stable excavations for mining at depth below 1000 metres in hard rock. CANMET Report DSS Serial No OSQ80-00081, DSS File No 17SQ.23440-0-9020. Ottawa: Dept. Energy, Mines and Resources.: 39.
- 4. Barton, N., R. Lien and J. Lunde, 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics and Rock Engineering, **6** (4).: 189-236.



# ГЕОМЕХАНИКА НА ПОДДЪРЖАЩИТЕ ЦЕЛИЦИ ПРИ КАМЕРНО-СТЪЛБОВА СИСТЕМА НА РАЗРАБОТВАНЕ

# проф. Георги Михайлов, МГУ Св. Ив. Рилски, e-mail: mihayg@mgu.bg

#### РЕЗЮМЕ

Направен е преглед на хипотезите за формиране на натоварването върху стълбообразните целици. Представена е Yielding pillar concept and its design. Разгледана е постановката на Tributary area analysis за избор на оптимален вариант на Камерно-стълбова система (КСС). Чрез показателите Average Pillar Stress (APS) и Energy Release Rate (ERR) се анализира поведението на конструктивните елементи при разработване на рудни тела с неправилна форма – design in irregular ore bodies. Следвайки развитието на геомеханичните класификационни системи Rock Mass Rating (RMR), Modified Rock Mass Rating (MRMR), се достига до Geological Strength Index (GSI), въз основа на който е формулиран важен извод за механичните свойства на масива при преминаване от лабораторни към полеви природни условия.

<u>Ключови думи:</u> Камерно-стълбова система; натоварване на целиците; стадий на деформиране; мрежа за разполагане на целиците; податливост на целиците; геомеханична класификационна характеристика.

#### PILLAR GEOMECHANICS APPLIED IN ROOM AND PILLAR MINING METHOD

## ABSTRACT

This paper investigated aspects related to optimal parameters of room and pillar mining method. The introduction of yielded pillar concept and its design is presented. A tributary area analysis is described, that illustrates the effect of different dimension values such as pillar wide  $w_p$ , opening wide  $w_o$ , relation  $h/w_p$  of total closure on the simulated models. Two design criteria Average Pillar Stresses (APS) and Energy release Rate (ERR) emphasize the need for further researches into methods to mitigate the uncertainty of rock mechanical properties. The impact of geological and mining factors on the stability of rooms (pillars) is discussed on the basis of Rock mass classifications: Rock Mass Rating (RMR), Modified Rock Mass Rating (MRMR), Geological strength index (GSI).

<u>Keywords:</u> Room and pillar mining method; pillar loading; stage of deformation; pillar size; yielding pillar concept; rock mass classification.

#### 1. Въведение

Системите на разработване с открито добивно пространство са едни от най-ефективните технологии в подземния рудодобив. В последните години техният относителен дял непрекъснато нараства. Това се дължи на въвеждането на едрогабаритна и високо проиводителна механизация, която от своя страна изисква големи размери на добивните пространства. Същевременно методите и средствата за управление на скалния натиск бележат качествено развитие, което осигурява възможност за тяхното успешно прилижение. В настоящата статия е направен преглед на развитието на геомеханичното обслужване на технологиите с открито добивно пространство у нас. Постигнатите резултати недвусмислено показват високото равнище на натрупаните теоретични и практически знания, което е сигурна предпоставка за бъдещото им усъвършенстване, следвайки най-добрите световни постижения.

#### 2. Емпирични методи за определяне на натоварването на целиците

2.1 Хипотеза на свода на естествено равновесие

Сводът на естествено равновесие най-добре се проследява при разработване на хоризонтални и полегати находища, когато ъгълът на наклона се изменя в интервала [0º-20º]. Формират се камери и



поддържащи целици, които се разглеждат като единна конструкция при взаимодействието "скаликрепеж". Основните производствени единици са добивните блокове, като в едновременна работа са няколко добивни блока. Последователността на тяхното изземване определя общите размери на добивното пространство в хоризонталната равнина  $L_1$  и  $L_2$ , като третото измерение съответства на дебелината М. Възникналото преразпределение на напреженията се обуславя от обема на празните пространства, които се образуват в резултат на изземването на рудата. Формират се зони на концентрация на напрежения и разтоварени зони, чието състояние определя същността на геомеханичните процеси. В тавана на камерите, в непосредствена близост до поддържащите целици се формират зони на срязване т.е. най-активни са индуцираните тангенциални напрежения. Най-често камерно-стълбовата система се прилага при седиментни скали, от където следва, че в тавана на камерата преобладава слоеста структура. В зависимост от състоянието на отделните слоеве - тяхната дебелина и наличие на сцепление между тях, както и от присъствието на една, две системи стръмнозалягащи пукнатини, се формират отделни блокове (клинове). В пространството те се характеризират с различно взаимно разположение, което в крайна сметка определя способността да се самозаклинват, осигурявайки устойчивост с високо рисков характер. Във височина - над тавана на камерата се проявявя действието на страничния натиск. Логично е неговата интензивност да нараства с отдалечаване от откритата повърхност. Така се видоизменя общата картина на напреженията. В англоезичната литература това явление се описва като state of stress relaxation. Преместванията, респ. деформациите, започват интензивно да се ограничават в рамките на контур, който във вертикалната равнина има параболична форма, доката в пространството се образува повърхнина с по-сложна геометрия. Тази повърхнина служи за граница на т.н. свод на естествено равновесие. Формиралият се обем в границите на свода на естествено равновесие се отличава с минимални действащи напрежения, често клонящи към нула. На фиг.1 е представена геометричната същност на свода на естествено равновесие. Той се характеризира с разстояние между опорите – ненарушения масив L1 (респ. $L_2$ ) и височина (амплитуда) на свода S.



Фигура 1. Геометрична характеристика на свода на естествено равновесие. L<sub>1</sub> – разстояние между контурите на ненарушения масив; S - височина (амплитуда) на свода на естествено равновесие; n - ос на симетрия; I, II, III – преместване на фронта на минните работи.

В практиката често се срещат случаи, когато рудничното поле се характеризира с голямо площно разпространение  $L_{P\Pi 1}$  и  $L_{P\Pi 2}$ . Тогава изчислителната схема, показана на фиг.1 е неприемлива, тъй като  $L_{P\Pi 1}$  (респ.  $L_{P\Pi 2}$ ) е много по-голям от  $L_1$  (респ. $L_2$ ). За да се оформят сводовете на естествено равновесие със съответните геометрични параметри се използват бариерни целици. Тяхната ширина е много по-голяма от размерите на поддържащите целици, оформени в добивните блокове. На фиг.2 е показана принципна схема на камерно-стълбова система с използване на бариерни целици. Формирането на свод на естествено равновесие има важно практическо значение за камерно-



стълбовата система на разработване. Неговата големина *S*, както и схемата за разполагане на поддържащите целици *определят степента на тяхното натоварване* (действащите напрежения и носещата им способност).



Фигура 2. Принципна схема на камерно-стълбова система на разработване с използване на бариерни целици.

#### 2.2 Хипотеза на геостатичния товар

Най-старият емпиричен метод за определяне на натоварването върху целиците се основава на хипотезата на геостатичния товар  $\gamma H$ , където  $\gamma$  е обемното тегло, а H е дълбочината на разработване. Големият брой привърженици на тази хипотеза се обяснява с факта, че геометричните параметри: дълбочина на разработване H, ширина на камерата  $w_0$ , ширина на целиците  $w_p$  обективно съществуват и няма никакво съмнение относно тяхното определяне. Принципната постановка за оразмеряване на целиците в съответствие с геостатичния товар  $\gamma H$  е показана на фиг.3. Изземването на камерите и оформянето на поддържащите целици инициира пререзпределение на напреженията, като стойностите на вертикалните компоненти  $\sigma_H$  са пропорционални на  $\gamma H$ , т.е  $\sigma_H$  = K $\gamma$ H. Тук K е коефициентът, определящ концентрациятана напреженията в целика. Неговата стойност зависи от геометричните размери  $w_0$  и  $w_p$  съгласно условието:

$$K = \frac{w_o + w_p}{w_p} \tag{1}$$

Уравнение (1) е валидно, когато се разглежда равнинна задача. В противен случай величините  $w_o$  и  $w_p$  следва да се редуцират до съответните площи  $s_o$  и  $s_p$ . В съвременни условия емпиричните методи за оразмеряване на конструктивните елементи на камерно-стълбовата система се развиват и усъвършенстват в много посоки. Въпреки това, има специфични особености, заради които поддържащите целици се оразмеряват съгласно хипотезата за геостатичния товар. На фиг.3-b е показана другата концепция за геостатичния товар. При същите параметри H,  $w_o$ ,  $w_p$  призмата на товара се формира между цялата ширина на камерата  $w_o$  и половината от ширината на целика  $w_p/2$ . При определено съчетание между деформационните показатели на основното и непосредственото горнище се проявява т.н. постилащ ефект – фиг.3-с, при който скалите от горнището се огъват (в определени граници) без да се разрушават целиците. За сметка на тяхната податливост – потъване в скалите от долнището - площта, върху която се проявява постилащият ефект може значително да се увеличи и това да доведе до внезапно обрушаване в добивния участък.

В единствения рудник за подземен добив на гипс у нас – рудник "Кошава" се прилага камерностълбова система на разработване. В минно-техническо отношение рудникът е характерен с това, че е един от най-дълбоките рудници в света за подземен добив на гипс. Ширината на камерите *w*<sub>0</sub> и



ширината на поддържащите лентообразни целици  $w_p$  са съответно 7m и 17.5m. Тогава коефициентът на концентрация на вертикалните напрежения съгласно израз (1) ще бъде K=1.40. Стойността на *K* следва да съответства на експлоатационните загуби  $a_e$ , а от там на коефициента на извличане  $\eta$ съгласно израза  $\eta$ =1- $a_e$ . Като се отчетат загубите в тавана и пода на камерите, както и целиците за опазване на подготвителните изработки коефициентът *K* (по данни от практиката) спада до K=1.15. Това означава, че експлоатационните загуби са  $a_e$ =0.85, а извличането (при условие, че липсва обедняване, т.е. b=0) има стойност  $\eta$ =0.15.



Фигура 3. Схеми на натоварване на целиците според хипотезата за геостатичния товар үН; а и b варианти на формиране на натоварването; с – схема на "постилащия ефект".

Възниква въпросът при какви природни условия следва да се прилага хипотезата за геостатичния товар? Краткият отговор е при реологично активни скали. Извършените изследвания за определяне на деформационните и якостни карактеристики в лабораторни условия за находище "Кошава" показват че делът на еластичните деформации е много малък в общото съотношение, определящо еластичното, пластичното и вискозно поведение на скалите. Абсолютно недопустимо е да се оразмеряват поддържащи целици на натоварване, довеждащо до пълзене и пластични



деформации. Затова конструкцията на камерно-стълбовата система трябва да бъде избрана така, че приръстът на вертикалните напрежения  $\sigma_H$  спрямо напреженията в ненарушения масив да бъде в границите на еластично поведение. Като пример за слабо активни реологични скали могат да се посочат условията на рудник "Плакалница", където за най-дълъг период е прилагана камерно-стълбова система на разработване. Открити добивни пространства, оформени с къси взривни дупки и сондажи, както и целици с различно предназначение съществуват и днес, въпреки че минните работи са преустановени преди повече от 30 години. В световната практика пример за разработване в слабо активни реологични скали може да се посочат рудниците на Джезказган в Казахстан [1]. Проведените там изследвания обаче показват необходимостта от отчитане на влиянието на времето върху характера на разпределение на натоварването на целиците. Доказва се съществената роля на пълзене на скалите и в това се обяснява значението на изкуствената податливост като средство за намаляване на високите концентрации на напрежения в конструктивните елементи на системата на разработване.

# 2.3. Геометрични параметри на целиците – проектиране и анализ

Наред с големите предимства на камерно-стълбовата система на разработване – използване на високо производителна самоходна товаро-транспортна и пробивна механизация, както и възможност за висока интензивност на изземване на добивните блокове, тя има и сериозни недостатъци: големи загуби в поддържащи целици, ограничени природни условия на приложение, трудно управление на равнището за безопасна работа. Този факт има пряко отношение към геомеханичната същност на системите с открито добивно пространство и в частност към камерно-стълбовата система на разработване. Основните параметри на добивната технология са: wo(1) и wo(2) – ширина на добивните й камери;  $I_{o(1)}$  и  $I_{o(2)}$  – дължина на добивните камери;  $w_{D(1)}$  и  $w_{D(2)}$  – ширина на целиците;  $I_{D(1)}$  и  $I_{D(2)}$  – дължина на целиците. Индексите (1) и (2) съответстват на размерите в две взаимно перпендикулярни посоки напр. по линия на западане и по линия на разпространение. В случая най-удобно е това да бъдат осите х и у, лежащи в хоризонталната равнина, z е вертикалната ос на така представената пространствена координатна система. Параметърът *h* съответства на височината на целиците. Той се идентифицира с дебелината на рудното тяло *M*. Така по оста *z* се отчита третото измерение на целиците, респ. на останалите конструктивни елементи. Съотношението h/wp заема принципно място в геомеханичната характеристика на целиците. В практиката това съотношение е в границите [0.5≤h/w<sub>p</sub>≤5]. Изследванията в диапазона [0.5÷1] показват, че в целиците се оформя обемно напрегнато състояние, което е предпоставка за устойчиво поведение в процеса на натоварване. В диапазона [1÷3] целиците са подложени на натоварване, което има аналогия с определяне на якостта на едноосов натиск в лабораторни условия (Uniaxial compressive strength, UCS). Отношението  $h/w_p \ge 3$ означава, че целиците притежават голяма стройност и тяхната носеща способност е твърде ограничена. Такива целици могат да се разрушат само от сеизмичния ефект на взривните работи без да са изпълнили каквито и да е поддържащи функции. Така се достига до оценка на коравината на целиците. От известното условие

(2)

(3)

Коравината на даден целик G се определя съгласно израза

$$G = \frac{EF}{h}$$

където: Р е натоварването върху даден целик;

- F напречното сечение на целика (определя се от размерите w и l);
- *h* височината на целика (най-често съответства на дебелината *M*);
- Е модулът на еластичност на разглежданата природна среда;
- ∆*h* фиксираното преместване във вертикалната равнина.

Изразът (2) показва пряката връзка на коравината на целиците с тяхната носеща способност. Именно чрез намаляване на коравината се постига желаният ефект за намаляване на натоварването на целиците. Това съждение има пряка връзка с изложеното в § 2.2, където изкуствената податливост на



целиците беше свързана със степента на реологична активност и по-конкретно с пълзенето на скалите. Изкуствената податливост на целиците изисква големи човешки и материални ресурси и затова не е намерила широко приложение в рудничната практика.

Разработването на руднични полета с голямо площно разпространение и използване на бариерни целици значително разширява областта на приложение на камерно-стълбовата система на разработване. Когато се натрупат значителен обем данни от практиката, е подходящо да се използва средният коефициент на натоварване *К*<sub>ср нат</sub>. Той се определя съгласно израза

$$K_{\rm cp\ hat} = \frac{\sum N}{\gamma_{HS_{\rm row}}} \tag{4}$$

където:  $\sum N$  е сумарното натоварване на целиците в панела;

у - обемното тегло на скалите до повърхността;

Н - дълбочината на разработване;

S – общата площ на разглеждания панел.

А.Б.Макаров [2] е успял да изведе емпирична зависимост между средния коефициент на натоварване  $K_{cp \ Ham}$  и обобщаващия показател  $\frac{L_3 G}{\left(\frac{E_{\Pi}}{2} \times \frac{d}{1} + 1\right)}$ , която е показана на фиг.4.



Фигура 4. Зависимост между средния коефициент на натоварване К<sub>ср нат</sub> и комплексния показател, по Макаров [2].

Тя е построена на базата на изследване на голям брой целици (560000 целика, разположени в 4500 панела в условията на Джезказган) и дава основание да се направи изводът, че средният коефициент на натоварване на целиците *К*<sub>ср нат</sub> е в пряка зависимост от следните природни и минно технически фактори:

- коравина на целиците G;

- эквивалентный пролёт L<sub>э</sub> – понятие, което в рускоезичната литература се използва при определяне на размерите на добивното пространство в хоризонталната равнина;



- отношение на модулите на еластичност на рудата и страничните скали *E<sub>n</sub>/E<sub>p</sub>*;

- съотношение между геометричните параметри на целиците *h/d* (при условие, че целиците са с кръгло напречно сечение с диаметър *d*;

Емпиризмът е сериозен катализатор за въвеждане на по-строги математични подходи за определяне на натоварването на целиците. Един от тях използва **принципа за съвместност на деформациите** на целиците и горнището над тавана на камерите. Разглеждат се две задачи. <u>Първата</u> изследва еластичното полупространство, което е натоварено в съответствие с приетия геостатичен товар, без използване на опори, съответстващи на работата на целиците. <u>Втората</u> изследва същото това полупространство без присъствие на обемните сили. Опорите са заменени с тяхната реакция т.е. реакцията на целиците. Тогава в най-общ вид може да се запише следното условие:

$$Z_{ij}^{(1)} + Z_{ij}^{(2)} = Z_{ij}^{(0)}$$
(5)

където:  $Z_{ij}^{(1)}$  и  $Z_{ij}^{(2)}$  са преместванията на полупространството над j-я целик от i-я ред съответно за първата и втората задача;  $Z_{ij}^{(0)}$  - вертикалните премествания на j-я целик от i-я ред. В разгънат вид уравнение (5) може да се запише:

$$Z_i(-\Upsilon H) - Z_i(X_i) = \Delta h_i(X_i)$$

(6)

където: *Z<sub>i</sub>* е конвергенцията между тавана и пода на камерата под действието на теглото на скалите при условие, че липсва реакция на целиците; *Z<sub>i</sub>*(*X<sub>j</sub>*) – конвергенция между тавана и пода под действие на реакцията на j-я целик; Δ*h<sub>i</sub>* – намаляване на височината на целика под действие на силата *X<sub>i</sub>*.



Фиг. 5. Разпределение на натоварването върху стълбообразни целици в добивен блок; а – схе-ма на разположение на целиците; b – диаграма на натоварването като функция от γH.

Задачата се свежда до решаване на система линейни уравнения с *n* неизвестни (n=i x j) за намиране на силовото натоварване *X<sub>ij</sub>*.

Методиката за определяне на натоварването на целиците, изхождайки от принципа за съвместимост на деформациите, е подходяща при паралелно разработване на жилна и метасоматична част на рудни находища. За метасоматичната част се прилага камерно-стълбова система, като размерите на блока по линия на разпространение и линия на западане рядко превишават 50 m. С цел осигуряване на висока безопасност на труда, изземването се извършва на два стадия. Първият съответства на използване на мрежа за разполагане на поддържащите целици съгласно приетите нормативи. Вторият предвижда разреждане на целиците, като геомеханичното състояние на участъка е особено ефективно да се оценява в съответствие със натоварване по степента на принципа за съвместност на деформациите. На фиг.5 е показана схема за определяне на натоварването върху стълбообразни целици при изземване на едно от метасоматичните находища в Горубсо. Данните са от непубликувано до сега от автора изследване.

Неравномерното натоварване на целиците в границите на добивния участък изисква прилагане на комплексен подход при тяхното оразмеряване. Визуалните наблюдения са неразделна част от него.



Най-малко четири индикации могат да се посочат като характерни за пределното състояние на целиците при натоварване. <u>Първата:</u> Появяват се новообразувани пукнатини с остри ръбове, понякога придружени от звуков ефект. <u>Втората:</u> Появяват се пукнатини в пода на камерите като резултат от хлъзгателните повърхнини, които се образуват по аналогия с действието на щамп (фундамент), предавайки натоварването върху основния масив. <u>Третата:</u> Движение (завъртване) на отделните структурни блокове по съществуващите пукнатини на структурната нарушеност. <u>Четвъртата:</u> Целиците започват да потъват (без видими дефекти) при недостатъчно висока коравина на скалите в долнището. При едно от тези състояния достатъчно е един целик да загуби носещата си способност и неговото разрушаване да предизвика "ефекта на доминото", довеждайки до масово пропадане на цели експлоатационни полета.

Съчетанието на визуалните и инструментални наблюдения са дали възможност да се определят четири стадия на деформиране на целиците до пълното им разрушаване – фиг.6.



Фигура 6. Характеристика на поведението на стълбообразните целици при натоварване; а – стадии на деформиране: 1, 2, 3, 4 пояснение съгласно текста; b – разпределение на вертикалните напрежения APS през различните стадии в зависимост от координатите на точките на измерване; с – ефект на "пясъчния часовник" при разрушаване на целиците.



Условно те могат да се нарекат:

- стадий на еластичните деформации; целиците са устойчиви или с единични признаци на разрушаване, най-често дължащи се на сеизмичния ефект на взривните работи и вибрациите, породени от движението на самоходните товаро-транспортни машини;
- стадий на нелинейните деформации, когато целиците достигат (0.7÷0.8) от граничната якост на натиск σ<sub>C</sub>; целиците имат признаци на частично разрушаване в съответствие с посочените по-горе индикации;
- стадий, съответстващ на граничната якост на натиск; тази пикова стойност има важно практическо значение при преминаване от лабораторна якост към якост на масива в естествени (in situ) условия; тя дава възможност за прилагане на Back analysis при изучаване на механизма на разрушаване в реални природни условия; при този стадий целиците се характеризират като конструктивен елемент, загубващ носещата си способност; ефектът на пясъчния часовник е характерен признак;
- стадий, съответстващ на постгранично състояние на целиците; характерът на деформационния процес е различен в зависимост от размерите (обема) на целика, който напълно е разрушен; в някои случаи, за сметка на коефициента на разбухване, е налице остатъчна якост, която рядко превишава 0.2 σ<sub>C</sub>.

Дългогодишните **инструментални наблюдения** са дали възможност да се представят графично основните закономерности, свързани с поведението на целиците при натоварване. На фиг.6 е показана пълната диаграма на деформиране на целиците през различните стадии на тяхното натоварване. Показано е действието на "ефекта на пясъчния часовник". Следва да се подчертае, че той е в сила, когато съществува пълно сцепление между рудните целици и скалите съответно в горнището и долнището. Разрушаването на целиците под действието на приложеното натоварване се дължи на комбинираното действие на срязващите и опънови напрежения. Този факт стои в основата на количествената оценка за определяне на устойчивото състояние на целиците. Приложените графики на фиг.6 имат важно практическо значение, защото въз основа на тях се въвеждат два особено важни критерия: средна стойност на действащите напрежения – Average Pillar stress (APS) и количество на освобождаваната при разрушаване на целиците позволява значително да се намали натоварването върху тях, давайки възможност товарът да се пренесе върху по-коравите бариерни целици или ненарушения масив.

Известните случаи на масово пропадане на целици в дадено руднично поле показват, че много трудно може да се посочи еднозначно решение за ефективно управление на скалния натиск при камерно-стълбова система на разработване. Освен ролята на бариерните целици, изкуствената податливост, "ефекта на доминото", тук следва да се подчертае, че съществува още един феномен. След достигане на стадия, съответстващ на граничната якост, даден целик намалява своето средно сечение по принципа на "пясъчния часовник". Това е свързано с увеличаване на податливостта за сметка на по-малката коравина. Тогава товарът се пренася на съседните целици без да настъпи тяхното разрушаване по принципа на "доминото". Възникват условия за релаксация на напреженията, което е свързано с преустановяване на деформационния процес във времето. В тези случаи в рускоезичната литература се използва понятието "вышел из под нагрузки". Възниква особено актуален въпрос: какъв да бъде коефициентът на запаса т.е. какъв да бъде коефициентът на сигурност – Safety Factor? В отговора на този въпрос се крие изборът на оптимална добивна технология, като условието за безопасна работа няма алтернатива.

#### 3. Tributary area analysis

Сумата (w<sub>o</sub>+w<sub>p</sub>) определя мрежата за разполагане на стълбообразните целици в добивното пространство. Тя е основен минно-технически фактор, влеяеща върху ефективността на камерностълбовата система на разработване. Увеличаването на w<sub>p</sub> води до по-голяма безопасност на минните работи (за сметка на устойчивостта на целиците). Но това е свързано с по-големи експлоатационни



загуби *a*<sub>e</sub> респ. по-нисък коефициент на извличане *η*. Увеличаване на *w*<sub>o</sub> води до по-ниска безопасност на работа в добивните камери, като вероятността от нарушаване на горнището, респ. обрушаване на тавана е предпоставка за аварии. Налице е конфликтна ситуация, в която изборът на оптимално решение изисква комплексност на подхода. Като се прибави и влиянието на стройността на целиците, която се представя чрез отношението *h/w*<sub>p</sub> е очевидно, че съществува функция от вида

$$F = f(w_p, w_o, h)$$

(7)

Физическият смисъл на израза (7) може да се изясни чрез анализа на множество случаи, регистрирани и изучени в реални природни условия. Така Lunder & Pakalnis създават Confinement Pillar Stability Graph по подобие на Open Stope Stability Graph на Potvin – фиг.7 [3].



Фигура 7. Формиране на три зони, характеризиращи поведението на целиците, в зависимост от отношенията  $\frac{APS}{UCS}$  и  $\frac{w}{h}$  чрез на линиите, съответстващи на SF=1.0 и SF=1.4, по Bawden [3].

Въз основа на 178 анализирани случая те извеждат зависимост между отношенията Pillar width/height ratio и Average pillar load/UCS. Формират се три групи целици: устойчиви (Stable), неустойчиви (Unstable) и разрушени (Failed), като за разделителни линии между тях се използват линиите, характеризиращи *SF*, съответно при SF=1.00 и SF=1.40. Посочените до тук природни и минно-технически фактори дават основание да се търси реален израз на функцията (7), а именно:

$$FS = \frac{UCSV^a \left(\frac{Wp}{h}\right)^b (1-\eta)}{Y_Z}$$
(8)

където: FS - характеризира степента на безопасност (Safety Factor); (задължително FS≥1);

V - обемът на разглеждания целик;

UCS- якост на едноосов натиск, определена в лабораторни условия;

*w*<sub>p</sub>-ширина на целика;

- h височина на целика;
- η коефициент на извличане;
- *у* обемно тегло на скалите, определящо натоварването върху целика;
- z височина на стълба, формиращ натоварването върху целика;
- а, b емпирично определени коефициенти в зависимост от реалните природни условия;

Изразът (8) е същността на Tributary Area Analysis, който се използва при търсенето на оптимални параметри на добивната технология. Характерна особеност за системите с открито добивно пространство и в частност на камерно-стълбовата система е дългият срок на съществуване на



добивните изработки. Понякога той съответства на времето за изземване на един етаж, докато в други е съизмерим с периода на съществуване на рудника. Дългогодишният опит на приложение на камерностълбовата система е позволил да се изведе зависимост между времето на съществуване на добивното пространство и неговата ширина  $w_o$  – фиг.8. Тя е в основата на всеобщоизвестната класификационна характеристика на масива Rock Mass Rating (RMR), създадена през 1976 година от Bieniawski.



Фигура 8. Зависимост между ширината на откритите добивни пространства и срока на тяхното съществуване (в часове), изследвана в среда на Rock Mass Rating (RMR), по Brady [5].

RMR е особено подходяща в началните стадии на проектиране, когато именно благодарение на рейтинговата система се оценява качеството на масива, евентуалната приложимост на камерностълбовата система при зададен срок на съществуване на рудника. Използването на зависимостта, показана на фиг.8 дава възможност да се оцени фактор "време" и от там да се заложат такива реологични показатели, които да гарантират както устойчивостта на основните инфраструктурни изработки, така и безопасната експлоатация на добивните пространства.

#### 4. Оценка на структурната нарушеност на масива

От природните фактори, влияещи върху устойчивостта на камерите и целиците, безусловно с най-голяма тежест е структурната нарушеност на масива. Още в средата на миналия век чрез RQD (Rock Quality Designation) тя е намерила място в почти всички изчислителни процедури. Именно чрез RQD е установена връзката между механичните свойства, определени в лабораторни и натурни условия. Възниква въпросът: Може ли якостта на едноосов натиск – Uniaxial Compressive Strength (UCS), заложена във формула (8), успешно да се използва за нуждите на проектирането? Отговорът е отрицателен. Но не бива да се забравя, че UCS е достатъчно чисто определяем параметър, следвайки утвърдените норми и изисквания на стандартите (Suggested Methods). Така се достига до ролята и мястото на класификационните характеристики, чрез които се прехвърля така необходимият мост



между механичните свойства, определени съответно в лабораторни и натурни условия. Тук следва да се подчертае мястото на системата RMR (Rock Mass Rating). Тя има ключово значение при съставяне на графиката, показана на фиг.8. Фактът, че в последствие класификационната система намира множество последователи в стремежа към усъвършенстването ú, дава право да се счита нейният автор Bieniawski за един от основателите на това толкова разпространено в днешно време направление.

Прогресивно усложняващите се природни условия при развитие на минните работи в дълбочина, както и успешното анализиране на причините за възникнали аварийни ситуации, довеждат до сериозни продължения в стремежа за усъвършенстване на RMR. Тук е мястото да се отбележи ролята на Laubscher, който създава Modified Rock Mass Rating (MRMR). Стремежът на нейния автор да потърси адекватен отговор на променящите се в натурни условия показатели е едно от големите практически достойнства. Той не подценява значението на мащабния фактор при изследване на показателите, характеризиращи механичните свойства. Но правилно отчита, че изпитанията върху призми, оформени в скалния масив имат предел на своите възможности, тъй като натоварващите механизми нямат нужния потенциал за реализиране на едро-мащабни изпитания. Laubscher успява да подреди йерархично показателите, характеризиращи механичната якост, въвеждайки понятията:

Intact Rock Strength (IRS); Rock Mass Strength (RMS); Design Rock Mass Strength (DRMS). Залагайки на всестранното изучаване на закономерностите на разрушаване на напукани скални масиви, са въведени множество корекционни коефициенти. Те дават възможност да се направи практически нова класификация на начините за закрепване на подготвителните изработки, които са неразделна частот същността на добивната технология. С най голяма практическа стойност е определянето на DRMS [4].

$$DRMS = K_1 K_2 K_3 RMS$$

(9)

където: К<sub>1</sub> е корекционен коефициент, отчитащ степента на изветряване;

К<sub>2</sub> – корекционен коефициент, отчитащ ориентацията на пукнатините;

К<sub>3</sub> – корекционен коефициент, отчитащ сеизмичния ефект на взривните работи.

Съвременният подход за оценка на устойчивото състояние се основава на критерия на разрушаване на Hoek-Brown (H-B), изхождайки от постулата, че реалният масив е изграден от здрави, но напукани скали. В основата на критерия (Н-В) е залегнало определянето на ефективните напрежения  $\sigma'_{ii}$  [5]. Множеството коефициенти, които използва критерият (H-B):  $m_i$ , s, a успешно е обвързано с въведения от Hoek GSI (Geological Strength Index), който за основа приема вече тълкувания по-горе RMR съгласно израза: RMR<sub>89</sub> - 5=GSI [6]. Окончателният вид на GSI е публикуван от Hoek & Marinos през 2000 година [3]. Стойностите на GSI могат да се подредят във вид на матрица, на която стълбовете съответстват на състоянието на пукнатинните стени Surface Condition Rate (SCR)<sub>i</sub>, а хоризонталните редове – на структурата на масива Structure Rate (SR)<sub>j</sub>. На фиг.9 е показана графичната интерпретация на GSI като матрица, състояща се от пет стълба т.е. i=5 и шест реда т.е. j=6. Физическият смисъл на GSI е "с какъв процент намалява якостта (якост на срязване) на еднороден ненапукан масив в сравнение с масив с най-различни и възможни геоложки състояния" [7]. Многообразието на природните условия и връзката им с константите  $m_b$ ,  $m_i$ , s и a от критерия на (H-B), както и с модула на еластичност Е и коефициента на Поасон µ дават голямата практическа стойност на GSI. Известно е, че разрушаването настъпва или чрез срязване, или чрез опън. Но при реални напукани скали съпротивителните способности на скалния масив на опън са практически нулеви. Остава якостта на срязване и в това е широкото практическо приложение на GSI при проектиране на конструктивните елементи на системите за подземно разработване на рудни находища





Фигура 9. Матрично представяне на GSI в зависимост от Structure Rate (SR) и Surface Condition Rate (SCR).

#### 5. Заключение

Камерно-стълбовата система е една от най-широко разпространените добивни технологии. Същевременно нейното приложение се ограничава от строги природни и минно-технически условия, които в крайна сметка осигуряват нейната ефективност.

Въпреки голямото многообразие на варианти и технологични схеми, определено може да се каже, че хипотезите, върху които се гради натоварването на стълбообразните целици се свеждат до: свода на естествено равновесие, геостатичния товар до повърхността, плавно слягане на горнището, намерило по-конкретно изражение като "постилащ ефект".

При анализа на различните случаи на приложение на камерно-стълбовата система се установява, че винаги се формират три зони: зона на устойчиво поведение, на неизбежно пропадане и междинна зона. Именно в тази преходна зона са най-честите случаи на приложение. Тяхната успешна реализация зависи от избрания коефициент на сигурност – Safety factor. Практиката показва, че той се колебае от 1.00 до 1.40. Долната граница може да обясни случаите на пропадане на целици в добивното пространство.

Сумата (w<sub>o</sub>+w<sub>p</sub>) е основен технологичен параметър, определящ мрежата за разполагане на поддържащите целици. Той е в основата на т.н. Tributary area analysis за избор на оптимално решение. Налице е пряка корелационна зависимост на експлоатационните загуби *a*<sub>e</sub> (респ. коефициента на извличане η) и коефициента на концентрация на действащите напрежения в целиците.

Опитът по изучаване на структурната нарушеност на масива и практиката по използване на геомеханичните класификационни системи RMR, MRMR са довели до логично продължение – индексът GSI. Той дава възможност да се оцени степента на намаляване на механичните свойства и най-вече на срязващото съпротивление на реалния масив, тъй като именно срязващите усилия са най-големият фактор за разрушаване на целиците.



Усъвършенстването на методите и средствата за изследване на преместванията, деформациите и напреженията в реалния масив са гаранция за бъдещо ефективно управление на на скалния натиск, което ще осигури по-нататъшно разширение на приложението на камерно-стълбовата система в практиката.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ержанов, Ж.С., Ю.Н.Серегин, В.Ф.Смирнов. (1973). Расчет нагруженности опорных и поддерживающих целиков. "Наука", Алма-Ата.
- 2. Макаров, А.Б. (2006). Практическая геомеханика. Издательство "Горная книга", Москва.
- Bawden, W.F. (2015). The expanding impact of technology on underground mine design and operationsadvances, limitations and future needs. Underground Design Methods, Y. Potvin (ed), Australian Center of Geomechanics, Perth.
- 4. Laubscher, D.H. (1990) A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mines design. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, vol.90, no.10, October 1990.
- 5. Brady, B.H.G., Brown, E.T. (1993) Rock Mechanics for Underground Mining. Champan & Hall. London.
- 6. Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1995) Support of Underground Excavation in Hard Rock. A.A.Balkema (Rottertdam).
- 7. Илов, Г. (2009). Приложна механика на скалите. ИК "Ера", София.



# ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF LOG PILING AS A SHALLOW GROUND IMPROVEMENT TECHNIQUE FOR LIQUEFACTION PREVENTION BY MODEL TESTS

Rana Ito<sup>1</sup>, Nikolay Milev<sup>2</sup>, Takashi Kiyota<sup>1</sup>, Masataka Shiga<sup>1</sup>, Atsunori Numata<sup>3</sup>, Takumi Murata<sup>3</sup> <sup>1</sup> Geo-disaster Mitigation Laboratory, The University of Tokyo (Institute of Industrial Science), 4-6-1 Komaba, Meguro City, 153-8505 Tokyo, Japan, itora29@iis.u-tokyo.ac.jp, kiyota@iis.u-tokyo.ac.jp & shiga815@iis.u-tokyo.ac.jp

 <sup>2</sup> Department of Geotechnics, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG), 1 Hristo Smirnenski Bld., 1046 Sofia, Bulgaria, milev\_fte@uacg.bg
 <sup>3</sup> Tobishima Corporation, 3 Chome-11-3 Takanawa, Minato City, 108-0074 Tokyo, Japan, atsunori numata@tobishima.co.jp & takumi murata@tobishima.co.jp

# ABSTRACT

The purpose of the paper is to investigate the applicability of the log piling method (static press installation of timber piles in the ground which causes soil densification) as a safe and cost-effective shallow ground improvement technique for liquefaction mitigation. Furthermore, the log piling method is an environmentally friendly approach in civil engineering since trees absorb carbon dioxide in the atmosphere and their storage in the ground in combination with planting new ones influences our society in a positive way. Researchers in Japan suggest that the installation of log piles at distance 4 and 5 times their diameter can prevent soil liquefaction. In contrast, local practicians point out that the need for economically suitable approaches at shallow depth as a countermeasure for small residential houses is crucial nowadays. Therefore, the presented study aims to propose an optimum length of the log piles in their use as a liquefaction mitigation technique and, at the same time to fulfil all design requirements in terms of penetration settlement and tilt angle (respectively 10 cm and 0.6 deg.

Key words: liquefaction mitigation, log-pile method, 1-g shaking table test

# ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ВГРАЖДАНЕТО НА ДЪРВЕНИ ПИЛОТИ КАТО ПОДХОД ЗА ПЛИТКО ПОДОБРЯВАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА ЗА ЦЕЛИТЕ НА ПРЕВЕНЦИЯ ОТ ВТЕЧНЯВАНЕ НА ПОЧВАТА ПРИ ЗЕМЕТРЪС ЧРЕЗ МОДЕЛНИ ТЕСТОВЕ

Рана Ито<sup>1</sup>, Николай Милев<sup>2</sup>, Такаши Кийота<sup>1</sup>, Масатака Шига<sup>1</sup>, Ацунори Нумата<sup>3</sup>, Такуми Мурата<sup>3</sup> <sup>1</sup> Лаборатория за превенция от гео-бедствия, Токийски университет (Институт за индустриална наука), 4-6-1 Комаба, Мегуро, 153-8505 Токио, Яония, itora29@iis.u-tokyo.ac.jp, kiyota@iis.utokyo.ac.jp & shiga815@iis.u-tokyo.ac.jp <sup>2</sup> Катедра "Геотехника", Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ), бул. "Хр. Смирненски" № 1, 1046 София, България, milev\_fte@uacg.bg <sup>3</sup> Корпорация "Тобишима", 3-11-3 Таканава, Минато, 108-0074 Токио, Япония, atsunori\_numata@tobishima.co.jp & takumi\_murata@tobishima.co.jp

# РЕЗЮМЕ

Целта на доклада е да разгледа приложимостта на метода "вграждане на дървени пилоти" (статично вграждане на дървени елементи в земната основа, което води до уплътняване на почвата) като надежден и икономически целесъобразен подход за плитко подобряване на земната основа за целите на превенция от втечняване на почвата при земетръс. Нещо повече, този метод е природосъобразен в сферата на строителното инженерство, тъй като дърветата абсорбират въглероден двуокис от атмосферата и тяхното съхранение в земята, в комбинация със засаждане на нови дървета на тяхно място, влияе на обществото, в което живеем, по един позитивен начин.



Опитът на изследователите в Япония предлага вграждането на дървени пилоти в план да бъде на разстояние 4 или 5 пъти техния диаметър, което ефективно предотвратява втечняване. От друга страна, местните практикуващи информация алармират за нуждата в наши дни от икономически целесъобразни подходи за механично подобряване на земната основа в относително плитка дълбочина – особено за случаите на малки жилищни сгради. Ето защо представените в този доклад изследвания целят да предложат оптимална дължина на дървените пилоти при използването им като средство за превенция от втечняване, като същевременно следва да бъдат удовлетворени всички нормативни изисквания, от гледна точка на потъване и завъртане на фундаментите (съответно 10 ст и 0.6 deg).

*Ключови думи:* превенция от втечняване на почвите при земетръс, метод с вграждане на дървени пилоти, тестове с вибро-маса

# INTRODUCTION

The 2011 Great East Japan Earthquake as well as other recent earthquakes have caused significant soil liquefaction, and many residences have been damaged as a result of associated settlement and inclination. The design criteria of allowable house foundations' displacements have been proposed for the required level of serviceability against moderate and large earthquakes. One of the pressing issues in order to mitigate the liguefaction-induced damages of houses is the development of economical countermeasures. Current liquefaction countermeasures for civil engineering structures or large buildings request to improve the whole layers of saturated loose sand that are likely to liquefy, that are too costly for ordinary house owners -[5]. In this paper, the shallow ground improvement technique is proposed as one of the most economical liquefaction counter-measures for houses. Some case histories have shown that, the damages of buildings and houses on the ground are not serious or none if the non-liquefiable surface layer thicker than 3.0 m is found above the liquefiable layer - [4]. In addition, if the shallow ground immediately below the mat foundations of houses is improved, settlements and tilting of houses by the liquefaction of the underlying layer should be significantly reduced. This is because this non-liquefiable surface layer would support the houses as a thick integrated base with relatively high stiffness. The main goal of the presented paper is to verify the applicability of the log piling method as a safe and cost-effective shallow ground improvement technique for liquefaction mitigation.



Fig. 1. Introduction the Log-piling technique. (1) CO<sub>2</sub> stocking. (2) Installation procedure. (3) Application fields.

The method is based on static press installation of timber piles in the ground which causes soil densification. At first a metal steel tube is inserted in the ground in order to prepare an initial opening after which log piles are installed (usually up to two or three pieces having length of 6 m each are connected to each other – total length of up to 18 m could be reached). In the latter stage of execution, a layer of gravel is



used to fill the gap between the top surface of the log and ground level. Last step is to place a clay layer at the very top in order to prevent water inflow. An important advantage of the log piling method is that it is an environmentally friendly approach in civil engineering since trees absorb carbon dioxide in the atmosphere and their storage in the ground in combination with planting new ones influences our society in a positive way – Fig. 1. Good practice in Japan suggests that the installation of log piles at distance 4 and 5 times their diameter can prevent soil liquefaction in a safe way – [3]. Therefore, the presented study aims to verify the application of the log piling method as a suitable liquefaction mitigation technique which fulfils all design requirements in terms of penetration settlement and tilt angle (respectively 10 cm and 0.6 deg as given in [2]).

# 1-G SHAKING MODEL TEST

The performance of soil improved by log piles at shallow depth was examined by three cases (Test 01, Test 02 and Test 03) of 1-g shaking model tests at the Institute of Industrial Science of the University of Tokyo. Test 01 was performed in order to evaluate the performance of a house laying on unimproved liquefiable soil while in Test 02 and Test 03 liquefaction mitigation counter-measures were introduced – installation of piles just below the structure and installation of piles below and around the structure, respectively. A laminar soil box which has dimensions of 100 cm by 40 cm in plan and height of 70 cm was used. The advantage of the laminar box over common rigid boxes is that it is capable of reducing boundary effects and it simulates field conditions in a more realistic way.

A model scale of 1/20 following the law of similitude suggested by lai [1] was adopted and demonstrated on Fig. 3. Therefore, log piles have been represented by PVC sticks so that flexural rigidity could be accounted in scaling assumptions. In Test 02 and Test 03 pile length was set to 30 cm (corresponding to 6 m in the model structure) at distance of 4D (D=1 cm). In order to simulate actual execution on site, a steel tube was installed and removed at first so that openings could be prepared before placing the PVC piles. Dimensions of the super-structure were 29.9 by 23.4 cm in plan and height of 18.4 cm. Base stress was set to 0.75 kPa which corresponds to typical base stress of 15 kPa transmitted by small wooden residential buildings.

The setup of accelerometers, pore pressure gauges and displacement gauges as well as a view of the model are shown in Fig. 2 and Fig. 3. The model ground was prepared using Silica sand No. 7 (the average diameter D50=0.15 mm and the uniformity coefficient Uc=1.6) with relative density of Dr=50%. Input motion duration was set to 4 seconds and gradually increased at multiple stages.



Fig. 2. Schematic representation of the performed tests (section and plan view) (1) Test 01 (2) Test 02 (3) Test 03.





Fig. 3. (1) View of the experiment set-up (2) Adopted scaling factors.

#### TEST RESULTS

Representative results from Test 02 are shown in Fig. 3 to Fig. 5. They show that the adopted model configuration provides liquefaction mitigation up to approximately 300 gal – liquefaction initiation was observed at Stage 3 of the test when significant settlement of the structure was detected. During latter stages lateral displacement of the super-structure as well as welling up of water all over the free field top surface was observed.

The adopted configuration of sensors (Sensor Chain 1 and Sensor Chain 2) was not optimal as the measured pore-water pressure generation in the unimproved zone and near improved zone were identical – Fig. 4. An interesting observation was that excitation transmitted at the base is amplified upwards and gradually increases through the soil medium to the super-structure until liquefaction occurs (from Stage 1 to Stage 3) whereas acceleration reduction is observed in latter stages – from Stage 4 to Stage 10.



Fig. 4. Test 02 results – acceleration of Stage 3 (130 gal). (1) Comparison between excess pore-water pressure in nonimproved soil (Sensor chain 1) and near improved soil (Sensor chain 2) (2) Settlement time-history of the superstructure.



Fig. 5. Test 02 results – acceleration transmission from source to super-structure – Test 02. (1) Amplification from bottom to top along Sensor chain 2 (near improved zone) at Stage 3 (130 gal) (2) Change in response at all stages.



A summary of the results from Test 01, Test 02 and Test 03 is shown in Fig. 6. Penetration settlement indicates the extent of sinking of the house into the ground, i.e., the difference between the total settlement of the house and the settlement of the surrounding ground. Tilt is defined by displacement of the foundation base at two different points and distance between them. Definitions are given schematically in Fig. 6.

Results have clearly shown that improvement measures have been effective as penetration settlement as well as tilt was largest in Test 01 and smallest in Test 03. In Test 02 and Test 03 penetration settlement was negative because the measured settlement of the surrounding ground was larger than the total settlement of the structure.



Fig. 6. Summary of results of Test 01, Test 02 and Test 03 regarding displacements of the super-structure and comparison with design requirements. (1) Average cumulative settlement (2) Cumulative tilt (3) Total settlement.

#### CONCLUSIONS

Results from the performed tests have clearly shown that the adopted measures for liquefaction mitigation at relatively shallow depth (6 m) have favorable influence on the soil-foundation-superstructure response (Test 01 compared to Test 02 and Test 03). Quantitively this is demonstrated by the penetration settlement and tilt. Moreover, improving some zone around the structure reduces vertical displacements even further – comparison between Test 02 and Test 03.



For the sake of extending this study, further 1-g model tests are planned to be performed in order to define optimal length of log piles and width of the improved zone.

# REFERENCES

- [1] Iai, S., Soils and Foundations, 29(1), 105-118, 1989.
- [2] JGS. Report of research committee on study on rational design method for shallow ground improvement as a liquefaction countermeasure for housing ground, JGS, 2012 (in Japanese).
- [3] Riaz et al., JSCE Jour., Vol.2, 144-158, 2014.
- [4] Tani et al., Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 79, 401-414, 2015.
- [5] Tokimatsu et al., Proc. Int. Sym. Eng. lessons learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, 665– 674, 2012



# КРЕПЕЖ ЗА ДОБИВНИ ИЗРАБОТКИ ПРИ РАЗРАБОТВАНЕ НА НЕУСТОЙЧИВИ РУДНИ ЖИЛНИ И ПЛАСТООБРАЗНИ ЗАЛЕЖИ

# Кр. Дерменджиев, Г. Стоянчев, К. Куцаров, МГУ "Св. Иван Рилски"

#### РЕЗЮМЕ

При разработване на неустойчиви жилни и пластообразни залежи с добивни изработки основният проблем е управлението на скалния натиск. Затова най-често се прилагат системи с крепене и запълване. В това направление е направен анализ и за определени условия е препоръчана слоева система със сухо запълнение и възходящ ред на изземване на слоевете. В съответствие с тази динамична схема на работа се предлага типов комплектен рамов крепеж с нов спомагателен елемент–обшивка. Тази обшивка е гъвкава-надуваема и има обшиващо-предпазни и подпорностабилизиращи функции. Крепежната конструкция осигурява безопасен монтаж и демонтаж и безопасно управление на скалния натиск.

#### ABSTRACT

When developing unstable vein and layered deposits with mining, the main problem is the management of rock pressure. Therefore, fastening and filling systems are most often used. An analysis was made in this direction and for certain conditions a layer system with dry filling and ascending order of seizure of the layers was recommended. In accordance with this dynamic scheme of work, a standard set of frame fasteners with a new auxiliary element - cladding is offered. This cladding is flexible-inflatable and has cladding-protective and support-stabilizing functions. The fastening structure ensures safe assembly and disassembly and safe control of the rock pressure.

#### Въведение

В класическите случаи, при разработване на рудни жили с малка и средна дебелина не се налага крепене на добивното пространство. Управлението на скалния натиск е с обрушаване и запълване. Последното най-често е свързано със пълнотата на извличане, безопасността и опазването на повърхността. При слаби и неустойчиви минни масиви, руди и вместващи скали, от добивните технологични процеси основен е крепенето и управлението на скалния натиск. Тези процеси се усложняват особено при разработване на рудни жили с наклон между 30 и 45. Това произтича от факта, че се налагат като рационални технологични схеми с използване на съвременна механизация. Тези схеми изискват използването на хоризонтални и слабо наклонени подготвителни, нарезни и добивни изработки, по които да се извършва транспорта на рудата. Поради това се предпочитат системите с глухи добивни забои, формирани в слоеви и единични минни изработки като: щолни; галерии; ортове; подетажни галерии и др. В рудодобивната практика се предпочитат слоевите системи, с глухи забои в слоеви изработки. Слоевите системи се прилагат във различни варианти. В зависимост от управлението на иззетите пространства: с обрушаване, с крепене и обрушаване и със запълване. В зависимост от реда на отработване: низходящо, възходящо и комбинирано.

При сухо запълнение и схема с възходящ ред на изземване на слоевете се прилагат две основни схеми, фиг.1.: последователна и паралелна. При последователната първо се прокарва добивната слоева изработка 1., след това тя се запълва и започва прокарването на следващата слоева изработка 2. При паралелната схема първоначално се прокарва слоевата изработка 1. След това се оформя подход за следващия слой и започва прокарването на слоевата изработка 2. Добивът в слоя се извършва паралелно със запълване на долния слой.

Изборът на рационална схема на работа е свързан с много фактори като: устойчивост на масива; очакван скален натиск; крепежът, крепенето и начина на управление състоянието на масива; проветряването; вида и степента на механизация.



Сравнителният анализ на двете схеми показва, че паралелната схема е за предпочитане. Тя осигурява концентрация на минните работи в блока, ефикасни крепежни работи, проходяща схема на проветряване, по-голяма гъвкавост и управление. По-гъвкава е при промяна на наклона и дебелината на залежа. Независимо от избраната схема на работа, въпросът за крепенето и управлението на състоянието на минния масив с призабойното и добивното пространство.





При прокарване на минни изработки в масиви със слаби и неустойчиви скали и полезни изкопаеми с пробивно-взривни работи /ПВР/, най-често се получават значителни отклонения от проектните размери и конфигурацията на пълното сечение на изработката. Това затруднява закрепването на изработката, блокирането на задкрепежното пространство и повишава разходите за труд и крепежни материали / баластра за блокаж, таванки, греди, мрежи, бетон/, фиг.2.



1. Блокаж: 2. Таванки: 3. Греди, подпори: 4. Скара: 5. Мрежа: 6. Анкери: 7. Арка: 8. Рамка. Фиг. 2.

Преодоляването на този проблем при капитални и основни подготвителни изработки, въпреки оскъпяването се преодолява, чрез оскъпяване на строителството, с прилагане на специални крепежи, специални методи на ПВР и машинно прокарване. При прокарване на нарезни и добивни изработки като : галерии; ортове; скатове и щолни [1], тези проблеми значително се усложняват. Освен всички проблеми посочени по-горе, в този случай крепежните елементи е икономически и технологично необходимо да бъдат демонтирани. Това е от особено значение за технологичните схеми , при които добивната изработка се погасява чрез добив с обрушване, подетажно, заразно или със запълване на иззетото пространство. В тези случаи крепежните конструкции освен да осигуряват носещо-подпорни, обезопасяващи и предпазни функции трябва да се проектират за бърз и безопасен демонтаж и за повторно използване на основните крепежни елементи. За тези цели трябва да се прилагат олекотени конструктивни елементи с многократна употреба, лесен, сигурен и безопасен монтаж и демонтаж. При глухи добивни изработки подобни крепежи, фиг.3. са препоръчвани за използване във въгледобива и добива на манган [1,2,3,4,5].




Фиг. З.

На фиг.3 е представена схема на комплектен крепеж състоящ се от две хидравлични стойки, съставна стоманена капа, метални разпънки и обшивка от дървени таванки. Този крепеж е препоръчван за прилагане и използване за крепене и управление на минния масив при варианти на системи с глухи добивни изработки за условията навъглищна мина и рудник за манган.

На фиг.4 е представена технологичната схема за добив и управление на минния масив в уславията на р-к "Оброчище" [2], при която е използван посочения типов крепеж.

Тесните добивни забои по принцип се намират в две основни състояния: в добив – прокарване на изработката и в погасяване - обрушаване или запълване. При това устойчивото безопасно състояние при прокарването на изработката се осигурява с подходяща крепежна конструкция и крепене, а при погасяването или запълването с демонтаж и изнасяне на крепежа, или изоставяне на крепежа в иззетото пространство.

Схемата с изоставяне на крепежа в изработката при нейното погасяване е сигурна и проста за изпълнение но силно оскъпява добива. Затова за предпочитане е крепежът да се демонтира и изнася за повторно използване. За рационализиране на тези работи се предпочитат технологичните схеми, при които за крепене и управление на скалния натиск се използват комплектните инвентарни крепежи.





#### Фиг.4.

При прокарване на минни изработки във въгледобива се използват най-различни по вид и материал крепежни конструкции. При рудодобива най-често се използват анкерни крепежи в комбинация с или без мрежи. При преминаване и поддържане на изработки в много слаби минни масиви се прилага бетон, стоманобетон, пръскан бетон, дървени или стоманени рамки с обшивка от половинки или дървени греди.

Обикновено при слаби меки руди, нерудни полезни изкопаеми и въглища изработките се прокарват с механични средства и крепежните конструкции лесно се вписват в черното сечение на изработката. При рудите, които са по-абразивни и са със слаби вместващи скали прокарването е със ПВР, поради което контурът на черното сечение е неравномерен и крепежите по-трудно се вписват в тези изработки.

При използването на единични минни изработки за добивни цели [1, 2, 3] се използват комплектни крепежи, които дават възможност за бързо монтиране при напредване и демонтиране при погасяване. При слаби полезни изкопаеми тези изисквания към комплектните крепежи са напълно постижими, тъй като при тези условия независимо от технологията на прокарване – добив и погасяване със или без добивни работи това е лесно постижимо дори с обшиване и предпазване от самообрушаване и изсипване на вместващия масив от горнището и стените на изработката.

При слоеви добивни изработки в слаби и неустойчиви руди и вместващи скали се използват основно дървен рамков или рамков крепеж, който се изоставя в обрушеното или запълнено пространство. Използването на комплектни крепежи не е широко разпространено, въпреки безспорната му икономическа ефективност.

Примерният комплектен крепеж за слоеви добивни изработки галериен тип е рамков тип, включващ две стойки, съставна стоманена капа и обшиващи елементи. Стойките могат да бъдат механични или хидравлични с раздвиженост отговаряща на височината на изработката, респективно обвързана с габаритите на добивната и транспортната механизация. Съставната стоманена капа се подхваща от стойките, а при необходимост може да бъде подхваната от главата на прътов анкер, фиг.5.





- 1. гъвкава надуваема обшивка;
- 2. хидравлични стойки;
- 3. капа;
- 4. руден масив;
- 5. запълнено-иззето пространство;

#### Фиг.5.

Характеристичният елемент на крепежната конструкция е средството за обшиване на горнището и стените на изработката. Поради спецификата на оформяне на черното сечение на добивната изработка и големите отклонения от проектното сечение обшиването на изработката с таванки или половинки е трудно. Не може да се постигне нужният подпиращ ефект. Затова постигането на подпиращ ефект може да се постигне само с гъвкава таванка, фиг.6, която да обира луфтовете между таванката и вместващия масив. Такава гъвкава таванка, фиг.6 е съставена от горен пласт грайферна гума с висока издържливост и долна твърда подложка, между които е вмъкнат и свързан с тях гумен армиран балон със отвор за надуване на таванката и нейното разпъване. При надуването на гъвкавата таванка тя обира неравностите на вместващия масив от тавана, а при необходимост и в стените.



Елементи на обшиващия панел: 1. Твърда подложка от гума, метал, пластмаса; 2. Вътрешен надуваем болон; 3. Ребра слепени за балона; 4. Ключово устройство за връзка; 5. Дюза за сгъстен въздух /надуване-спушване/.

Фиг.6.



Параметрите на таванката се определят от параметрите на паспорта на крепене. От гъстотата на крепежа, разстоянието между рамите и състоянието на призабойното пространство. Разстоянието между рамите може да бъде от 0,7 до 1,2 m. Дължината на таванките е съобразена с тези разстояния и е кратна на тях. Ширината на таванките е между 0,5-0,7 m., а максималната дебелина при раздуване около 0,5 m, с достатъчен отпор в размер на 2 – 3 ata.

Параметрите на елементите на крепежната конструкция трябва да бъдат определени при нарочно изследване на поведението на минния масив /in situ /, при прокарване-добив и погасяване на изработката чрез обрушаване или със запълване.

Заключение: Използването на различни по вид и конфигурация единични минни изработки за добивни цели, позволява да се води ефективен основен и допълнителен добив в основни, блокирани и приконтурни участъци от рудничното поле. Единичните добивни изработки осигуряват прилагане на гъвкави технологични схеми и подходяща механизация. Може да бъдат използвани различни варианти за ред и последователност на добивните и подготвитело-нарезните работи, крепенето и управлението на състоянието на минния масив.

От особено значение за прилагането на единичните минни изработки и гъвкави технологични схеми за добивни цели е състоянието и начинът на управление на добивното и иззето пространсктво. От тези решения зависи паспорта на крепене, крепежната конструкция и технологичните действия с нея.

Ефективността на минните работи при тези системи и добивни технологии зависи силно от вида и действията с крепежа. Препоръчително е от добивната изработка да се водят, освен в рамките на напречното сечиение и допълнително извън него /странично-заразно и в тавана-подетажно/ изземване. За реализиране на тези схеми е необходимо прилагане на подходящи крепежни конструкции с добри подпорно-поддържащи функции и възможност за бърз и безопасен монтаж и демонтаж. Една такава основна конструкция е показана на фиг.3. В основното си решение, комплектен крепеж от стойки, капа и обшивка с таванки, този крепеж е препоръчан и използуван във въгледобива и добива на манганова руда [ 2,4,5]. В комбинация с предлаганата гъвкава гумена таванка, фиг.3, този комплектен крепеж дава възможност да се изземват с единични дабивни изработки, ефективно и безопасно и полезни изкопаеми в залежи със слаби и неустойчиви руди и вместващи скали.

### Литература

- 1. Дерменджиев, Кр., Г. Стоянчев, Разработване на приконтурни запаси от концесионната площ на открит рудник, Год. МГУ, 51, 2009, №2, с. 8-11.
- 2. Дерменджиев, Кр., Г. Стоянчев, Проект за система и добевна технология за условията на р-к "Оброчище", ЕВРОМАНГАН АД. Архив на "Евроманган-АД, май-юни, 2006.
- 3. Стоянчев, Г., Гъвкави системи и технологии за добив и преработка на полезни изкопаеми. ИК "Дворец на културата", гр. Перник, С. 2015, 240 с.
- 4. Цялостен проект за разработване на у-к "Ракитна" от находище "Пирински въглищен басейн", община "Симитли", обл. Благоевград, Архив "Юнион консулт" ООД, София, 2011.
- 5. Проект за разработване на остатъчни запаси в р-к "Оброчище" 2015, Архив на фирма "Рокщал-Н" ЕООД, гр. Перник, кв. "Бела вода"



## ОТНОСНО ВЕРИФИКАЦИЯТА НА НОВ МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ В МЕХАНИКА НА МУЛДАТА І

### Михаил Вълков, Кристина Илиева-Стойчева e-mail: mvulkov@abv.bg , ilieva\_krisi@abv.bg

# ABOUT THE VERIFICATION OF A NEW MATHEMATICAL MODEL IN MINING SUBSIDENCE ENGINEERING I

### Michail Vulkov, Kristina Ilieva-Stoycheva e-mail: mvulkov@abv.bg , ilieva\_krisi@abv.bg

### ABSTRACT

The paper is in the field of mining geomechanics. The investigation is focused on the mining subsidence when mining out underground ore bodies.

A verification of the option to use a changing type equation as a mathematical model for the mining subsidence formation is made.

It is supposed that the main equation changes its type in the rock mass above the mining excavation. The suggested mathematical model is described. The problem for the mining trough formation is studied as a conjugated one. An algorithm for numerical solving the investigated problem is proposed.

**Keywords:** Rock mechanics, mining subsidence, changing type equation, conjugated problem, applied software

### <u>Въведение</u>

След наблюдения на развитието на процеса на мулдообразуването при изземане на нерудни полезни изкопаеми в [1,4] е изведено основното уравнение на нелинейната стохастична геомеханика. Подработеният скален масив в зоната на влияние на подземните минни работи е разгледан като стохастична среда, чиито частици притежават еластични свойства.

С въвеждането на нова нелинейна стохастична среда в [7] става възможно обобщаването на стохастичния механо-математически модел и разширяване на областите от минната геомеханика, за които той е приложим.

### Основна хипотеза

След изучаване на резултатите от маркшайдерски измервания на реализираните премествания на земната повърхност в [2] е изказана хипотезата за възможността процесът на мулдообразуване над добивните минни изработки да бъде описван с помощта на израждащо се уравнение - следствие от обобщеното уравнение за нововъведената нелинейна стохастична среда. При отчитане на еластичните свойства на средата в [7] е получено нелинейно уравнение от вида:

$$[A_{11}(P)P_x]_x + 2[A_{12}(P)P_x]_z + [A_{22}(P)P_z]_z + B_1(P)P_x + B_2(P)P_z = 0,$$
(1)

където *P* е вертикалното преместване на точка от скалния масив в зоната на влияние на подземните минни работи;  $P_x = \partial P/\partial x$ ,  $P_z = \partial P/\partial z$ ;  $A_{11}(P)$ ,  $A_{12}(P)$ ,  $A_{22}(P)$ ,  $B_1(P)$  и  $B_2(P)$  са глобални характеристики на скалния масив като механична среда.

Очевидно е, че при определени условия уравнение (1) би могло да се изражда, т.е. в зависимост от конкретните минно-геоложки и минно-технологични условия то може да бъде от хиперболичен, параболичен или елиптичен тип. В подкрепа на тази констатация могат да бъдат



разгледани и теориите на Литвинишин – Кайнхорст и вариантите на стохастичните теории на Й. Литвинишин [8].

Израждащите се хиперболични и елиптични уравнения се прилагат при изучаването на редица важни проблеми на механиката със строго приложен характер – в безмоментната теория на черупките, в газовата динамика и т.н.

В [3] се прави първият опит да се потърси тяхно приложение в механиката на минната мулда и свързаните с нея геотехнически задачи.

Видът на (1) е конкретизиран в [3], като е представена структурата на влизащите в него коефициенти:

$$0.5(\rho^{2} - 2.k.\rho.P + k^{2}.P^{2})P_{zz} + k(\rho + 2.k.P)P_{z}^{2} + (\rho - 2.k.P)P_{z} =$$

$$= 0.5(a^{2} - 4.a.k_{1}.P + 3.k_{1}^{2}.P^{2})P_{xx} + k_{1}(3.k_{1}.P - 2.a)P_{x}^{2} + (a - 2.k_{1}.P)(p_{2} - p_{1})P_{x}.$$
(2)

където а и р са геометрични размери на късовете на стохастичната среда;  $\Delta u_e = k_1$  е изменението на хоризонталното еластично преместване при преминаването на частицата на по-ниско ниво;  $\Delta w_e = k$  е изменението на вертикалното еластично преместване при попадане на частицата на по-ниско ниво.

Това, заедно с познаването на особеностите на процеса слягане на подработения скален масив, дава възможност за предпоставяне на изложената втора изследвана хипотеза.

Както е известно от практиката, над добивните минни изработки при достатъчна дълбочина на залягане се образуват три основни характерни зони: зона на обрушаване, зона на разслояване и формиране на пукнатини и зона, в която непрекъснатостта на средата е максимално съхранена (зона на плавно слягане на горнището).

Лабораторните опити със стохастични среди на Й.Литвинишин и на неговите сътрудници показват наличие на няколко области в зоната на влияние, в които вертикалните премествания би трябвало да се описват с уравнения от различен тип [3].

Като основа за следващите разсъждения се разглежда нелинейното хиперболично уравнение за определяне на мината мулда (1) и се прави опит да се обясни неговата трансформация от един вид в друг във връзка с особеностите на процеса преместване в различните зони на скалния масив, формиращи се в зоната на влияние на подземните минни работи.

Изследва се уравнение (2), записано в съответствие с [2], както следва:

$$0.5\left(\rho^{2} - 2k\rho P + k^{2}.P^{2}\right)P_{zz} + k\left(\rho + 2.k.P\right)P_{z}^{2} + \left(\rho - 2.k.P\right)P_{z} = \left[0.5\left(a^{2} - 4.a.k_{1}.P + 3.k_{1}^{2}.P^{2}\right)P_{x}\right]_{x}.$$
(3)

Уравнение (3) е нелинейно хиперболично. Анализирайки го, може да се формулира хипотезата, че директно над минната изработка в зоната на обрушаване на горнището, където преместванията на частиците са значителни и коефициентите к и к<sub>1</sub> имат съществени стойности, формирането на мулдата в по-горните нива на скалния масив се подчинява на уравнение (3).

Във втората основна зона, където изменението на еластичните премествания рязко намалява, т.е. може да се приеме, че к  $\rightarrow$  0 и к<sub>1</sub>  $\rightarrow$  0, от уравнение (3) се получава:

$$0.5.\rho^2 P_{zz} + \rho P_z = 0.5.a^2 P_{xx} .$$
<sup>(4)</sup>

Последното уравнение е линейно хиперболично.

В третата основна зона в областта на влияние на подземните минни работи като се отчете, че изменението на вертикалните премествания по ос z при преминаване на по-високо ниво намалява, то



може да се пренебрегне влиянието на втората производна по z в уравнение (4). При това е отчетено, че в горните нива обхватът на движението на празното пространство в стохастичната среда расте от хоризонт към хоризонт, а интензивността на движението на отделните елементи намалява все повече с отдалечаване от минната изработка.

Тогава от уравнение (4) следва линейното параболично уравнение:

$$\rho P_{z} = 0.5.a^{2} P_{yy}$$
.

(5)

С факта, че в горната част на скалния масив интересуващият ни процес е подчинен на линейно параболично уравнение (5), може да се обясни формирането на гладка минна мулда на земната повърхност /при достатъчна дълбочина на залягане на изземания пласт полезно изкопаемо/. Взема се предвид известното свойство на линейните параболични уравнения да изглаждат всяка предварително зададена чрез началните условия особеност.

Направените изводи се подкрепят и от описаните в [9] опити със стохастична среда, проведени от Ф. Мартос и илюстрирани на фиг.1 и фиг.2.



Фиг.1. Опити на Ф.Мартос.

Може да се очаква, че ако минните работи се водят на по-малка дълбочина (H<150 m), особеностите, задавани чрез началните условия, ще се разпространяват до земната повърхност, тъй като формирането на минната мулда ще се описва с хиперболични уравнения. На земната повърхност в тези случаи ще се наблюдава известното от практиката формиране на стъпала, пукнатини и други подобни.



Фиг.2. Опити на Ф.Мартос.



Като потвърждение на изказаната хипотеза могат да служат резултатите и от натурните измервания, поведени от инж. Пепеланов за условията на Участък IV от рудник Бобов дол 1 (профилна линия 38-20). Сляганията, определени при тези измервания, са визуализирани на фиг.3. На тази графика отчетливо личат особеностите, характерни за решенията на хиперболични уравнения в разглежданата постановка. За сравнение - на фиг. 4 е показано и числено решение на нелинейното хиперболично уравнение (2) по метода на крайните разлики [3]. Тъй като минните работи в рудник Бобов дол 1 са водени на малка дълбочина (осреднената дълбочина за участък IV не надвишава 60 m), то резултатите от натурните измервания подкрепят направените изводи и потвърждават предположението за наличие на зони в областта на влияние на подземните минни работи, в които мулдообразуването се подчинява на уравнения от различен тип, както и свързаното с този факт съществуване на линии или повърхнини на израждане.



Фиг.3. Измервания на инж. Пепеланов за Участък IV от рудник Бобов дол 1 (профилна линия 38-20).



Фиг.4. Числено решение на М.Вълков за нелинейно хиперболично уравнение.

# Постановка на задачата

В зоната на обрушаване, според формулираната хипотеза, процесът на преместване се описва с нелинейното хиперболично уравнение (3). Тази зона се ограничава от свода на обрушаване, който се представя като полуелипса, чиито геометрични размери се определят от минно-технологични и геоложки фактори.



Като начални условия (координатата z е наречена от създателя на стохастичната теория Й. Литвинишин времеподобна) се задават преместванията на непосредственото горнище на иззетото пространство, а като гранични условия - преместванията по границите на изработката по ос Ох. Задачата се решава за полупространството (или за полуравнината при решаване на равнинна задача) над добивната изработка. Получените стойности на вертикалните и на хоризонталните премествания по свода на обрушаване се задават като гранични условия за решаване на линейното хиперболично уравнение (4). Това уравнение също се решава за полупространството (или за полуравнината при решаване на равнинна задача) над изработката.

Отново получените стойности се задават като начално-гранични условия на геометричната ивица /с мощност около или над 150 м./, за която се правят изчисленията.

### Алгоритъм за реализиране на решението

Алгоритъмът за решаване на разглеждания геомеханичен проблем, който се предлага при разглеждане на равнинна задача, се състои от следните стъпки:

• Определят се геометричните размери на добивното пространство по технологични съображения;

• Според прилаганата технология за управление на непосредственото горнище се пресмята максималната стойност на слягането;

• Определят се границите на свода на обрушаване;

• Решава се нелинейното хиперболично уравнение (3) за полуравнината над иззетото пространство;

• Пресметнатите стойности на хоризонталните и на вертикалните премествания, намерени за граничните точки от свода на обрушаване, се задават като гранични условия на линейното хиперболично уравнение (4);

• Решава се линейното хиперболично уравнение (4) за областта от полуравнината над иззетото пространство, намираща се над свода на обрушаване;

• Получените стойности на преместванията в граничните точки между зоната на напукване и разслояване и между зоната на плавно огъване на пластовете от горнището се задават като гранични условия на линейното параболично уравнение (4);

• Решава се задачата на Коши за линейното уравнение на Фурие (4) за областта от полуравнината над зоната на пукнатини и разслояване;

• Стойностите на вертикалните премествания за точките от земната повърхност са решаващи за определяне на профила на минната мулда;

• Хоризонталните премествания се пресмятат по диференциалната зависимост на С.Г.Авершин.

Аналитичното определяне на профила на минната мулда по описания алгоритъм представлява сериозно математическо предизвикателство. По тази причина е търсено числено решение, което да се пресметне с подходящи програмни продукти.

Алгоритъмът може да бъде реализиран програмно, като се използват възможностите на програмния пакет РТС Mathcad. Полученото числено решение е представено във втората част на изследването.

#### Заключение

В заключение трябва да се отбележи, че направеният опит за описване на образуването на мулдата на нива над добивна изработка чрез уравнение, което мени своя вид, дава както нов поглед върху процеса, така и редица нови възможности за практически изводи. В изследването са доразвити и обобщени идеите, представени в [5,6]. Получените резултати могат да се използват за проектирането на минни изработки и минно-технологични съоръжения в по-високите хоризонти – над добивния, като се отчете вероятността за поява на локални екстремни премествания значително по-големи от тези,



пресметнати по класическите параболични модели. Направен е и опит да се вникне в механизма, който управлява преобразуването на уравнението от един вид в друг, и са създадени предпоставки за определяне на зоните в областта на влияние, в които са в сила уравнения от различен тип.

# Литература

- 1. Вълков М., За основното уравнение на нелинейната стохастична геомеханика. С., Годишник на ВМГИ, 1987-88, том 34, св.II, стр. 357-363, ISSN 0367-5467.
- Вълков М., За някои израждащи се уравнения в линейната и нелинейната стохастична геомеханика, Сл. Бряг, VII-ма конференция по открит и подземен добив на полезни изкопаеми, 2005, т. I, стр. 387-393.
- 3. Вълков М., Стохастични модели в кинематиката на минната мулда, С., МГУ, 2006.
- 4. Вълков М., Нови стохастични линейни и нелинейни модели в теорията на слягането на земната повърхност под влияние на подземни минни работи. Автореферат на дисертацията за получаване на научната степен "Кандидат на техническите науки" по научната специалност 01.02.06 "Земна и скална механика", защитена пред СНС по минни науки към ВАК, София, 1989.
- 5. Вълков М., Една спрегната задача в механика на мулдата I, Девин, 08-11 октомври 2012, Трета национална конференция с международно участие "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", стр. 153-156, ISSN 1314-7056.
- 6. Вълков М., Една спрегната задача в механика на мулдата II, С., Годишник на МГУ 2012, том 55, св.II, стр. 62-64, ISSN 1312-1820.
- 7. Vulkov M., About the Generalisation Possibilities in a New Stochastical Model of Mining Subsidence, MGU, Annual, Vol. 46, Part II, Mining and Mineral Proceesing; Sofia 2003, p. 153-154, ISSN 1312-1820.
- 8. Litwiniszyn J., Stochastic Methods in Mechanics of granular bodies. Wien, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 1974.
- 9. Martos, F., Eine statische Methode der Vorausberechnung bergbaulicher Bodenbewegungen. In "Das Markscheidewesen in den sozialistischen Ländern" Leipzig, 1966, S. 321-330.



# ОТНОСНО ВЕРИФИКАЦИЯТА НА НОВ МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ В МЕХАНИКА НА МУЛДАТА ІІ

## Михаил Вълков, Кристина Илиева-Стойчева e-mail: mvulkov@abv.bg , ilieva\_krisi@abv.bg

# ABOUT THE VERIFICATION OF A NEW MATHEMATICAL MODEL IN MINING SUBSIDENCE ENGINEERING II

## Michail Vulkov, Kristina Ilieva-Stoycheva e-mail: mvulkov@abv.bg , ilieva\_krisi@abv.bg

# ABSTRACT

The paper is in the field of mining geomechanics. The investigation is focused on the mining subsidence when mining out underground ore bodies.

In the second part of the investigation the abilities of the PTC Mathcad for solving problems of the mining subsidence are studded.

The possibilities to improve the new theories in extraction of bedded deposits of mineral resources and in solving spatial problems in an unusual formulation are considered.

The algorithm for solving the studied problem, proposed in the part I, is used. A description of this algorithms is included.

In this study a 2D-solution of the problem for mining subsidence while mining horizontal seams with a program written in PTC Mathcad is obtained. Conclusions about the practical application of the proposed model are made.

*Keywords:* Rock mechanics, mining subsidence, changing type equation, conjugated problem, applied software

### <u>Въведение</u>

Предлаганото решение се базира на алгоритъма, предложен в първата част на настоящето изследване и е в съответствие с [1,2,3,6]. Използвани и доразвити са идеите, представени в [4,5].

Вертикалните премествания в трите характерни зони над добивните минни изработки при достатъчна дълбочина на залягане /зона на обрушаване, зона на разслояване и формиране на пукнатини и зона на плавно слягане/ според [5]. се описват с три частни диференциални уравнения, които се получават при израждане на основното уравнение на нелинейната стохастична геомеханика, а именно:

- нелинейно хиперболично – в зоната на обрушаване:

$$0.5(\rho^2 - 2k\rho P + k^2 P^2)P_{zz} + k(\rho + 2kP)P_z^2 + (\rho - 2kP)P_z = [0.5(a^2 - 4ak_1P + 3k_1^2P^2)P_x]_x , (1)$$

- линейно хиперболично – в зоната на разслояване и формиране на пукнатини:

$$0.5\rho^2 P_{zz} + \rho P_z = 0.5a^2 P_{xx},\tag{2}$$

- линейно параболично - в зоната на плавно слягане:

$$\rho P_z = 0.5a^2 P_{xx}.\tag{3}$$



#### Програмно реализиране на алгоритъма

Математическият модел за решаване на уравненията в трите зони е реализиран в програмна среда на *PTC Mathcad*. За численото пресмятане на всяко от частните диференциални уравнения е използвана вградената функция *numol* [7].

Нелинейното хиперболично уравнение (1) по синтаксис на програмата е дефинирано като система  $F(x, t, z, z_x, z_{xx})$  с първи ред от първа производна на функцията и втори ред с изразена втора производна от уравнението. Във функция init(x) са зададени началните условия на уравнението с параметричното уравнение на полуелипсата, моделираща свода на обрушаване  $-b.\sqrt{(2.\cos x - \cos x^2)}$  за интервала  $[0; 2\pi]$  с вертикален размер b.

Функцията bc F(t) съдържа граничните условия на уравнението.

Решението на частното диференциално уравнение е формирано в матрица z.

Кодът на програмата за решаване на нелинейното хиперболично уравнение и графиките за три слоя от матрицата са показани на съответно на фиг.1 и фиг.2.

$$\begin{split} & L \coloneqq 1 & \text{tk} \coloneqq 1 \\ & a \coloneqq 0.002 & \rho \coloneqq 0.006 & \text{kl} \coloneqq 0.01 & \text{k} \coloneqq 0.02 & b \coloneqq 0.004 \\ & \text{Npde} \coloneqq 2 & \text{Npae} \coloneqq 0 \\ \\ & F(x, t, z, z_x, z_{xx}) \coloneqq \left[ \underbrace{\begin{array}{c} 0.5 \cdot \left[ a^2 - 4 \cdot a \cdot \text{kl} \cdot z_0 + 3 \cdot \text{kl}^2 \cdot \left( z_0 \right)^2 \right] \cdot z_{xx_0} - k \cdot \left( \rho + 2 \cdot k \cdot z_0 \right) \cdot \left( z_1 \right)^2 - \left( \rho - 2 \cdot k \cdot z_0 \right) \cdot z_1 \\ \hline 0.5 \cdot \left[ \rho^2 - 2 \cdot k \cdot \rho \cdot z_0 + k^2 \cdot \left( z_0 \right)^2 \right] \end{array} \right] \\ & \text{init}(x) \coloneqq \left[ if \left[ 0 \le x \le 2\pi, -b \cdot \sqrt{\left[ 2 \cdot \cos(x) - (\cos(x))^2 \right], 0} \right] \\ & bc_F(t) \coloneqq \left( \begin{array}{c} 0 & 0 & "D" \\ 0 & 0 & "D" \end{array} \right) \\ & \text{rows} \coloneqq 10 & \text{colomns} \coloneqq 20 \\ & z \coloneqq numol \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ L \\ \end{pmatrix}, \text{rows}, \begin{pmatrix} 0 \\ t_k \\ \end{pmatrix}, \text{colomns}, \text{Npde}, \text{Npae}, F, \text{init}, \text{bc}_F \right] \end{split}$$

#### Фиг.1. Код на математическия модел на нелинейно хиперболично уравнение в програмна среда на PTC Mathcad.



Фиг.2. Графично представяне на решението на нелинейно хиперболично уравнение в програмна среда на PTC Mathcad.



От формираната матрица с числени пресмятания за  $z^{<0>}$  в качеството си на апроксимираща функция е изведен полином от девета степен с прилагане на вградената функция regress(X, Y):

 $v(x) = -1,463.x^9 + 15,28.x^8 - 43,987.x^7 + 61,158.x^6 - 48,516.x^5 + 23,34.x^4 - 6,865.x^3 + 1,19.x^2 - 0,109.x^1 + 0.$ (4)

Кодът на програмата е представен на фиг.3.



Фиг.3. Регресионен анализ за нелинейно хиперболично уравнение в програмна среда на РТС Mathcad.

Полиномът (4) е въведен във функцията за началните условия init(x) при пресмятането на второто частно диференциално уравнение (2) за модела.

Кодът, реализиращ линейното хиперболично уравнение, и графиката от решението за три слоя са представени на фиг.4 и фиг.5.

Фиг.4. Код на математическия модел на линейно хиперболично уравнение в програмна среда на РТС Mathcad.





Фиг.5. Графично представяне на решението на линейно хиперболично уравнение в програмна среда на РТС Mathcad.

От пресметнатите числените резултати за  $z^{<0>}$  на второто частно диференциално уравнение е изведен полином от девета степен чрез прилагане на вградената функция regress(X, Y):

 $v(x) = -80,943.x^{9} + 313,276.x^{8} - 513,225.x^{7} + 465,008.x^{6} - 255,32.x^{5} + 87,464.x^{4} - 18,526.x^{3} + 2,314.x^{2} - 0,152.x^{1} + 1,522.10^{-7}.$ (5)

В модела следва пресмятане на третото частно диференциално уравнение (3) със задаване на получения полином (5) в началните условия.

Кодът на програмата и графиките за решението на линейното параболично уравнение са представени на фиг.6 и фиг.7.

Фиг.6. Код на математическия модел на линейно параболично уравнение в програмна среда на РТС Mathcad.

Компютърното моделиране на трите частни диференциални уравнения е направено при следните данни: a = 0,002,  $\rho = 0,006$  - геометрични размери на късовете на стохастичната среда;  $k_1 = 0,01$ , k = 0,02 — изменение на хоризонталното еластично преместване при преминаването



на частицата на по-ниско ниво и изменение на вертикалното еластично преместване при преместване на частицата на по-ниско ниво



Фиг.7. Графично представяне на решението на линейно параболично уравнение в програмна среда на РТС Mathcad.

Работните листове в програмната среда провеждат пресмятане в реално време и данните могат да се променят, за да се осъществяват симулации и анализи.

### Заключение

Моделът и предложеният алгоритъм демонстрират огромните възможности на математическото моделиране и на математическото програмиране в задачи от минната практика и поспециално в областта на геомеханичните изследвания.

Предложеният математически модел дава възможност да се пресмятат и да се визуализират решенията на сложни спрегнати задачи за нелинейни и за линейни частни диференциални уравнения и предоставя възможности за детайлно изследване на формирането на минната мулда в най-обща постановка и с по-пълно отчитане на действителното протичане на процесите в извадения от равновесие скален масив.

### <u>Литература</u>

- Вълков М., За някои израждащи се уравнения в линейната и нелинейната стохастична геомеханика, Сл. Бряг, VII-ма конференция по открит и подземен добив на полезни изкопаеми, 2005, т. I, стр. 387-393.
- 2. Вълков М., Стохастични модели в кинематиката на минната мулда, С., МГУ, 2006.
- 3. Вълков М., Нови стохастични линейни и нелинейни модели в теорията на слягането на земната повърхност под влияние на подземни минни работи. Автореферат на дисертацията за получаване на научната степен "Кандидат на техническите науки" по научната специалност 01.02.06 "Земна и скална механика", защитена пред СНС по минни науки към ВАК, София, 1989.
- 4. Вълков М., Една спрегната задача в механика на мулдата I, Девин, 08-11 октомври 2012, Трета национална конференция с международно участие "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", стр. 153-156, ISSN 1314-7056.
- 5. Вълков М., Една спрегната задача в механика на мулдата II, С., Годишник на МГУ 2012, том 55, св. II, стр. 62-64, ISSN 1312-1820.
- 6. Vulkov M., About the Generalisation Possibilities in a New Stochastical Model of Mining Subsidence, MGU, Annual, Vol. 46, Part II, Mining and Mineral Proceesing; Sofia 2003, p. 153-154, ISSN 1312-1820.
- 7. Maxfield B., Essental PTC Mathcad Prime 3.0. A Guide for New and Current Users. Elsevier, Oxford, 2014.



# ЕДНО ТЕХНОЛОГИЧНО РЕШЕНИЕ ЗА ОВЛАДЯВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ НА ВТОРИ НАСИПИЩЕН ХОРИЗОНТ В РУДНИК "ТРОЯНОВО- 1"

### Стоил Стоилов, stoilov@r1.marica-iztok.com; Иван Марков, ivan.markov@r1.marica-iztok.com; Динко Динков, ddinkov@r1.marica-iztok.com. "Мини Марица-изток"ЕАД, гр. Раднево

# A TECHNOLOGICAL SOLUTION FOR DEFORMATION PROCESS CONTROL AT THE SECOND WASTE DUMP LEVEL OF TROYANOVO-1 MINE

### Stoil Stoilov, stoilov@r1.marica-iztok.com; Ivan Markov, ivan.markov@r1. marica-iztok.com; Dinko Dinkov, ddinkov@r1.marica-iztok.com Mini Maritsa Iztok EAD, Radnevo

## ABSTRACT

Deformation processes at the internal dumps of Troyanovo-1 mine started to develop at the beginning of the year. They occur in the northern part of the second waste dump level, in a comparatively limited area. Stability factor calculations and tool-assisted observations have been performed. Following a stability analysis of the area of deformation, technological measures and actions aimed at embankment condition consolidation have been planned. The report deals with the technological solution currently applied in the mine.

## Увод

Вътрешното насипище на рудник "Трояново-1" понастоящем се развива на територията на иззетия целик между рудник "Трояново-1" и рудник "Трояново-север", формиран след разминаването на работните фронтове. Най-долното ниво е образувано от отсипване на глините от въгленосния хоризонт (тънкослойни глини от междупластието) на багери ERs 710. Следващото ниво се формира с насипообразувател As 6300, работещ с първи откривен хоризонт: долно отсипване, състоящо се предимно от черни, сивочерни глини и черни глини с въглищни включения и горно отсипване с преобладаващо съдържание на сини, синьо-зелени и зеленикави мазни, силно дисперсни глини. Найгорното ниво се отсипва с насипообразувател As 5000, работещ с втори откривен хоризонт, също на две нива: долно и горно, с преобладаващо съдържание на синьо-зелени и зеленикави мазни, силно дисперсни глини. Найгорното ниво се отсипва с насипообразувател As 5000, работещ с втори откривен хоризонт, също на две нива: долно и горно, с преобладаващо съдържание на синьо-зелени, прахови и пясъчливи глини, с частично присъствие на разнозърнести пясъци и малко количество различни по твърдост скални включения. От две години, поради силно разчлененият релеф на скалния фундамент в полето на рудник "Трояново-1" въгленосният хоризонт образува характерна куполобразна позитивна форма в южната часта на откривния хоризонт и във втори насипищен хоризонт започнаха да присъстват и зони с черни и сивочерни глини. В бъдеще се предвижда и влизане на насипообразувател As 12500, който понастоящем работи на външни насипища, който и ще формира завършека на вътрешни насипища.

Височината на отделните стъпала варира от 8 до 10 м. От проведени изследвания е установено, че глините от насипището са с по-високо водно съдържание в сравнение с тези в естествения масив. В тях преобладават структурни връзки от водноколоиден характер, което и определя тяхната добре изразена пластичност, голяма деформируемост и силна слегаемост. Поради липсата на възможност за филтрационна консолидация глините в насипа са в недоуплътнено състояние, в средно и мекопластична консистенция. Това е определящо за малките стойности на якостните показатели. В насипището не могат да се проследят в пространството слоеве, или пластове с глини от един и същи вид и свойства. За стабилитетните изчисления се приема условна послойна дебелина от 15 м. за сместа от сивочерни и черни глини. Над тях заляга механичната смес от синьо зелени и сини глини. За хлъзгателна повърхнина се приема терена формиран след изземване на трети въглищен пласт. Характерно за северната част на вътрешни насипища е наличието на погребани стари



водосборници (централните водосборници на рудник "Трояново-север"), допълнително влошаващи стабилитетните свойства на насипа. Определена опасност представлява и присъствието в зоната на оставени технологични целици, които изпълнили своето предназначение могат понастоящем да придобият рисков характер след преодоляване съпротивлението на срязване по тяхната основа.

В началото на годината беше отчетено протичане на деформационни процеси в северната част на ГТЛ 1211, втори насипищен хоризонт. Визуално бяха констатирани: подуване в долния ръб на горното отсипване от поле 110 до поле 140 и пукнатини на платното на ГТЛ 1211, формиране на вал на подуване пред петата на насипа с височина от 0.60÷0.80 м. на нивото на първи насипищен хоризонт. Анализа на подуването в горното отсипване показа връзка с работа на откривния хоризонт в зоната на високо издигнатата скална подложка и присъствието на черни и сивочерни глини, по които и е станало хлъзгането. Въпреки, че ситуационното изследване на архивни данни не показа пряка връзка с погребан водосборник беше установено съседство с такъв. Ясно очертаните странични повърхнини и малката ширина на проявените свлачищните процеси благоприятстват решаването на проблема. На север вътрешните насипища на рудник "Трояново-север" са формирани преди около 25 години, на юг насипите на рудник "Трояново-1" са отсипани преди около 5 години.

### Предложение за подходящо технологично решение

Предвидени са следните мероприятия в последователност: отсипване планираните обеми паралелно на ГТЛ 1211, долно насипване, след което ГТЛ 1211 се скъсява до 650 м. и се отсипват три веерни заходки с постепенно намаляне височината на насипа, ГТЛ 1211 се скъсява до 550 м. и се отсипват още четири веерни заходки, с продължаване занижението до достигане котите на горното отсипване на първи насипищен хоризонт; на първата насипищна система се извършва преустройство, като се построява транспортьор на север от границата на работа на насипообразувател As 6300 и се осигурява увеличаване пасивния отпор на втори насипищен хоризонт, като се отсипва горно с височина 10 м., при условие, че то се ограничава до линията на подсипването на първи долно, минимизирайки влиянието върху схемата на подсипване на северния неработен борд. Осъществяването на схемата ще осигури стабилитетно изграждането на горното насипване на втори насипищен хоризонт. Предложението унагледено на ситуационен план на северозападната част на рудник "Трояново-1":



ситуационен план на зоната с изчислителния профил и отделните етапи:





Стабилитетните изчисления бяха извършени по изчислителен профил построен в зоната на деформациите с посока изток-североизток, за целта бяха извършени подробни маркшайдерски замери на множество точки в зоната на действие на деформациите и прилежащия район. Обхвата на изчислителния профил, лежи изцяло в територията на вътрешни насипища на рудник "Трояново-север" и се приема, че хлъзгането става по отработеното дъно на рудника, което по същество е определящо за устойчивостта на насипището.

#### Реализиране на варианта

С цел стабилизиране на деформационната зона бяха извършени няколко предварителни мерки и мероприятия. Започна осушаване, гравитачно, чрез прокопаване на канали, на завиреното и заблатено пространство северно от водосборник ВП-6, където се прояви вала на подуване. Заложена беше и инструментално следена реперна линия по протежение на деструктивната зона, приблизително съвпадаща с изчислителния профил.

В резултат на извършени през годините инженерно-геоложки проучвания и изследвания са получени следните стойности, използвани при стабилитетните изчисления:

наименование на глините	обемна плътност	кохезия	ъгъл на вътр. триене
	kg/ m³	Cx10⁴Pa	φ
глини от			
междупластието,	1 500	3	0
сивочерни глини			
смес от синьо-			
зелени глини,	1 700	3	8
<i>σ</i> <sub>n</sub> <4,27.10⁵Pa			
смес от синьо-			
зелени глини,	1 700	8	0
σ <sub>n</sub> >4,27.10 <sup>5</sup> Pa			

Първоначалното отсипване, паралелно на ГТЛ 1211, с формиране на подстъпало 6 метра пониско от нивото на работа на багера, според стабилитетните изчисления коефициента на устойчивост е К<sub>у1</sub>=1.01. Стъпалото е с коти намаляващи в източна посока. Смисъла на работа с разширено подстъпало е увеличаване зоната на пасивен натиск и оптимизиране параметрите на долното стъпало с достигане на оценъчни стойности надвишаващи тези на пределното равновесие (Ку=1.00). Коефициентите на устойчивост са проверени при обемно действие на съпротивленията на стиковете на свлачището. След изпълнение на планираните обеми замерите на реперната линия не показаха премествания извън допустимите.

За вторият етап бе извършено скъсяване на магистрален ГТЛ 1201 и съкращаване на ГТЛ 1211 до 650 м., пренареждане, завъртане ветрилообразно на транспорьора и преместване на обратната станция. В началните 200 м. на практика не се извършва подсипване поради малката площ на презастъпване на насипа. Формира се идентично подстъпало, продължава занижението по коти в



източна посока на работната площадка. Изчисления коефициент на устойчивост за втория етап е К<sub>у2</sub>=1.03.

Аналогично е развитието при третия етап на работа по ГТЛ 1211, като дължината на лентата се запазва, точката на въртене на веерите е същата. Коефициента на устойчивост е съответно К<sub>у3</sub>=1.04.

При четвъртият етап няма промяна точката на въртене, но има изменение в дължината на лентата. Започва постепенно свиване на зоната на долното отсипване, поради което ГТЛ 1211 се ограничава до дължина 550 м. Редуцирането на обемите е продиктувано и от спецификата на терена – бутилообразно свиване на отворената зона в източна посока. Запазването на ширината на отсипване би довело до компрометиране на страничните ограничаващи насипи, осигуряващи допълнителен пасивен отпор на деформационната област. Изчисления коефициент на устойчивост е К<sub>у4</sub>=1.03.

Последователната работа на насипообразувател по пети, шести и седми етап технологично не се отличава от предишните фаза. Точката на въртене на веерите се запазва, няма промяна и в дължината на ГТЛ. Занижението на работната площадка продължава до достигане на устойчиви коти, съвпадащи с тези на горното стъпало на първи насипищен хоризонт. Коефициентите на устойчивост са съответно Ку5=1.07, Ку6=1.09 и Ку7=1.08.

След привършване на работата ГТЛ 1211 се възстановява в началната си дължина, връща се обратната станция и насипообразувателя продължава работа в южна посока. За осигуряване на дългосрочна устойчивост на компроментираната зона и за увеличаване на пасивния отпор, се предвижда на първата насипищна система да се извърши технологично преустройство, като найюжната 3С 1113 се позиционира на север от магистрален ГТЛ 1101 и се построява действащ транспортьор след водосборник ВП 1006 (който трябва да бъде запазен) и се отсипва горно с приблизителна ширина 250 м. и височина 10 м. В източна посока насипа се ограничава до линията на първи насипищен хоризонт долно насипване, за избягване влиянието върху схемата на подсипване и недопущане компрометиране стабилитета на северния неработен борд. След извършването на подсипването коефициента на устойчивост за долното стъпало нараства до К<sub>уд</sub>=1.23, а подсигурения коефициент на устойчивост за горното стъпало е със стойност К<sub>уг</sub>=1.05.

При досега проведените наблюдения бе констатирана проява на единствен вал на подуване, което предполага една слаба зона, вероятно свързана с погребан разлив от водосборник на рудник "Трояново-север".

#### Заключение

С така реализирания вариант започна реализиране на една достатъчно ефективна и сравнително проста от технологична гледна точка схема. След изучаване на инструменталните данни от измерванията ще се проанализират постигнатите резултати и за в бъдеще ще се работи за понататъшно усъвършенстване или видоизменение на схемата.

### Литература:

- 1. Георгиев, К. И кол. Методическо ръководство за стабилитетни изчисления на работни подсипвани и неподсипвани неработни бордове и откоси на насипищата на рудниците от Източномаришкия басейн. 1981г.
- 2. Карачолов, П. Изследване н устойчивостта на насипищните откоси в Марица изток. Автореферат на Дисертация за получаване на научната степен "кандидат на техническите науки". 1990г.
- 3. *Иванова, В.* Изследване на глините от вътрешното насипище на рудник "Трояново 1". Определяне на физични, якостно-деформационни показатели и изчислително натоварване. Отчет по НИС към МГУ "Св. Иван Рилски". 2016г.



# ОЧАКВАНИ ПРОЯВИ НА СКАЛНИЯ НАТИСК ПРИ СЛОЕВА СИСТЕМА С ВЪЗХОДЯЩ РЕД НА ИЗЗЕМВАНЕ И ЗАПЪЛВАНЕ

### H.c. инж. Милчо Милчев, ET "Геопроектинженеринг-Милчо Милчев" – mil\_milchev@abv.bg Проф. д-р инж. Кръстьо Дерменджиев, МГУ - krderm@mgu.bg

### РЕЗЮМЕ

В доклада са представени: системата на разработване, прогноза за проявленията на скалния натиск в изработките; геомеханичната обосновка на технологичните решения при възходящо изземване със запълване на слоеве за подземен добив, в стръмно западащо рудно тяло, с дебелина m = 3,0-6,0 m в слаб скален масив. При подетажно обрушаване се формира сложна геомеханична система, при която в масива се получава многократно въздействие на променливи напрежения. Технологията със запълване осигурява по-добра селективност от тази с подетажно обрушаване и с магазиниране на рудата, подходяща е за рудни тела в слаби скали, а 90 % от скалите изкопани в галериите извън рудното тяло, остават в рудника.

# MANIFESTATIONS OF ROCK PRESSURE IN A SYSTEM OF DEVELOPMENT ASCENDANT EARTHING WITH LAYER FILLING

## Eng. Milcho Milchev, GEOPROEKTENGENERNG, – mil\_milchev@abv.bg Prof. d-r eng.Kr. Dermendjiev, MGU - krderm@mgu.bg

### ABSTRACT

The report presents: the development system, forecast for the manifestations of rock pressure in the works; the geomechanical substantiation of the technological solutions in ascending excavation with filling of layers for underground extraction, in a steep declining ore body, with thickness m = 3.0-6.0 m in a weak rock massif. During a subfloor collapse, a complex geomechanical system is formed, in which multiple influences of alternating stresses are obtained in the array. Filling technology provides better selectivity than subfloor demolition and ore storage, is suitable for ore bodies in weak rocks, and 90% of the rocks excavated in galleries outside the ore body remain in the mine.

### Увод

В доклада са представени различни геомеханични и технико-технологични решения за разработване на стръмнозападащи, средномощни, слабо до средноустойчиви рудни жили и вместващи скали на дълбочина 30-40 до 200m. Въз основа на геомеханична обосновка за очакваните прояви на скалния натиск се препоръчва прилагане на слоева система на разработване. За тази система се препоръчва възходящ ред на изземване и запълване в рамките на добивния участък. Дадени са основни препоръчвани параметри.

### 1. Минногеоложки и геомеханични условия

Обект на разглеждане са пластообразни залежи (рудни жили и тела), с мощност m=3,0-6,0 m и наклон 65-70°. Рудните тела и вместващите скали в горнище и долнище са с ниска якост, голяма напука-ност и слаба устойчивост. Дълбочината на разработване е от 30-40 m до 200 m. Скалните разновидности са представени основно от (хидротермално променени в различна степен) андезитови вулкански брекчи.

Основните физикомеханични характеристики на скалите са следните: извън рудните зони якостта на натиск е от 21,5 МРа до 41,5 МРа (средно 33,0 МРа), а скалите в горнище и долнище на рудните



тела и самото полезно изкопаемо са с якост, варираща от 12,5 МРа до 17,5 МРа (средно около 16,0 МРа). Плътността на скалите варира от 2,65 t/m<sup>3</sup> до 2,80 t/m<sup>3</sup> (средно около 2,70 t/m<sup>3</sup>), а на полезното изкопаемо е 2,95 t/m<sup>3</sup>

Рудничното поле е разкрито с комбинация от наклонени и вертикални шахти. Подготовката е етажна със скални галерии. В рамките на етажа се подготвят травербанни полета, а в тях добивни блокове с различна дължина и височина.

### 2. Прогнозна обща геомеханична характеристика на скалния масив

Физикомеханичните характеристики определят, че условията при прокарване на подготвителните изработки ще са разнообразни. В 50-60 % от участъците извън рудните зони, геомеханичните условия се очаква да са благоприятни. Там скалният масив е слабо напукан, монолитен и главно е съставен от пропилитизирани андезитови брекчи. В останалите участъци същите литоложки разновидности в тектонски разломи и в рудните зони са по-силно напукани, а понякога и разрушени. В тях геомеханичните условия най-вероятно ще са неблагоприятни.

За ориентировъчна прогнозна оценка на геомеханиката в находището е приложена аналитикоекспериментална методика. Чрез нея е направена прогнозна обща геомеханична оценка на скалния масив в описаните различни геоложки условия. Методиката е разработена от Дирекцията за научни изследвания (ДНИ) с. Драгичево (Пернишко), към "Минпроект" [2] и се отнася както за слаби пластични или крехки и напукани скални масиви, така и за скали със средна и по-висока якост..

Аналитико-експерименталната методика на ДНИ е разработвана и усъвършенствана в продължение на повече от 30 години (1965-1995 г.) от водещи учени и специалисти от секция "Скален натиск и механика на скалите". Формулите и коефициентите са изведени, като са обобщавани и обработвани (по методите на математическата статистика) резултатите от руднични наблюдения главно в българските въгледобивни басейни и други находища (водоотл. комплекс "Кремиковци", уранова мина "Габра" и др.)

Най-общо прогнозната оценка на устойчивостта на подземните изработки и скалните масиви, като цяло се осъществява, чрез така наречения коефициент на устойчивост.

Коефициентът на устойчивост е безразмерна величина и се определя по следната формула:

$$\mathbf{K}_{y} = \mathbf{R}_{\text{HM.}}(\mathbf{H}, \boldsymbol{\gamma})^{-1}$$
(1)

където Н – дълбочина от повърхността, т;

 $\gamma$ – среднопретеглено обемно тегло на всички слоеве до повърхността, KN/m $^3$ 

Според класификацията на ДНИ ("Минпроект") геомеханичните условия са както следва:

- при К<sub>у</sub> от 1 до 3 подземните изработки се прокарват в средно тежки геомеханични условия, скалния натиск върху подпорния крепеж (метални арки или пръстени) е от порядъка на 200-300 kN/m<sup>2</sup>;
- при К<sub>у</sub> от 3 до 5 подземните изработки се прокарват в средно добри геомеханични условия, скалния натиск е от порядъка на 100 kN/m<sup>2</sup>;
- при К<sub>у</sub> от 6 до 9 подземните изработки се прокарват в добри геомеханични условия, скалния натиск е от порядъка на 50 kN/m<sup>2</sup>;
- при К<sub>у</sub> от 9 до 18 подземните изработки се прокарват в по-добри геомеханични условия, не се получава скален натиск върху подпорен крепеж. Укрепването на скалния контур се осъществява само с анкери, метална мрежа и евентуално торкретбетон 4 ст;
- при К<sub>y</sub>>18 подземните изработки се прокарват в благоприятни геомеханични условия. Не се прилага укрепване на свода на изработката.

Предварителна прогноза за общата геомеханична характеристика на скалния масив в находището е осъществена със специален компютърен модел, съставен по описаната методика на ДНИ. Осъществена е за скални масиви на средна дълбочина 50 m и 120 m и лабораторна якост на натиск 16, 24 и 33 MPa. Коефициентът на отслабване на скалния масив варира от 0,35 до 0,70. Полученият коефициент на устойчивост **К**<sub>у</sub> варира от 3,7 до 17,0 на дълбочина 50 m и от 1,85 до 8,52 на дълбочина 120 m.

Прогнозната обща геомеханична оценка показва, че в средноздрави и слабо напукани скални масиви и в здравите монолитни скали (извън рудните зони) капиталните и подготвителните изработки



по скала ще се прокарват и укрепват в добри и благоприятни геомеханични условия. В подготвителните изработки по скала в близост до рудните тела и тези по руда, в зоните на опорния натиск и в добивните изработки, които са разположени в слаби и силно напукани рудни зони, и самата руда, на места раздробени андезитови брекчи и дайки, с глинести примеси, геомеханичните условия се очаква да бъдат от средно тежки до много неблагоприятни.

Добивните технологии, начинът на управление на горнището, както и укрепването на подготвителните изработки в пласта и добивните забои следва да са подходящи за тези средно тежки условия.

## 3. Приложими системи на разработване на стръмни пластове (рудни тела)

### <u>с мощност m =3,0-6,0 m</u>

При мощност на рудните тела m=3,0-4,0 m най-често се прилага система на разработване с подетажно обрушаване. В посочените по-горе условия този вариант не се разглежда, поради това, че не е подходящ за конкретните геомеханични условия. При взривяването на рудата от подетажния целик, може да се прогнозира, че непосредственото горнище и долнище ще се обрушават почти едновременно с рудата, при което загубите на ценен компонент и обедняването на рудата ще са прекалено високи. Освен това при неустойчив вместващ скален масив подетажните галерии попадат в зона на опорен скален натиск, който е толкова по-голям, колкото подетажните целици над тях са с помалка височина.

### Система на разработване по метода с магазиниране на рудата

Системата на разработване по метода с магазиниране на рудата [3] е традиционен метод за добив (фиг. 3.1) в рудни тела с мощност m=2,5-3,5 m и наклон над 60°. Добивът е на хоризонтални слоеве, като се започне от долната част на добивния блок и се напредва нагоре. Част от взривената руда се магазинира в блока, за да служи като работна площадка, и за опора на горнището и долнището в добивния блок. При взривяване рудата разбухва с около 50%, така че значително количество трябва да бъде оставено, докато се достигне до горе, след което може да се източи рудата. Методът може да се прилага в рудни тела със сравнително стабилни руди и вместващи скали; издъжани пластове с ясни граници между тях и скалите. Тази система е неприложима ако полезното изкопаемо не може да се складира за дълго време (например някои сулфидни руди и въглищата се окисляват и се получава генериране на прекомерна топлина, подземни пожари и т.н.). Взривената магазинирана руда, има неравна повърхност, което изключва използването на тежка механизиция и прави метода трудоемък и опасен. Освен това при неустойчиви непосредствено горнище и долнище на рудното тяло, постепенно се получава обрушаване и свличане на скални маси в иззетите пространства, заедно с рудата, със всички произтичащи от геомеханичните условия проблеми за съседните добивни блокове и минните изработки по скала, както и голямо обедняване на рудата.

### Система на разработване с възходящо изземване със запълване

Методът с възходящо изземване със запълване се прилага за добив в стръмно западащи рудни тела (фиг. 3.2), с мощност 3,0 - 8,0 m и осигурява по-добра селективност от системите с обрушаване и магазиниране и е добра за рудни тела с неправилна форма и разпръсната минерализация и неустойчиви вместващи скали [3]. Подготовката включва: прокарване в дълбоко долнище (или горнище) на транспортна галерия по скала успоредно на рудното тяло на основното транспортно ниво; спираловидна наклонена изработка в горнището или долнището, с ортове за достъп до добивния блок; и възходяща връзка (комини) с горното ниво, за вентилация и за материала за запълване.

При метода с възходящо изземване и запълване добивът е на хоризонтални слоеве от долу нагоре. Добитата руда се натовара в добивния забой. След това слоя се запълва с дешламирани пясъци от обогатитената фабрика и от скалната маса доставяна с товарачно транспортни машини от забоите на подготвителните минни изработки по скала. Запълнението служи както за укрепване на горнището и долнището, така и като устойчив под за мобилните добивни машини: пробивни карети, платформи за зареждане на взривните дупки, товарачно-транспортни машини, анкермашини, сонди, торкретмашини и други, при добива в следващия по-горен слой. Преди запълване, входовете към блока в рамките на слоя са преградени (със запълвачни пре-гради) и са инсталирани дренажни тръби.





Фиг. 3.1. Система на разработване по метода с магазиниране на рудата



Фиг.3.2. Система на разработване с възходящо изземване със запълване

### 4. Слоева система с възходящ ред на изземване и запълване

Според опита в чужбина [3] и от гледна точка на конкретните условия в описаното находище на ценно полезно изкопаемо, може да се препоръча вариант на описаната по-горе слоева система с възходящ ред на изземване и запълване, със сответните схеми на разкриване, основна подготовка, добивна технология и мобилна минна механизация, основно на пневмоколесен и гъсеничен ход.



1-Наклонена конвейрна шахта; 2-Източна проучв. проследяваща галерия –Зона 2; 3-Източна проучв. проследяваща галерия –Зона 1; 4-Западна на проучв. проследяваща галерия –Зона 1; 5- Наклонена вент. щолня; 6- Етажна вент. галерия по скала; 6а- Етажна транспортна галерия по скала; 7- Наклонена спираловидна изработка по скала; 8- Наклонен орт със запълване;
9- Спомагателна скална галерия; 10- Наклонен комин в рудните тела, изгр. в запълнението; 11- Вертикален комин по скала. Фиг. 4.1. Схема на разкриване и основна подготовка на рудничното поле



Основната подготовка на добивните блокове (фиг. 4.1, 4.2, 4.3 и 4.4) е планирана при следните основни условия и принципи: Разположение на галерите по простиране 6 и 6а в скалния масив, успоредно на рудните тела (в здрав скален масив) на голямо разстояние от горнището 150 и 200 m, като връзката между тези изработки и добивните блокове се осъществява през спираловидна изработка 7 и наклонени ортове 8. Полезното изкопаемо в блока, след взривяване се доставя с товарачно-транспортни машини до ортовете 8, където се товари в автосамосвали, които го транспортират до пресевно-трошачна уредба в рудничния двор при НШ. Под нея има приемен бункер, а под него конвейр в НШ за транспорт до повърхността.



Фиг. 4.2. Схема на разкриване и основна подготовка на рудничното поле Вертикален разрез

Взривената скална маса от забоите на скалните изработки 6 и 6а се транспортира (с автосамосвали) до нивото на съответния слой в наклонената спираловидна изработка 7. Там те изсипват скалната маса и тя се транспортира до добивния забой по наклонените ортове 8 с товарачнотранспортните машини. Проветряването на добивния блок се осъществява с вентилационни уредби за местно проветряване, разположени на чистата въздушна струя от към НШ, по транспортната скална галерия и по спираловидната изработка до съответното ниво. Вентилационният тръбопровод се монтира в наклонените ортове 8 и вътре в добивния забой.



Фиг. 4.3. Схема на разкриване и основна подготовка на рудничното поле Вертикален разрез



Отработената въздушна струя идва от добивните забои, минава по ортове 8, по спиралната изработка 7 и нагоре по комините 11 от транспортната до вентилационната галерия достига до фланговата вентилационна шахта (ВШ) и на повърхността, където е изградена главната вентилационна уредба. Схемата на основна подготовка дава възможност 90 % от количеството взривена скална маса от подземните скални изработки да не се транспортира до повърхността, а да остава в подземния рудник, като се оползотворява за запълване на иззетото пространство в добивните блокове.

При системата на разработване с хоризонтални слоеве със запълване (фиг. 4.4 и 4.5), предмет на този доклад, добивът също е на хоризонтални слоеве от долу на-горе. Дължина на добивния блок по простиране е 160 m., разделен на две равни части с дължина L<sub>бл</sub>=80 m. Наклонената височина по западане е h<sub>ет</sub> = 74 m, а слоевете са със средна височина h<sub>сл</sub> = 4,0 m.

Системата осигурява подготовка едновременно на три подетажа по западане с наклонена височина **h**<sub>п.ет</sub> = 24 m всеки, включващ по 6 слоя (фиг.4.5 и 4.6, детайл Г) и съвпада със стъпката на спиралата на изработката 7. Наклонените ортове 8 се прокарват от тази изработка 7, като първоначално са с наклон надолу около 1°, достигайки до нивото на първия слой на подетажа (фиг. 4.5, в ляво).

След изземване и запълване на първия слой, наклонения орт 8 се прокарва със задигане над първоначалното му положение (фиг. 4.6, детайл Г), а наклонът му нагоре вече е 2°. Около 45-50 % от взривената скална маса остава в обема на долния първоначален орт 8 и служи за под на следващия по-горен орт 8. Максималният наклон е 8-9° на орт 8, при достигане на най-горния шести слой на подета-жа. Празнините между скалните късове в пода на орт 8 се уплътняват с пастовото запълнение.

Напречните сечения (от 9,0 m<sup>2</sup> до 20 m<sup>2</sup>) и наклоните на скалните изработки са съобразени с габаритите и възможностите на съвременните минни машини на пневмоколесен и на гъсеничен ход (пробивни карети, товарачни машини, товаро-транспортни машини, самосвали за подз. работа, анкермашини, торкрет-машини и др.). Изземването на всеки слой в подетажа се осъществява с ПВР (селективно с две взривявания за полезното изкопаемо и за подкопаване на скалите в долнището) и двустранно от орт 8 в средата към фланговете на блока ( $L_{6n}$  = 80 m), фиг. 4.5 и 4.6, горе. Добивният забой е със сечение правоъгълен трапец  $h_{д3}$ = 4,5 m (50 cm до запълнението от долния слой), ширината му е **b** =4,0-7,5 m. Скалите от подкопаване на долнището остават, като част от запълнението.

Обемът на иззетото пространство в 1 блок (с подкопаването) е 240-460 хил. m<sup>3</sup>. При к-нт на разбух. 1,65, скалите от долнището са 60-80 хил. m<sup>3</sup> или те са 18 % - 25 %. Със скалите от изработки 6, 6а, 7, 8 и други изработки, както и с отпадъците от ЦОФ, разбухналата скална маса добита от външна кариера трябва да е 160-370 хил. m<sup>3</sup> при **m** = 3,0 - 6,0 m.



7- Ноклонена спираловидна изработка по скала; 8- Наклонен орт със запълване; 12- Вент. галерия в рудното тяло, изгр. в за-пълнението; 13- Вертикален тръбопровод в запълнението.

Фиг. 4.4. Схема на система на разработване с хоризонтални слоеве със запълване





Фиг. 4.5. Схема на основната подготовка и системата на разработване (Детайл)

При съвременните високопроизводителни машини за добив, транспорт и запълване добивът от забой (1 слой) се прогнозира на 200-500 t/ден. (**m** = 3,0-6,0 m). При работа в 5 слоя от 2 блока, добивът на рудника е 300 хил. t за 1 година. Скоростта на доб. забой (с напр. сечение 20-38 m<sup>2</sup>) е 3,5-7,0 m/ден.

# 5. Очаквани прояви на скалния натиск в подготвителните и добивни изработки при

# управление на горнището с пълно запълване на иззетото пространство

С описания по-горе компютърен модел (на ДНИ-Минпроект [2]) са извършени изчисления за очакваните прояви на скалния натиск в скалните изработки (6, 6а, 7 и 8) за якост на натиск 16, 24 и 33 МРа на дълбочина 120 m. Коефициентите на стр. отслабване на масива са 0,30; 0,50 и 0,70. Комплексиите коефициенти на заздравяване от анкерите и циментацията са приети 2,5-3,0, а отпорът в податлив режим на арките (през 1 m) в слаби скали е 65-70 kN/m<sup>2</sup>. Анкерите са с гъстота 1,0 анк./m<sup>2</sup>, а носещата способност в податлив режим на тръбни анкери с дължина 2,2 m е приета 90-100 kN [4], а на дългите (3,0-4,0 m) сглобяеми тръбни анкери (от типа на Swellex, IBO и други) 200-300 kN [3]. Прогнозната конвергенция (преместване) на системата "крепеж-скален контур" е **U**=8 mm за здравите скали и до **U**=75-100 mm за ортовете 8 в контактната зона в горнището на рудното тяло.

При добива очакваните прояви на скалния натиск са премествания перпендикулярни на геоложкото горнище на пласта към долнището. Те зависят не само от якостните свойства на скалите, но и от компресията на запълвачния масив. В свободен насип от скална маса компресията е 25-30 %, пневматично запълнение 15-20 %, хидравлично пясъчно запълнение 8-12 % и втвърдяващо пастово запълнение около 5-6 %.









Универсална машина като проб.карета; 2- Универсална машина като товарачка; 3- ГТЛ-претоварач; 4- Приемен бункер;
 Демонтирана лопата на товарачката; 6- Демонтиран манипулатор (стрела) на каретата; 7- Товар.-трансп. машина;
 вентилационен тръбопровод; 9- Податливи метални арки.



Фиг. 4.6. Схема на система на разработване с хоризонтални слоеве със запълване. Детайли

При много податлив запълвачен масив съществува риск от срутване и свличане на скалите в добивната изработка. Горнището и долнището следва да се укрепват с дълги (4,0 m) тръбни анкери и метална оградна мрежа, а тавана на изработката с крепежни рамки.

### 6. Крепежи на подготвителните и добивните изработки

В средноустойчивите и в здравите монолитни участъци крепежът на изработките е комбиниран: податливи тръбни анкери с дължина 2,2 m и метална оградна мрежа. С изоставане 80 m се торкретира с дебелина 4 cm. В слабите участъци крепежът е комбиниран (фиг.6.1, а): метални податливи арки (през 1,0 m), дълги сглобяеми тръбни анкери в свода и пана от заварени арматурни мрежи. След 30-40 m се торкретира с дебелина 4-8 cm. За заздравяване е приета циментация на приконтурния скален масив, на дълбочина около 1,1-1,6 m, 30 дни след торкретиране.





В добивните изработки (фиг. 6.1б) крепежът също е комбиниран: в стените метална оградна мрежа и дълги сглобяеми анкери, а за тавана смесени крепежни рамки (през 1,0 m) от дървени капи (ф 17 cm) и 2 или 3 индивидуални хидравлични стойки (на рамка) с носеща способност 300 kN на 1 стойка.

Представените в доклада схеми на основна подготовка, система на разработване със запълване и добивната технология в стръмнозападащи, средномощни, слабо до средноустойчиви пластообразни рудни тела и вместващи скали на дълбочина 30-40 до 200 m се базират на геомеханична оценка за очакваните прояви на скалния натиск. Препоръчва се възходящ ред на изземване и запълване в рамките на добивния участък. Дадени са основните препоръчвани параметри на системата на разработване и методите за укрепване на подготвителните и добивните изработки, гарантиращи необходимата степен на безопасност за работещите, при неблагоприятни геоложки условия.

### Ползвани литературни източници

- 1. "Геоложка характеристика за работен проект: "Прокарване на наклонена шахта "Бърдото"-хор. 808-750", Приложение 1.1. Арх. на "Трейс Рисорсиз" ЕООД, 2014 г.
- Михайлова Е., А. Тончев и др., "Методика на ДНИ към "Минпроект" ЕАД, сек. "Скален натиск" за прогнозиране на деформациите на минните изработки и скалния натиск в подземните въглищни находища в България", Архив на "Минпроект, ЕАД, София, 1987 г.
- 3. Atlas Copco, prospect, "Mining methods underground mining", Second edition 2007.
- 4. Стоянчев Г., Кр. Дерменджиев и др.,,Моделиране на поведението на анкер с променлива дължи-на на закотвяне-тип ФА-L", Архив на МГУ "Св. Иван Рилски, 2012 г.



# ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА МАСИВА С ЦЕЛ ОПАЗВАНЕ НА ПОДЗЕМНИ И НАДЗЕМНИ ОБЕКТИ ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА РУДНИ НАХОДИЩА ЗА УСЛОВИЯТА НА "ГОРУБСО-МАДАН" АД

### Десислава Атанасова-Венкова<sup>1</sup> <sup>1</sup> Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", гр. София, България, dessislava.atanassova@abv.bg

### РЕЗЮМЕ

Промените в деформационното състояние на масива, вследстие развитието на минните работи, довеждат до необходимостта от изучаване и контролиране на деформационните процеси и опазване на различни подземни и наземни обекти от тяхното влияние.

В участъците "Върба" и "Крушев дол", на "Горубсо-Мадан" АД, с напредването и навлизането в дълбочина на минните изработки, се създават предпоставки за премествания на повърхността, както и на скалният масив. Отработените камери са с големи размери и водената експлоатация, в близост до капитални изработки, създава необходимост от наблюдения и анализ на състоянието на масива и съоръженията на повърхността.

В доклада са представени изградените в гореспоменатите участъци наблюдателни станции. Извършени са началните маркшайдерски наблюдения, резултатите от които ще послужат за сравнение със следващите измервания. Въз основа на данните за реализирани пространствени премествания на наблюдаваните репери на земната повърхност и в подземните изработки ще се определя деформационното състояние на масива към различните моменти на провеждане на наблюденията.

# RESEARCH OF THE DEFORMATION STATE OF THE ROCK MASSIVE FOR PRESERVATION PURPOSES TO UNDERGROUND AND OVER-GROUND OBJECTS AT UNDERGROUND DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS FOR THE CONDITION OF "GORUBSO – MADAN" LTD

# Desislava Atanasova-Venkova<sup>1</sup>

# <sup>1</sup>University of Mining and Geology is "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria, dessislava.atanassova@abv.bg

# ABSTRACT

The changes in the deformation state of the massive, due to the development of mining works, lead to the need to study and control the deformation processes and protect various underground and surface objects from their influence.

In the sections "Varba" and "Krushev dol", of "Gorubso-Madan", with the advancement and penetration of the mine workings, preconditions are created for relocations of the surface, as well as of the rock massif. The used chambers are large in size and the conducted operation, close to capital works, creates a need for observations and analysis of the condition of the massif and the surface facilities.

The report presents the observation stations built in the above-mentioned sections. Initial surveying observations have been made, the results of which will be used for comparison with subsequent measurements. Based on the data for realized spatial displacements of the observed landmarks on the earth's surface and in the underground workings, the deformation state of the massif at different moments of the observations will be determined.



### Въведение

Опазването на обектите, както на земната повърхност, така и в скалният масив, от влиянието на минните работи в подземните рудни находища, е от първостепенно значение за безопасното развитие и експлоатация на рудниците. Използването на съвременни методи и технологии за наблюдение на състоянието им осигурява по- висока надеждност и коректност на получените резултати.

Процесът движението на скалите в резултат на провежданите минни работи, зависи от релефа, системата на експлоатация, различни минно-технологични и минно-технически фактори, и от геоложките и хидрогеоложките и условия. Дори при по-големи дълбочини на разработване, движението често достига до земната повърхност. Запазването на състоянието на минните изработки и капиталните съоръжения на повърхността зависи от стойностите на вертикалните и хоризонталните премествания.

При определяне на деформации като сновен елемент (елементарен елемент) се използва отделния триъгълник (с върхове върху разглеждания обект) като се приема хипотезата за локално еднородното му деформиране.

Чрез последователни измервания и използване на известна методика [5] се определят деформациите в даден участък, разглеждан и дефиниран с трите страни на триъгълник. Те могат да се представят като се използва координатна система, свързана само с разглеждания триъгълник, която лежи в неговата равнина.

Тъй като стойностите им не зависят от възприетата координатна система, те се наричат инвариантни характеристики на деформациите.

Главните стойности на деформациите представляват относителните изменения на дължините по направление на главните оси. [6]

### Избрани обекти за експериментални наблюдения:

- Участък "Върба-Батанци", към "ГОРУБСО-Мадан" АД Кулата на Вертикалната шахта, минни изработки на три работни хоризонта от участъка, попадащи в зоната на охранителния целик на вертикалната шахта; Сградата на подемният комплекс; Административната сграда към участъка; пътя от рудника към с. Върба (в частта си минаващ върху отработени пространства от участък "Върба").
- Участък "Крушев дол", към "ГОРУБСО-Мадан" АД Главна извозна галерия на хор. 550 и отработената в близост до нея камера.
- Хвостохранилище "Рудозем 2" към "ГОРУБСО-Мадан" АД изграждане на контролноизмервателна станция (КИС) и наблюдения на преградните стени на съоръжението.
- Рудник "Сполука", гр. Мадан



Фиг.1 - Хоризонтална минна изработка от уч-к "Върба"



Фиг.2 - уч-к "Крушев дол"- подход към камера 6





Фиг.3 - Хвостохранилище "Рудозем-2" – общ изглед



Фиг.4 - Рудник "Сполука"

Наблюдения и анализ на състоянието на масива и съоръженията на повърхността на участък "Върба", както и основният път към с. Върба, попадащ в зона на движения, провокирани от минаващата в близост рудна жила, са част от обектите, свързани с естеството на проблема.

За реализиране на експерименталните наблюдения, са стабилизирани репери, организирани в наблюдателни профилни линии на три хоризонта от участък "Върба". Местата на потенциални премествания са видими - крепежът е претърпял деформации, нетипични за неговата конструкция, а устойчивостта му е нарушена.





Фиг.5 - уч-к "Върба"- хор. 590 – нарушена конструкция на крепеж



Вследствие на конкретните геоложки условия в бетоновият крепеж на Вертикалната шахта обслужваща участъка се наблюдават пукнатини. Тя е прокарана през тялото на полезното изкопаемо.

Но това би могло да е свързано и със системата на разработване на находището, която през годините е била различна.

Във времето са извършвани минно-добивни дейности в охранителния целик на шахтата и е осъществявано хидрозапълнение на отработените пространства. Впоследствие е установено, че хидрозапълнението не е достъчно устойчиво и са се образували освободени празни пространства в близост до рудничните дворове на работните хоризонти и вертикалната шахта.

Афльориментът на рудното тяло (на повърхността) преминава почти перпендикулярно на пътя за с. Върба и в недалечното минало, част от него е била компроментирана. Наблюдават се частични пропадания. В тази връзка са стабилизирани 20 броя репери и е създадена наблюдателна линия, извършена е и периодично се извършва прецизна геометрична нивелация.

На повърхността е изградена опорна мрежа от стълбове за принудително центриране, стабилизирани (монтирани) са марки по конструкцията на надшахтовата кула, както и на характерни места от административната сграда.



Фиг.6 - уч-к "Върба"- панорамен изглед към промплощадката

В участък "Крушев дол", прилаганите системи на разработване на рудните запаси в находището са две:

- Подетажно обрушаване;
- Камрено-стълбова система;
- В близост до главна извозна галерия на хор. 550 се намира отработено пространство с обем около 55 000 m<sup>3</sup>.
- Минните работи, които се водят извън контура на камерата, но също в близост до главна извозна галерия на х. 550, са предпоставка за наблюдение на евентуални движения. На изток от камера 6, експлоатацията е по метасоматично орудяване, наклона на пласта е с посока запад – изток, като системата на разработване предполага освобождаването на нови пространства.
- Рудното тяло, от жилен тип, със средна дебелина 2.5 3.0 m и наклон почти 100<sup>9</sup>, е на разстояние 25 m западно от галерията. Масивът е изграден от здрави скали - гнайси и амфибол-биотитови гнайси, но на 6 m източно от галерията преминава широтен разлом.





Фиг.7 - уч-к "Върба"-Надшахтова кула

За осигуряване безопасната експлоатация и охрана на капиталната изработка, са стабилизирани репери в параментите и горнището на галерията, и са осъществени първоначални наблюдения. Стабилизираните репери са в диапазон от 150 m, профилите са 18 броя, като 8 от тях са в зоната на потенциални премествания, а останалите извън нея. Предстоящо е запълването на камерата с остатъчен материал.





Фиг.7 - уч-к "Крушев дол"-ситуация Камера 6 и галерия 550



Фиг.8- Хвостохранилище "Рудозем -2" – ситуация

Хвостохранилище "Рудозем -2" е също част от обектите, подлежащи на планирания мониторинг. То е от намивен тип, изградено в коритото на Малка река, която е изведена с отбивен тунел. Има две

преградни стени – долна /ДПС/ и горна /ГПС/. Стените са каменно - насипни с глинено ядро.

- Долна преградна стена – е с височина 61 m, изградена е от руднична баластра с обемно тегло 2,4 t/m<sup>3</sup> Котата на короната на основната стена е 742 m, а дължината ѝ 230 m.

Отпадъкът постъпва в хвостохранилището като суспензия с плътност 1100-1200 g/l и плътност 15-20 %.



Предстоящо е доизграждането на КИС, която включва опорна мрежа от стълбове за принудително центриране, както и репери, стабилизирани на бермите на долна преградна стена. Контролирането на слягането на ДПС и хоризонталните измествания, се осъществява при спазване на действащата нормативна уредба. [2]



Фиг.9- Хвостохранилище "Рудозем -2" – изглед на ДПС - намивен тръбопровод

Ст. н. с. I ст, д-р инж. Г. Хрисчев, в труда си "Опазване на съоръженията и обектите от вредното влияние на подземните минни работи" [4] прави обзорен анализ на методите за иазследване на напукаността на скалите, както и факторите влияещи на процеса движение на скалите. Описва резултатите от извършени инструментални изследвания за движение на скалите при рудни находища и натрупания практически опит за опазване на подработваните съоръжения и обекти.

Инж. В. Върбанов разглежда темата за деформациите на вертикални шахти и безпасното изземване на запаси, блокирани в охранителните целици на шахти, сгради и промишлени площадки, в своя труд "Изследване влиянието на подземните минни работи за деформиране на вертикални шахти" [1]

И. А. Турчанинов изследва движението на скалите при разработване на стръмно западащи жили като посочва, че при малки дебелини и здрави вместващи скали, както и при прилагане на система със запълнение, могат с успех да се изземват запаси в предпазните целици. Особено внимание е обърнато на на изучаването на пукнатинната тектоника. [3]

### Изводи и препоръки

С напредването на минните работи и увеличаването дълбочината на разработване в находищата в "ГОРУБСО - Мадан", необходимостта от извършване на нови наблюдения и анализи нараства и е от първостепенна важност.

През годините усилията са били съсредоточени основно в проучване и експлоатация на доказаните запаси, както и разкриване на нови.

С промяната на подхода и минния модел, подети преди около 9 години, начините на изземване и транспорт на полезното изкопаемо са различни от предходните и дават възможност за доотработване на стари блокове и разкриване на нови, с по-голяма производителност и по-висока рентабилност.

Предвид новата идеология за добив на подземни богатства в находището, бързото образуване на големи празни пространства е предпоставка за наличие на премествания и активиране на процеса движение на скалите.

Съвременните методи за наблюдение и анализ на преместванията, както и своевременно взетите мерки, биха дали възможност за количествени оценки и набелязване на конкретни мероприятия за безопасна експлоатация и предотврятяване на аварии.



## Литература

- 1. Върбанов, В., Изследване влиянието на подземните минни работи за деформиране на вертикални шахти
- Инструкция за изследване на деформаците на сгради и съоръжения, чрез геодезически методи, Комитет по архитекктура и благоустройство- Главно управление по геодезия, картография и кадастър, 1980
- 3. Турчанинов, И. А., Основы механики горных пород
- 4. Хрисчев, Г., Опазване на съоръженията и обектите от вредното влияние на подземните минни работи
- 5. Цонков, Ал., М. Бегновска, Следене устойчивостта на скалния масив чрез маркшайдерски измервания при добив на оловно-цинкова руда за условията на р-к "Крушев дол", "ГОРУБСО МАДАН" АД, VIII Международна конференция по геомеханика, 2-6 юли, Варна, 2018 г.
- Цонков, Ал., М. Бегновска, Пайталов, С., Резултати и анализ на експериментални изследвания чрез маркшайдерски измервания за следене устойчивостта на стената на Хвостохранилище "ЛЪКИ – 2 ВРЕМЕННО" КЪМ "ЛЪКИ ИНВЕСТ" АД, IX Международна конференция по геомеханика, 7-11 септември, Варна, 2020 г.


# TOPIC C

Measuring in geomechanics. Remote methods. Monitoring

Измерване в геомеханиката. Дистанционни методи. Мониторинг

Измерение в геомеханике. Дистанционные методы. Мониторинг





# ПРОЕКТИРАНЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА

# ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ В РАЙОНА

НА "ОТКРИТ СКЛАД ЗА РУДА №1" НА РУДОДОБИВЕН КОМПЛЕКС НА "ЕЛАЦИТЕ-МЕД" АД

инж. Ив. Василев – i.vasilev@ellatzite-med.com; инж. И. Иванов – i.g.ivanov@ellatzite-med.com

#### РЕЗЮМЕ

Откритият рудник "Елаците" е най-големия меден рудник в България. Управлява се от "Елаците-Мед" АД, част от групата компании ГЕОТЕХМИН и е производител на медно-златен и молибденов концентрат.

Транспортът на натрошената руда от Рудодобивния комплекс до Флотационната фабрика се осъществява посредством ГТЛ през подземен тунел (с дължина 6345 m и наклон от 1,95%), свързващ двата комплекса. През 2021 г. "Елаците-Мед" АД стартира проект за разработване на автоматизирана система за мониторинг и изследване на деформационните процеси в района на "Открит склад за руда №1", разположен на входа на тунела. Фазите на проектиране и изграждане на системата бяха реализирани в рамките на 10 месеца и успешно завършиха през месец ноември 2021 г.

Настоящата публикация описва основните методи и решения, приложени при проектирането и изпълнението на проекта.

#### DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED SYSTEM

#### FOR INVESTIGATION OF DEFORMATION PROCESSES IN THE AREA

#### OF THE UNCOVERED ORE STOCKPILE №1 OF MINE COMPLEX "ELLATZITE-MED" AD

#### Iv. Vasilev, Dipl. Eng. - i.vasilev@ellatzite-med.com; I. Ivanov, Dipl. Eng. - i.g.ivanov@ellatzite-med.com

#### ABSTRACT

Ellatzite is the biggest open-pit copper mine in Bulgaria. It is operated by Ellatzite-Med AD, part of GEOTECHMIN industrial group, producer of copper-gold and molybdenum concentrate.

The transport of the crushed ore from the Mining Complex to the Flotation Complex is carried out by means of a conveyor belt through an underground tunnel (6345 m long and a slope of 1.95%) connecting the two complexes. In 2021 Ellatzite-Med AD has launched a project for the development of an automated system for monitoring and research of the deformation processes in the area of Ore Depot №1 located at the entrance of the tunnel. The phases of design and construction of the system were realized within 10 months and were successfully completed in November 2021.

This publication describes the main methods and solutions applied in the design and implementation of the project.

#### <u>Въведение</u>

В северната част на Рудодобивен комплекс "Елаците" е изградено сложно промишлено съоръжение "Открит склад № 1" с предназначение - складиране и транспорт на добитата от рудник "Елаците" руда до обогатителната фабрика в с. Мирково. След добиването на рудите в рудника те се транспортират посредством автотранспорт до корпусите за едро трошене (КЕТ №1 и КЕТ №3), където се натрошават и складират в открития склад. Самото съоръжение се намира под материала на склада. В него са монтирани металната конструкция на задвижващата станция (естакада, количка и двигатели) и



натежната станция (опъвателното устройство) на гумено-лентов конвейер, с който през подземен транспортен тунел (с 6345 m дължина, 1,95 % наклон и денивелация между входа и изхода от 123,2 m) натрошената руда се транспортира до "Открит склад №2" за по-нататъшна преработка в обогатителната фабрика. В съоръжението се намират и седем лодкови (вибро) питатели, посредством които материалът от склада се подава на лентата.

Производителността на ГТЛ-а при работа с четири питателя е около 2800 t/h, което дава възможност съоръжението да работи на трисменен режим, като две от смените са за производство и една за поддръжка. Това напълно осигурява изпълнението на годишната производствена програма на РК "Елаците".

Проектът за "Открит склад №1" е изготвен от КНИППИ "НИПРОРУДА" през 1977 г. по възлагане на ДСО "Цветна Металургия". Строителството на съоръжението започва през 1978 г. и завършва през 1981 г. Още през същата година съоръжението започва своята работа, като през него преминават (с цел тест на съоръженията и настройка на флотационната фабрика) около 1000 t руда.

До въвеждането в експлоатация на автоматизираната система за мониторинг стабилитетът на съоръженията се контролираше с извършването на периодични геодезични измервания от специалисти на фирма "Геокадмин" ЕООД, съгласно специално изготвен за целта през 2013 г. проект за Изследване на деформациите на съоръженията: стоманобетонна сграда под открит склад №1 на вход тунел за транспорт на руда при РК "Елаците" и естакадите на вход и изход тунел при открити складове №1 и №2, съгласно който:

- измерванията за установяване наличието на хоризонтални премествания са извършвани по Метод на оптични створове с измерване на паралактични (малки) ъгли,
- а за вертикалните премествания по Метод на прецизна геометрична нивелация I клас (съгласно точка 2 от раздел 4 на "Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи" - издадена от Комитет по архитектура и благоустройство - Главно управление по геодезия, картография и кадастър през 1980 г.).

#### Конструкция на съоръжението

Съоръжението представлява 3-етажна стоманобетонна сграда, изградена на десния склон на дерето на р. Елашка, пред входа на транспортния тунел. Сградата е построена върху 11 двойки колони с Тобразно сечение, фундирани на стръмен скат със значителни разлики в теренните коти. Разликата в котите на терена при двата фундамента за всяка двойка колони, напречно на дългата ос на сградата, е до 9 m. Фундаментите на колоните са единични, като всяка двойка е фундирана на едно ниво. При някои случаи, двата фундамента са обединени в обща основа. За осигуряване на дълбочината на фундиране на долния фундамент, на някои места, той е изпълнен като стъпаловиден.

Конструкцията на сградата представлява рамка с широчина 7,50 m, височина от 8,80 m и с осово разстояние между колоните 6,30 m. В надлъжна посока рамките са фундирани на различни коти. Няма данни за изпълнени деформационни фуги по дългата страна на съоръжението. Възлите в рамката са "корави". Носещата конструкция на сградата е решена като непрекъсната греда със сечение 1,1 x 4,7 m. Конструкцията на съоръжението е оразмерена за равномерен вертикален и хоризонтален двустранен земен натиск от симетрично насипан скален конус на открития склад.

С цел отвеждането на водите на р. Елашка през "Открит склад №1" в основата на съоръжението, по оста на дерето на реката (преминавайки между колоните), е изграден покрит водосток с овоидален профил, светло сечение 3 m и дължина от 370 m. Над "втока" на водостока е изградена баражна стоманобетонна стена с височина 8,20 m и дължина 28 m. Сечението на стената е с размери 1 x 1,70 m, а фундамента 4,10 x 1,20 m. На "короната" на стената е изграден трапецовиден преливник с размери 7 x 4 x 1 m.

Откъм страната на склона, зад сградата, е изградена ъглова стоманобетонна стена с височина от 12 m и дължина от 20 m, като за избягване на задържането на скатни води в нея са изпълнени барбакани.

За усилване на противодействието на земния натиск откъм ниската страна на купа на открития склад е изградена допълнителна гравитачна стоманобетонна подпорна стена с дължина от 80 m и височина 7 m.



В северната част на дерето на р. Елашка е изграден контрафорсен насип, който е насипан до котата на съоръжението. В насипа са оформени 3 площадки (берми). По най-високата преминава ведомствен асфалтов път. Източният и западният склон на дерето са обрасли с широколистна гора и са пресечени от черни пътища. Част от западният склон е засипан от външното насипище на рудника. В южната част на източния склон е разположена сградата на КЕТ №1 и неговата естакада, от която се насипва рудата на купа на рудния склад. Южно от този куп се намира висок откос на скален насип, върху който преминава основен технологичен рудничен път. Южно от него е разположен котлована на рудника.

#### Избор на специализирани инструменти и софтуер за реализация на мониторинговата система

Техническите средства за специализирани геодезически и геотехнически измервания постоянно се модернизират и автоматизират. За целите на проекта е извършен анализ на световния опит при провеждане на подобен мониторинг. Проучени бяха наличните на пазара специализирани измервателни инструменти и апаратури специално създадени за изследване на деформации. На базата на направените проучвания бяха избрани следните инструменти:



1. GNSS приемник Trimble NetR9 Ti-3, работещ с 440 канала и с възможност да проследява 88 сателита едновременно, обработвайки сигнали от GPS (L1/L2e/L2C) и ГЛОНАСС (L1P/L2P). Този модел осигурява най-високите точности, които могат да се постигнат с GNSS приемник (3 mm+0,1 ppm в хоризонтално положение и 3,5 mm+0,4 ppm във вертикално положение). Антената на приемника е Trimble Zephyr Geodetic 2 притежава Stealth технология за елиминиране на отразени сигнали и е специално създадена за мониторингови приложения. (фиг. №1);

Фиг. №1

2. Автоматизирана тотална станция Trimble S9 1" (фиг. №2) AutoLock DR HP Long Range FineLock, осигуряваща точности от: 1" за ъглови измервания, 1 mm + 2 ppm x D за измерване на разстояние;



Фиг. №2



Фиг. №3

3. Дълбочинни геотехнически сензори (фиг. №3), монтирани в специални мониторингови сондажи, разположени по бермите на контрафорсния насип;



4. 3a **УПРАВЛЕНИЕТО** системата на за мониторинг, обработката И анализа на резултатите от измерванията в реално време се използва специализирания софтуер Trimble 4D Control. Това е мощна съвременна софтуерна платформа за автоматизиран мониторинг, която **управлява** анализира геодезически И измервания в реално време. Характерно за нея е, че позволява съвместна обработка и интерпретация на данни, получени от различни видове геодезически инструменти, съвместно с повече от 20 вида геотехнически инструменти. Това на практика разширява възможностите за събиране на данни и получаването на понадеждна и по-достоверна информация за деформационните тенденции на обекта.



Основните компоненти на Trimble 4D Control са (фиг. №4):

- T4D Control Server организира събирането, обработката и съхранението на данните (в SQL среда), постъпващи от всички видове сензори, дефиниране, конфигуриране и настройка на сензорите;
- T4D Web уеб базирана платформа за отдалечен достъп, в която се визуализират и анализират данните, наблюдават се измерванията и нивата на алармите.

#### Компоненти на системата за мониторинг

Автоматизираната система за мониторинг на "Открит склад №1" включва следните компоненти:

- 1 бр. наблюдателна станция роботизирана тотална станция, монтирана в защитна кабина. Кабината е допълнително оборудвана с GNSS приемник Trimble NetR9 (за собствен контрол), устройство за управление на измерванията и съхранение на данните Settop M1 и Wi-Fi комуникационнен модул. Предвидено е и постоянно електрическо и аварийно автономно захранване с акумулаторни батерии;
- 3 бр. контролни точки;
- 50 бр. наблюдателни точки (репери) с отражателни призми, разположени по бермите на контрафорсния насип, колоните на стоманобетонната сграда на "Вход тунел" и гравитачните подпорни стени;
- 3 бр. вертикални наблюдателни сондажи по бермите на контрафорсния насип с монтирани в тях пиезометри, отчитащи изменението на свободното водно ниво в насипа и инклинометрични обсадни тръби за измерване на премествания и изкривявания по сондажния ствол.

Монтираните в сондажите сензори се свързват посредством кабел към индивидуални измерващи устройства Loadsensing LS-G6 Vibrating Wire Node (Datalogger-и) с радио антени, монтирани на устието на всеки един сондаж. Тоталната станция, GNSS приемника и радио модулите предават получените данни до събирателен модул – LoRa Gateway, а от него по локалната LAN-мрежа – данните да постъпват в сървър за SQL база данни и компютърни работни станции за анализ.

#### Метод на геодезическите измервания

За измерванията с цел определяне на преместванията на мониторинговите репери е избран полярният метод (чрез периодично определяне на 3D координатите на реперите, посредством измерване на ъгъл и дължина с тотална станция). Този метод е най-подходящият, тъй като е дистанционен – не е необходимо присъствието на хора при работните репери и от една станция се измерват голям брой мониторингови репери.



Проекциите на вектора на преместване на наблюдаваната точка се намират от измерванията във времената t и t-1, съгласно формула 1:

$$\Delta X_{t,t-1} = X_{t-1} - X_{t}, \Delta Y_{t,t-1} = Y_{t-1} - Y_{t}, \Delta H_{t,t-1} = H_{t-1} - H_{t}.$$
(1)

Оттук се намират хоризонталният вектор на преместване

$$\Delta S = \sqrt{\Delta X_{t,t-1}^{2} + \Delta Y_{t,t-1}^{2}}$$
и посоката и наклонът на движение
$$\Delta Y_{t,t-1}$$
(2)

$$\alpha_{\Delta} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta \mathbf{I}_{t,t-1}}{\Delta \mathbf{X}_{t,t-1}},\tag{3}$$

$$i_{\Delta} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta H_{t,t-1}}{\Delta S}.$$
(4)

По формула 5 може да се определи и т.нар. "пълен" вектор на преместване

$$\Delta S' = \sqrt{\Delta X_{t,t-1}^2 + \Delta Y_{t,t-1}^2 + \Delta H_{t,t-1}^2}.$$
(5)

#### Технологията на геодезическата автоматизирана система

#### Опорна мрежа

Опорната мрежа на автоматизираната наблюдателна система се състои от три съществуващи контролни точки, които са част от построените изходни точки от опорната мрежа на проекта за изследване на деформациите на съоръженията: стоманобетонна сграда под открит склад №1 на вход тунел за транспорт на руда при РК "Елаците" и естакадите на вход и изход тунел при открити складове №1 и №2. Тези точки са с номера I21, I31 и I41. За настоящия проект те служат както за контролни и ориентирни точки, така и за контролни точки за директно изчисляване на поправките на измерените дължини към мониторинговите репери, посредством еталонни разстояния от станцията до тях.

Проверката на неподвижността на контролните точки и станцията се прави автоматично всеки път преди да започне поредния цикъл на измерване на мониторинговите репери. Тоталната станция проверява ориентацията си, като прави измервания към контролните точки. Задачата за проверка на ориентацията, която се решава в софтуера, е известна като "абрис на станцията".

#### Разположение на точките от геодезическата мониторингова система

За реализиране на мониторинговата система е избрана следната геометрична схема:

- Станция стълб за принудително центриране на тотална станция на него се монтира автоматизирана тотална станция Trimble S9, която измерва координатите на мониторинговите репери.
- Контролни точки за контролни и ориентирни точки ще бъдат използвани три от точките от опорната мрежа, построена за проекта за Изследване на деформациите на съоръженията: стоманобетонна сграда под открит склад №1 на вход тунел за транспорт на руда при РК "Елаците" и естакадите на вход и изход тунел при открити складове №1 и №2.
- Мониторингови репери стабилизират се на съответните места в бермите на контра насипа и в стените на съоръженията. На всеки репер е предвидено да се монтира отражателна призма, която е насочена към станцията.

#### Технология на автоматизираните геодезически измервания

Технологията на определяне на преместванията на мониторинговите репери е реализирана при висока степен на автоматизация (т.нар. "георобот"). Проектирана е една станция, като от неподвижната изходна точка - станция и три контролни точки се определят 3D координатите на мониторинговите



#### репери.

В програмата са заложени, като известни, точните координати на изходните точки и приблизителните координати на мониторинговите репери. Тоталната станция се ориентира към изходните точки и след това извършва последователно "сканиране" на мониторинговите репери. Точното насочване се извършва автоматично, посредством технологията Long Range FineLock. Получените резултати се обработват в реално време.

Циклите от измервания към мониторинговите репери се извършват автоматизирано през определен период от време.

#### Автоматизирана тотална станция - технически характеристики

За автоматизираните измервания е избран модерен съвременен геодезически инструмент автоматизирана тотална станция Trimble S9 1" Autolock, DR Plus, Long Range Finelock, който е сред найпрецизните инструменти на пазара. Този инструмент осигурява ъглова точност от 1" и измерва разстояния с точност от 1 mm + 2 ppm x D. Чрез технологията Long Range FineLock тоталната станция открива и прецизно прихваща призми на разстояние от 2500 m с изключително висока точност < 1 mm на 300 m. Технологията на автоматизирано задвижване чрез електромагнитна индукция – MagDrive, позволява изключително бързо позициониране в целта със скорост от 115° в секунда. Същата технология намалява до минимум износването на частите на тоталната станция, защото при нея не съществува триене на механичните части. Тези предимства позволяват надеждна работа в тежки условия.

#### Мониторингови репери - конструкция

Изградени са общо 55 бр. мониторингови репери, които са здраво стабилизирани на бермите на контрафорсния насип и стоманобетонената конструкция на съоръжението, и са трайно сигнализирани с монтирани на тях отражателни призми, насочени към станцията.

Те са следните видове:

- 15 бр. репери, които се стабилизират по бермите на контра насипа (*фиг. №*5);
- 40 бр. репери, които се стабилизират в стоманобетонните колони на сградата на вход тунел, подпорните стени и естакадата на КЕТ №1.

#### Точност на измерванията



Фиг. №5.

Въпреки споменатите предимства на съвременните геодезически инструменти, съществуват редица фактори, които влияят негативно върху точността на измерванията. Точността на ъгловите измервания се влошава вследствие на хоризонталната и вертикалната рефракция на визирния лъч. Върху точността на измерване на разстояния отрицателно влияние оказва промяната на атмосферните условия. Затова, за да се сведе до минимум това влияние, задължително преди всяко измерване, автоматично се измерват моментните стойности на температурата на въздуха и атмосферното налягане. Тези стойности постъпват в софтуера, вследствие на което автоматично се изчисляват корекциите на измереното разстояние (ppm). Разбира се върху точността на определените координати на реперите влияе и точността на определяне на координатите на станциите и ориентирните точки.

В този проект конфигурацията на наблюдаваните съоръжения и терена позволяват използването на предвидения в софтуера T4D Control метод за директно изчисляване на поправките на измерените разстояния. Поправките се получават от сравнение на измерени в момента разстояния до стабилни точки с предварително известни еталонни разстояния до тези точки, т.к. контролните точки са разположени на стабилни места и са ситуирани в зоните на мониторинговите точки.

Практическите резултати при използването на този метод показват, че средната квадратна грешка, с



която се намира положението на наблюдаваните репери на разстояние до 300 m е до ± 2 mm.

#### Някои подходи и решения при проектирането

Основно изискване при изграждането на системата бе да бъдат отчетени факторите, оказващи влияние за протичане на деформационните процеси. При разполагането на мониторинговите репери бяха съобразени следните фактори: конструкцията на съоръжението; геометрията на бермите на контрафорсния насип; оводнеността на различните геоложки формации; наличието на геотехнически тела от скали с по-слаби физико-механични показатели и др.

#### Избор на местоположението на наблюдателните станции и контролните точки

При избора на местата за елементите от опорната мрежа и мониторинговата станция бе задължително да бъдат спазени следните основни изисквания:

- Да са разположени на устойчиви площадки (извън зоните на очаквани деформации);
- Площадката за станцията да се избере така, че да има най-добра видимост към цялото съоръжение и да е лесно достъпна, за да може нормално да се обслужва и охранява.

Тези изисквания наложиха извършването на подробно геодезическо заснемане на терена и създаването на (с помощта на програмния продукти AutoCad Civil 3D) актуален цифров 3D модел на релефа на естествения терен и релефа на контра насипа. Нанесени са съоръженията – сграда, подпорна стена, включително и всички съществуващи повърхностни и подземни проводи и комуникации.

Цифровият модел е допълнен с елементи от въздушна фотограметрична снимка с безпилотен самолет.

Моделът е използван за проектирането на местоположението на станцията и мониторинговите репери.

#### Защита на тоталната станция от влиянието на лоши атмосферни условия

За надеждната работа на тоталната станция при тежките атмосферни и технологични условия на обекта, които влияят неблагоприятно на прецизните измервания: силен вятър, дъжд, снеговалеж, обледявяне, директни силни слънчеви лъчи, тя е монтирана в защитна кабина, представляваща контейнер с изолация, с външни размери 1,5 х 1,5 m и височина – 2,40 m. Широчината на стъклото, през което тоталната станция извършва измерванията, е 120 cm. Дебелина му е 3 mm.

#### Контрол на неподвижността на наблюдателната станция

Избраното място на станцията е с видимо стабилно моментно състояние. Но въпреки това, тя не е извън теоретичната зона на предполагаемите деформации и не може да бъде абсолютно гарантирана нейната неподвижност в бъдещи периоди от време. Затова неподвижността на наблюдателната станция се проверява независимо с прецизни GNSS измервания посредством GNSS приемник Trmble NET R9 с антена, стабилизиран на същия фундамент. Координатите на GNSS антената се изчисляват на всеки кръгъл час от референтна станция, намираща се на покрива на сграда в РК.

#### Ориентиране на визирната ос

Ориентирането на осите на предпазната кабина (а с тях и на тоталната станция) е направено като са спазени следните условия:

- Обхващането на възможно най-големи площи за изследване, съобразно ъглите на обхват и видимостта на инструмента спрямо фактическото и проектното положение на стъпалата на контра насипа и сградата;
- Видимостта на тоталната станция към изходните точки и мониторинговите репери;
- Определяне на невидимите зони на тоталната станция.

За целта с помощта на софтуерния продукт Global Mapper са създадени 3D модели на терена. Определена е "невидимата" зона на инструмента и площите на максимално покритие.



Всички изброени компоненти на системата са подробно описани в съответните части на работния проект и са трасирани прецизно на терена, съгласно геодезическия трасировъчен план.

#### Проверка на възможностите за прецизни измервания през стъкло

Ориентирането на стъклото на предпазната кабина (и самата кабина) в хоризонтално и вертикално положение е съобразено с:

- Видимостта към контролните точки и мониторинговите репери;
- Максималният ъгъл на визиране през стъклото.

Изчислено е положението на т.н. "сляпо петно", което се получава вследствие на отражението на обектива на тоталната станция при перпендикулярно положение на визирната ос на тръбата на тоталната станция и стъклото.

Проверката на оптичното качество на стъклената витрина бе извършена предварително, чрез тестове с наблюдение на цели на различни дистанции. Направените тестове показаха, че за да бъде осигурена необходимата прецизност на измерванията трябва да бъдат спазени следните условия:

- В хоризонтална посока ъгълът на визирното поле, през един прозорец, е ± 55°;
- Допустимото разстояние от централната ос на инструмента до стъклото, при хоризонтален ъгъл на обхвата на инструмента 100 gon, е от 0,15 m до 0,5 m.
- Допустимият вертикален ъгъл α е с наклон 10°.



Фиг. №6. Вертикално визирно поле на Тоталната станция

Когато визирната ос на тоталната станция попадне перпендикулярно на стъклото се получава обратно отражение в обектива на инструмента, при което е невъзможно извършването на измерване. Образува се т.н. "сляпо петно", изобразено на Фиг. №6, на която са отбелязани: хоризонтално разстояние до стъклото (d) и ъгъл на наклона на стъклото (α). Затова стъклото е ориентирано спрямо тоталната станция така, че проекцията на "сляпото петно" да не попада на важни за наблюдение места. Също така е избегнато поставянето на мониторингови репери в този район.

#### Заключение

Автоматизираната мониторингова система за изследване на деформации в района на "Открит склад за руда №1" на РК "Елаците" притежава своята уникалност с оглед на някои практически решения при проектирането и изпълнението й, и напълно отговаря на поставените цели за извършване на автоматизиран мониторинг на съоръженията.

Подходящото съвместно използване на комбинация от геодезически и геотехнически инструменти е ефективен подход за надежден мониторинг на нестабилни и потенциално опасни райони. Данните от уредите имат първостепенно значение при получаване на информация относно локализиране на дълбочината и формата на евентуалната повърхнина на разрушение, разпределението на процесите в дълбочина и скоростта на движението на земните материали. По този начин успоредно с деформациите, регистрирани на повърхността се придобива и информация за механизма на разрушение, разпределението на деформационните процеси в дълбочина на масива, което спомага за по-пълния и качествен анализ на скоростите и посоките на преместване на материалите, определянето на обема на движещата се скална маса и др.

Ефективното й функциониране дава възможност за изпреварващи действия от страна на ръководния персонал, свързан с управлението на минните дейности, стабилитета на съоръжението, безопасната и



безаварийна работа на хора и техника.

Изключително важно е дейностите, свързани с управление на устойчивостта на подобни съоръжения, да се изпълняват по предварително разработени схема и програма. Разбира се, не на последно място, това управление трябва да се осъществява от екип от високо квалифицирани специалисти.

#### Използвана литература

- 1. М. Маждраков, Д. Бенов и Г. Трапов. CADMin. Автоматизирано планиране на развитието на минните работи в откритите рудници.
- 2. **И. Иванов, Ив. Василев**. Проект за автоматизиран мониторинг на масива около сградата на открит склад №1.



# СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПУКАНОСТТА НА МАСИВА В КАРИЕРА ЗА ДОБИВ НА РИОЛИТ

#### доц. д-р Евгения Александрова, МГУ "Св. Иван Рилски", e.aleksandrova@mgu.bg ас. Димитър Кайков, МГУ "Св. Иван Рилски", dimitar.kaykov@mgu.bg ас. Данаил Терзийски, МГУ "Св. Иван Рилски", d.terziyski@mgu.bg маг. инж. Надежда Стойчева, МГУ "Св. Иван Рилски", n.stoycheva@mgu.bg

#### ABSTRACT

The investigation of the orientation of structural discontinuities is of primary importance for a quarrying operation, regarding dimension stones mining. A study was conducted in a rhyolite quarry to verify whether the application of digital photogrammetry is viable in the cases of dimension stone mining, compared to the use of conventional laser scanning techniques. The obtained results show that digital photogrammetry based on photos made with a smartphone provide a cheap way for establishing a database of the orientation of joint planes, as well as an approximate way of establishing a mesh of the mined bench, compared to laser scanning.

#### РЕЗЮМЕ

Съвременните технологии при добива на скално-облицовъчни материали имат за цел реализирането на висока производителност и необходимото качество на продукцията. От основно значение е да бъдат изследвани структурните нарушения на масива съобразно качеството на скалните блокове. Направен е сравнителен анализ между резултатите, получени от заснемането на структурните нарушения в масива посредством геоложко картиране, заснемане с гео-радар (ground penetrating radar – GPR) и посредством фотограметрия. Получените резултати са предпоставка за обосноваване на възможностите за повишаване на рандемана при съвременния добив на риолит. Освен това резултатите могат да послужат и за обосновка на подходящ метод на изследване и геомеханичен мониторинг на други инженерни обекти.

#### <u>Въведение</u>

При добива на скално-облицовъчни материали структурната нарушеност на скалния масив е важно да бъде изследвана с цел определяне на подходяща посока на развитие на минните работи, както и за получаването на прогнозна оценка на рандемана на скални блокове. Нейното изучаване е продължителен процес, в резултат на което се натрупва голям обем данни, необходим за извършването на по-точна оценка при развитието на кариерата. На тази база, данните, описващи структурната нарушеност на масива дават възможност да се представят пространствено системите пукнатини, които непосредствено засягат добива на скални блокове (И. Копрев, Е. Александрова, 2008). През последното десетилетие използването на техники за дистанционно наблюдение при инженерните анализи на откоси се е увеличило значително. Това от своя страна дава възможност за заимстване на съществуващия опит и прилагането му за нуждите на добива на скално-облицовъчни материали и подобряване на оценката на структурната нарушеност на масива..

#### Място на проведеното изследване

Кариера "Казаните-1" е разположена на северния склон на централния дял на Родопите, в близост до с. Дебращица, Пазарджик. Добиваната суровина е олигоценски риолит за скалноолбицовъчни, строителни и монументални цели. Риолитът от находището се характеризира със сферично изветряне, флуидна текстура и розов до сиво-розов цвят. Обемната плътност на материала е в границите от 2,60 до 2,62 t/m<sup>3</sup>, а якостта на натиск варира между 97 и 175 MPa. Характерна



особеност за находището е, че то е ситуирано в рамките на голямо срутище с риолитни валуни с размер в порядъка на 2 ÷ 3 m<sup>3</sup> до 10 m<sup>3</sup> (Н. Стойчева и др., 2021). Първичното отделяне на скалните късове става по пробивно-клинов метод, а след отделянето им посредством багер от масива, те се разделят на по-малки скални блокове посредством бързоразширяващи се химически смеси. Транспортният достъп до кариерата е силно затруднен, което води до малката производителност на кариерата. Климатичните особености на района също допринасят до по-ниска производителност, като освен това, те ограничават и възможностите за прилагане на някои от по-съвременните методи за добив на скални блокове посредством диамантено-въжени резачки или верижни каменорезни машини. Тези фактори са предпоставка за използването на нископроизводителни, но евтини методи за добива на скални блокове. Това от своя страна се отразява върху по-ниския рандеман, поради технологичните загуби, получени при добива на блокове посредством бързоразширяващите се смеси или при отделянето на блоковете от масива с еднокофов багер (И. Копрев, 2016). По този начин са налични предпоставки за намаляване на рандемана на скални блокове, а оттук и негативни икономически последици. За да се повиши качеството на продукцията са необходими съвременни методи за осигуряване на необходимата информация при водене на минните работи в кариерата по възможно най-рационален начин. Именно поради тази причина се налага на първо място да се изследва структурната нарушеност на масива.

#### Изследване на структурната нарушеност на масива

Изучаването на структурната нарушеност на масива се извършва чрез масово замерване на пукнатини чрез използване на геоложки компас и ролетка или чрез полу-автоматизирано замерване на ориентацията на пукнатините по дигитален метод. Започвайки от приетата начална точка по измервателната линия, с помощта на геоложки компас се регистрират пукнатините последователно, пресичащи измерителната линия. Показателите, характеризиращи пространственото положение на пукнатините, се установяват с компас, с който се измерват параметрите: ъгъл на западане (Dip), посока на западане (Dip Direction), посока на простиране (Strike). Известно е, че между посоката на западане и посоката на простиране на дадена изследвана пукнатина съществува разлика ± 90°. За целите на настоящото изследване са използвани показателите ъгъл на западане и посока на западане. При масовото измерване на пукнатините се цели да се установи броят на системите пукнатини, тяхната ориентация и оценка на състоянието им (В. Балев и др., 2021). При полу-автоматизираното измерване по дигитален метод се използва облак от точки, който позволява създаването на мрежа от множество малки повърхнини с дадена ориентация, съответстваща на тази на равнината на пукнатината (J. Mah et al., 2011; M. Francioni et al., 2019).

Система пукнатини в скалната механика се счита за група повтарящи се пукнатини с очевидно успоредни или близко до успоредните направления и ъгли на западане. Пукнатини с друга ориентация, които не принадлежат към някоя от установените системите е прието да се наричат случайни (В. Балев и др., 2021). При наличието на три и повече системи пукнатини, в масива се оформя елементарен структурен блок, който за целите на добива на скално-облицовъчни материали служи като индикатор за обема и формата на потенциално добиваните скални блокове. Формата, размерите и ориентацията в пространството на структурния блок влияят върху рандемана на базата на обема на структурния блок и неговата форма (И. Копрев, 2016). Освен това естествената блоковост оказва влияние и върху избора на геометричните параметри на системата на разработване: височина на стъпалото, дължина на фронта на работа, както и геометричните размери на ламелата, отделяна от масива.

В триизмерната блокова структура на масива степента на нарушаване на вместващите скали също е силно зависима от броя на системите пукнатини. За да се определи броят на системите пукнатини в даден участък, е необходимо да се извърши масово замерване и да се установят параметрите на голям брой пукнатини. При заснемането на скални откоси се счита, че около 50 броя пукнатини са достатъчни за целта, а при различни петрографски типове, формиращи скалните откоси и твърде различаваща се ориентация те могат да бъдат и значително повече (В. Балев и др., 2021). Броят на системите обикновено е пропорционален на големината на картираните площи.



Таблица 1

Определените системи се номерират по реда на тяхното значение. По този начин се отделят системните от случайните пукнатини за изследван участък. При изследването на структурната нарушеност на отделен откос в кариера за скално-облицовъчни материали, броят на видимите пукнатини се очаква да бъде значително по-малък и поради тази причина се изхожда от постановката, че е необходимо картирането на всяка от тях с цел изследване на геометричните характеристики на структурния блок. Именно поради малкия брой на видимите пукнатини, при добива на скално-облицовъчни материали може да се изходи от гледната точка на друг показател, а именно тяхната сумарна дължина за изследвана площ. На тази база е изведен като показател - *площен коефициент на напуканост*, който според Б. Петров (1994) може да се интерпретира като показател, даващ информация за максималния размер на блоковете в масива (табл. 1).

				,
Група по напуканост	Степен на напуканост	Характеристика на блоковостта	Относителна напуканост, ΣI/S, m/m²	Максимален размер на блоковете в масива, m <sup>3</sup>
1	Разрушени	Раздробени	16	0,25
2	Много силно напукани	Твърде	16 ÷ 12	0,5
		дребноблокови		
3	Силно напукани	Средноблокови	12 ÷ 9	0,75
4	Средно напукани	Средноблокови	9 ÷ 6	1,0
5	Слабо напукани	Едроблокови	6 ÷ 2	2,0
6	Много слабо напукани	Твърде	2 ÷ 0,5	10,0
		едроблокови		
7	Ненапукани	Монолитни	< 0,5	> 10,0

Представените стойности в таблицата служат за текуща оценка за състоянието на добивания участък или кариерата. Тя може да послужи както за планиране на работата в кариерата, така и при избора на подходяща форма на ламелата. Именно при добива на скално-облицовъчни материали от гледна точка на изследване на структурните нарушения на масива от най-съществено значение са изследването на ориентацията на индивидуалните пукнатини в системите, които те формират както и разстоянието, и дължината на пукнатините. За тази цел в настоящия материал е направено изследване, целящо да съпостави резултатите, получени от физическо картиране на пукнатините и картирането им посредством два дигитални тримерни модела, получени на базата на лазерно сканиране и фотограметрично заснемане със смартфон.

#### Приложение на техники за дистанционно наблюдение на откоси

През последните 10 години техниките на лазерно сканиране и цифрова фотограметрия са обект на изследване от много автори (М. Francioni et al., 2015; Spreafico, M.C,.2017; М. Francioni et al., 2019; М. Begnovska, 2019; V. Gospodinova, 2019; K. Stereva, 2020). Лазерното сканиране е мощна техника за заснемане, която позволява бързото създаване на 3D модели на скални откоси с много висока точност (К. Stereva, 2020). Към настоящия момент тази техника е още по-привлекателна, с възможността за използване ѝ за проучвания на дълги разстояния (до 6 km). Освен това при използването на специализирани летателни апарати позволяват приложението на тази техника по време на полет, като например при хеликоптери, самолети и безпилотни летателни апарати (UAV). Това дава възможност на заснемането на голяма надморска височина и/или на труднодостъпни стръмни склонове с висока разделителна способност (М. Francioni et al., 2019). Въпреки това е важно да се отбележи, че едно от основните ограничения при приложението на лазерното сканиране остава високата цена на оборудването.

При цифровата фотограметрия се получава 3D модел на обекти с помощта на цифрови камери. Тези методи са засегнати от редица автори като J. S. Birch (2006) и M. Francioni et al. (2018), а тяхното практическо приложение в инженерната дейност при изследване на скални откоси също е изследвано



от М. Sturzenegger и Stead (2009). Подобно на лазерното сканиране, цифровата фотограметрия може да бъде извършена чрез заснемане от различни видове платформи, като хеликоптер, самолет, UAV и в по-редки случаи от оператор. М. Francioni et al. (2018) подчертават, че наземната цифрова фотограметрия, базирана на ръчно извършени заснемания от статив представлява най-лесният и найевтиният метод от изброените. Ограниченията свързани с този метод, е възможното наличие на "дупки" (нулеви данни) в облака от точки в случаите на много високи откоси. Това ограничение може да бъде преодоляно с помощта на някои от изброените платформи, напр. с UAV, но разходите и сложността на проучването могат да се увеличат. При използването на ръчна камера, цената на цифровата фотограметрия е много ниска и качеството на резултата е свързана главно с разделителната способност и качеството на камерата.

Освен професионалните цифрови фотоапарати, неконвенционален, но все по-използван метод на заснемане е посредством смартфон. Методът е намерил успешно приложение при картирането на скални откоси от M. Francioni et al. (2019) и J. Matsimbe (2021). M. Francioni et al. (2019) считат, че използването на цифровата фотограметрия е мощен метод, чрез който могат да се създават тримерни модели на скални откоси без необходимост от тотална станция/GPS, като същевременно се цели да не се намали прецизността и възможните приложения на предложения метод. Проучването включва използването три начина на заснемане: 1) използване на калибриран цифров фотоапарат, 2) на некалибриран цифров фотоапарат и 3) два модела смартфона. Авторите разработват и апробират предложените методи, като считат, че най-точни резултати се получават посредством калибриран фотоапарат. Съществуват минимални разлики при некалибрирания фотоапарат. В определени случаи точността на използването на смартфон се доближава до тази на калибриран и некалибриран фотоапарат, като тя зависи от модела смартфон. Необходимо е да се спомене, че точността на и на трите метода намалява в зависимост от отдалечеността на точките от избраните референтни точки. Въпреки това за целите на изследване на структурната нарушеност на масива използването на трите метода се оказва перспективно заради близката им точност до резултати, получавани от лазерно сканиране. Именно това прави перспективно неговото приложение при изследването на структурната нарушеност на кариера "Казаните-1". Следователно основната цел на изследването е да се изследва точността на оценката на ориентацията на изследваните пукнатини и да се определи перспективата на приложението на смартфон в условията на добив на скално-облицовъчни материали за създаването на база данни и увеличаване на рандемана на добиваните скални блокове.

#### <u>Резултати</u>

В границите на изследвания откос на работното стъпало е идентифицирана една система, като основните пукнатини, принадлежащи към нея са номерирани, както е показано на Фигура 1.



Фигура 1. Изследван откос на работното стъпало на кариера "Казаните-1"

Наблюдаваните пукнатини са отворени с широчина, варираща от 3 до 15 mm, като според външните белези могат да бъдат категоризирани като равнинни и с гладък профил. Изследваното стъпало на кариерата попада в група 6 от Таблица 1 – Много слабо напукани, което е предпоставка за воденето на минни работи, но не и за поддържането на висок рандеман.



На базата на лазерно и фотограметрично заснемане са получени два тримерни модела на изследваното стъпало. Чрез прилагането на двата метода са получени два облака от пространствени точки, носещи информация за позицията на дадена елементарна част от масива. Илюстрация на двата облака от точки може да се види на Фигура 2. Заснемането с лазер е извършено посредством модел Stonex x300. Фотограметричното заснемане се базира на снимки, направени успоредно на откоса (на разстояние 4 m) с равномерно застъпване по цялата му дължина. Характеристиките на камерата на използвания смартфон са: Quad camera (64 MP, f/1.9, 26mm (wide), 1/1.72", 0.8 $\mu$ m, PDAF; 8 MP, f/2.2, 119° (ultrawide), 1/4.0", 1.12 $\mu$ m; 5 MP, f/2.4, (macro), AF; 2 MP, f/2.4, (depth). Фокусното разстояния за камерата е 5 mm. Хоризонталната разделителна способност на получените изображения е 72 dpi, а резолюцията им е 3472 x 4640 px.



Фигура 2. Облак от точки получен от лазерно сканиране (ляво) и цифрова фотограметрия посредством снимки от смартфон (дясно)

Фотограметричният модел е създаден със софтуерният продукт Agisoft Metashape, който е получен от лазерното заснемане на ориентацията на четирите водещи пукнатини на изследвания откос на работното стъпало. Едновременно с това е съпоставена и приложимостта на двата метода на заснемане за целта на заснемането на структурни нарушения в изследвания скален масив. Получените резултати са представени на Таблица 2.

Таблица 2

Пукнатина №	Геоложки компас		Лазарно о	сканиране	Цифрова фотограметрия		
					(смартфон)		
	Ъгъл на Посока на		Ъгъл на	Посока на	Ъгъл на	Посока на	
	западане,°   западане,°		западане,°	западане, …°	западане,°	западане,°	
1	77	282	76	277	75	279	
2	88	278	85	280	-	-	
3	76	285	-	-	-	-	
4	73	275	73	272	70	271	

Наблюдават се незначителни разлики приблизително около 5° между резултатите, получени при картирането с геоложки компаси и тези, получени от дигиталния модел на лазерното сканиране. При получения цифров модел се оказва, че за Пукнатина 3 не може да бъде получена информация поради малката й широчина (5 mm). По аналогична причина, моделът получен от цифровото заснемане посредством смартфон е непълен, но за разлика от лазерното сканиране, при фотограметричния модел не е възможно извличане на данни за пространствената ориентация и на Пукнатина 2. На тази база бе предприето по-детайлно проучване на точността на получения модел от цифровата фотограметрия.

Обработката на данните и представянето на резултатите са извършени с използване на програмния продукт CloudCompare. Данните за единичните повърхнини, изграждащи мрежата от точки се интерпретират в полярна равноплощна стереомрежа, в която плоскостта на на всяка от повърхнините на модела е представена като точка върху полусферата, наречена полюс. За инженерни



цели се използва долната полусфера. Струпванията на полюсите, съставени от облак от данни, се отличават видимо. Този начин е използван за определяне на средната ориентация на отделните повърхнини от двата тримерни модела, като са сравнени получените ъгъл на западане и посока на западане. Посоката на разпространение и ъгълът на западане на центъра на максималната концентрация определят полюса на изследваните повърхнини. На Фигура 3 са представени получените стереомрежи за ориентацията на повърхнините в двата модела.



Фигура 3. Стереомрежа на ориентацията на повърхнините, съставляващи тримерния модел получен чрез лазерно сканиране (ляво) и цифрова фотограметрия базирана на снимки от смартфон (дясно)

Получените резултати дават информация за наличието на известна разлика между двата модела, което наложи по-детайлното изучаване на разликата между двата облака от точки. За тази цел бе изследвано приблизителното разстояние между двата облака, като моделът, получен от лазерно сканиране като по-точен бе приет за еталонен, а облакът от точки, получен от цифровата фотограметрия бе сравнен с него. На Фигура 4 е представен резултата от направената съпоставка. Установи се, че моделът получен от фотограметричното заснемане се доближава до голяма степен до този, получен от лазерното сканиране, като разстоянието между двата облака от точки в значителна част на откоса е по-малко от 5 ст (предимно около 3,5 ст). Наблюдаваните големи отклонения са на местата от модела, които се намират в неговата периферия, което аргументира, че моделът получен чрез фотограметрично заснемане е изключително близък до този на лазерното сканиране. Хистограма на разпределението на разстоянието между точките от двата облака е представена на Фигура 4.



Фигура 4. Приблизително разстояние между двата облака от точки при приет еталонен модел лазерно сканиране (ляво). Хистограма на разпределението на приблизителното разстояние между двата облака от точки (дясно)



Въпреки, че моделът не е с висока степен на точност за заснемане на ориентацията на пукнатините, изхождайки единствено от получения тримерен модел, на базата на получените резултати, той може да се използва като основа за последващо поставяне на равнините на изследваните пукнатини, получени от ръчното замерване, както е показано на Фигура 5.



Фигура 5. Модел, получен от заснемане със смартфон и равнините на пукнатините получени от заснемане с геоложки компас

Полученият модел може да послужи за изследване на обема и геометричните характеристики на структурния блок в масива, както и за извършване на краткосрочни до средносрочни прогнози на рандемана на скални блокове при разглеждането на различни сценарии за посоката на водене на минните работи. Въпреки това, необходимо е да се има предвид, че този подход най-успешно може да бъде прилаган при изследване на структурните блокове в рамките на една заходка, поради известните неточности във фотограметричния модел, както и в получените стойности за ориентацията на равнините на изследваните пукнатини.

#### Изводи

От направеното изследване може да се твърди, че методът на фотограметрично заснемане посредством смартфон е приложим в условията на кариера "Казаните-1". На негова база е получен тримерен модел на откоса на добивното стъпало. Необходимо е да се отбележи, че въпреки наблюдаваните близки резултати, получени от цифровата фотограметрия чрез заснемане със смартфон, съпоставени с тези, получени от лазерното сканиране, не може да се замени точността и универсалността на метода на лазерното сканиране. Въпреки това, използването на смартфон може да се окаже евтина алтернатива за получаването на приближен модел на скалния откос при работа в кариери за скално-облицовъчни материали. Изхождайки от опита и резултатите на други автори (J. Mah et al., 2019; J. Matsimbe, 2021), използването на смартфон за заснемане на скални откоси е перспективен метод, който може да се прилага за малки по размер обекти, в т. ч. и за нуждите на добива на скално-облицовъчни материали. На този етап не е изследвана каква е точността на методът на фотограметричното заснемане за определяне на широчината на видимите отворени пукнатини или за определяне на грапавостта на масива, но той може да се използва като допълнение с физическото заснемане при несложни инженерни задачи, включително и при труднодостъпни обекти на по-близко разстояние.



#### <u>Литература</u>

- 1. Балев, В., Кайков, Д., Димитров, Л. Изследване на структурните нарушения на скални откоси в близост до отделни участъци на Републиканската пътна мрежа. Годишник на Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Том 6. София, 2021. с.175-180
- 2. Копрев, И. Технология на добива на скално-облицовъчни материали. София, 2016, изд. "Авангард-Прима"
- 3. Копрев, И., Александрова, Е. Изследване на зависимостта между рандемана на кондиционните блокове в кариера "Мизия" и естествената прекъснатост на масива. Proceeding of the VIII International Geomechanics Conference, 2-6 July, 2018, Varna, Bulgaria, с. 156-160
- 4. Копрев. И., Александрова, Е. Съвременен софтуер за избор на оптимални параметри на система на разработване в кариера "Царевец". сп. "Геология и минерални ресурси", бр. 1-2, с. 19-25
- 5. Стойчева, Н., Копрев, И., Георгиев, Д. Съвременни технологии за добив на риолит в България. Proceedings of the XVI International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals, 6-10 September, 2021, Varna, Bulgaria, c 14-20
- Begnovska, M. Opportunities for the application of different mine surveying mapping technologies in determining volumes in underground mine workings. Journal of Mining and Geological Sciences, Volume 62, Number 2, 2019, pp 9-12
- 7. Birch, J.S. Using 3DM Analyst mine mapping suite for rock face characterization. In Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization; Tonon, F., Kottenstette, J., Eds.; ARMA: Golden, CO, USA, 2006; pp. 13–32.
- 8. Francioni M, Simone M, Stead D, Sciarra N, Mataloni G, Calamita F. A New Fast and Low-Cost Photogrammetry Method for the Engineering Characterization of Rock Slopes. Remote Sensing. 2019; 11(11):1267.
- Francioni, M., Salvini, R., Stead, D., Giovannini, R., Riccucci, S., Vanneschi, C., & Gullì, D. (2015). An integrated remote sensing-GIS approach for the analysis of an open pit in the Carrara marble district, Italy: Slope stability assessment through kinematic and numerical methods. Computers and Geotechnics, 67, 46–63.
- 10. Francioni, M.; Salvini, R.; Stead, D.; Coggan, J.J. Improvements in the integration of remote sensing and rock slope modelling. Nat. Hazards 2018, 90, 975–1004.
- Gospodinova, V. Research on creating a digital photogrammetric model by using different number of control and check points. Journal of Mining and Geological Sciences, Volume 62, Number 2, 2019, pp 9-12
- 12. Mah, J., Samson, C., & McKinnon, S. D. (2011). 3D laser imaging for joint orientation analysis. International Journal of Roc
- Matsimbe, J. Comparative application of photogrammetry, handmapping and android smartphone for geotechnical mapping and slope stability analysis. Open Geosciences, vol. 13, no. 1, 2021, pp. 148-165.k Mechanics and Mining Sciences, 48(6), 932–941.
- 14. Spreafico, M.C.; Cervi, F.; Francioni, M.; Stead, D.; Borgatti, L. An investigation into the development of toppling at the edge of fractured rock plateaux using a numerical modelling approach. Geomorphology 2017, 288, 83–98.
- Stereva, K. 2020. Detection and Measurement of Cracks in Rock Massifs by Means of Ground Laser Scanning. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 609, 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, 7-11 September 2020, Prague, Czech Republic.
- 16. Sturzenegger, M., & Stead, D. (2009). Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts. Engineering Geology, 106(3-4), 163–182.



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПУЛЬСУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОИСКА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

И. М. Скопиченко<sup>1</sup>, С.М. Кузнецов<sup>2</sup>, С.Ф. Михайлюк<sup>1</sup> <sup>1</sup>Государственное учреждение «Научный центр горной геологии, геоэкологии и развития инфраструктуры НАН Украины», г. Киев, Украина, i.skopychenko@gmail.com <sup>2</sup>Государственное предприятие Научно-исследовательский центр проблем недропользования «Георесурс» НАН Украины, г. Киев, Украина

#### USING THE PULSED ELECTROMAGNETIC SOUNDING METHOD TO SEARCH FOR OIL

AND GAS FIELDS

I. M. Skopychenko<sup>1</sup>, S. M. Kuznetsov<sup>2</sup>, S.F. Mikhailyuk<sup>1</sup> <sup>1</sup>State Institution "Scientific Center for Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine <sup>2</sup>State Enterprise Research Center for Subscillulas Brobleme "Concession" of the National Academy of

# <sup>2</sup>State Enterprise Research Center for Subsoil Use Problems "Georesurs" of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### ABSTRACT

The method of pulsating electromagnetic sounding (PEMS) refers to electrical methods of prospecting for minerals and can be used in the study of the geoelectric section of the lithosphere, direct search for mineral deposits, monitoring the stress state of the environment. In the study of oil and gas deposits, it is used to determine the reservoirs in the section and is distinguished by the reliability of the results obtained.

Electrical exploration work is usually carried out according to a system of profiles with a certain step. An anomaly on the Earth's surface is determined, corresponding (according to known geological and geophysical data) to the search object. In the method of pulsating electromagnetic sounding, profile work is also carried out, which makes it possible to calculate and build complete geoelectric sections along profiles with the definition of all inhomogeneities of the geological environment.

The presented method is aimed at solving the problem of reducing the time and cost of exploration work while increasing the information content of the data obtained as a result of studying the electromagnetic parameters of the medium.

Метод пульсирующего электромагнитного зондирования (ПЭМЗ) относится к электрическим методам поиска полезных ископаемых и может быть использован при изучении геоэлектрического разреза литосферы, прямого поиска месторождений полезных ископаемых, мониторинга напряженного состояния среды. При исследовании нефтегазовых залежей используется для определения коллекторов в разрезе и отличается достоверностью полученных результатов.

Метод пульсирующего электромагнитного зондирования позволяет исследовать вторичное поле переходного процесса, которое зависит от активной проводимости среды, эффекта индукционноприведенной поляризации, величины магнитной восприимчивости, частоты возбуждающего поля. При использовании постоянной приемопередающей системы одни и те же интервалы исследований возбуждаются близкими спектрами электромагнитных волн. При этом при возбуждении исследуемого электромагнитного поля среды с увеличением глубины ввода электрического тока в Землю происходит затухание высокочастотных электромагнитных волн. Контрастность в различиях электрофизических свойств разных объектов и вмещающих пород может изменяться на разных глубинных срезах. В основе обработки материалов пульсирующего электромагнитного зондирования использован закон сохранения энергии (энергия первичного возбуждающего поля и энергия вторичного возбуждаемого поля являются равными) и гипотеза о том, что вторичное поле становления распространяется в среде



с постоянной скоростью. Величина вертикальной скорости была определена эмпирически как по результатам интерпретации параметрических зондирований скважин, так и математически (уравнение Финчука). При обработке результатов используются кривые становления dV(t)/A переходного процесса, параметры установок, координаты центров точек наблюдения. Математическое обеспечение метода представлено в сборнике «Экология и природопользование» [1, 2, 4].

Электроразведочные работы обычно производятся по системе профилей с определенным шагом. Определяется аномалия на поверхности Земли, отвечающая (по известным геологогеофизическим данным) объекту поиска. В методе пульсирующего электромагнитного зондирования также проводятся профильные работы, позволяющие рассчитывать и построить полные геоэлектрические разрезы по профилям с определением всех неоднородностей геологической среды.

В исследуемой среде возбуждают электромагнитное поле путём ввода электромагнитного импульса в Землю с последующим измерением сигнала вторичного электромагнитного поля. Измерения проводят многократно в одной точке в одно и то же время суток четное число раз количеством не менее 60. В результате строят геоэлектрический разрез среды, в котором вместо линейных координат шага по профилю используют временные, причем интерпретацию результатов осуществляют в режиме реального времени. Метод может быть использован не только для поиска нефтегазовых залежей, но и для мониторинга напряженного состояния среды, фиксируемого полученными временными разрезами.

Особенностью метода является то, что измерения могут производиться не по профилю, а в одной точке многократно. Тем самым производится замена линейных координат – шага по профилю, на временной шаг, позволяющий получить геоэлектрический разрез, но в отдельной точке наблюдения. В вычислениях шаг по профилю выбирается не более 20 м. При большем интервале возможны линейные искажения.

#### Выводы

Представленный метод [3, 4] направлен на решение задачи сокращения времени и стоимости поисковых работ с одновременным повышением информативности данных, полученных в результате изучения электромагнитных параметров среды, геоэлектрического разреза недр, мониторинга напряженного состояния среды и прямого поиска месторождений полезных ископаемых.



Рис. 1. Схема профилей на участке выполнения работ, Нигерия



Полученные разрезы могут предшествовать бурению нефтегазовых скважин на месторождении, в определении конфигурации и размеров поисковых объектов (рис.1, 2). Данный метод прошел испытанный при поисках нефти и газа в Украине, Нигерии, Российской Федерации.



Рис. 2. Вертикальный разрез градиента изменения напряженности вторичного поля Fi в интервале глубин 0 - 5000 метров по профилю 96 с использованием пространственно-частотной фильтрации, Нигерия. Масштаб 1:25000

# ЛИТЕРАТУРА:

- 1. Финчук В. В., Скопиченко И М. Метод точечного электромагнитного зондирования и его возможности // «Экология и природопользование», 2003. Вып. 6. – С. 169 – 172.
- 2. Финчук В.В., Скопиченко И М., Новиков А.В. Метод точечного электромагнитного зондирования. Теория и методы обработки // «Экология и природопользование», 2003. Вып. 6. – С. 173 – 178.
- 3. Mykhailiuk S.F., Skopychenko I.M., Kuznetsov S.M. Device for measuring the natural and induced electromagnetic field of the Earth. Patent No139027 dated 10.12.2019 8 p. (in Ukrainian)
- Skopychenko I., Mikhaylyuk S., Prosnyakov V. Using the method of pulsating electromagnetic sounding to determine disturbed zones in the lithosphere // Proceedings of the IX International Geomechanics conference 7-11. 09.2020. Varna, Bulgaria – P. 75 – 79.



# POSSIBILITIES OF BUILDING NEW UNDERGROUND GAS STORAGES IN SOUTHEAST EUROPE AND THEIR GEOTECHNICAL MONITORING

#### Roumen A. Ivanov, Nevena I. Babunska-Ivanova e-mail: rang75@hotmail.com

#### ABSTRACT

The report reviews different methods for building underground gas storages, their role for ensuring seasonal unevenness in consumption and advantages over other methods for gas storage. Case study shows that several countries in Southeast Europe have big possibilities for becoming gas distribution centers. Mentioned new underground gas storages will increases the geopolitical role in the energy sector of Southeast Europe. Geodetic survey methods are the most commonly used instrumental methods for monitoring the natural hazard. Only with geodetic and geotechnical methods we can interpret the mechanism, type, scope, duration, dynamics and other characteristics of deformation processes of terrains.

#### 1. INTRODUCTION

Gas pipelines belong to pipeline transport. One of the most important problems in pipeline transport is to maintain a continuous supply. In the case of gas disruption, underground storage facilities play the role of strategic reserve and compensate seasonal unevenness in consumption. Underground gas storage facilities have become the most used type for gas storage because they are cheaper than other storage methods. Another advantage is a small occupied area over the ground and low fire and explosion hazard. The gas storage facilities are part of the gas pipelines, which apart from the pipes also include gas regulating stations, gas measuring stations, compressor stations, and automatic gas regulation stations. Every country in the Southeast Europe looks for opportunities to direct pipelines to its territory. For example, the Republic of Bulgaria has the real opportunity to reengage in the construction of new pipelines and to be a European Energy Center. These new pipelines, which are at the heart of the new gas corridors, are: Russia – Black Sea – (Turkey) – Bulgaria, Azerbaijan – Georgia – Black Sea – Bulgaria, Iran – Armenia – Georgia – Black Sea – Bulgaria, Turkmenistan – Azerbaijan – Georgia – Black Sea – Bulgaria, Israel –Mediterranean Sea – Greece – Bulgaria, the projects Eastring and BRUA. Natural gas can also come from Bulgarian and Romanian deposits, LNG terminals, etc.

Geodetic survey methods are the most commonly used instrumental methods for monitoring of the natural hazard. The implementation of monitoring is associated with the organization of special systems for measuring, processing and interpretation of results. Changes in the position of points from two or more measurement epoch over a period of time give us the size and direction of the displacements. Strain analysis includes the calculation of the deformation parameters and elements of the symmetric tensor, analysis of dilatation, total shear, etc. [3,8,18]. New communication technology enables to have a connection between monitored objects and instrument over a long distance, to transfer measurements and sharing data between organizations [10].

# 2. <u>METHODS</u>

It is a real prospect for the Republic of Bulgaria to participate in the building of sea and river LNG terminals in the Black Sea, the Mediterranean Sea and the Danube River. Terminals for LNG could partly take over the functions of underground gas storage, compensating for a short time the unevenness in the country's consumption. UGS are being built close to highway gas pipelines and large urban gas user areas.

When choosing a place for storage of gas geological, geodetic, geophysical and others surveys are carried out. For example in Bulgaria the Mirovo (Provadia) salt deposit is ideal place for gas storage and a different measurements of this area has been made – three epoch GPS measurements with two epochs classical geodetic measurements of geodynamic network, combined GPS and gravimetric observations for salt



deposit localization, InSAR measurements, etc. [2,4,9]. The terrains are subject to deformation by various factors. For the study of deformations, different methods are used.

Among the instrumental methods for the study of geotechnical phenomena, geodetic and geotechnical (semi-geodetic) methods are one of the most commonly used. The use of instrumental methods implies the establishment of a special methodology and system for measuring, processing, analyzing and interpreting of the results. The horizontal displacements are determined by: triangulation, triateration, triangulateration networks, traverse method, alignment method, etc. [11]. Differential, trigonometric, hydrostatic levelling, micro leveling, etc., are used to determine the vertical deformation, depending on the required accuracy and structural features and the possibility of access to the objects of study. Spatial displacements are determined by three-dimensional networks, GPS, photogrammetry, etc. Laser scanners are applied intensively for deformation monitoring applications [1,14]. Geodetic instruments for determining deformations include levels, total stations, GPS receivers and more. Geotechnical instruments include extensometers, inclinometers, piezometers, accelerometers, TDR system, etc.

In addition to gas pipelines and gas storage facilities, liquefied gas terminals are being built in Europe. Such is the built in the French city of Dunkirk, which has the capacity of 13 billion cubic meters of natural gas per year. The Lithuanian Klaipeda harbor is in operation a liquefied natural gas floating terminal. According to analysts, the LNG market is growing every year, and the next generation of LNG terminals will be smaller.

Construction of LNG terminals is a multi-billion investment. In order for an LNG facility to be economically viable, it is necessary to conclude contracts with at least 20 years of uninterrupted supply. Countries such as Algeria, Qatar, the United States and others, and possibly Cyprus and Israel in the future, are potential sources of LNG supply in Mediterrian Sea. Existing plans to build LNG (stationary and floating) and CNG terminals in the Black Sea and Adriatic Sea are likely to be beneficial for Bulgaria, because after the natural gas entering the terminals it can be directed to Bulgaria. The countries from southeast Europe can participate in joint financing of common terminals.

Another important task is sustainable development of the marine transport and business models for trading with new gas quantities. Romania also plans to have a LNG terminal in Constanta, where gas from Azerbaijan via Georgia will flow – the AGRI project (Azerbaijan – Georgia – Romania) [12].

#### 3. <u>RESULTS</u>

Gas underground storages are characterized by specific features such as permeability, porosity, etc. It is very important that the gas storage site to be of high permeability and porosity. Porosity determines the amount of natural gas that can be stored. Permeability determines the rate at which natural gas passes through the repository, which determines the rate of injection and removal of the working gas. Underground gas storage can be natural or artificial. Natural are depleted gas or oil fields, deposits, aquifers or salt fields, etc. [15]. An example of underground gas storage in depleted gas/oil/water (**a**) storage forming zone or gas/water (**b**) storage forming zone is given on Figure 1.









An example of underground LNG storage in a man-made structure is presented on Figure 2.

Figure 2. Typical cross section of the underground LNG storage system [5]

Geometry of the storage cavern on Figure 2 should be adapted to local geological and hydrogeological conditions. The length of cavern can be several hundred meters. An example for typical cross section of underground works in good rock mass condition is presented on Figure 3. In principle, aquifers are considered to be the most expensive and unwanted facility for a number of reasons. According to experts, the building of underground gas storage in salt domes has an advantage compared to other repositories. They are characterized by solid walls and successfully retain natural gas. The artificial gas storages are those built in mines, shafts, tunnels, quarries, caves, etc.



Figure 3. Typical cross section of underground gallery and tunnels [5]



Bulgaria is among EU countries that are vulnerable to the occurrence of disruption of external gas supplies, because the country is dependent on natural gas consumption over 90 percent and is one of the most gas insecure countries in the European Union [6]. For that reason is proposed reverse-flow transactions on the transit pipelines to Greece and Turkey and building a new gas interconnector pipeline with Greece [16]. The 2022 gas crisis show the importance of the energy supply and distribution for Europe, showed Bulgaria's vulnerability to energy supplies, relying on connectivity with neighboring countries. Underground gas storages are an indispensable element in the functioning of the Gas Hubs, or in other words, gas hubs are impossible to function without gas storage. The list of existing underground storages is given in [7]. Possibilities for building new gas storages and extension of old in Southeast Europe are summarized in Table 1.

Country /alphabetic order/	Gas storage name /existing and new/				
Albania	Dumrea, Divjaka				
Bosnia and Herzegovina	Tuzla-Tetima				
Bulgaria	Chiren, Provadia, Galata				
Croatia	Beničanci, Okoli				
Greece	South Kavala				
Romania	Balaceanca, Sarmasel, Gherceati, Urziceni, Bilciuresti, Cetatea de Balta, Târgu Mures, Nades-Prod-Seleus, Roman-Margineni				
Serbia	Banatski Dvor, Ostrovo, Staro Selo, Srbobran, Tilva, Begejci, Medja, Mokrin				

Table 1. List of underground storages

#### 4. DISCUSSION

Building of new gas storages involves the expansion of old gas storages and the construction of new gas storages, as shown in Table 1.

Major gas projects will deliver huge quantities of gas to the Southeastern European countries. This requires detailed exploration of gas storage sites and transportation options between Central and Southeastern European countries. The development of underground tunnel construction will give a strong impetus to the construction of underground storage facilities in natural and artificial geological formations. This, in turn, will result in the storage of much larger quantities of gas, which will significantly increase the volume of gas transportation in neighboring regions. In his study [13] the author reports on effects such as the lack of subsidence in a gas field that has been regularly used for many years and local subsidence of an underground reservoir placed in fault zones during gas injection. Deformation monitoring surveys of gas reservoirs include measurement of spatial deformations, observation of the technological part of reservoirs, etc. [17].

#### 5. CONCLUSION

This report presents the possibilities of building new underground storages for gas transportation in Southeast Europe and their geotechnical monitoring. The specific characteristics that determine underground gas storage have been clarified. An example of a gas storage formation zone has been given and explained. New drawings with other tunnel configurations need to be provided. The creation of conditions for the security of gas supply is a prime task for the European Union in the field of pipeline transport. Building of the gas hub and gas storage facilities will contribute to the partial diversification of gas supplies in the Southeast Europe countries and every one of those countries will become a major transit center for natural gas in the region. These new gas storage facilities will increase the energy security of the European Union.

The guidelines for future research are to explore in more detail new geological formations suitable for gas storage and deeper study of the mechanism of gas storage behavior with geodetic and geotechnical methods.



# REFERENCES

- 1. Antova, G. (2020). Application of Terrestrial Laser Scanning to Determine Deformations-Practical Aspects, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 609 (2020) 012086, doi:10.1088/1755-1315/609/1/012086.
- Atanasova-Zlatareva, M., Nikolov, H. (2016). Detection of the Earth's crust deformation in Provadia area using InSAR technique, XXVI International symposium on modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields, ISSN 2367-6051.
- 3. Attaouia, B., Ghezali, B., Kahlouche, S. (2012). Triangulation of Delaunay: Application to the deformation monitoring of geodetic network by use of strain tensors, FIG Working Week 2012 Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage Rome, Italy, 6-10, May 2012.
- 4. Dimitrov, N. (2017). Study of crustal movements in Mirovo salt deposit with GPS and classical geodetic measurements, Geodesy 22, Bulgarian Academy of Sciences.
- Park, E.S., Chung, S.K., Lee, D.H., Kim, T.G. (2012). Innovative Method of LNG Storage in Underground Lined Rock Caverns, Natural Gas - Extraction to End Use, Sreenath Borra Gupta, IntechOpen, DOI: 10.5772/45771.
- 6. Georgiev, A. (2009). A Bulgarian Perspective on South-East Europe Energy Issues, The Sixth Report of the Monitoring Serbia Russia Relations Project 6, ISAC.
- 7. Gerner, F. (2010). The Future of the Natural Gas Market in Southeast Europe, World Bank Publications.
- Gospodinov, S., Peneva, E., Lambeva, T. (2019). Investigation of Crustal Deformation by the Means of Directly Defined Spatial Chords–Possibility or Predeterminancy, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 362. 012155. 10.1088/1755-1315/362/1/012155.
- 9. Gospodinov, S., Peneva, E., Zdravchev, I. (2002). Combined GPS and gravimetric observations for salt deposit localization. 3<sup>rd</sup> Meeting of the International Gravity and Geoid Commission, Thessaloniki, Greece, August 26-30, International Association of Geodesy (IAG) Section III, poster presentation.
- 10. Hristova, T., Mitev, I., Balev, V. (2022). Monitoring of geotechnical facilities through DLT solution. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 970. 012011. 10.1088/1755-1315/970/1/012011.
- 11. Ivanov, R. (2020). Engineering surveying and deformation surveys, Monograph, HST "T. Kableshkov", First edition, Sofia, ISBN 978-954-12-0272-2.
- 12. Kochadze, T., Gvarishvili, B., Kochadze, I. (2018). Prospects for the transportation of liquefied gas from the Caspian region to Europe, International Scientific journal "Science, Business, Society", issue 3.
- 13. Kuzmin, Y. (2021). Deformation Consequences of the Development of Oil and Gas Field. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. Vol.57, No.11, 1479-1497. 10.1134/S0001433821110062.
- 14. Mickrenska-Cherneva, C., Alexandrov, A. (2020). Mobile laser scanning in highly urbanized area–a case study in Sofia, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIV-4/W2-2020.
- 15. Nagorny, V.P., Globa, V.M. (2014). Underground hydrocarbon storage (in Russian), Kiev.
- 16. Silve, F., Noel, P. (2010). Cost Curves for Gas Supply Security: The Case of Bulgaria, EPRG Working Paper 1031, Cambridge Working Paper in Economics 1056.
- 17. Šíma, J., Izvoltova, J., Seidlová, A. (2011). Geodetic Measurements of Underground Gas Reservoirs, Acta Montanistica Slovaca, 16.
- 18. Tsonkov, A. (2018). Determination of invariant deformation characteristics by surveying measurements, PhD Thesis, (in Bulgarian).



#### ТОЧНОСТ НА МАРКШАЙДЕРСКИ ИЗМЕРВАНИЯ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЕОМЕХАНИЧНИ ПРОЦЕСИ

Милена Бегновска<sup>1</sup>, Радослав Сираков<sup>2</sup> <sup>1</sup> Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, m\_begnovska@abv.bg <sup>2</sup> "Лъки Инвест-Джурково" ЕООД, 4241 Лъки, radoslavsirakov24@gmail.com

# ACCURACY OF MINE SURVEYING MEASUREMENTS IN THE RESEARCH OF GEOMECHANICAL PROCESSES

#### Milena Begnovska<sup>1</sup>, Radoslav Sirakov<sup>2</sup> <sup>1</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, m\_begnovska@abv.bg <sup>2</sup> "Lucky Invest-Dzhurkovo" Ltd., 4241 Lucky, radoslavsirakov24@gmail.com

#### ABSTRACT

Ensuring the safe and efficient operation of the deposit is essential for the underground extraction of minerals. The report presents an observation station in the Dzhurkovo mine in a section for lead-zinc ore mining in a system with the open-stope method and the weaning of ore from sublevel mining workings, which aims to study the deformation state of the rock massif around the mine workings.

Six observations were made over a period of several months in a sloping access road and two sublevel drifts. The spatial position of the benchmarks from the observation station was determined by mine surveying measurements.

The purpose of the presented report is to assess the accuracy of the registered displacements in the vertical and horizontal planes for each of the observed points.

#### Обект на изследване

Обект на изследване в настоящата разработка е скалният масив около наклонена разкриваща изработка и две подетажни галерии в рудник "Джурково", "Лъки Инвест – Джурково" ЕООД. Целта е да се изследва деформационното състояние на скалния масив около минни изработки при добив на оловно-цинкова руда, чрез маркшайдерски измервания и да бъде извършена оценка на точността на регистрираните премествания във вертикална и хоризонтална равнина за всяка от наблюдаваните точки. Системата на разработване е с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки.

Наклонената галерия, обект на наблюдение, е част от главна наклонена разкриваща изработка. Дължината на участъка е около 300 m. Надлъжният наклон на изработката е -10<sup>g</sup> (-16%), проектното напречното сечение е 10,8 m<sup>2</sup>, а направлението ѝ е успоредно на рудното тяло. Средната дълбочина под земната повърхност на изследвания участък е около 560 m. Едновременно с прокарването на наклонената галерия се прокарват и три подетажни изработки по рудното тяло, което е с жилна форма.

Предназначението на наклонената изработка е разкриването на голямо количество запаси от оловно-цинкова руда. Това обуславя нейната значимост за експлоатацията на находището и нуждата от дълговременно опазване на устойчивостта ѝ в определени граници, при наличие на минно-добивни дейности в непосредствена близост и образувани големи празни пространства след изземването на подземното богатство.

#### Експериментални изследвания

За изследване на деформационното състояние на скалния масив около наклонената изработка и двете подетажни галерии чрез маркшайдерски измервания, е изградена специална наблюдателна станция [2]. Стабилизирани са 3 опорни точки и 2 изходни нивелачни репера (извън зоната, в която се очакват деформации), и 125 контролни точки (репери), разположени в напречни профили по три - две в



стените и една в тавана. Профилите са разпределени на приблизително равни интервали по избрани участъци от наклонената и двете подетажни галерии (през 10 m в наклонената и през 10-12 m в подетажите). Профилите от наблюдавани точки обхващат около 140 m от разкриващата изработка, 90 m от подетаж I и близо 140 m от дължината на подетаж II.

От предварително координираните опорни точки, с тотална станция по полярен метод, са определени пространствените координати на наблюдаваните точки за всяка епоха на измерване. За целта са използвани последователно метод на обратната засечка (за координиране и ориентиране на станцията) и измерване по полярен метод на контролните точки от профилите, които са видими от съответната станция.

Във вертикално отношение, наблюдаваните точки са определени чрез тригонометрична (за стенните репери) и геометрична нивелация (за реперите на тавана на изработките).

Чрез маркшайдерските измервания за периода от месец януари 2021 г. до месец юни 2021 г. са извършени 5 наблюдения:

Начално (Базово) измерване - две независими измервания на 27.01 и 30.01.2021 г., от които средноаритметичните резултати са приети за отправни. Първо измерване – 23.02.2021 година, второ измерване – 16.04.2021 г., трето измерване – 20.05.2021 г., четвърто измерване – 28.06.2021 г.

Изчислени са стойностите на хоризонталните и вертикалните премествания и техните скорости (Таблица 1) за периода между началното и четвъртото измерване за реперите, стабилизирани в таваните на изработките.

					Скорост на	Вертикални	Скорост на
№ на	X	оризонтални п	ремествани	ıя, [mm]	хориз.прем.,	премествания,	верт.преместване,
набл.			-		[mm/ден]	[mm]	[mm/ден]
точка	ΔΧ	ΔΥ	вектор б	посока а [9]	∆t <sub>IV.B</sub> = 149	•••	∆t <sub>IV.B</sub> = 149
		ľ	V-B*		IV,B*	IV-B*	IV,B*
12	0	-1	1	300	0,01	-3	0,02
22	2	5	5,4	75,8	0,04	-2	0,01
32	2	4	4,5	70,5	0,03	-3	0,02
42	1	2	2,2	70,5	0,02	-6	0,04
52	-2	9	9,2	113,9	0,06	-8	0,05
62	-9	6	10,8	162,6	0,07	-7	0,05
72	-7	12	13,9	133,6	0,09	-7	0,05
82	-7	10	12,2	138,9	0,08	-7	0,04
92	-8	-4	8,9	229,5	0,06	-6	0,04
102	-9	9	12,7	150	0,09	-7	0,05
112	-8	17	18,8	128	0,13	-8	0,05
122	-10	7	12,2	161,1	0,08	-23	0,15
192	-13	0	13	200	0,09	-9	0,06
202	-7	6	9,2	154,9	0,06	-9	0,06
212	-8	9	12	146,3	0,08	-7	0,05
222	-9	8	12	153,7	0,08	-5	0,04
232	-3	0	3	200	0,02	-6	0,04
242	-4	2	4,5	170,5	0,03	-6	0,04
252	-5	1	5,1	187,4	0,03	-9	0,06
262	-2	2	2,8	150	0,02	-14	0,09
272	-2	-2	2,8	250	0,02	-18	0,12
282	-1	-3	3,2	279,5	0,02	-16	0,11
292	-1	0	1	200	0,01	-10	0,07
302	-2	3	3,6	137,4	0,02	-15	0,1
312	-3	1	3,2	179,5	0,02	-14	0,1
322	-4	3	5	159	0,03	-19	0,13
332	-5	9	10,3	132,3	0,07	-16	0,11
342	-5	12	13	125,1	0,09	-14	0,10
352	-4	21	21,4	112	0,14	-16	0,11
362	-10	20	22,4	129,5	0,15	-17	0,11
372	-7	-1	7,1	209	0,05	-12	0,08
382	-8	-1	8,1	207,9	0,05	-13	0,09

Табл. 1. Хоризонтални и вертикални премествания и скорости на реперите на таваните на изработките

\*Базово (начално) - измерване



Чрез стойностите в таблица 1 са създадени графични модели с изолинии на хоризонталните и вертикалните премествания в изследвания участък от скалния масив около разкриващата изработка и двата добивни подетажа.

На фигура 1 е показана ситуацията в план с изолиниите на хоризонталните премествания, а на фигура 2 – изолиниите на вертикалните премествания.



Фиг.1. Изолинии на хоризонталните премествания между начално и IV наблюдение



Фиг.2. Изолинии на сляганията между начално и IV наблюдение

В периода между измерванията на контролните точки в минните изработки, в двете подетажни галерии са извършвани непрекъснати добивни дейности посредством пробивно-взривни работи (ПВР). В резултат на това са образувани празни пространства с големи размери (иззетите участъци от рудоносната жила и част от вместващите скали около нея).

В подетажи I и II добивните дейности се осъществяват в южната им част (на юг от ортовете им), а северните им участъци (на север от ортовете) се удължават с напречно сечение на забоите S=10,8 m<sup>2</sup> с цел подготовка за бъдещи добивни работи.

По време на изследванията започва и прокарването на трета подетажна галерия (фиг.3 в – в кафяв цвят), която е разположена непосредствено под подетаж II на денивелация 11 m.

Към моментите на всяко наблюдение от настоящото изследване, са заснети местоположенията и размерите на образуваните празни пространства, където подземното богатство е иззето, както и северните забои на подетажните изработки.

На фигура 3 са показани празните (иззетите) пространства и напредъка на забоите през епохите на базовото и четвъртото измерване.







a – преди началото на добива; б – иззетите участъци към момента на базовото наблюдение (в зелен цвят); в – иззетите участъци към момента на IV наблюдение (в червен цвят)

Въз основа на получените резултати от извършеното изследване може да се направят следните изводи:

- В зоната между напречни профили 23 и 24 (в наклонената галерия) и 35 и 36 (в подетаж II) е установен главен структурен разлом. Хоризонталните премествания имат максимални стойности в зоната на орта към първия подетаж и около участъка на преминаването на втория подетаж през структурния разлом (фиг.1).

- Максималните стойности на вертикалните премествания са установени в наблюдаваните точки в двата подетажа в зоната на ортовете към тях (фиг.2).

#### Анализ на точността на маркшайдерските измервания Анализ на точността на геометричната нивелация

За определяне на надморските височини на наблюдаваните точки в минните изработки е извършена геометрична нивелация.

Като изходни са използвани два нивелачни репера - HP1 и HP2, стабилизирани извън зоната на очакваните деформации. Първоначално са определени превишенията между точките в наклонената галерия, а след това, изхождайки от т.6 и т.27, и между точките в двата орта и в подетажи I и II.

За оценка на точността на определените надморски височини в нивелачните ходове, е използвана следната формула [3]:

$$m_{H_i} = m_0 \sqrt{n} , \tag{1}$$

където:  $m_0$  е грешка при отчитане по латата;



*n* е брой на станциите в нивелачния ход.

Грешката при отчитане може да се изрази чрез средната дължина на визурата *lcp* в съответния нивелачен ход и увеличението V на зрителната тръба на използвания нивелир [3]:

 $m_o = 0.7 \frac{l_{\rm cp}}{v}$ 

(2)

В горната формула грешката в отчитането *m*<sub>o</sub> се получава в [mm] при *lcp* – в [m].

Оценките на надморските височини на наблюдаваните точки са посочени в таблиците по-долу (Таблици 2, 3, 4, 5, 6).

В изчислените стойности за точките в двата подетажа са взети предвид и оценките на изходните за тях точки в наклонената галерия.

Табл. 2. Оценка на точността на котите на реперите в наклонената галерия (репери 1–6; 19–28)

Разстояние м/у реперите	S, [m]	Брой ста	анции до репера	№ репер	Оценка на котата		
HP1 - HP2 - 1	10,00	n =	1	1	Mh =	0,14	mm
1 - 2	10,66	n =	2	2	Mh =	0,19	mm
2 - 3	9,36	n =	3	3	Mh =	0,24	mm
3 - 4	9,19	n =	4	4	Mh =	0,27	mm
4 - 5	8,11	n =	5	5	Mh =	0,30	mm
5 - 6	10,54	n =	6	6	Mh =	0,33	mm
6 - 19	5,74	n =	7	19	Mh =	0,36	mm
19 - 20	9,05	n =	8	20	Mh =	0,38	mm
20 - 21	10,63	n =	9	21	Mh =	0,41	mm
21 - 22	9,51	n =	10	22	Mh =	0,43	mm
22 - 23	10,66	n =	11	23	Mh =	0,45	mm
23 - 24	9,61	n =	12	24	Mh =	0,47	mm
24 - 25	9,89	n =	13	25	Mh =	0,49	mm
25 - 26	9,12	n =	14	26	Mh =	0,51	mm
26 - 27	9,57	n =	15	27	Mh =	0,53	mm
27 - 28	7,55	n =	16	28	Mh =	0,54	mm

[S] =	149,19 m
Lcp. = [S]/2n =	4,66 m

Табл. 3. Оценка на точността на котите	е на реперите в подетаж I (репери 7–11	)
--	--	---

Разстояние м/у реперите	S, [m]	Брой станции до репера		№ репер	Оценка на котата		l
6 - 7	3,68	n =	1	7	Mh =	0,34	mm
7 - 8	3,60	n =	2	8	Mh =	0,35	mm
8 - 9	3,52	n =	3	9	Mh =	0,35	mm
9 - 10	4,25	n =	4	10	Mh =	0,36	mm
10 - 11	7,04	n =	5	11	Mh =	0,36	mm

[S] =	22,09 m
Lcp. = [S]/2n =	2,21 m

Табл.4. Оценка на точността на котите на реперите в подетаж I (репери 12–18)

Разстояние м/у реперите	S, [m]	Брой станции до репера		№ репер	Оцен	ка на котата	a
9 - 12	4,48	n =	1	12	Mh =	0,38	mm
12 - 13	10,32	n =	2	13	Mh =	0,41	mm
13 - 14	9,95	n =	3	14	Mh =	0,43	mm
14 - 15	9,92	n =	4	15	Mh =	0,46	mm
15 - 16	12,55	n =	5	16	Mh =	0,48	mm
16 - 17	12,42	n =	6	17	Mh =	0,50	mm
17 - 18	11,34	n =	7	18	Mh =	0,53	mm

[S] =	70,98 m
Lcp. = [S]/2n =	5,07 m



Разстояние м/у реперите	S, [m]	Брой станции до репера		№ репер	Оценка на котата		a
27 - 29	5,91	n =	1	29	Mh =	0,54	mm
29 - 30	7,50	n =	2	30	Mh =	0,55	mm
30 - 31	8,48	n =	3	31	Mh =	0,56	mm
31 - 32	4,80	n =	4	32	Mh =	0,57	mm
32 - 33	10,46	n =	5	33	Mh =	0,59	mm
33 - 34	7,19	n =	6	34	Mh =	0,60	mm
34 - 35	10,22	n =	7	35	Mh =	0,61	mm
35 - 36	8,13	n =	8	36	Mh =	0,62	mm
[S]	62 69 m	1					

Табл. 5. Оценка на точността на котите на реперите в подетаж II (репери 29–36)

Табл. 6. Оценка на точността на котите на реперите в подетаж II (репери 37–43)

S, [m]	Брой ста	анции до репера	№ репер	Оценка на котата			
6,97	n =	1	37	Mh =	0,59	mm	
10,80	n =	2	38	Mh =	0,61	mm	
12,05	n =	3	39	Mh =	0,63	mm	
11,94	n =	4	40	Mh =	0,66	mm	
14,40	n =	5	41	Mh =	0,68	mm	
13,49	n =	6	42	Mh =	0,70	mm	
11,16	n =	7	43	Mh =	0,72	mm	
	S, [m] 6,97 10,80 12,05 11,94 14,40 13,49 11,16	S, [m]         Брой ста           6,97         n =           10,80         n =           12,05         n =           11,94         n =           14,40         n =           13,49         n =           11,16         n =	S, [m]Брой станции до репера6,97n =10,80n =12,05n =311,9414,40n =513,4911,16n =7	S, [m]Брой станции до репера№ репер6,97n =13710,80n =23812,05n =33911,94n =44014,40n =54113,49n =64211,16n =743	S, [m]Брой станции до репера№ реперОцен6,97n =137Mh =10,80n =238Mh =12,05n =339Mh =11,94n =440Mh =14,40n =541Mh =13,49n =642Mh =11,16n =743Mh =	S, [m]         Брой станции до репера         № репер         Оценка на котата           6,97         n =         1         37         Mh =         0,59           10,80         n =         2         38         Mh =         0,61           12,05         n =         3         39         Mh =         0,63           11,94         n =         4         40         Mh =         0,66           14,40         n =         5         41         Mh =         0,68           13,49         n =         6         42         Mh =         0,70           11,16         n =         7         43         Mh =         0,72	

[S] =	80,81 m
Lcp. = [S]/2n =	5,77 m

Lcp. = [S]/2n =

3,92 m

#### Анализ на точността на хоризонталните измервания

Във всяка епоха са извършени хоризонтални измервания, при които от изходните точки, с



Фиг.4. Принципна схема на засечка назад

тотална станция по полярен метод, са определени координатите (X,Y) на наблюдаваните точки. За целта са използвани последователно метода на обратната засечка (за координиране и ориентиране на станцията) и измерване по полярен метод на контролните точки от профилите, които са видими от съответната станция.

При оценката на точността на този вид измервания първо са оценени получените координати за всяка станция (резултат от обратната засечка). След това е изчислена точността на новоопределените точки само от засечката. Последната, която е приета за крайна оценка на координатите на наблюдаваните точки, е изчислена с отчитане и на оценките на ориентиращите точки.

На фигура 4 - т.1, т.2 и т.3 са известни и

координатно определени, т. К е новоопределяемата точка, ъглъл β<sub>1</sub> е измерен между т.1 и т.2, а ъгъл β<sub>2</sub> – между т.2 и т.3. Номерацията на т.1, т.2 и т.3 нараства по посока на часовниковата стрелка спрямо т. К.

Координатите на новоопределяемата точка се изчисляват по известни формули.

За оценка на плановото положение на новоопределяната точка К, спрямо изходните (известните) точки, се извършва изчисление по следните формули [1]:



 $b_1$ 

- $\Delta x_1 = X_1 X_k \qquad \Delta x_2 = X_2 X_k \qquad \Delta x_3 = X_3 X_k \tag{3}$
- $\Delta y_1 = Y_1 Y_k$   $\Delta y_2 = Y_2 Y_k$   $\Delta y_3 = Y_3 Y_k$  (4)

$$S_{1}^{2} = \Delta x_{1}^{2} + \Delta y_{1}^{2} \qquad S_{2}^{2} = \Delta x_{2}^{2} + \Delta y_{2}^{2} \qquad S_{3}^{2} = \Delta x_{3}^{2} + \Delta y_{3}^{2}$$
(5)

$$A_{1} = \frac{\Delta y_{1}}{S_{1}^{2}} \qquad A_{2} = \frac{\Delta y_{2}}{S_{2}^{2}} \qquad A_{3} = \frac{\Delta y_{3}}{S_{3}^{2}}$$
(6)  
$$= \Delta x_{1} \qquad = \Delta x_{2} \qquad = \Delta x_{3}$$

$$B_1 = \frac{1}{S_1^2} \qquad \qquad B_2 = \frac{1}{S_2^2} \qquad \qquad B_3 = \frac{1}{S_3^2} \tag{7}$$

$$a_1 = A_1 - A_2$$
  $a_2 = A_3 - A_2$  (8)

$$= B_1 - B_2 b_2 = B_3 - B_2 (9)$$

$$D = \frac{\rho}{m_{\beta}} |a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1| \qquad m_{\beta} - средна грешка на измерените ъгли$$
(10)

$$M_X^2 = \frac{b_1^2 + b_2^2}{D^2}$$

$$M_Y^2 = \frac{a_1^2 + a_2^2}{D^2}$$
(11)
(12)

$$M_k = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2} \tag{13}$$

При измерване на ъглите и дължините на страните на подземните полигонови ходове, неизбежните грешки от измерванията довеждат до неправилно определяне на координатите на върховете на полигоните. Тези грешки могат да бъдат определени. Координатите на т. N се изчисляват по известни формули.

За определяне на средната грешка в координатите на т. N се използват следните формули [3]:

$$M_N = \sqrt{M_{X_N}^2 + M_{Y_N}^2}$$
(14)

$$M_{X_N} = \sqrt{M_{X_1}^2 + M_{X_{N_\beta}}^2 + M_{X_{N_l}}^2 + M_{X_{N_{\alpha_0}}}^2}$$
(15)

$$M_{Y_N} = \sqrt{M_{Y_1}^2 + M_{Y_N_\beta}^2 + M_{Y_{N_l}}^2 + M_{Y_{N_\alpha_0}}^2},$$
(16)

където:

*M<sub>Xi</sub>*, *M<sub>Yi</sub>* - средни грешки в координатите на изходната точка;

 $M_{X_{N_{\beta}}}$ ,  $M_{Y_{N_{\beta}}}$ - средни грешки в координатите на т. N, получени вследствие на грешки при измерване на ъглите на полигона;

 $M_{X_{N_l}}, M_{Y_{N_l}}$  - средни грешки в координатите на т. N, получени вследствие на грешки при измерване на дължините на полигоновите страни;

 $M_{X_{N_{\alpha_0}}}, M_{Y_{N_{\alpha_0}}}$  - средни грешки в координатите на т. N, получени вследствие на грешка в посочния ъгъл на изходната страна на полигона.

В конкретния случай, при анализиране на наблюденията в изследвания участък, не са използвани данни за грешки в посочните ъгли на изходните страни.

Получените оценки са представени в таблица 7, където са използвани следните стойности за грешките при измерване на ъглите и дължините (съгласно техническите характеристики на използвания инструмент)  $m_{\beta_i} = 6^{cc}$ ,  $m_{l_i} = 2 + 2l_i$ . За ъгловите и дължинни измервания е използвана тотална станция Sokkia CX-62. Използваният инструмент за извършване на геометричната нивелация е дигитален нивелир Stonex ZDL700 с кодова лата.

Това е предварителна оценка на точността във основа на данни от началното измерване.



								Оценки на координатите					
		Мх (ст)	My (ct)					Само от засечката, [mm]			С отчитане оценките		
	N	[mm]	[mm]		Ориент.т.	Alfa [g]	Нови т.				на ор	иентира	щата
		[]	[]								точка, [mm]		
								Mx (i)	My (i)	M (i)	Mx (i)	My (i)	M (i)
	13	0,06	0,03		11	218,6423	12	1,99	0,27	2,01	2,62	0,88	2,77
	11			Mx =	1,71		22	1,95	0,50	2,01	2,59	0,98	2,77
Ст. 1	21			My =	0,84		31	1,83	0,91	2,04	2,50	1,24	2,79
							33	1,99	0,48	2,05	2,62	0,97	2,80
							41	1,95	0,69	2,07	2,59	1,09	2,81
	33	0,09	0,03		31	219,1998	32	1,99	0,31	2,01	2,70	0,44	2,73
	31			Mx =	1,82		42	2,00	0,22	2,01	2,70	0,38	2,73
Ст. 2	41			My =	0,31		52	2,03	0,13	2,03	2,73	0,34	2,75
							61	2,04	0,28	2,06	2,73	0,42	2,11
							63	2,03	0,35	2,06	2,73	0,47	2,11
		0.04	0.00			0.40.4050	/3	2,05	0,34	2,08	2,74	0,46	2,78
	63	0,04	0,03		63	248,1053	62	2,00	0,17	2,01	3,38	0,50	3,42
	61			Mx =	2,73		/2	0,16	2,00	2,01	2,73	2,05	3,42
	/3			My =	0,47		82	0,10	2,01	2,01	2,73	2,06	3,42
							92	0,16	2,02	2,03	2,73	2,07	3,43
							91	0,38	1,99	2,03	2,75	2,04	3,43
Ст. 3							103	0,34	2,01	2,04	2,75	2,06	3,44
							121	0,51	1,97	2,03	2,11	2,02	3,43
							192	1,99	0,24	2,00	3,38	0,53	3,42
							201	1,95	0,57	2,03	3,35	0,74	3,43
							202	2,01	0,30	2,03	3,39	0,56	3,43
							203	2,03	0,13	2,03	3,40	0,49	3,43
	000	0.40	0.00		004	000 5407	211	2,03	0,36	2,06	3,40	0,59	3,45
	203	0,10	0,03	N4.	201	220,5497	212	2,01	0,11	2,01	3,91	0,75	3,98
	201				3,35		222	2,03	0,14	2,03	3,92	0,75	3,99
0- 4	211			iviy =	0,74		232	2,05	0,27	2,07	3,93	0,79	4,01
CT. 4							242	2,07	0,35	2,10	3,94	0,82	4,02
	<u> </u>						243	2,07	0,33	2,10	3,94	0,01	4,02
	<u> </u>						241	2,00	0,40	2,10	3,93	0,04	4,02
	242	0.06	0.04		241	210 0404	201	2,00	0,40	2,13	3,94	0,07	4,04
	243	0,00	0,04	My -	241	219,0404	202	2,01	0,09	2,01	4,42	0,04	4,50
CT 5	241				3,93		202	2,02	0,15	2,03	4,42	0,00	4,50
01.0	201			iviy –	0,04		273	2,02	0,35	2,05	4,42	0,91	4,52
							2/1	2,04	0,20	2,00	4,43	0,00	4,52
	273	0.65	0.55		271	261 1816	203	0.01	1 0,33	2,09	4,44	2 17	5.02
	273	0,00	0,00	My =	A 42	201,1010	302	0,01	1 00	2,10	4.52	2.17	5.02
	283			My =	0 88		312	0,34	2.04	2,20	4 52	2.10	5.03
	200			iviy –	0,00		272	2 10	0.58	2 18	4 90	1.06	5.02
Ст. 6	<u> </u>						282	2,10	0.77	2 18	4.88	1 17	5.02
	<u> </u>						311	0.77	2.08	2.70	4 50	2.26	5.02
							313	1 10	1.93	2 22	4 57	2 12	5.04
	<u> </u>						371	1 04	1.99	2 25	4 55	2 18	5 05
	101	0.04	0.02		103	230 6386	102	2 01	0.06	2 01	3 40	2.06	3.98
	103	0,04	0,02	Mx =	2.75	200,0000	112	2.02	0.15	2.03	3.41	2.07	3,99
	121			My =	2.06		122	2.01	0.04	2.01	3.40	2.06	3,98
					_,		132	2.02	0.20	2.03	3.41	2.07	3,99
Ст. 7	<u> </u>						142	2.04	0.27	2.06	3.42	2.08	4.01
	<u> </u>						143	2.05	0.22	2.06	3.43	2.08	4.01
							141	2.03	0.35	2,06	3.42	2.09	4.01
							153	2,06	0,34	2,09	3,43	2,09	4,02

Табл. 7. Оценка на точността на координатите [Х,У] на наблюдаваните точки



	-												
Ст. 8	143	0,09	0,02		141	195,4232	152	1,99	0,30	2,01	3,95	2,11	4,48
	141			Mx =	3,42		162	2,03	0,22	2,04	3,97	2,10	4,50
	153			My =	2,09		161	2,02	0,34	2,05	3,97	2,12	4,50
							163	2,04	0,18	2,05	3,98	2,10	4,50
							173	2,06	0,30	2,08	3,99	2,11	4,51
Ст. 9	163	0,22	0,14		161	213,7209	172	1,94	0,59	2,03	4,42	2,20	4,94
	161			Mx =	3,97		182	1,99	0,52	2,06	4,44	2,18	4,95
	173			My =	2,12		-	-	-	-	-	-	-
	371	0,06	0,03		311	143,9396	322	2,00	0,20	2,01	4,92	2,27	5,42
	313			Mx =	4,50		332	2,01	0,30	2,03	4,93	2,28	5,43
	311			My =	2,26		331	1,96	0,55	2,04	4,91	2,33	5,43
							333	2,03	0,16	2,04	4,94	2,27	5,43
							341	2,01	0,44	2,06	4,93	2,30	5,44
C- 10							372	1,95	0,49	2,01	4,90	2,31	5,42
CI. 10							382	1,99	0,45	2,04	4,92	2,30	5,43
							392	2,00	0,54	2,07	4,92	2,32	5,44
							401	2,01	0,66	2,12	4,93	2,35	5,46
							402	2,03	0,61	2,12	4,94	2,34	5,46
							403	2,05	0,54	2,12	4,94	2,32	5,46
							411	2,04	0,74	2,17	4,94	2,38	5,48
Ст. 11	333	0,08	0,02		331	28,8840	342	2,00	0,19	2,01	5,30	2,33	5,79
	331			Mx =	4,91		352	2,03	0,15	2,04	5,31	2,33	5,80
	341			My =	2,33		362	2,04	0,24	2,05	5,31	2,34	5,81
	403	0,05	0,04		401	195,4760	412	1,98	0,37	2,01	5,31	2,38	5,82
Ст. 12	401			Mx =	4,93		422	2,01	0,41	2,05	5,32	2,39	5,83
	411			My =	2,35		432	2,04	0,42	2,08	5,33	2,39	5,84

От получените резултати за оценките на точността на координатите [X,У] на наблюдаваните точки е направен извода, че по-големите стойности на оценките са в линия на визурите, което показва по-висока точност на ъгловите измервания и по-ниска на линейните (ос X почти съвпада с направлението на наклонената галерия и двата подетажа).

#### Изводи

1. Оценката на точността дава представа за размера на очаквани или реализирани грешки.

2. Тя определя дали определените премествания са действително реализирани премествания, или са грешки при измерванията.

3. Това са теоретични стойности на оценките (максимални стойности, но и едни и същи при многократни изчисления). Реални стойности на оценките, отчитайки вероятностния характер на грешките, могат да бъдат получени по метода "Монте Карло".

4. В подземните рудници, поради характера на минните изработки, основно се използват полигонови ходове за пространственото определяне на избрани точки. Полигоновите страни не са с големи дължини, което определя грешката от центриране на инструментите да влияе силно върху точността на резултатите от измерванията. В разглеждания тук доклад е анализирана точността на координати на точки, определени чрез използване на обратна засечка (засечка назад, свободна станция). Вижда се, че при отпадане на грешката от центриране на инструмента, чувствително е повишена точността на координатите на новоопределяемите точки. Ето защо се препоръчва използването на този метод за координиране в подземни условия.

#### Заключение

Методите за изучаване на деформационните процеси в скалния масив се основават на наблюдения в естествени условия, в комбинация с методи за моделиране и аналитични изследвания. Чрез извършването на периодични маркшайдерски измервания и последващата им обработка, са


изчислени хоризонтални и вертикални премествания на масива около наклонена разкриваща изработка и две подетажни галерии в рудник "Джурково".

Резултатите от извършените наблюдения и анализи показват възможността да се изследва деформационното състояние на скалния масив във времето и пространството чрез маркшайдерски измервания. Познаването на процесите, протичащи в скалния масив, които водят до неговото деформиране и проследяването на деформациите във времето и пространството би допринесло за вземане на адекватни решения за безопасността и ефективността на работата в подземните рудници.

#### Литература

- 1. Белоликов, А. Н., Б. Н. Земисев, Г. А. Кротов, Г. И. Кузнецов, В. И. Лавров, В. Б. Лебедев, С. П. Павлов, И. И. Стенин, В. С. Симонович, А. Б. Хлебников. Маркшейдерское дело (часть 2). Под ред. И. Н. Ушакова. М., "Недра", 1989, 437 с., ISBN 5-247-01800-1.
- Сираков, Р. Изследване на деформационното състояние на скалния масив около минни изработки чрез маркшайдерски измервания за условията на р-к "Джурково", "ЛЪКИ ИНВЕСТ – ДЖУРКОВО" ЕООД, Дипломна работа, София, 2021.
- 3. Цонков, Ал., Маркшайдерство при подземно разработване на находища (кратък курс), ИК "Св.Иван Рилски", София, 2019.



## АUTOCAD CIVIL 3D, ГРАФИЧНА СРЕДА ЗА РЕШАВАНЕ НА НЯКОИ МАРКШАЙДЕРСКИ ЗАДАЧИ ЗА УСЛОВИЯТА НА РУДНИК "КРУШЕВ ДОЛ"

#### Недко Тодоров Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, nt.todorovv@gmail.com

#### РЕЗЮМЕ

Въпреки широката гама от способности на специализираните минни софтуери, облекчаващи до голяма степен работата на геолози, разработчици и маркшайдери, не всяко предприятие у нас може да си позволи да заплаща годишните лицензионни такси. За маркшайдерското обслужване на рудници по подземен способ се прибягва до използването на неспециализиран софтуер на компанията AutoDeck- AutoCad Civil 3D. С възможностите му за връзка с външна база данни, от която да черпи информация за пространственото положение на контурите на галериите по хоризонтите и данни от геоложко опробване, дават предпоставка за генерирането на профили по тази информация, било то за изобразяване на границите на изработката или графика на процентното съдържание на полезен компонент. Тези функции не могат да бъдат изпълнени без наличието на повърхнини, които освен за това се ползват като основа за проектирането на нови галерии и/или изчисляването на обема минна маса, заключен в границите на изработката. Това е един много добър софтуер с потенциал за приложение в реална среда.

## AUTOCAD CIVIL 3D, GRAPHIC ENVIRONMENT FOR SOLVING SOME MARKSCHIDER PROBLEMS FOR THE CONDITIONS OF "KRUSHEV DOL" MINE

#### Nedko Todorov University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, nt.todorovv@gmail.com

#### ABSTRACT

Despite the wide range of capabilities of specialized mining software, greatly facilitating the work of geologists, developers and surveyors, not every company in our country can afford to pay annual license fees. For the surveying of mines in an underground way, the use of non-specialized software of the company AutoDeck - AutoCad Civil 3D is resorted to. With its ability to connect to an external database from which to draw information about the spatial position of the contours of the galleries on the horizons and data from geological sampling, give a prerequisite for generating profiles on this information, be it to depict the boundaries of production or graphics of the percentage of useful component. These functions cannot be performed without the presence of surfaces, which are also used as a basis for the design of new galleries and / or the calculation of the volume of mine mass locked within the limits of construction. This is a very good software with the potential to be used in a real environment.

#### 1. Общи сведения

Находище "Крушев дол" се намира югоизточно от гр. Мадан, обл. Смолян. Досега не е известно нито името на първооткривателя, нито имената на първите геолози, посетили находището. Установено е само, че първите проучвателни работи върху находището са проведени през 1931 година. Рудните тела на находището са локализирани в регионалния рудовместващ разлом "Илинден-Върба-Батанци-Яновска-Крушев дол-Бучовица-Андроу - Шумачевски дол". В находище "Крушев дол" са установени два типа рудни тела - жилни и метасоматични.

Изхождайки от наличната аналогова информация в рудник (планове и профили) за геометрията на минните изработки на находището е създаден пространствен модел на част от хоризонт 700, като



инструмент за построяването му е използван софтуерният продукт AutoCad Civil 3D. Това е лесна за използване програма за проектиране, която намира приложение при изпълнение на различни инженерни и проектантски задачи в областта на инфраструктурното и инвестиционното проектиране. Програмата работи с "обектно-ориентирани модели". Благодарение на тези модели промените върху един обект се отразяват и върху всичко свързано с него. Обектните стилове управляват начина на изобразяването на отделните обекти и тяхното поведение. Със Civil 3D лесно могат да се правят сценарии от типа "какво ще се случи, ако", което улеснява много проектантската дейност [1].

#### 2. Създаване и използване на числен модел и база данни към него за условията на рудник "Крушев дол", участък Хоризонт 700

За нуждите на текущата разработка са събрани данни от преки измервания на контура на част от галерия на хоризонт 700 в рудник Крушев дол и от геоложки и геомеханични опробвания. Цялата информация е събрана и структурирана в БД на Microsoft Access, като е записана под най-ниската версия поради изискванията на софтуерния продукт.

Номер	X	Y	н	код	Олово	Цинк	Вид на крепежа	Вид на скалата
77	5048488.779	2779967.402	701.70	1	0.006	0.170	1	1
78	5048494.512	2779963.390	701.72	1			1	
79	5048496.967	2779958.639	701.65	1			1	
80	5048498.172	2779960.519	701.63	1			1	
81	5048497.662	2779959.543	701.73	1	0.157	0.118	1	1
82	5048508.820	2779948.259	701.70	1			1	
83	5048510.501	2779949.958	701.71	1			1	
84	5048509.614	2779949.033	701.81	1	0.177	0.031	1	1

Фиг.1-База данни, съдържаща пространствените координати и допълнителни характеристики

На фиг.1 е показана част от БД използвана при генерирането на пространствения мдоел на изработките. Разделена е на 9 отделни колони,подредени според изискванията на форматите за импортиране на данни в Civil 3D. В първата колона се намира уникалният номер на точката. Спрямо него програмата ще чете информация от останалите колони. Следващите 3 колони са пространствените координати на точката. Петата колона, наречена КОД, е "филтрационна" колона. Следващите 2 колони са съдържанието на полезен компонент, представен като част от 1-цата. В последните 2 колони са представени видът на крепежа и вместващата скала за съответния участък, представени чрез код 1. Базата данни може да се допълни и със стойности за физико-механичните свойства на скалите, напрегнато-дефорамционни характеристики за скалния масив и т.н. Причина за това е, че така проектираната БД ще бъде четена от програмата последователно "Номер-Х-Ү-Н-КОД". Данните, използвани в разработката са нееднородни (координати, съдържания, кодове). За да се структурират според вида и предназначението си, Civil 3D предлага филтрация според кода им. Филтрацията се състои в създаването на Роіпt Groups, всяка от които приема данни с код, съответстващ на зададения й и ги представя по стил и етикет на точката,предварително създадена за определената група. За нуждите на рудник Крушев дол са създадени 2 групи:

#### - Снимка горнище

В тази група влизат точките, заснети по контура на горнището на хор.700. Както бе изложено в Фиг.1 кодът разпределя точките от БД в съответни Point Group, предварително създадени в програмата. Групата притежава филтрационен код "1", който цели да присвои към себе си, точките от БД с код "1". Стилът на точката е зададен със син кръг. Етикетът е син и е с видими атрибути Номер на точка и Кота на точка.

#### - Снимка долнище

В тази група влизат точките от контура на долнището на изработките от хор.700. Групата притежава филтрационен код "2", който цели да присвои към себе си, точките от БД с код "2". Стилът на точката е зададен със зелен кръг кръг. Етикетът е зелен и е с видими атрибути Номер на точка и Кота на точка.





Фиг.2-Стил на точните, групирани в отделни точкови групи чрез филтрационен код

Поради триизмерния характер на данните в БД, се поставя условието логическата последователност на свързване на точките от контура на изработката да се извърши с 3D Polyline. В резултат на това се получава основен триизмерен модел.



Фиг.3-Основен триизерен модел на изработките на хор.700

# 3. Основни видове маркшайдерски задачи, решавани на база създадения модел на изработките

Основният модел дава понятие за пространственото положение на контурите на изработките. Задачите, които могат да се изпълняват чрез него са:

 Измерване на дължини – атрибутът (aligned) дава възможност за определяне на разстоянията от точка до точка. Разстоянието се получава на базата пространствените координатни разлики на началната и крайната точка.



Фиг.4-Модул Aligned за измерване на разстояния



 Измерване на височината на галерията – изпълнението на тази задача няма нищо общо с горе изложеното. Показаният атрибут (Aligned) "работи" само в хоризонталната равнина, т.е. измерва само хоризонтални разстояния. За да се измери височината на галерията, се използва 3D PL. Информацията за 3D PL е налице в панела (PROPERTIES).



Фиг.5-3D PL използвана за измерване на вертикални разстояния

 Определяне на координатите на всяка една точка от контура. С команда "ID" и съответно избиране на желаната точка в командния ред се изписват пространствените координати на определената точка.



Фиг.6-Пространствени координати с помощта на команда "ID"

- Определяне на трасировъчни данни за направление на галерията.



Фиг.7-Определяне на трасировъчни данни и координати показани чрез етикет на точката

За условията на рудник "Крушев дол" и наличния инструментариум, и двата варианта са приложими. Рудникът разполага с Тотална станция, работеща в координатен режим. Всяка Тотална станция освен като такава, може да се ползва и като електронен теодолит, в този случай се прибягва до трасировъчен ъгъл и разстояние.

Основният модел дава оскъдна информация за обекта. Неговите възможности стигат до показаното в последните 4 фигури (фиг. 4, 5, 6 и 7). За да се използват пълните възможности на Civil 3D е нужно този модел да се изкачи в йерархията. Това означава да се създаде повърхнинен модел. Такъв модел за хор.700 може да се създаде на базата импортираните точки, но поради същността на повърхнината това не е удачно. Както бе показано по-горе контурът на изработката е направен чрез 3D PL. Създаден е обектът "Surface" под името "Рудник", при който структурни елементи (Breaklines) са контурите на изработката при основния модел. Те са добър инструмент за създаването на повърхнини



на линейни обекти. TIN мрежата следва възлите на 3D PL и "обгръща" изработката в черупка, докато мрежата,направена от СОGO PT следва точките и построява върховете на триъгълниците в тях.





Фиг.8 - TIN мрежа съставена на базата на точки

Фиг.9-ТІN мрежа съставена на базата на 3D PL



Фиг.10- Концептуален модел на част от хор.700

# 4. Видове маркшайдерски задачи, решавани на база създадения повърхнинен модел на изработките

С помощта на повърхнините могат да се решават различни задачи, свързани с маркшайдерското обслужване на подземни рудници. Една от задачите е да се изчисли обемът иззета минна маса. За да се случи това, трябва да бъдат създадени 2 повърхнини, които да бъдат сравнени. В текущата разработка е генерирана повърхнина, наречена "Рудник",съдържаща контура на иззетото пространство за изминалия месец. Създадена е друга повърхнина,наречена "Долнище 700", която приема 3D PL само от долнището на изработката. Следователно 2-те повърхнини ще се припокриват идеално, следващи границата на долнището.

В строгия език на математиката, повърхнината е свързано точково пространство F в тримерното Евклидово пространство. Всяка точка P от F притежава околност U със свойството, че лежащите в нея точки могат да бъдат представени като повърхнинен елемент. Задава се с уравнение от вида f(x,y,z)=0 [2]. Едно от условията за създаване на повърхнина е еднозначността на изграждащите я точки. За удовлетворяване на това условие умишлено се транслира контура на горнището спрямо контура на долнището. За условията на рудник "Крушев дол" тази транслация е в рамките на 1-3 ст.

- Изчисляване на обем иззета минна маса.

За да бъде изчислен обемът, трябва да се създаде TIN Volume Surface (Обемна повърхнина) сравняваща повърхнина "Рудник" и повърхнина "Долнище 700". При съпоставката им възлите на триъгълниците могат да не са точно един над друг. Проверява се всеки един от тях и е възможно да се



генерират произволен брой точки в равнината на всеки триъгълник, за да се получат нови, лежащи точно един над друг, естествено без да се променя формата им. От еднаквите триъгълници се създават призми като за всяка една такава по формулата  $V = S_{n+1}h_{n+1}$  се пресмята обемът й. Сумата от всички призми в обемната повърхнина дава общия обем.



Фиг.11- Обемна повърхнина

По дефиниция обемната повърхнина е геометричната разликата между 2-те сравнявани повърхнини, проектирана в условната нула (по височина) на координатната система.

- Създаване на надлъжен профил по оста на между т.81 и т.119 на изработката.

За да бъде създаден профил, трябва да бъдат налични повърхнина и трасе, принадлежащи на изследваната област. Според това какво ще изобразява, трябва да се изберат правилните данни, изграждащи повърхнината.

За нуждите на рудник "Крушев дол" е създадено трасе по оста на галерията от т.81 до т.119. с дължина 98.72 m.Разбито е на главни и второстепенни напречни профили през 5 метра. По дефиниция трасето освен, че има характера на полилинията, т.е. котите във всичките му възли са едни и същи и равни на нула, то е и осева линия, което от своя страна го прави фундаментален обект за създаването на други по-сложни.



Фиг.12 -Част от трасето между 70-тия и 99-тия метър



Фиг. 13-Надлъжен профил по оста на галерията на хор.700



В територията на профила, трасето служи като секуща, строго вертикална равнина, която прерязва двете повърхнини, образувани от 3D PL на горнището и долнището на изработката.

- Създаване на напречни профили по съставен надлъжен профил и анализът им.

Както бе споменато генерираното трасе е разбито на напречни профили през 5 м. За да се получат напречните профили, първо върху трябва Alignment (трасе) да се генерира Sample lines (напречна характерна линия). Това означава надлъжният профил да бъде разделен на напречни профили през 5m. Важното тук е, че тя играе ролята на секуща равнина на повърхнините, напречно на надлъжния профил. В менюто на напречната линия се избират кои повърхнини тя да пресече. В случая това са повърхнините, използвани при генерирането на надлъжния профил.





Фиг.13 -Част от напречните линии генерирани през 5т

Фиг.14-Напречен профил изобразяващ сечението на галерията

- Изчисляване на обема иззета минна маса по профили

Това е една много сериозна и отговорна задача. Освен по класическия начин за изчисление на обеми чрез сравняване на 2 повърхнини, създадени от 3D PL и генерирането на обемна повърхнин, в менюто Composite Materials се задава трасето и напречните линии, които ще се използват като основни контури, в които ще се изчисли обемът.

		Material Name	Conditi	Quantit	Cut Fact	Fill Fact	Refill Fa	Shape S	Curve T	Gap
		🖂 🐺 Material List								
		由 關 Ground R	-	Cut	1.000		1.000	Cut Mat		
		Ground Fill		Fill		1.000		Fill Mate		
Select a Sample Line Group	×									
elect alignment:										
D Tpace 81-119										
elect sample line group:										
SL Collection - 3	ß	<								
		Volume calculation meth	od:							
OK Cancel He	ln.	Average End Area		~				import	another criter	10
cancer ne	-ik							-	1	

Фиг.15-Създаване на обемна повърхнина

Спрямо зададеното трасе от 98.72m. и генерираните върху него напречни профили през 5m. с обхват 5m. и такива в характерните точки на трасето са изчислени площ и обем за всеки един профил. Сумата от обемите и площите в отделните профили е показана на Фиг.16.





Ов	щ обен	1 ИЗЗЕТА МИННА М	aca	Общ обем иззета минна маса					
Профил	Плоц	Овем в профила	Овем n+1	профил	Площ	Обем в профила	Обем n+1		
0+000.00	6.05	0.00	0.00	0+050.00	11.18	44.04	330.99		
0+005.00	6.16	30.54	30.54	0+051.11	11.09	12.35	343.34		
0+010.00	6.28	31.10	61.64	0+055.00	7.09	35.27	378.61		
0+015.00	6.39	31.66	93.30	0+059.09	6.97	28.78	407.39		
0+015.91	6.43	5.86	99.17	0+060.00	7.13	6.42	413.81		
0+020.00	7.31	28.10	127.27	0+065.00	8.06	37.98	451.79		
0+020.83	7.16	5.99	133.26	0+068.23	7.28	24.74	476.53		
0+024.27	6.32	23.21	156.47	0+070.00	6.11	11.95	488.48		
0+025.00	6.27	4.53	161.00	0+075.00	6.79	32.25	520.73		
0+030.00	6.18	31.12	192.12	0+080.00	14.12	52.28	573.01		
0+033.71	6.17	22.92	215.04	0+080.98	15.81	14.64	587.65		
0+035.00	6.22	7.96	223.00	0+085.00	6.41	45.82	633.47		
0+040.00	6.40	31.55	254.56	0+086.13	6.21	7.15	640.62		
0+043.33	6.55	21.54	276.10	0+090.00	6.14	23.95	664.57		
0+045.00	6.44	10.85	286.95	0+095.00	6.47	31.52	696.09		
				0+098.67	6.72	24.20	720.29		

Фиг. 16- графично и таблично представяне на обемите заключени между сеченията

#### 5. Заключение

Въпреки неспециализирания си характер, при правилно, систематично и рационално събиране на маркшайдерска информация, тя по своя характер да бъде използвана като изходна за съставянето на 3D модели на минните изработки, AutoCad Civil3D се явява една адекватна среда за решаването на сериозен набор от маркшайдерски задачи. С възможността си за връзка с БД и обектно-ориентираните модели с които работи, задачи от типа: поддържане на актуалното състояние на плана на минните изработки, определяне на трасировъчни данни за направлението на галериите, изчисление на обеми, генериране на профили и разрези, проектиране на нови изработки и т.н., се решават бързо и безпроблемно.

#### Ползвана литература

- 1. Шумаров, П. Практическо ръководство по AutoCad Civil 3D. Cad Point 2007.
- 2. Боев, К. Минна геометрия. Университетско издание Св. Климент Охридски. София 2012



# МАРКШАЙДЕРСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА СКАЛНИЯ МАСИВ В ОПОРЕН ЦЕЛИК В МЕТАЗАЛЕЖ В РУДНИК ЗА ДОБИВ НА ОЛОВНО-ЦИНКОВА РУДА

#### Александър Цонков Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, altzon@abv.bg Радослав Сираков "Лъки Инвест-Джурково" ЕООД, 4241 Лъки, radoslavsirakov24@gmail.com

#### РЕЗЮМЕ

В доклада са представени резултати от изследвания на деформационното състояние на скалния масив в опорен целик в метазалеж в рудник "Джурково". Те се основават на повторни (многократни) маркшайдерски измервания през подходящи интервали за определяне на пространствените изменения на наблюдавани точки от масива.

За изясняване на състоянието на масива за периода на наблюденията са определени стойностите на: главните деформации, техните направления, относителното изменение на площта и интензивността на формоизменението. Тези характеристики на деформациите са дефинирани за три нива на целика като са формирани мрежи от триъгълници в горната, средната и долната част на опорния стълб. Приема се хипотезата за локално еднородно деформиране на масива в равнината на всеки триъгълник. Върховете на триъгълниците са наблюдаваните точки, предварително стабилизирани в стените на целика. Резултатите са представени в табличен и графичен вид.

#### MINE SURVEYING STUDIES OF THE DEFORMATION STATUS OF THE ROCK MASSIF IN SUPPORT

#### PILLAR IN METASOMATIC DEPOSIT IN MINE FOR LEAD-ZINC ORE MINING

#### Alexander Tzonkov University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, altzon@abv.bg Radoslav Sirakov "Lucky Invest-Dzhurkovo" Ltd., 4241 Lucky, radoslavsirakov24@gmail.com

#### ABSTRACT

The results of studies of the deformation status of the rock massif in support pillar in metasomatic deposit in the Dzhurkovo mine are presented in the paper. They are based on repeated (multiple) mine surveying measurements at appropriate intervals to determine the spatial changes of observed points from the rock massif.

To clarify the state of the array for the period of the observation, the values of: the main deformations, their directions, the relative change of the area and the intensity of the form change are determined. These deformation characteristics are defined for three levels, forming networks of triangles in the upper, middle and lower part of the support pillar. The hypothesis of local uniform deformation of the rock massif in the plane of each triangle is accepted. The tips of the triangles are the observed points pre -stabilized in the walls of the support pillar. The results are presented in tabular and graphic form.

#### Въведение

Експлоатацията на находища на подземни богатства предизвиква промени в състоянието на скалния масив. В зависимост от природните условия, вида на находището (жилно, метасоматично, пластово), възприетата система на разработване и редица фактори в резултат от човешката дейност, деформационното състояние на масива се променя непрекъснато.



В представената разработка се изследва това изменение за условията на рудник "Джурково", в участък с камерно-стълбова система на разработване. За целта са използвани регулярни маркшайдерски измервания, чрез които са определяни местоположенията на наблюдавани точки върху стените на предпазен стълб и промените им във времето. Въз основа на определените пространствени премествания на стабилизираните контролни точки, чрез методика, разгледана подробно в [5], са определени инвариантните характеристики на деформациите – стойностите на главните деформации, техните посоки, относителното изменение на площите и интензивността на формоизменението за масива в контура на предпазния стълб.

Познаването на тези стойности за конкретните условия и проследяването на техните изменения във времето позволява да се характеризира напрегнато-деформационното поведение на скалния масив, както и да се направят изводи и препоръки относно правилността на инженерните решения. А това би довело до ефективна и безопасна работа.

Докладът представлява продължение и допълнение на изследванията, същността и резултатите от които са споделени в [2 и 3].

#### Обект на изследване

Рудник "Джурково" е част от Лъкинското рудно поле. Находището съдържа едни от найзначителните запаси от оловно-цинкови руди в района. Разработва се по подземен начин. Скалите са с моноклинално западане на север – от 350° до 20° с наклон до 20°. Геоложкият строеж се характеризира с множество гънкови структури и дизюнктивни нарушения. Първичните рудни минерали са галенит, сфалерит, пирит, халкопирит. Срещат се още арсенопирит, магнетит и хематит. Нерудните минерали са представени главно от кварц и калцит. Обемното тегло на вместващите скали е от 2,5 до 2,6 kN/m<sup>3</sup>, а на рудата – от 2,9 до 3,0 kN/m<sup>3</sup>. Плътността на скалите е голяма, което е обусловено от ниските стойности на обема на порите и на порния коефициент. Якостта на натиск в сухо състояние е от 122 до 143 MPa. Ъгълът на вътрешно триене в сухо състояние е от 22° до 43° [1].

Находището е разкрито с две вертикални шахти, щолня и наклонена шахта.

Тъй като рудните тела се отнасят към два морфогенетични типа (жилни и метасоматични), се прилагат две системи на разработване:

1. Система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки;

2. Камерно-стълбова система.

Основни елементи на камерно-стълбовата система са нарезните изработки, добивните камери и опорните стълбове (целици).

Обектът на изследване е опорен стълб в метазалеж 6 в рудник "Джурково" – "Лъки Инвест-Джурково" ЕООД. Площта му е около 60 m<sup>2</sup>, а височината е от 3 до 3,8 m (фиг.1). Дълбочината от земната повърхност е около 360 m.

Целикът е формиран от гнайси и мрамори (фиг.2).



Фиг.1. Снимка на опорния целик в метазалеж 6



Фиг.2. Геоложки строеж на целика [4]



#### Маркшайдерски измервания и резултати

За определяне стойностите на посочените деформационни характеристики е реализирана специална наблюдателна станция около и в близост до целика (фиг.3). Състои се от 8 трайно стабилизирани в стените на околните минни изработки изходни точки. Контролните (наблюдаваните) точки – 49 броя, са равномерно разположени на три нива (долу, в средата и горе) по стените на целика. За измерванията е използвана геодезическа станция Sokkia CX-62 (фиг.4).





Фиг.3. Целикът и изходните точки

Фиг.4. Геодезическа станция Sokkia CX-62, [6]

Извършени са седем наблюдения в периода месец юли 2020 г. до месец юни 2021 г. Въз основа на координатните изменения на наблюдаваните точки в различните моменти на наблюдение, са определени инвариантните характеристики на деформационното състояние на масива, изграждащ опорния целик. Методът за тяхното изчисляване е представен в [5].

В този доклад са изчислени деформационните характеристики въз основа на резултатите от първото и последното измерване. За подробно характеризиране динамиката на процеса на деформиране такива изчисления може да се направят между всеки две съседни хронологични наблюдения.

Създадени са мрежи от триъгълници за трите нива на целика. От определените в двете избрани наблюдения пространствени координати на точките са изчислени дължините на страните на всеки триъгълник.

Чрез измененията им за интервала от време между двете измервания за всеки триъгълник са изчислени [4]:

- стойностите на главните деформации *E*<sub>1</sub> и *E*<sub>2</sub> и техните посоки *T*<sub>1</sub> и *T*<sub>2</sub>;
- стойността на относителното изменение на площта дилатация θ;

- стойността на интензивността на формоизменение – максимално преместване γ<sub>m</sub>.

Главните стойности на деформациите представляват относителните изменения на дължините по направление на главните оси, а посоките им се определят спрямо една страна на конкретния триъгълник. Дилатацията и максималното преместване характеризират относителното изменение на площта и на формата на изследваната елементарна фигура. За изчисляването им се приема хипотезата за локално еднородно деформиране на равнинния триъгълник, т.е. за масива, попадащ в равнината на определен триъгълник, се счита, че се деформира изотропно. Определените стойности се нанасят в центъра на тежестта на всеки триъгълник (пресечната точка на медианите), но важат за цялата му площ. Тъй като стойностите на тези деформационни характеристики не зависят от приетата координатна система, те се наричат инвариантни характеристики на деформациите. Конкретните



стойности на елементите на деформациите за всеки триъгълник в трите нива на целика са показани в таблици 1, 2 и 3 и фиг. 5, 6 и 7.

No A	Център на	а тежестта	Елементи на деформациите							
IN≌ ∆	X [m]	Y [m]	E <sub>1</sub> .10 <sup>-3</sup>	T1 [9]	E <sub>2</sub> .10 <sup>-3</sup>	<i>θ</i> .10 <sup>-3</sup>	γm.10- <sup>3</sup>			
101	19651,950	57156,361	4,28	-46,05	-3,46	0,82	7,73			
102	19651,154	57156,510	1,22	56,44	0,25	1,46	0,97			
103	19650,023	57156,448	0,77	46,91	-0,32	0,46	1,09			
104	19649,192	57154,454	2,74	13,96	-4,11	-1,36	6,86			
105	19648,004	57156,036	2,59	6,84	-0,56	2,03	3,15			
106	19647,199	57154,020	2,71	-30,13	-6,22	-3,52	8,93			
107	19646,131	57155,765	2,02	-31,52	-0,08	1,94	2,10			
108	19645,340	57153,925	1,67	-29,89	-5,97	-4,30	7,63			
109	19644,277	57155,571	3,24	-43,80	-0,84	2,40	4,08			

Табл.1. Стойности на елементите на деформациите за триъгълниците в долната част





γ<sub>m</sub>.10-3

Посоки на главните деформации *E*<sub>1</sub> (в червен цвят) и *E*<sub>2</sub> (в син цвят) в **долната част** на целика

Фиг.5

θ.10-3



	Център на	а тежестта	Елементи на деформациите							
INº ∆	X [m]	Y [m]	E <sub>1</sub> .10 <sup>-3</sup>	T1 [9]	E <sub>2</sub> .10-3	θ.10 <sup>-3</sup>	γ <i>m</i> .10 <sup>-3</sup>			
201	19653,766	57156,948	4,14	-91,01	-3,16	0,98	7,30			
202	19653,396	57156,215	-0,24	41,76	-4,55	-4,80	4,31			
203	19652,939	57157,117	2,15	-31,11	-6,18	-4,03	8,33			
204	19652,561	57155,705	0,36	5,63	-0,18	0,18	0,54			
205	19651,805	57156,872	0,96	60,56	-1,05	-0,09	2,01			
206	19651,167	57154,863	0,30	9,47	-1,81	-1,51	2,12			
207	19650,076	57156,289	0,52	86,99	0,17	0,69	0,34			
208	19649,282	57154,160	0,57	1,89	-2,05	-1,48	2,62			
209	19648,088	57155,952	0,65	-13,83	0,36	1,01	0,29			
210	19647,239	57153,863	0,65	-30,17	0,09	0,73	0,56			
211	19646,170	57155,727	0,55	8,70	0,04	0,58	0,51			
212	19645,372	57153,797	0,68	-45,59	-0,35	0,33	1,03			
213	19644,279	57155,580	0,65	-14,73	-0,58	0,07	1,23			
214	19643,501	57153,925	0,72	-53,67	0,17	0,89	0,55			
215	19642,186	57153,778	1,47	-66,00	-0,83	0,64	2,30			
216	19642,662	57154,966	1,53	99,62	0,20	1,73	1,33			
217	19642,491	57156,367	2,64	84,17	-0,73	1,91	3,37			

Табл.2. Стойности на елементите на деформациите за триъгълниците в средната част









θ.10-3



Посоки на главните деформации *E*<sub>1</sub> (в червен цвят) и *E*<sub>2</sub> (в син цвят) в **средната част** на целика

Фиг.6



No. A	Център на	а тежестта	Елементи на деформациите							
IN≌ ∆	X [m]	Y [m]	E <sub>1</sub> .10 <sup>-3</sup>	T1 [9]	E <sub>2</sub> .10 <sup>-3</sup>	θ.10 <sup>-3</sup>	γm.10 <sup>-3</sup>			
301	19652,402	57156,449	2,45	-41,71	-3,24	-0,79	5,70			
302	19651,440	57156,455	0,69	97,24	0,30	1,00	0,39			
303	19650,261	57156,283	0,50	46,46	-0,57	-0,07	1,08			
304	19649,409	57153,977	0,19	-6,49	-2,09	-1,90	2,28			
305	19648,201	57155,992	0,38	-19,44	-0,25	0,14	0,63			
306	19647,320	57153,653	0,64	97,62	0,30	0,94	0,35			
307	19646,237	57155,746	0,45	-10,64	-0,26	0,19	0,71			
308	19645,358	57153,430	0,54	-54,75	0,12	0,66	0,42			
309	19644,170	57155,538	0,44	42,27	-0,88	-0,44	1,33			
310	19643,261	57153,651	0,45	-68,38	-0,69	-0,24	1,14			
311	19642,507	57155,524	3,35	-64,33	-1,16	2,19	4,50			
312	19642,148	57154,127	2,38	59,83	-0,55	1,83	2,92			
313	19641,954	57155,148	0,92	32,72	-3,40	-2,48	4,33			

Табл.3. Стойности на елементите на деформациите за триъгълниците в горната част











1964

Фиг.7

57154 57155 5715

θ.10-3



Обикновено при проектирането и строителството на всяко съоръжение се посочват стойности на допустими или критични деформации, превишаването на които може да доведе до нарушаване целостта или разрушаването му.

Поради ограничения обем на доклада, в изследването по-долу, се разглеждат и анализират получените стойности само за главната деформация  $E_1$ . В таблици 1, 2 и 3 са показани тези стойности за долната, средната и горната част на целика за посочения по-горе времеви интервал. По аналогичен начин може да се представят и анализират резултатите относно  $E_2$ ,  $\theta$  и  $\gamma_m$ .

На фиг.8 е показано разположението на контролните точки в трите нива [2], а на фиг.9 - с изолинии са изобразени зони с различни стойности на главната деформация *E*<sub>1</sub>, сравнени с **условно** приета допустима хоризонтална деформация 2.10-<sup>3</sup>.

Възприетите означения са следните:

- в червен цвят – зони на опън със стойности на хоризонталните деформации над допустимата приета (2.10-<sup>3</sup>);

- в зелен цвят – зони на опън със стойности на хоризонталните деформации под допустимата приета (2.10-<sup>3</sup>).





Фиг.8. Разположение на контролните точки в трите нива [2]

Фиг.9. Стойности на главната деформация Е<sub>1</sub>.10<sup>-3</sup>, сравнени с условно приетата допустима хоризонтална деформация (2.10<sup>-3</sup>), в трите нива – долу, в средата и горе

#### Коментар на получените резултати

Подложените на вертикален натиск целици непрекъснато променят формата и размерите си. Напречните деформации в горнището и в долнището им са ограничени от силите на триене и сцепление с вместващите скали, докато в средната част те се реализират в пълна степен. Това обяснява придобитата им форма на "пясъчен часовник".

За изследвания период, въз основа на маркшайдерските измервания, са определени следните зависимости за наблюдания целик в метазалеж 6 [4]:

1. Във всички нива на целика посоката на главната деформация *E*<sub>1</sub> е от запад на изток. Това се обяснява с наклона на скалите, изграждащи целика, както и с по-голямата ширина на празното пространство от източната му страна (фиг. 3 - наклонена галерия до метазалеж 6).

2. Стойностите на изследваните елементи на деформациите са най-високи в долната част на целика и намаляват във височината му. Ситуационно те са по-високи в северната и в южната част, а в средата - по-ниски.



3. Стойностите на главната деформация *E*<sub>1</sub> и в трите нива на целика показват развитие на опънни деформации. В посоката на другата главна деформация *E*<sub>2</sub>, преобладават натисковите деформации.

4. Относителното изменение на площите (*θ* дилатация) в долното и горното ниво на целика е с променлив характер, а в северната част на средното ниво преобладават зони на свиване.

5. Интензивността на формоизменението  $\gamma_m$  е най-голяма и равномерна в долната част на целика, докато в другите две нива в северната и южната тя има повишени стойности, а между тях - значително по-ниски.

6. При предварително известни стойности на допустими или критични деформации, проследявайки динамиката на деформационния процес, ако е необходимо, може да се вземат своевременни мерки за осигуряване на безаварийна експлоатация на наблюдавания обект.

7. Резултатите от извършените наблюдения показват възможността да се изследва деформационното състояние на целика във времето и пространството чрез маркшайдерски измервания.

#### <u>Библиография</u>

- 1. Архивна документация на "Лъки Инвест Джурково" ЕООД, рудник "Джурково".
- Господинова, В., М. Бегновска. Изучаване поведението на скалния масив при камерно-стълбова система на разработване в рудни находища чрез маркшайдерски наблюдения. Сборник доклади от XXXI Международен симпозиум "Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области", 04 – 05 ноември 2021, София, с. 178-187. ISSN 2367-6051.
- Господинова, В., М. Бегновска, Ал. Цонков, Р. Сираков. Възможности за приложение на различни методи за изследване на деформационното състояние на скалния масив по данни от маркшайдерски наблюдения, Сборник доклади от XVI Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 06 – 10 септември 2021, Варна, България, с. 153-159. ISSN 2535-0854.
- Сираков, Р. Изследване на деформационното състояние на скалния масив около минни изработки чрез маркшайдерски измервания за условията на р-к "Джурково", "ЛЪКИ ИНВЕСТ – ДЖУРКОВО" ЕООД, Дипломна работа, София, 2021.
- 5. Цонков, Ал., Геомеханични изследвания чрез маркшайдерски измервания, монография, ИК "Свети Иван Рилски", София, 2019.
- 6. Sokkia CX-62 / CX-65 Operator's manual.



## ИНОВАТИВНИ МАРКШАЙДЕРСКИ МЕТОДИ В УСЛУГА НА ГЕОМЕХАНИКАТА ЗА УСЛОВИЯТА НА РУДНИК ЧЕЛОПЕЧ

#### инж. Росен Димитров Rosen.Dimitrov@dundeeprecious.com д-р инж. Сергей Михалев Sergei.Mihalev@dundeeprecious.com инж. Христо Добрев Hristo.Dobrev@dundeeprecious.com

#### ABSTRACT

A short review of survey activities executed in Chelopech mine related to management of rock mass processes, has been prepared. The review presents part of the innovative methods applied in their execution. It summarizes survey tasks related to monitoring of movement zones; observation of stability in specific development and production mine workings, surface movements; creating 3D models of production, minedout or backfilled areas. Specific examples of modern and innovative technologies used are presented. **Keywords:** UAV; Scanners; Geotechnical; Survey; Innovations;

#### <u>Увод</u>

Маркшайдерското заснемане на недостъпни, труднодостъпни или опасни зони в подземните рудници винаги е било предизвикателна и отговорна задача. Назад във времето са използвани различни методи за заснемане на подобни обекти – тахиметричен, ортогонален, измерване на височини с балони.

Дългогодишната практика, развитието на технологиите и стремежът към по-качествено маркшайдерско осигуряване на добивните процеси, довеждат до това, че днес е налична възможността за заснемане на недостъпни пространства с автономни сканиращи дронове.

Необходимостта от точното геопространствено разположение на обекти, минни изработки и други, с цел надеждна и коректна геомеханична оценка на скалния масив или на конкретна изработка, обуславя връзката и работата в сътрудничество между две основни направления в минното дело - маркшайдерство и геомеханика. Тази връзка съществува и в практиката в рудник "Челопеч". В настоящия доклад са разгледани накратко иновативни маркшайдерски дейности и методи захранващи с информация специалистите по геомеханика.

#### Заснемане и моделиране на недостъпни обекти

От 2005г. насам рудник "Челопеч" се разработва чрез камерно системен способ с последващо запълнение на отработените пространства (камери). За заснемането и последващото моделиране на такива обекти в рудник "Челопеч" се използват:

 CMS" (Cavity Monitoring System) - система за мониторинг на празни пространства. Методът на лазерното сканиране е доказана технология, с широко приложение в добива на полезни изкопаеми (Фиг.1). Инструментите са създадени специално за работа в подземни минни условия и осигуряват безопасно, бързо и прецизно сканиране на подземни минни изработки, каквито са отработените добивни камери.







Фиг.1: Постановка на сканиране на празно пространство чрез CMS апаратура

Лазерните скенери от този тип осигуряват:

- дистанционно заснемане на опасни зони;
- бързи и точни резултати в реално време;
- хиляди прецизно заснети точки, служещи за определяне формата, размерите, ориентацията и обема на празното пространство;
- създаване на детайлен тримерен модел.
- EXYNAERO сканиращ безпилотен летателен апарат иновативна система, която се разработи съвместно между "Exyn Technologies" и "Dundee Precious Metals Chelopech". Exyn Technologies е пионер в разработването на автономни, летящи, роботизирани системи при сложни условия и липсата на ГНСС покритие.

Системата EXYNAERO (Фигура 2), е базирана на безпилотен летателен апарат, компютър и LiDAR скенер. Най-важната част в системата е ExynAI (Exyn Artificial Intelligence). Именно този изкуствен интелект създаден от екипа на Exyn, задвижва и навигира летателния апарат в сложните и тесни минни пространства. Софтуерът е програмиран така, че да води системата там, където има празни обеми, като по този начин избягва сблъсък с хора, машини и стени на минни изработки. Непрекъснатия процес на сканиране снабдява системата с актуален модел на минната изработка в реално време, а гъстотата на облака от точки позволява да се отчетат и малки детайли на заобикалящата го среда.





Фиг..2: EXYNAERO - автономен сканиращ дрон на Exyn Technologies - и таблет за визуализация

Възможността облакът от точки описващ детайлно сканирания обект да бъде коректно георефериран спрямо останалите обекти в рудника се използват допълнителни репери монтирани в близост до точката на излитане и кацане (Фигура 3).



Фиг..3: Схема на разположение на стенни репери за георефериране на облака от точки

Сканиращите безпилотни летателни апарати използвани в подземни руднични условия ще навлизат все по-широко в практиката. Основните фактори, които мотивират смяната на добре позната и доказала се във времето технология, с един иновативен подход, са свързани най-вече с безопасност, детайлност, покритие, време за изпълнение. В таблица 1, както и на фигура 4 са представени сравнителни данни, за приетата в минния свят технология за заснемане на иззети пространства чрез СМS и сканиращ дрон, получени в резултат на полеви тестове в условията на рудник Челопеч.



Таблица 1

Метод	на	Брой	заснети	Време	за	сканиране	Общо	време	за	
заснемане		точки		(минути)			заснема	не (минути	)	Точност (см)
CMS		55 000		7			30-40			± 2
Сканиращ Дрон	4	20 000	000	2-3			30-40			± 10





Едно от основните предимства при заснемането на големи празни пространства посредством сканиращ дрон, е пълнотата на получения облак от точки, които може да достигне до 100% покритие на добивната камера. Това се дължи на факта, че системата сканира обекта непрекъснато и от различни позиции, докато се движи (Фигура 5). По този начин се постига максимално детайлно заснемане, при което "сенките" са сведени до минимум.



Фиг.5 Схематична постановка за сканиране на добивна камера с БЛА

Методите намират широко приложение в "Дънди Прешъс Металс Челопеч ". Използват се предимно за осигуряване необходимата информация на специалисти, отговорни за добива, за последващото запълване на иззетите пространства (Фиг.6) и др. Прилагат се също за заснемане на



определени зони на повърхността, както и при мониторинга на състоянието на рудоспусъци в рудника. Липсата на безопасен достъп в тях и необходимостта от постоянен контрол обуславят честата му употреба в този тип минни изработки.

В областта на геомеханиката методите намират приложение за следене устойчивостта на отворените добивни пространства, за определянето на тяхната форма и геометрични параметри. Той помага и за определянето на точния обем на обрушен материал или за визуализацията и геопространственото положение на определени структурни зони.

В практиката не липсват случаи, при които вследствие на обрушаване или непълно взривяване на добивни камери, се образуват т.нар. "козирки" на горните подетажи, или на други форми, които възпрепятстват не само безопасното продължаване на добива от камерите, но не позволяват и да се извърши безопасен оглед на обекта. В подобни ситуации най-обективната информация се получава чрез маркшайдерско заснемане на обекта.



Фиг.6: Модел на иззета добивна камера и запълнен обем на иззето пространство, определени чрез CMS и EXYNAERO

#### Мониторинг зони на движение на повърхността

От 2005 г. насам в рудника се прилага камерна система на разработване с последващо запълнение. Тя заменя прилаганата до този момент система на разработване с подетажно обрушаване, поради редица предимства, свързани най-вече с безопасността, ефективността, някои геомеханични въздействия върху масива и др.

Системата с подетажно обрушаване изисква задължително иззетите пространства да се запълват чрез самообрушаване на вместващите скали. Понякога, в отделни добивни блокове това довежда до проявления и на повърхността, чрез образуване на фунии на обрушаване. Тези прояви са обект на периодично заснемане от страна на маркшайдерския екип на дружеството.

Фотограметричното заснемане на наземни обекти, чрез безпилотни летателни апарати се налага все повече, при по-големи и трудно достъпни площи. Основни предимства на този метод са безопасност, бързо и подробно събиране на данни.

Резултатите от всеки замер се сравняват с предходни такива (Фиг.8). Важен момент е констатацията, че не се отчитат нови премествания или слягания. Поради тази причина се приема, че процесът на движение на скалите в тези обрушени пространства вече е преустановен, но въпреки това, маркшайдерският контрол при тях ще продължи.





Фиг.8: Фотографско изображение на повърхността и модел на обрушено пространство

#### Контрол на проходческите дейности

При проходческите дейности интерес за геомеханиката представляват също дебелината на положения торкрет бетон, коректността в изпълнението на положен крепеж (анкери) и др.

За определянето на положения торкрет бетон се извършва двукратно сканиране с EXYNPAK (Фиг.9) на конкретна изработка – преди и след полагането на този вид крепеж. Гъстотата на облака от точки позволява да се създадат изключително подробни триизмерни модели, на базата на които се проверява коректното изпълнението на положения крепеж и се изчислява изразходваното количество торкрет.

Тази система намира приложение и при сканирането на откоси и бордовете на открития рудник, разработван от ДПМ в Крумовград.



Фиг.9: ЕХҮNРАК – ръчно сканираща система



#### ОТ БАЛОНА ДО ДРОНА

Желязко Динев e-mail: tedidon2204@abv.bg Иван Гидиков e-mail: igidikov@r2.marica-iztok.com Николай Петров e-mail: nik.petrov@mail.bg

#### FROM BALLOON TO DRONE

#### Zhelyazko Dinev e-mail: tedidon2204@abv.bg Ivan Gidikov e-mail: igidikov@r2.marica-iztok.com Nikolay Petrov e-mail: nik.petrov@mail.bg

#### ABSTRACT

The purpose of photogrammetric imaging of archaeological sites is to document the finds discovered at a given time. Along with this, they are also georeferenced.

This helps for subsequent analyses when new archaeological sites are discovered in the respective areas. A spatial view of the sites concerned is also obtained.

#### Вместо увод

От дистанцията на времето мога да отбележа, че през XX век държавата насърчаваше научнотехническото развитие на младежта. Имаше изградени организации като ТНТМ, ОВТПН. Всичко това беше унищожено след началото на прехода.

Аз имах възможността да живея и уча през XX век. И така в шести клас се записах в клуба по авиомоделизъм в родния си град. Запознахме се с основите на аеродинамиката и как по чертежи да направиш състезателни модели. Да участваш в състезания, да импровизираш с подръчните материали когато модела е катастрофирал и да не се предаваш. Тези интереси, както и възможностите които ни дадоха нашите преподаватели във ВИАС да предлагаме теми за разработка на дипломни работи, съчетано с бъдещото място на работа най-голямото въгледобивно дружество в България – МИНИ "Марица Изток" определиха идеята ми за стерео снимка от малка височина. За да бъде по-достъпно от полет на специализиран самолет, избрах полетът да се изпълни с метеорологичен балон.

По време на изпълнение на дипломната си работа, аз използвах базата на XMC (хидро метеорологична станция) – София с доставка на водород и материално – техническата база на ГФ при ВИАС за обработка и получаване на резултати от полета.

През 1992 – 3 год. бях вече служител на МИНИ "Марица Изток". Територията на МИНИ "Марица Изток" е голяма – 245 кв.км . Обхваща много вече несъществуващи землища на села които са отчуждени за разкривни или насипищни работи. След като бъдат отчуждени, територията се съгласува със специалистите от археологическият музей, и ако е необходимо се извършват спасителни археологически разкопки.

През 1998 год. по молба на проф. д-р Милена Тонкова, ръководител на спасител-ни археологически разкопки "Кумсала" – северно от село Гледачево се подготвих за повторение на дипломната си работа. Уви не успяхме да си доставим водород. Всичко това като идеи бях замразил до появата на Българския пазар на дроновете. С огромният скок на технологиите и достъните цени, тези полети вече са възможни за всички от нас след преминаване на курс и вземане на лиценз от EASA.

С благодарност към преподавателите от ГФ на УАСГ за придобитите знания.

С благодарност на проф. д-р Борислав Маринов

С благодарност на доц. д-р Иван Иванов – ръководител на дипломната ми работа

С благодарност на доц. д-р Любка Павлова – рецензент на дипломната ми работа



С благодарност и на колегите които ми помогнаха Принципна блок – схема за изпълнение на поставената задача – стерео снимка от малка височина

За максимално неутрализиране на въздушните течения и разполагане на камерата в надир по време на експонацията на снимката, е използвана система за окачване показана на фиг.№1

Така разреших проблема за който в съвременните дронове отговаря системата "gimbal".

Заснемането се извърши със средно форматен фотоапарат 6Х6 "Любитель 2" с 75mm обектив Lomo Tripled-22 с максимална бленда f 4.5, като бе поставена контролна рамка във фокалната равнина.

Използването на негативен фото филм "ORWO NP15 – 120" беше предопределено от наличните тогава на пазара в България дребнозърнест панхроматичен филм с чувствителност 15DIN или 25 ASA.



фиг. №1

За дистанционно управление беше използвано радио управление за модели РУМ-2. То е честотно лицензирано по тогава действащите правила и има кварцова стабилизация на честотата. Притежаващо три рулеви машини.

#### Подготовка за извършване на заснемане от метео балон

Пролетта на 1991година

Място ХМС гр. София



Контролните точки са разположени в мрежа 5x10м посредством "Theo 010A" и рулетка за измерване на дължините. В планово и височинно положение точките са координирани в "локална координатна система".

#### Резултатът - стерео двойката негативи получена от полета с балона

Същите се обработват на стереокомпаратор "Stecometer". А резултатите са обработени чрез програма за "Apple ][ е" за фотограметрия разработена от проф. д-р Борислав Маринов. Резултатите са изчертани на плотер "AVITAB TA10".

Чрез фототрансформатор "SEG-1" всеки кадър се трансформира в ортогонална проекция в зададен мащаб. За целта е необходимо контролните точки да бъдат нанесени в съответния мащаб. Извършва се съответно експонация и проявяване на изображенията. След което се опознават идентичните контролни точки, и по тях се свързват отделните кадри.







Контролните точки са разположени в мрежа 5 х 10 м



M 1 : 125

Така изпълнената задача е приложима в картиране на проучвани археологически обекти. Според действащия в Р. България закон за регистрация на археологическите и културните ценности, археологическите разкопки се класифицират на два вида: редовни и спасителни

#### РЕДОВНИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИ РАЗКОПКИ

Обект: "Плоската могила" местност "Химитлията" до с. Сокол община Нова Загора С любезното съгласие на:

проф. д-р Красимир Лещаков – Исторически факултет към СУ гл. ас. д-р Надежда Тодорова – Исторически факултет СУ гл.ас. д-р Ваня Петрова – НАИМ - БАН



През 2004 година междуведомствена комисия по заповед на Министъра на културата утвърждава границите и статута на "Праисторическа селищна могила". Същата година е извършено и геодезическо заснемане от фирма "ТРАНСГЕО" ООД и полагане на план квадратна мрежа 5 х 5 m.



2019 година – първите два полета над "Плоската могила"

Проучванията през тази година са в рамките на 17 стандартни квадрата L/M 3-9 и N 5-7. Резултатите са публикувани в Археологически открития и разкопки (AOP) от 2019 год. том I стр. 359 "АРХЕОЛОГИЧЕСКИ И ГЕОАРХЕОЛОГИЧЕСКИ ПРОУЧВАНИЯ НА ПЛАСТ ОТ РАННАТА БРОНЗОВА ЕПОХА СЕЛИЩНА МОГИЛА ХИЛИТЛИЯТА, ЗЕМЛИЩЕТО НА С. СОКОЛ, ОБЩ. НОВА ЗАГОРА" с автори : Красимир Лещаков, Деница Илиева, Зои Цирциони, Арюр Гле.



план за полет на 30 т



план за полет на 15 т





2020 година

През 2020 год. е изпълнен и полет с облитане на цялата могила на височина 60 m и повтаряне на полет на височина 15 m



план за полет на 15 т



план за полет на 60 т





ортофото план на цялата могила от 60 т

Резултатите от проучванията са публикувани в АОР – 2020 г. том I стр. 319 – 324 (под печат). В отчета: "ЛЕЩАКОВ К. АРХЕОЛОГИЧЕСКО ПРОУЧВАНЕ НА СЕЛИЩНА МОГИЛА СОКОЛ (ХИМИТЛИЯТА).



През 2020 год. проучваната площ е разширена в ЮИ и ЮЗ посока, като са отворени кв. L1- 3, M1- 3 (на ЮЗ), и М 11 – 13 (на ЮИ). Основно проучванията са в старите квадрати L6-9, М6-9 и северната част на N6-9.





#### 2021 година

През 2021г. ръководител на разкопките е проф. д-р Красимир Лещаков, със заместникръководител гл. ас. д-р Надежда Тодорова.

Основно е работено в кв. L2-7, М 2-7 и са направени няколко контролни траншеи по Ю периферия – в кв. по линии N5-8 и О5-8. Фиксирана е площта на селището през ранната бронзова епоха и началото (горното) ниво на обитаването през халколита.



#### СПАСИТЕЛНИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИ РАЗКОПКИ

Спасителни археологически разкопки се извършват там, където изграждането на съвременни инфраструктурни обекти засяга археологически ценности. Такива археологически обекти се откриват при обходи на археолозите на териториите, върху които ще се развиват инфраструктурните обекти.

Мини "Марица Изток" е инфраструктурен обект от национално значение. Площта върху която се простира е на територията на три области: Старозагорска, Сливенска и Хасковска. Общата площ е 245 кв. км., а дължината на фронта на минните работи в трите рудника е 25 км. За година средният напредък на фронта е 150 м изкопни или насипищни дейности. За това всяка година в бюджета на Мини "Марица Изток" има и перо за финансиране на спасителни археологически разкопки.

След документиране на откритите археологически обекти и терените бъдат предадени за експлоатация, преминават минните дейности. Териториите на археологичските обекти биват безвъзвратно унищожени. Остават намерените и консервирани артефакти, снимков и картен за местоположението. Ето защо тук геореферираните орто-фото планове са много полезни.

Обект от раната бронзова и ранната желязна епоха в местност "Ветата мая" в землището на село Полски градец, община Раднево

С любезното съгласие на:

доц. д-р Красимир Ников – НАИМ - БАН Румяна Георгиева – АМ "Марица Изток" гр.Раднево







#### фиг. №2

тахиметрична снимка с ортофото

На този обект спасителни археологически проучвания са извършвани от 2014 до 2018 год. Резултатите от които са публикувани в сборниците от докладите на АОР за съответните години. През 2017 год. са открити три рова от бронзовата епоха, които заграждат пространство над 30 дка. Те са концентрично разположени един спрямо друг и опасват хълма, като вътрешният и средният ров достигат основата му на изток. Резултатите от проучванията са публикувани в:

АОР – 2017 стр. 78 – 80 "СПАСИТЕЛНО АРХЕЛОГИЧЕСКО ПРОУЧВАНЕ НА ОБЕКТ ОТ РАННАТА БРОНЗОВА И РАННАТА ЖЕЛЯЗНА ЕПОХА В М. ВЕТАТА МАЯ В ЗЕМЛИЩЕТО НА С. ПОЛСКИ ГРАДЕЦ, ОБЩИНА РАДНЕВО" – Красимир Ников, Румяна Георгиева

АОР – 2018 стр. 85 – 88 "СПАСИТЕЛНИ АРХЕЛОГИЧЕСКИ РАЗКОПКИ НА ОБЕКТ ОТ БРОНЗОВАТА И ЖЕЛЯЗНА ЕПОХА В ЗЕМЛИЩЕТО НА С. ПОЛСКИ ГРАДЕЦ, ОБЩИНА РАДНЕВО" – Красимир Ников, Румяна Георгиева

От началото на проучването на обекта през 2014 год. до 2017 год. местоположението на проучените обекти се документира чрез план квадратна мрежа 5х5 м и тахиметрични снимки.

През 2018 год. е направена първата и последна орто-фото снимка. Месеци след това обектът е иззет от развитието на минната дейност.



фиг. № 3

фиг. № 4



На фиг. №2 е показана ситуация от Google Earht от .IV.2017 год. с добавена тахи-метрична снимка.

На фиг. №3 е показана ситуация от Google Earht от .I.2018 год. с добавена тахи-метрична снимка - обектът е започнат да се изгребва.

На фиг. №4 е показана ситуация от Google Earht от .Х.2019 год. с добавена тахи-метрична снимка – обектът е изгребан.

Обобщение на резултатите от проучванията през годините на "ОБЕКТ ОТ РАННАТА БРОНЗОВА И РАННАТА ЖЕЛЯЗНА ЕПОХА В М. ВЕТАТА МАЯ В ЗЕМЛИЩЕТО НА С. ПОЛСКИ ГРАДЕЦ, ОБЩИНА РАДНЕВО" е публикувано в "Кръговите ровове край с. Полски Градец извор за строителната култура през ранната бронзова епоха в източната част на Горнотракийската низина" – К. Ников, Р. Георгиева – в <u>https://www.academia.edu</u>.



Още един обект от спасителните археологически разкопки в Мини "Марица Изток". Проучването започва през 2013 год. от проф. д-р Борис Борисов. Планово се освобождава територия за продължаване на минните дейности на рудник "Трояново СЕВЕР" (Борисов, Гюлева 2014, 567). Разкопките продължават и през 2015г., като проучената площ достига 875 кв.м. (Борисов и др. 2015, 763). След прекъсване от две години, проучванията продължават през 2018/19 г. Разкрити са ями от късножелязната епоха, ями и съоръжения от късноримския и ранно византийския периоди (Борисов и др. 2019, 576 – 578), полувкопани средновековни жилища, стопански помещения, пещи и ями от периода XI – XII век. Последните проучвания се правят през 2021 г. от д-р Красимир Велков. Публикувани са в АОР 2020 том II стр. 1172 – 1175 " РАННОВИЗАНТИЙСКО И СРЕДНОВЕКОВНО СЕЛИЩЕ И ЯМИ ОТ КЖЕ В М. ВЕХТИТЕ ЛОЗЯ ПРИ С. ТРОЯНОВО, ОБЩ. РАДНЕВО" – Красимир Велков, Татяна Кънчева, Веселин Игнатов.След предаване на обекта, през XII.2021 г. същия е иззет от минната дейност на рудник "Трояново СЕВЕР".

Освен множеството полети и геореферираните ортофото снимки, тук бяха изпълнени и два полета на много ниска височина 5 – 6 m над откритите пещи.



Ортофото снимки на откритите пещи 15.Х.2018 г. 02.Х.2019 г.





От придобития опит в годините и с натрупване на данни от различните обекти, може да се констатира:

С усъвършенстване на новите технологии и прилагането им в бита, просто се налага на всеки археологически обект да има и специалист с дрон. Така находките на обекта ще бъдат по-добре документирани и геореферирани към момента на откриването. Събирането на тази пространственна информация позволява бъдещи анализи на взаимосвързаност при откриване на нови археологически обекти в съответните ареали.

#### ЛИТЕРАТУРА

АОР-2018 стр.85

№ 5. СПАСИТЕЛ НИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИ РАЗКОПКИ НА ОБЕКТ ОТ БРОНЗОВАТА И ЖЕЛЯЗНАТА ЕПОХА В ЗЕМЛИЩЕТО НА С. ПОЛСКИ ГРАДЕЦ, ОБЩИНА РАДНЕВО

Красимир Ников, Румяна Георгиева

АОР-2019 том 1 стр.85

№ 2. АРХЕОЛОГИЧЕСКИ И ГЕОАРХЕОЛОГИЧЕСКИ ПРОУЧВАНИЯ НА ПЛАСТ ОТ РАННАТА БРОНЗОВА ЕПОХА НА СЕЛИЩНА МОГИЛА ХИМИТЛИЯТА, ЗЕМЛИЩЕТО НА С. СОКОЛ, ОБЩ. НОВА ЗАГОРА

Красимир Лещаков, Деница Илиева, Зои Цирцони, Артюр Гле

АОР-2019 том 2 стр.1318

№ 67. СПАСИТЕЛНИ РАЗКОПКИ НА ОБЕКТ " РАННОВИЗАНТИЙСКО И СРЕДНОВЕКОВНО СЕЛИЩЕ И ЯМИ ОТ КЖЕ – СЕКТОР ЮГ" В М. ВЕХТИТЕ ЛОЗЯ, ЗЕМЛИЩЕТО НА С. ТРОЯНОВО, ОБЩ. РАДНЕВО, КОМПЛЕКС "МАРИЦА ИЗТОК"

Румен Спасов, Величка Мартинова, Борис Борисов

АОР-2019 том 2 стр.1321

№ 68. СПАСИТЕЛНИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИ ПРОУЧВАНИЯ НА СРЕДНОВЕКОВНО СЕЛИЩЕ В М. ВЕХТИТЕ ЛОЗЯ В ЗЕМЛИЩЕТО НА С. ТРОЯНОВО В КОМПЛЕКСА "МАРИЦА ИЗТОК" Борис Борисов, Жулиета Гюлева, Генчо Димитров



#### АОР-2020 том 1 стр.319

№ 2. АРХЕОЛОГИЧЕСКО ПРОУЧВАНЕ НА СЕЛИЩНА МОГИЛА СОКОЛ (ХИМИТЛИЯТА) Красимир Лещаков АОР-2020 том 2 стр.1172 № 56. РАННОВИЗАНТИЙСКО И СРЕДНОВЕКОВНО СЕЛИЩЕ И ЯМИ ОТ КЖЕ В М.ВЕХТИТЕ ЛОЗЯ ПРИ С. ТРОЯНОВО, ОБЩ. РАДНЕВО Красимир Велков, Татяна Кънчева – Русева, Веселин Игнатов АСАДЕМІА.ЕДU "Кръговите ровове край с. Полски Градец извор за строителната култура през ранната бронзова епоха в източната част на Горнотракийската низина"

К.Ников, Р.Георгиева





# TOPIC D

**Evaluation of the stable condition. Blasting and Seismic Loading. Dynamic activities of rock stress. Probability method. Hazard and risk in geomechanics** 

Оценка на устойчивото състояние. Взривни и сеизмични въздействия. Динамични прояви на скалния натиск. Вероятностен подход. Опасност и риск в геомеханиката

Оценка устойчивости. Взрывные и сейсмические воздействия. Динамические проявления горного давления. Вероятностный подход. Опасность и риск в геомеханике




### ВЕРОЯТНОСТНА ОЦЕНКА НА ФУНКЦИОНАЛНАТА ВРЪЗКА НА ОПИТНИТЕ ДАННИ

### Николай Николаев, Велико Парушев – Антех-ТФА, София, България e-mail: antfa@mbox.contact.bg

### PROBABILITY ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE EMPIRICAL DATA

### Nikolai Nikolaev, Veliko Parushev PhD – ANTECH-TFA Ltd e-mail: antfa@mbox.contact.bg

### ABSTRACT

This paper discusses a probability method for the additional assessment of the authenticity of the linear and curvilinear dependence. The method propose the possibility on the base of two regression functional dependences with close or equal correlation coefficients to choice this one with higher probability assessment. The choice is realized on the base of the values of the correlation coefficients , defined with the help of the relevant assessment of the authenticity.

#### Въведение

Традиционен метод за описване на механичните явления в скалните масиви предизвикани от инженерната дейност е набирането и обработката на опитни данни от конкретния обект.

От голямо значение е приетата /изчислената/ функционална зависимост между събраните двойки данни. Не са редки случаите, когато с помощта на методите на корелационния анализ се получават линейни или криволинейни регресионни зависимости с еднакви или близки /в границите на допустимата грешка/ корелационни коефициенти. В този случай на практика един специалист със сигурност ще приеме по- простата линейна зависимост. Правилният научен подход обаче изисква да се търси по възможност решението с по-високи вероятности оценки.

Проучването на различни литературни източници [1,2 и 3] показват, че един подходящ метод за решаване на поставения проблем е свързан с използването на "Методът за оценка степента на достоверност" на получените зависимости и отговарящите на тези оценки корелационни оценки

### Определяне на показателите на достоверност

В литературните източници [1,2 и 3] на базата на последователни алгебрични трансформации върху вероятностните оценка на изчислената функция на регресията чрез различни функционални параметри по сравнително сложен и дълъг изчислителен път се достига до търсеното решение.

Най-компактна и удобна за практическо приложение са предложените в [4] зависимости.

Така на базата на разсейването на данните се получава средната оценка на достоверността : а / за линейна регресия

$$\theta_l = \frac{\sum (g-z)^2 (N-2)}{\left[v - \frac{u^2}{N}\right) \left(j - \frac{Q^2}{N}\right) - (\sum_g -z)^2](a-1)}$$

(1)

Където

 $g = x' \sum y' m_{xy}$ z = y<sup>-</sup>' \sc{x}'m\_x N - брой на опитните двойки данни u = \sc{x}'m\_x v = \sc{x}(x')^2m\_y j = \sc{y}'^2m\_y



$$Q = \sum y' m_y$$
  
e =  $\sum y' m_{xy}$ 

б/ за криволинейната зависимост

$$\theta_k = \frac{\sum_{m_{xy}}^{e^2} - \frac{Q^2}{N}](N-a)}{[j - \sum_{m_{xy}}^{e^2}](a-1)}$$

а – брой на интервалните групи по х

За изясняване на метода ще се разгледа следния пример.

Пример: В публикацията [5] са събрани данни за връзката между бездименсионните /относителни/ главни напрежения б<sub>3</sub>/б<sub>н</sub> и σ<sub>1</sub>/σ<sub>н</sub> получени за гранити от изследователите Франклин и Хоек дадени в Таблица 1.

Нека за опростяване на записа в следващите изчисления да се приемат означенията  $\frac{\sigma_3}{\sigma_{\rm H}} = x \ u \ \frac{\sigma_1}{\sigma_{\rm H}} = y \ \kappa_{\rm D}$ дето  $\sigma_{\rm H}$  е лабораторната едноосова якост на натиск на гранита.

Корелационната връзка на отбелязаните опитни данни за х и у от таблица 1 водят до получаване на линейната регресия

У = 6,07х + 1,24 и криволинейната зависимост

y = -15,05x<sup>2</sup> + 9,99x + 1,06 ; и двете регресии са с корелационни коефиициенти r ≈ 0,95.

			· · · · · <b>,</b> ·
$\sigma_3/\sigma_H = x$	σ <sub>1</sub> /σ <sub>H</sub> = y	$\sigma_3/\sigma_H = x$	$\sigma_1/\sigma_H = y$
J 0,01	1,15	-	-
0,02	1,30	0,14	2,10
0,03	1,36	0,14	2,18
0,04	1,40	0,16	2,30
0,05	1,49	0,16	2,32
0,06	1,52	0,17	2,44
0,07	1,63	0,18	2,28
0,08	1,73	0,18	2,59
0,09	1,73	0,21	2,58
0,10	1,96	0,22	2,69
0,11	1,98	0,23	2,33
0,12	2,05	0,24	2,50
0,13	1,87	0,26	2,71
	•	•	

За използване на предложената в [4] методика ще се приложат таблиците 2, 3 и 4. За съставянето на таблица 2 разделяме данните за х и у на равни интервали с различни стъпки /според

Таблица 1

(2)



стойностите за x и y/. Опита ни показва , че интервалите за y трябва да са на брой от 0,45 до 0,50, а на x от 0,35 до 0,40 от общия брой данни N.

В случая у се разделя на 12 интервала h<sub>у</sub> със стъпка 0,15 и начало 1,0, а х на 9 интервала със стъпка 0,03 и начало 0. Трансформира се координатната система от х на х' и от у на у' по следните формули:

$$y' = \frac{y-1,15}{0,15}$$
 N  $x' = \frac{x-0,03}{0,03}$ 

като за х и у се вземат винаги само горните граници на интервалите.

Показателя у ′ се определят от уравнението

$$\overline{y}' = y_0 + rac{\sum y' m_{xy}}{m_n} h_y$$
 където  $y_0 = rac{1,0+1,15}{2} = 1,075$ 

Таблица 2

	1										1
<b>х=б</b> 3/бн	Х	0 -	0,03 -	0,06 -	0,09 -	0,12 –	0,15 –	0,18 –	0,21-	0,24-	
		0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	
	<b>,</b>						-	-			
	<b>X</b>										
у=б₃/бн		0	1	2	3	4	5	6	7	8	my
	y' 🔪										
1,00-1,15	0	1									1
1,15-1,30	1	1									1
1,30-1,45	2	1	1								2
1,45-1,60	3		2								2
1,60-1,75	4		1	2							3
1,75-1,90	5					1					1
1,90-2,05	6			1	2						3
2,05-2,20	7					1	1				2
2,20-2,35	8					1	2		1		4
2,35-2,50	9						1				1
2,50-2,65	10							2	1		3
2,65-2,80	11								1	1	2
	mx	3	4	3	2	3	4	2	3	1	25
	е	3	12	14	12	20	32	20	29	11	153
	y <sub>x</sub>	1,075	3,075	4,742	6,075	6,742	8,075	10,075	9,74	11,07	

В първият ред на таблица 2 са нанесени интервалите 0,03 – 0,06; 0,06-0,09 и т.н.

Таблица 3

y'	(y') <sup>2</sup>	m <sub>y</sub>	y'm <sub>y</sub>	M <sub>y(</sub> y') <sup>2</sup>
0	0	1	0	0
1	1	1	1	1
2	4	2	4	8
3	9	2	6	18
4	16	3	12	48
5	25	1	5	25
6	36	3	18	108
7	49	2	14	98
8	64	4	32	256
9	81	1	9	81
10	100	3	30	300
11	121	2	22	242
		N = 25	$\sum y'm_v = 153$	1185



Таблица 4.

(4)

<i>x</i> ′	$(x')^2$	$m_x$	$\sum y' m_{xy}$	$y'' - \frac{\sum y'm_y}{\sum y'm_y}$	$(\sum y' m_{xy})^2$	$m_x(x')^2$	$x' \sum y' m_{xy}$	$x'm_{xyt}$
				$y - \sum m_y$	$m_x$			
0	0	3	3		3	0	0	0
1	1	4	12		36	4	124	
2	4	3	14		65,3	12	28	6
3	9	2	12		72	18	36	6
4	16	3	20		133,3	48	80	12
5	25	4	32		256	100	160	20
6	36	2	20		200	72	120	12
7	49	3	29		280,3	147	203	21
8	81	1	11		121	81	88	8
Σ	221	25	153	153/25 = 6,12	1166,9	482	727	89

Съгласно формула (1) и таблици 3 и 4 се получава за достоверността на евентуалната линейна зависимост от получените опитни данни

 $\theta_{l} = \frac{(721 - 6, 12.890)^{2}}{\left[\left(482 - \frac{89^{2}}{25}\right)\left(1185 - \frac{153^{2}}{25}\right) - (727 - 6, 12.89)^{2}\right](9 - 1)} = \frac{7645334, 4}{62598, 4} = 12, 21$ 

За достоверността на евентуалната криволинейна /параболична или хиперболична/ зависимост съгласно формула (2) и Таблици 3 и 4 се получава зависимостта:

$$\theta_k = \frac{(1166,9 - \frac{153^2}{25})(25 - 9)^2}{(1185 - 1166,9)(9 - 1)} = \frac{3688,6}{144,8} = 25,47$$

Изборът на по-подходящата функционална зависимост между линейната и криволинейната може да се определи чрез изследване на двата корелационни коефициента изведени на базата на получените оценки за достоверността на формулите.

За линейната зависимост

$$r_l = \sqrt{\frac{\theta_l}{\theta_l + \frac{N+2}{a-1}}} \tag{3}$$

а за криволинейната

$$r_k = \sqrt{\frac{\theta_k}{\theta_k + \frac{N-a}{a-1}}}$$

Замествайки получените данни в (3) и (4) се получава

3a 
$$r_l = \sqrt{\frac{12,2}{12,2+\frac{27}{8}}} \approx 0,89$$
  
3a  $r_k = \sqrt{\frac{25,5}{25,5+\frac{16}{8}}} \approx 0,96$ 

### Заключение

Получените данни за стойностите на корелационните коефициенти, оценени на базата на достоверност за двата случая дават категоричен отговор на поставения въпрос. По подходящата функционална зависимост за взетите примерни данни се оказва криволинейната.

В случая се констатира и голямата разлика между получените стойности за корелационните коефициенти получени по методите на корелационния анализ и тези получени на базата на отчитане на достоверността на съответните функционални зависимости за конкретния набор от опитните данни. Безспорно това се дължи на фактът, че във втория случай се отчита и разсейването на набора от данни.



Предложеният метод може да се използва за случаите на близки стойности на корелационните коефициенти получени при използване на корелационния анализ за по-точната вероятностна оценка на подходящата функционална зависимост.

### Литература

- 1. Poolo Gitti. Mahtematical statistic for engineers. Rout ledgle. Milano, 2019.
- 2. Cristine Mueler. Warscheinlichkeitsrechnung und Statistik in den Ingenieurwisenschaften. Technische Universitaet, Dortmund,2020.
- 3. Болотин В.В. Статистические методы в строителной механике. Строителствои архитектура. Москва, 2019
- 4. Biot A. Experimental methods in engineering Seismology. Proc. Amer. Soc. Civ. Engineers. Vol. 843, 1998.
- Carranza- Torres, Fairhurst C. Application of the Convergence- Confinement Method of Tunnel Desingn to Rocj Masses That Satisfy the Hoek-Brown Criterion. Tunneling and underground space technology. Vol. 15, N 2, 2000.



### ВЪРХУ ЕДИН МЕТОД ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ЦЕЛИЦИ, ИЗГРАДЕНИ В ТВЪРДИ МАТЕРИАЛИ

### Проф. Николай Николаев, проф. Георги Михайлов МГУ Св.Ив.Рилски, e-mail: mihayg@mgu.bg

### РЕЗЮМЕ

Върху добре известния критерий на разрушаване на Hoek-Brown е развита концепцията за поведение на целиците, изградени в здрави, с крехко поведение материали. Канадски изследователи са предложили подход, чрез който се променя начинът за използване на коефициентите т и s. Тези промени се основават на физическия смисъл на процеса "разрушаване", характерен за подобни материали. Достоверността на направените корекции се установява чрез графично представяне на резултатите и сравняване с наблюденията на други автори, изследвали поведението на целици с крехко разрушаване при натоварване.

**Ключови думи**: Оразмеряване на целици; Критерий за разрушаване на Hoek-Brown; Крехко разрушаване на целици, изградени в твърди материали.

### ON THE BASIS OF ONE APPROACH TO PILLAR SIZING, BASED ON BRITTLE AND HARD ROCKS

### ABSTRACT

A well-known empirical method for pillar sizing is the Hoek-Brown method. For the application of this method to brittle and hard rock materials, the Canadian researcher Martin et al. propose certain changes to the values of the Hoek-Brown parameters m and s. These changes are based on their additionally established physical meaning as well as basic prerequisites for their participation in the destructive process characteristic of this type of materials. The reliability of the correction is established by comparing the graphically expressed results with those obtained by other authors through observations in brittle-destructive pillars. **Keywords**: Pillar design; Hoek-Brown failure criteria; brittle destructive hard rock pillars.

### Въведение

В известната специализирана литература е отделено сравнително малко внимание на оразмеряването на целици, изградени в твърди-крехко разрушаващи се материали. Цел на настоящия труд е да бъде направен опит за запознаване на българските специалисти, занимаващи се с решаването на този проблем, с част от разработките в тази област. Сравнително подробни изследвания при оразмеряването на целиците, изградени в твърди скали, са проведени от канадски изследователи. Извършените от тях проучвания *in situ* и създадените от тях обобщаващи трудове обхващат както резултати от собствените им наблюдения, така и от изследвания на специалисти от други страни. Интерес представляват предложените корекции на метода на Hoek-Brown за оразмеряване на целици, в твърди материали. Получените резултати могат да се сравнят графично с интерпретациите на други изследователи, които въз основа на наблюдения, извършени *in situ*, са достигнали до важни закономерности в поведението на целиците през различните стадии на натоварване.

### Определяне якостта на целиците по метода Hoek-Brown

(1)

Известният критерий на разрушаване на Hoek-Brown има вида

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2}$$

където:  $\sigma_1$ и  $\sigma_3$  са съответно максималното и минимално главни напрежения;

*m* и *s* – параметри на Hoek-Brown;



*σ*<sub>c</sub> - якост на едноосов натиск.

Дългогодишните изследвания на голяма част от специалистите показват, че тези параметри имат определен физически смисъл. Твърди се, че символът "m" е свързан с ъгъла на триене, а "s" със сцеплението на скалния масив. Както е известно авторите определят тези два параметъра посредством "Индекс на геоложката якост" – GSI с помощта на релациите

$$m = m_i exp\left(\frac{GSI-100}{28}\right)$$

$$s = exp\left(\frac{GSI-100}{9}\right)$$
(2)
(3)

където m<sub>i</sub> е значението, отчитащо качеството на образеца от ненерушена скала.

При наличието на триаксиален апарат за обемно тестване на цилиндрични проби (ядки) стойността на  $m_i$  може да се определи чрез тестване на "n" броя образци. Необходимо е да се намери зависимост между  $\sigma_3$  и  $\sigma_1$ , за да се получи числената стойност на  $m_i$  съгласно израза

$$m_i = \frac{1}{\sigma_c} \left[ \frac{n \sum \sigma_3 (\sigma_1 - \sigma_3)^2 - \sum \sigma_3 \sum (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{n \sum \sigma_3^2 - (\sum \sigma_3)^2} \right] \tag{4}$$

При липса на такъв апарат според [2]  $m_i$  може да се определи експериментално съгласно формулата  $m_i \approx \frac{\sigma_c}{\sigma_{on}}$  (5)

където  $\sigma_c$  и  $\sigma_{on}$  са якостните показатели на едноосов натиск и опън, получени от лабораторното изследване на скални образци. Опитите се провеждат върху "n" на брой скални ядки от ненарушени скали и се обработват ло известните статистически методи. Параметърът *GSI* се получава от предложения през 1989 година "Rock Mass Rating" на Bieniawski с помощта на зависимостта  $GSI = RMR_{89} - 5$  (6)

посредством връзката на GSI и "Rock Mass Quality" чрез равенството GSI = 9lnQ + 44

(7)

Формула (1) в този си вид предполага едновременното използване на *m* и s с предварително определените им за конкретния случай стойности, различни от нула. Вземайки предвид споменатия порано физически смисъл на тези параметри, авторите на предложената формула (1) де факто мълчаливо приемат, че във всички случаи, дори при твърдите – крехко разрушаващи се материали, при протичане на процеса напрежение-деформация **действат едновременно триенето и сцеплението**.

### <u>Трансформиране на параметрите *m* и *s* в критерия на Hoek-Brown за крехко разрушаващи се материали</u>

През 1998-1999 година изследователите, първоначално Martin [3], а в последствие Kaiser, Mc Kreath [4], както и Kaiser и Maybee [5] показват на базата на свои изследвания, че якостният критерий на Hoek-Brown не оценява адекватно характерния начин на разрушаване на твърдите – крехко разрушаващи се материали. В други предварителни изследвания още през 1994 год. Martin и Chandler [6] загатват, че, за предизвикване участието на кохезионно и едновременно фрикционно съпротивление при протичане на разрушителния процес, е задължителна появата на различни по направление и брой пластични деформации. Такива прояви в този случай са невъзможни при твърдите материали. Стига се до заключението, че едновременното им действие при крехкото разрушаване е недопустимо.

Общият извод от всички заключения на споменатите по-горе изследвания е, че началният момент на разрушение при твърдите материали се явява функция на разликата между максималното и минимално главни напрежения т.е. ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ). С други думи дължи се на "срязването" на материала, протичащо при загуба на сцеплението. Установява се опитно, че нарушаването на сцеплението за този вид материали настъпва, когато е изпълнено условието

 $(\sigma_1 - \sigma_3) = 1 / 3\sigma_c$ 

(8)

Това твърдение се потвърждава качествено до известна степен и от критерия на Mohr-Coulomb при сцепление *c* = 0. Вземайки предвид казаното, критерият Hoek-Brown може да се трансформира за такива случаи – крехко разрушаващи се материали във вида



 $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{0 + s\sigma_{\rm H}^2}$ 

(9)

Ако примерно се приемат данните за материалите, от които са изградени целиците в преобладаващата част от канадските рудници, характеризиращи се с крехко разрушаване, може да се приемат следните изходни параметри:

 $\sigma_c = 240 \ MPa; \ m_i = 25; GSI = 70.$  Чрез изразите (2), (5) се получава  $m_i = 8.56; \ s = 0.036$ 

Полагането на приетите изходни данни в некоригираната формула на Hoek–Brown, изразяваща връзката между относителното напрежение в целиците, разделено на едноосната натискова якост за ненарушената скала и отношението между ширината и височината на целика w / h води до графичното изображение на фиг.1 (крива 1). Удовлетворяването на изискването съгласно формула (8), отговарящо на коригираната формула на Hoek-Brown, налага якостната формула (1) да се запише във вида

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sqrt{0.11\sigma_{\rm H}^2} \approx 1 / 3\sigma_{\rm H}$$

(10)

Именно по този повод през 1999 год. Martin предлага параметрите на Hoek-Brown критерия при решаване на задачи за определяне на граничното състояние на съоръжения, изградени в твърди – крехко разрушаващи се материали, да се заменят с

$$m = 0; s = 0.11$$

При заместването на така коригираните параметри в зависимостта, отразяваща връзката  $\sigma_1 / \sigma_c$  и w / h, се получава графичната интерпретация - крива 2 на фиг.1. Както се вижда от фигурата двете криви имат коренно различен характер: крива Hoek-Brown – на силно увеличено натоварване съответства слабо увеличение w/h; крива за твърди скали: - на сравнително по-слабо увеличение на натоварването съответства по-силно нарастване на w/h.



Фиг.1 Графично изображение на връзката σ<sub>1</sub>/σ<sub>c</sub> и w/h; 1-крива на некоригираната формула на Hoek-Brown; 2- крива на коригираната формула за твърди материали

За изследване на достоверността на получения резултат се разглежда серия от емпирични резултати, получени в целици, изградени само в твърди материали (полезни изкопаеми или стерилни скали), на базата на масови изследвания на устойчивостта на значителен брой целици. След статистическата им обработка, изследователите са достигнали до следните уравнения на регресионни зависимости, които според авторите са с високи корелационни коефициенти. Публикуваните изследвания в [7] са дадени в табл.1.



ruonuuu r
-----------

Автори	Якостни уравнения за устойчивост на	Едноосова якост на	Изследвани
	целика	натиск $\sigma_c$ , [ $MPa$ ]	целици, брой.
	$x = 122^{W^{0.5}}$	230	23
Hedley, Grand	$o_{\rm cp} = 155 \frac{1}{h^{0.75}}$		
	W <sup>0.46</sup>	94.1	57
Von Kimmelman et al.	$\sigma_{\rm cp} = 65 \frac{1}{h^{0.66}}$		
Krauland-Soder	$\sigma_{\rm cp} = 35.4 \left( 0.778 + 0.222 \frac{w}{h} \right)$	100	287
Sjoberg	$\sigma_{\rm cp} = 74 \left( 0.778 + 0.222 \frac{w}{h} \right)$	240	9
	$\sigma_{\rm cp} = 0.49\sigma_c(0.68 + 0.52Kappa)$	За произволни якости	178
Lunder-Pakalnis	A		

В табл.1 са приети следните означения:  $\sigma_{cp}$ - средно гранично напрежение в целика;  $\sigma_c$ - едноосова якост на натиск; *w* и *h* – съответно ширина и височина на целика;  $Kappa = tg \left[ cos^{-1} \left( \frac{1-C_{pav}}{1+C_{pav}} \right) \right]$ ;  $C_{pav}$ - средният коефициент на граничната носимоспособност на целик;

$$C_{pav} = 0.46 \left[ log\left(\frac{w}{h}\right) + 0.45 \right]^{\frac{1.4}{W}}.$$

Графичните изображения на изведените емпирични зависимости, дадени в табл.1, са изобразени на фиг.2. Направено е сравнение с получените резултати на база на оргиналната методика за оразмеряване на целици, предложена от Hoek-Brown, при m = 8.56 и s = 0.036.



Фиг.2 Сравнение между емпирично получените графики от наблюдение in situ с некоригираната формула на Ноек-Brown

Всички решения са изведени при фактор на безопасност FS = 1. Както се вижда от получените изображения съгласно оргиналната некорегирана якостна теория на Hoek-Brown, не съществува нито



стойностно, нито аналогично по своя характер съответствие. Приложените на фиг.2 почти еднотипни графики за устойчивост, са изведени за целици, изградени в твърди материали. Категоричният извод от това сравнение е, че критерият на Hoek-Brown, използван в оргиналния си вид, не е подходящ за целици, съставени от твърди материали.

На фиг.3 са дадени емпиричните графики – апроксимиращи криви, построени при различно съчетание на отношенията Average pillar stress/UCS и Pillar width/high Ratio. Освен това, кривите са получени в условие на хидростатично напрегнато състояние т.е.  $k = \sigma_1/\sigma_3 = 1$ . Използвани са две стойности на *FS*, съответно 1. и 1.4. Множеството криви означава, че съществува отклонение в съгласието за достоверност на константите *m* и *s* в критерия на Ноек-Brown. Силно удебелената графика на същата фигура съответства на коригираните параметри на критерия на разрушаване на Ноеk-Brown, т.е. *m*=0 и *s*=0.11, които са характерни за твърди материали с крехко поведение при разрушаване.



Фиг.3 Сравнение на емпирично получените графики с коригираната формула на Hoek-Brown

Следва да се отбележи, че при  $\frac{w}{h} \le 2$  е налице добро съответствие с останалите криви. При  $\frac{w}{h} \ge 2$  отклонението нараства. То се дължи на конкавния характер на кривата. От тук следва важният практически извод, че коригираният метод на Hoek-Brown може да се използва сравнително успешно и при оразмеряване на целици в твърди материали с геометрично съотношение  $\frac{w}{h} \ge 2$ . Към прекомерното увеличаване на отношението  $\frac{w}{h}$  трябва да се подхожда предпазливо, защото освен наличието на обемно напрегнато състояние ( $\sigma_1 \ne 0$ ,  $\sigma_2 \ne 0$ ,  $\sigma_3 \ne 0$ ), оказват влияние редица производствено-технически фактори: начин на извършване на пробивно-взривните работи; вид на използваната механизация за товарени и транспорт; структура на скалния масив - брой и пространствена ориентация на системите пукнатини.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Hoek, E., Brown, E.T. (1988). The Hoek-Brown failure criterion. Proceedings of the 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto.
- 2. Brook, N. (1995). Geomechanical Parameters of Rock and Rock Masses. Geomechanical Criteria for Underground Mine Design.



- 3. Martin, C.D., Kaiser, P.K. (1999). Hoek-Brown parameters for predicting the depth of brittle failure.
- 4. Kaiser, P.K., McCreath, D.R. (1996). Determining pillar strength. E&MJ pp. 34-40.
- 5. Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1995). Support of Underground Excavation in Hard Rock. A.A.Balkema (Rottertdam).
- 6. Martin, C.D., Chandler, N.A. The progressive fracture of granite. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science. 31(6).
- 7. Maybee, W.G. (2000). Pillar design in Hard Brittle Rocks. University of Sudbury, Ontario.



### РИСКЪТ ПРИ ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯ НА ИНФОРМАЦИОННА АСИМЕТРИЯ

Славейко Господинов<sup>1</sup>, Николай Вълканов<sup>2</sup>

1 "Университет по архитектура, строителство и геодезия", София; e-mail: sgospodinov@mail.bg 2 "Минстрой Холдинг" АД; e-mail: valkanov@minstroy.com

### THE RISK ON TAKING OF DECISIONS IN CONDITIONS OF INFORMATION ASYMMETRY

S. Gospodinov <sup>1</sup>, N. Vylkanov<sup>2</sup>

1 "University of Architecture, Civil engineering and Geodesy, Sofia; e-mail: sgospodinov@mail.bg 2 "MINSTROY HOLDING" JSCo; e-mail: valkanov@minstroy.com

### ABSTRACT

The main purpose of this work is to analyze the information risk and its relationship with information asymmetry. The content of different types of information asymmetry is discussed. The content of various types of information risks, caused by information asymmetry is disclosed. Different methods for minimizing of information risk are described. It's proved, that the main methods for minimizing of the information risk are information and system analysis.

### 1.ВЪВЕДЕНИЕ.

Основна причина при информационния риск е информационната неопределеност [1-3]. Тя намира своите разновидности в *"малкото"*, в *"средното"* и в *"голямото"*. В "малкото" информационната неопределеност е обусловена от използването на, външно коректна, информация, която обаче е натоварена с грешки. Степента на влияние на тези грешки може да варира от незначителна до съществена. Неопределеността в "средното" е обусловена от информационна асиметрия, от недостатък на информация или от нейната неструктурираност. Неопределеността в "голямото" е предопределена от глобализацията на обществото [4], от огромния обем данни [5] и когнитивните проблеми, свързани с необозримостта и невъзприемчивостта [6]. При анализа на един модел на риска, се открояват три качествени категории [7-9]: фактор на риска, вид на риска, загуба на рискови събития. Факторът на риска задава (предопределя) вида на риска и служи, като основа, за оценка на загубите.

Напоследък, все по-голяма роля играе информационният риск, свързан с информацията, като цяло, обусловен от информационната неопределеност [3]. Един от основните рискови фактори, оказващи негативно влияние при вземане на решение, е информационната асиметрия [10-14].

### 2.СЪЩНОСТ И ОСОБЕНОСТИ.

### 2.1. Информационна неопределеност.

Некачествената и непълна информация е основната причина за информационния риск. Липсата на информираност влече след себе си грешки при вземане на решения и обуславя загуби. Липсата на информираност може да бъде обусловена от вътрешни причини, главната от които е отсъствие на методи и технологии за търсене на необходимата информация. Информационната неопределеност може да бъде обусловена и от външни причини, в качеството им на "проблеми на големите данни" [5]. Информационната неопределеност може да бъде обусловена и от външни сричини, в качеството им на "проблеми на големите данни" [5]. Информационната неопределеност може да бъде обусловена и от външни причини, в качеството им на "проблеми на големите данни" [5]. Информационната неопределеност може да бъде обусловена и от друг тип външни причини, като например нестабилност на външната среда [1,2]. Информационната неопределеност може да бъде обусловена от вероятностния характер на процесите и от състоянието на обекта на изследване или на обекта за управление. Информационната неопределеност може да бъде обусловена от неточността



или от неопределеността на знанията. На свой ред, информационната неопределеност сама създава неопределеност в знанията, които се използват за анализ или за вземане на решения. От своя страна, информационната неопределеност може да бъде описана (представена) посредством непрекъснати функции или чрез частично прекъснати (степенчати) функции от типа "семантичен разрив" [15,16].

Информационната неопределеност и информационната асиметрия са свързани помежду си [3,17]. Информационната асиметрия, като фактор на риска, може да бъде обусловена от същите причини, както и неопределеността. Едновременно с това, информационната асиметрия притежава и множество разновидности [18,19] (*фиг.1*).



Фиг.1

Информационният риск също може да бъде диференциран по неговото качествено влияние при достигане на набелязаната цел (*фиг.2*).





Различните видове информационни асиметрии по различен начин влияят на различните видове риск. Това обуславя и актуалността на анализа на информационната асиметрия, като фактор на риска, актуалността на предписанията за снижаване на риска. В аспекта на информационното моделиране, информационната симетрия може да бъде разглеждана като специфичен атрибутивен информационен модел, свързан с информационната неопределеност или липса на информираност. От гледна точка на ситуационното моделиране, информационната асиметрия би могла да бъде разглеждана и като информационна ситуация, отразяваща информационните отношения между обектите или техните характеристики.



### 2.2. Видове информационна асиметрия, като фактор на риска.

Информационната асиметрия достатъчно подробно е разгледана в специализираната литература. Появяването и като понятие се свързва, преди всичко, с работите на G.Akerlof [10] в сферата на бизнеса и социалните отношения. Отнесени към проблемите за последствията от риска, от тези изследвания могат да бъдат обособени два основни проблема: риск при вземане на решения заради некачествена информация и риск при избор на методите за минимизация на риска. При анализа на тези проблеми трябва да се отчита разликата между информираността и информационното взаимодействие [20-22].

Един от типичните видове риск е този, породен от некомпетентност. В съвременните условия, един професионалист в областта на събиране и обработка на информация, би събрал по-бързо качествена информация, в сравнение с лаика в тази област. Използването на квалифицирани специалисти снижава в значителна степен риска. Въпреки това, в практиката, все още, този фактор често практически не се отчита, като по този начин се стига до уравниловка между квалифицираните и по-малко квалифицираните специалисти.

Недостигът на специалисти по събиране, анализ и интерпретация на информация, в повечето от фирмите, води до широко използване на посредници в тази област. Посредници, които събират и предоставят необходимата информация за вземане на решения и анализ на ситуацията на пазара. В тази връзка, съществуват специализирани организации, предоставящи икономическа аналитична информация за широк кръг от потребители. В това се състои технологията, но и риска, в процеса на информирането.

Така, за минимизиране на риска, поради недостатъчна собствена информираност, е необходимо да се понасят транзакционни издръжки на външни организации, поемащи информационното обслужване.

Както се отбелязва в [10], в процеса на разработка на индивидуални проекти, информационната асиметрия има съществено значение. С цел минимизация на риска, поради неосведомеността си за участника в сделката и обекта на сделката, потребителят е длъжен да понесе транзакционната издръжка [23], гарантираща информационното взаимодействие с агента-посредник. Подобен подход снижава риска от погрешни решения, но едновременно с това води до нов вид асиметрия (*проблем*), наричан "*проблем агентт-принципал"*.

При придобиване на ново оборудване, изискващо нова подготовка и специални познания, възниква информационна асиметрия, обусловена от разрива [15,16] между възможностите на потребителя и квалификационните изисквания за една ефективна експлоатация на оборудването. Възниква риск от погрешно решение поради некомпетентност на ползвателя.

За минимизиране на този риск, ползвателят е длъжен да понесе транзакционна издръжка на обучението, преподготовката или на образованието. Или, при осъзната необходимост, да привлече на постоянна работа нови, квалифицирани сътрудници.

В процеса на обучението възниква специфична асиметрия между началните знания на обучаващия се и необходимите знания за една пълноценна работа. Тази информационна асиметрия мотивира информационна потребност [24,25]. Подобна информационна асиметрия се преодолява по пътя на информационно взаимодействие между обучаемия и преподавателя. При което, това има отношение, както към обучението във висшето училище, така и към обучението за повишаване на квалификацията.

В случай на "отдалеченост" от центровете за висше образование (университетските центрове), възниква информационна асиметрия между потребностите на индивида и възможността за реално обучение. Такава асиметрия може да бъде (частично) преодоляна посредством методите на дистанционното обучение [26].

В условия на нестабилност на ситуацията във външната среда, възниква информационна неопределеност, която води до информационна асиметрия заради непредсказуемост на ситуацията. Възниква риск от вземане на погрешно решение заради отсъствие на достоверна прогнозна информация [27].



За минимизация на този риск, потребителят е принуден да понесе транзакционните издръжки за информационното взаимодействие с подходящ аналитик или за създаване на т.нар. "cumyaцuoнни cmau". При минимизацията на този риск е необходимо да се предвидят и издръжки за случаите на възможни загуби.

В условията на една конкурентна борба, възниква информационна асиметрия, обусловена от неинформираност по отношение на точното състояние на конкурентите и техните предполагаеми действия. Тази асиметрия води до риск от неправилна оценка на информационната позиция в текущата информационна ситуация, както и до невъзможност за оценка и получаване на информационно преимущество [28]. Тази асиметрия води до загуба на конкурентоспособност и до възможност за загуби в конкурентната борба.

За минимизация на този риск, потребителят е принуден да провежда информационно разузнаване и даже информационен шпионаж. Но това е единствената, принудителна мярка, позволяваща да бъде снижен подобен риск.

В условия на голяма динамика на информационната ситуация, в която се намира обектът (например, високоскоростно движение), възниква информационна неопределеност, обусловена от отсъствието на пълна информация за променящата се ситуация и неспособност, в оперативен порядък, да се взема решение в кратки срокове. В [29] подобен вид информационна асиметрия е наречен "acumempus no cumyaцus". Възниква риск от вземане на погрешно решение поради отсъствие на достоверна ситуационна информация и невъзможност за оперативно вземане на решение в допустим срок.

Минимизацията на този риск е осъществима, след като потребителят поеме издръжката по повишаване на надеждността на проекта и за закупуване на нови средства и технологии, подпомагащи оперативното приемане на решения. Необходимо е да се предвидят и възможни загуби.

При разработката на сложни проекти, с голям брой параметри и връзки, възниква информационна асиметрия между реалната сложност на проекта и възприеманата от изпълнителя сложност. Подобна ситуация води до риск от грешно проектно решение относно реализацията на проекта и изискуемите условия за експлоатация на проектния обект. Възниква необходимост от препроектиране и допълнителен контрол, от декомпозиция на проекта на обозрими и възприемливи компоненти.

При експлоатацията на сложни обекти или геотехнически системи, възниква информационна асиметрия между реалното състояние на системата и възприетия (фиксирания) модел на нейното състояние. Това води до риск от използване на неактуална информация при управление на системата. За минимизация на този риск, възниква необходимост от систематичен, допълнителен контрол на системата, с цел прогнозиране на нейното състояние в обозримо бъдеще.

Като обобщение на всичко, казано до тук, може да изтъкне, информационното взаимодействие, като основен принцип за минимизация на риска [13,27], представлява един общ метод с разнообразни реализации.

## 2.3. Каскаден метод за минимизиране на риска при приемане на решение в условия на информационна асиметрия.

Каскадният метод се използва широко при решаването на разнообразни задачи в сферата на управлението и проектирането. Този метод се прилага често при създаването на проекти и при оценка на жизнения цикъл на даден проект или продукт [30]. Като правило, методът се прилага при сложни проекти [31,32] и в модели на жизнен цикъл. Същността на метода се състои в прехода към търсене на поетапни решения в процеса на проектиране. На *фиг.3* е показана структурата на каскадния метод на проектиране, минимизираща риска от информационна асиметрия между функционалните изисквания към проекта и резултата от поетапното проектиране. Общата насока на проектирането – от изходновходната информация **X**, до резултата от проектирането **У**, е показана с плътни вертикални стрелки.

Минимизацията на риска се осъществява чрез декомпозиция на общото решение на отделни етапи, които, сами по себе си, притежават свойството цялостност и позволяват да бъдат тествани. При завършването на даден етап се извършва неговата верификация. Ако възникне



необходимост, то по каналите за обратна връзка, показани на фигурата с пунктир, се задават допълнителни изисквания към предходния етап или към оня етап, в който могат да бъдат внесени изменения. Броят на етапите (N) се определя от сложността на проекта.

Чрез пунктираните линии са показани и *информационните потоци на обратна връзка*, чрез които се внасят корекции към приетите решения. Пунктираните линии илюстрират и *потоците за транзакционни издръжки*. Този механизъм работи циклично на всеки етап на вземане на решения. Следователно, колкото е по-голям броят на етапите, толкова повече са циклите за анализ на решенията и толкова повече са транзакционните издръжки.



Фиг.3. Схематично представяне на Каскадния метод за минимизиране на риска

Информационната асиметрия създава неопределеност при вземане на решения. Ето защо, информационните потоци за обрата връзка имат за цел снемане на информационната неопределеност и информационното въздействие в първоначалните етапи на вземане на решения. Това намалява информационната асиметрия, съществуваща при първоначалното вземане на решение, което се постига за сметка на задръжка, на забавяне, на първоначалните срокове за проектиране и повишаване на неговата себестойност.

Ако даден етап от проекта удовлетворява изискванията и не изисква корекция на взетите вече решения, процесът на проектиране (*или вземане на решения*) преминава към следващия етап. Ако съответният етап от проекта изисква корекции, то процесът на проектиране (*вземане на решения*) се връща към предходния етап, на който могат да бъдат внесени изменения... Този цикличен процес се повтаря до снижение на риска на приемливо ниво и завършване на проекта с минимален риск.

### 3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЕН АНАЛИЗ.

Информационната асиметрия, като фактор на риска, съществува и се появява в различни форми. Това изисква политиката по минимизация на риска да се провежда по подобие на политиката по информационната безопасност. За реализацията на такава политика е необходимо постоянно усъвършенстване на механизмите за откриване и регистрация на информационна асиметрия, и на тази база – намаляване на риска, обусловен от асиметрията. Информационната асиметрия се проявява при



установяване на дихотомия [33] между състоянието на обекта и информацията за него в съзнанието на субекта. Така се снижава ефективността на взаимодействие и се забавят информационните процеси. Основният път за минимизация на тази дихотомия са различните информационни взаимодействия. Друг подход към намаляване на информационната асиметрия би бил създаването на условия за комплементарност на информационните модели и ресурси [34,35], а така също и реализацията на условия за информационно съответствие [36,37]. Основната концепция за намаляване на информационната асиметрия концепция за намаляване на информационната асиметрия концепция за намаляване на информационната асиметрия. Информационната на безопасност, включваща вътрешен одит на информационната асиметрия. Информационната асиметрия нарушава същностната цялост на проекта (обекта). Ето защо, прилагането на системен подход [23], при анализа и обезпечаването на тази цялост, също би довело до намаляване на информационната асиметрия и същевременно – до снижение на информационния риск.

Повече от очевидно е, че информационната асиметрия влияе негативно на процеса на проектиране и функциониране на различни системи – от технически до социални. Съвременните методи за минимизация на рисковете, обусловени от информационна асиметрия, са свързани с голям обем от експертни оценки, водещи често до препроектиране. От своя страна, използването на експертно оценяване предполага решаване на информационно-аналитична задача от втори род, която не би могла да бъде решена посредством затворен алгоритъм. Основният подход за намаляване на информационната асиметрия е създаването на допълнителни информационни потоци и информационни взаимодействия. Един от методите за създаване на такива потоци и взаимодействия, е каскадният метод. Този метод позволява да бъде отстранена информационната асиметрия, но при много от етапите на реализация на този метод чувствително нараства транзакционната издръжка. Ето защо, въпросът за изследване на информационната асиметрия и минимизацията на риска остава открит за търсене на нови, адекватни на конкретната ситуация, решения.

### Литература

- 1. Розенберг И.Н. Информационная неопределенность // Славянский форум. 2017. 2(16). с.12-18.
- 2. Цветков В.Я. Информационная неопределенность и определенность науках об информации // Информационные технологии. 2015. №1. с.3-7.
- 3. Елсуков П.Ю. Информационная асимметрия и информационная неопределенность // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017.-№4.–с.69-76.
- 4. Цветков В.Я. Глобализация и информатизация // Информационные технологии, 2005, №2 с.2-4.
- 5. Чехарин Е.Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. 2016. №3. с. 7-11.
- 6. Цветков В.Я. Когнитивные аспекти построения виртуальных образовательных моделей // Перспективы науки и образования 2013. -№3. с.38-46.
- 7. Boehm B. W. Software risk management: principles and practices // Software, IEEE. 1991. T.8 №1. p. 32-41.
- 8. Chapman C., Ward S. Project risk management: processes, techniques and insights. John Wiley, 1996.
- 9. Reason J. T., Managing the risks of organizational accidents. Aldershot : Ashgate, 1997. T. 6.
- 10.Akerlof, George A. (1970). "The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism". Quarterly Journal of Economics (The MIT Press) 84 (3): 488-500.
- 11.Aboody D., Lev B. Information asymmetry, R&D, and insider gains // The journal of Finance. 2000. T. 55. № 6. p. 2747-2766.
- 12.Tsvetkov V. Ya. Evaluations of Information Asymmetry // Modern Applied Science; 2015; Vol. 9, № 6; pp.243-247. doi:10.5539/mas.v9np255
- 13.Кудж С.А. Риски информационной асимметрии // Перспективы науки и образования. 2016. №6. с.23-27.
- 14. Номоконов И. Б. Информационная асимметрия в диагностике // Славянский форум. 20177. 1(15). c.227-234.
- 15. Tsvetkov V. Ya. Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European researcher. Series A. 2013. № 4-1 (45). p. 782-786.



- 16.Чехарин Е.Е. Когнитивное моделирование как метод устранения семантического разрыва // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – 1 (13). – с.103-109.
- 17. Chia-Wu Lua, Tsung-Kang Chenb, Hsien-Hsing Liaoc. Information uncertainty, information asymmetry and corporate bond yield spreads // Journal of Banking & Finance Volume 34, Issue 9, September 2010, Pages 2265-2279.
- 18. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584с.
- 19. Цветков В.Я. Информационная коммуникативистика // Славянский форум. 2017. 3(17). с.89-96.
- 20. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European researcher. Series A. 2013. № 11-1 (62) p. 2573-2577.
- 21. Чехарин Е.Е. Информационное Взаимодействие в компьютерной лингвистике // Славянский форум, 2016. -3(13). с.334-339.
- 22. Цветков В.Я., Чехарин Е.Е. Информационное соотвтствие при информационных взаимодействиях // Славянский форум. 2017. -3(17). с.83-88.
- 23.Dyer J. Effective interfirm collaboration: how firms minimize transaction costs and maximize transaction value. 2002.
- 24. Ожерельва Т.А. Информационная асимметрия и информационные потребности // Славянский форум. 2017. -3(17). с.76-82.
- 25.Васютинская С.Ю. Информационная асимметрия в образовательных технологиях // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. -№4 (16). – с. 14-20.
- 26.Бутко Е.Я. Эволюция дистанционного образования // Дистанционное и виртуальное обучение. 2016. - № 5. – с.53-61.
- 27.Tsvetkov V. Ya. Information asymmetry as a Risk Factor // European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp. 1937-1943.
- 28.Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp. 1901-1909.
- 29.Ожерельева Т.А. Модели отношений данных в информационном поле // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследвоний. 2015. № 2 с. 22-24.
- 30.Wen Y. M., Lu B. L. A cascade method for reducing training time and the number of support vectors // Advances in Neural Networks-ISNN 2004. Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 480-486.
- 31. Тымченко Е.В. Оценка сложности образовательных ресурсов // Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. № 1 (115). с.69-76.
- 32. Майоров А.А. Сложность информационных конструкций // Славянский форум, 2016. -3(13). с.141-145.
- 33.Кудж С.А. Дихотомический структурный анализ // Славянский форум. -2017.-2(16).
- 34.Цветков В.Я> Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследвований. 2016. №2. с.182-185.
- 35.Розенберг И.Н. Сложность и комплементарность // Перспективы науки и образования. 2016. -№5. с.7-10.
- 36.Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. -№4. с.86-92.
- 37.Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследвований. 2016. №1. –3. с.454-455.



### ОЦЕНКА НА ДВА ВЗАИМНОЗАМЕНЯЕМИ ПОДХОДА ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА ЗА ЦЕЛИТЕ НА ПЛОСКОТО ФУНДИРАНЕ НА СИЛОЗНО СТОПАНСТВО И ОТСТРАНЯВАНЕ НА ПРОПАДЪЧНИТЕ СВОЙСТВА НА ПОЧВЕН ПЛАСТ С ОТНОСИТЕЛНО ГОЛЯМА МОЩНОСТ ПОД НЕГО

### Николай Милев

# Катедра "Геотехника", Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ), бул. "Хр. Смирненски" № 1, 1046 София, България, milev\_fte@uacg.bg

### РЕЗЮМЕ

Докладът разглежда два алтернативни и взаимнозаменяеми концепции за фундиране на силозно стопанство в област Силистра. Геоложките условия на строителната плошадка са неблагоприятни, тъй като почвите (льос) са класифицирани като "пропадъчни – тип II" (според разбиранията на Норми за проектиране на плоско фундиране. ДВ 85/96) до дълбочина 12 т. В тази връзка, както от гледна точна на нормативните изисквания, така и вследствие на строгите експлоатационни условия към съоръженията (силозите), изразени чрез допустими слягания и завъртания на фундаментните конструкции, един от следните два подхода е наложителен: изключване на пропадъчността на земната основа или преминаване на пропадъчните пластове чрез дълбоки фундаменти (пилоти, шлиц-стени и др.). В представената разработка, на база предварителна технико-икономическа оценка, са предпочетени варианти с плоско фундиране и подобряване на локалните почвени условия. Първата концепция предвижда изграждане на фундаментна плоча с двойно дъно, под която да бъде изпълнена относително дебела циментопочвена възглавница и импулсно уплътняване на льоса. Втората концепция предвижда изграждане на фундаментна плоча с единично дъно, под която да бъде изпълнена относително тънка циментопочвена възглавница и дискретно разпределено дълбочинно почвено смесване. И двата подхода гарантират дългосрочната експлоатационна годност на съоръженията, предвиждат прилагането на налични на българския пазар технологии и осигуряват бързо и икономически обосновано изпълнение на фундирането.

**Ключови думи**: льос, пропадъчна почва, плоско фундиране, подобряване на земната основа, силоз, импулсно уплътняване, цименто-почвена възглавница, дълбочинно почвено смесване

### EVALUATION OF TWO INTERCHANGEABLE APPROACHES FOR SOIL IMPROVEMENT FOR THE SAKE OF ENSURING THE SAFETY OF THE SHALLOW FOUNDATIONS OF A SILO BASE AND REMOVING COLLAPSIBILITY OF A RELATIVELY THICK SOIL LAYER

### **Nikolay Milev**

Department of Geotechnics, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, 1 Hristo Simirnenski Blvd., Sofia 1164, Bulgaria; *milev\_fte@uacg.bg* 

### ABSTRACT

This paper is focused on two alternative and interchangeable concepts for the foundations of a silo base in Silistra (Bulgaria). Geological conditions on site are unfavorable because local soil (loess) has been classified as "collapsible – Type II" (according to Bulgarian Shallow Foundations Code) up to depth of 12 m. On the basis of code requirements and strict exploitational limitations of the silos (in terms of foundation settlement and tilt) one of the following approaches should be followed: removing the collapsibility of soil or passing



through collapsive soil by means of deep foundations (piles, slurry walls and others). On the basis of preliminary technical analysis and cost estimation shallow foundation methods in combination with local soil improvement techniques have been selected for the presented study. First concept assumes the execution of a double mat foundation which is placed on relatively thick soil-cement mixed base layer and soil modified by rapid soil compaction. Second concept assumes the execution of a mat foundation which is placed on a relatively thin soil-cement mixed base layer and discretely distributed deep soil mix columns. Both approaches guarantee the serviceability of the structures, suggest the application of improvement techniques which are available on Bulgarian market and ensure fast and cost-effective execution.

Key words: loess, collapsible soil, shallow foundation, soil improvement, silo, rapid impact compaction, cement-soil mixing, deep soil mixing

### ВЪВЕДЕНИЕ

Фокус на настоящия доклад е производствена база, която е планирано да бъде изградена в Северна България – община Силистра. Инвестиционните намерения са свързани със силозно стопанство, състоящо се от 44 броя силози, всеки с обем 12 500 m<sup>3</sup>, групирани в 11 групи от по 4 броя, с общ обем до 50 000 m<sup>3</sup>, 11 авторазтоварища, два автокантара по 60 t с дължина 18 m, контролно-пропускателен пункт и съпътстващи съоръжения.

Разработката разглежда фундирането на гореспоменатите силози, като всеки един от тях се състои от цилиндрично тяло и конусовиден покрив – и двете направени от галванизирана трапецовидна ламарина. Съоръженията са подходящи за съхранение на различни видове зърно – в случая се предвижда съхранение на пшеница. Габаритите на силозите са: диаметър 25.47 m, височина на цилиндъра до покрив – 22.92 m и височина на конусовиден покрив около 7.2 m.

Максималното натоварване е от порядъка на 15 t, като подробни изчисления свързани с него са проведени – от технологична гледна точка са предвидени две основни товарни състояния – SYM (симетрично изпразване на силоза) и SD (едностранно изпразване на силоза). Приетата абсолютна кота ±0.00 за обекта е 120.00 m.

Граничната стойност на допустимите слягания съгласно [7] и [8] (национално приложение) е 15 ст, а тази на допустимото завъртане – 4‰. Предоставените допълнителни технологични изисквания за съоръженията дават по-стриктни стойности, съответно 5 ст и 2‰. С цел обезпечаване експлоатацията на съоръженията и достигане до най-доброто технико-икономическо решение, са възприети следните окончателни гранични стойности:

- Слягането от уплътняване да бъде до 5 ст;
- Сумата от слягане от уплътняване и слягане от пропадане да бъде до 15 ст;
- Завъртането вследствие слягане от уплътняване да бъде до 2‰;
- Завъртането вследствие слягане от уплътняване и слягане от пропадане да бъде до 4‰.

Настоящата разработка разглежда фундаментната конструкция на силозното стопанство, както и мерките за третиране на земната основа (подобряване на физико-механичните ѝ почвени параметри) с оглед на специфичните геоложки условия и натоварванията от съоръженията.

Предложени са два алтернативни и взаимнозаменяеми (от технико-инженерна гледна точка) варианта за фундиране.

### ГЕОЛОЖКИ УСЛОВИЯ

Инженерно-геоложките проучвания на строителната площадка с надморска височина 117.00÷122.0 m са проведени от екип инженер-геолози през месец април 2022 г. Изпълнени са петнадесет сондажа (от МС1 до МС15 – теренът има денивелация, съответно сондажи МС1÷МС9 и МС13÷МС14 попадат във високата част, а сондажи МС10÷МС12 и МС15 – в ниската част) с обща дълбочина 191 m и са взети и изследвани 191 бр. нарушени и ненарушени почвени проби.

Земната основа в обсега на площадката се изгражда от отложенията на льосов комплекс (с дълбочина над 20 m), представен от алтерниращи помежду си льосови хоризонти и погребани почви.



Дебелината на I и II льосови хоризонти и разделящата ги погребана почва достига до 12.00÷12.50 m. Под втори льосов хоризонт следват: втора погребана почва, трети льосов хоризонт и т.н., основни льосовидни глини. Льосовите хоризонти са с по-голяма дебелина в сравнение с погребаните почви. Разрезът завършва със съвременен почвен слой, с по-ограничена дебелина от тази в равнинните части на релефа, което е в резултат на ерозионни процеси, по-интензивни в наклонени терени. Районът се характеризира с отсъствието на плитки подпочвени води.

Льосовите отложения, изграждащи земната основа, са пропадъчни. Изследванията установяват, че I и II льосови хоризонти, разделящата ги погребана почва, както и горната половина на втора поглебана почва, са пропадъчни при намокряне и под влиянието на геоложки и допълнителен товар. Дебелината на пропадъчния пласт достига до 12 m. Коефициентът на относително пропадане при напрежение 300 kPa варира и е в диапазона 0.016÷0.080.

Изследванията в района показват, че земната основа се определя като такава от изразен II тип съгласно [9], т.е. с очаквано пропадане при намокряне и само при геоложки товар от порядъка на 15÷25 cm > 5 cm (гранично).

	Информа	ция от проуч	вателното	сондиран	е - инжене	рно-геоло	жки докл	ад на инж	. геол. В. С	пасова от	04/2022г.												
Kana		p	Подпоч-		MC1 & MC MC7 &	2 & MC3 & MC8 & MC	MC4 & MC 9 & MC13 d	5 & MC6 & & MC14	MC	10 & MC11 a	& MC12 & M	4C15				Фи	зични	параме	етри				
+/- 0.00	No	газновид-	вени	пропа-	Кота г.	Горе	Monuor	Обща	Кота г.	Горе	Monuoca	Обща					r.	0		w	w	s	
17- 0.00	110.	noci	води	двчност	Кота д.	Долу	мощност	мощност	Кота д.	Долу	мощност	мощност	7 n	15	7 d	1	7.r	ĉ	"	<sup>1</sup> V n	w <sub>r</sub>	5 r	
					[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup>	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[%]	[%]	[-]	
	-	насип			-	-	-	-	120.00	0.00	1.70		10.50	26.00	16.00	10.00	20.00	0.00	0.20		22.00		
		СЪВРЕМЕННА		HE							1.70		18.50	26.00	16.00	10.00	20.00	0.60	0.38	-	23.08	-	
	1	ПОЧВА				-	-	-	118.30	-1.70													
					120.00	0.00	2.40		118.30	-1.70	2.00	1	16.10	26.40	10.70	0.22	10.22	0.000	0.405	16.10	27.00	0.44	
	2	льос - лі		дл	117.60	-2.40	2.40		115.30	-4.70	3.00		16.19	26.49	13.73	8.33	18.33	0.980	0.495	16.10	37.00	0.44	
		ПОГРЕБАНА			117.60	-2.40	2.90		115.30	-4.70	2.60		16 70	26.40	12.02	0.27	10.27	0.0/0	0.402	21.20	26.57	0.59	
120.00	3	ПОЧВА - ПП1		ДЛ	114.80	-5.20	2.80		112.70	-7.30	2.00	16.90	10.78	26.49	15.85	8.57	18.57	0.969	0.492	21.50	30.57	0.58	
120.00		11.00 12	пяма		114.80	-5.20	5 20		112.70	-7.30	5.10	10.80	17.07	26.40	14.01	0.54	10.54	0.021	0.492	18.40	25.15	0.52	
	4	JIBOC - JI2		дл	109.60	-10.40	5.20	12 70	107.60	-12.40	5.10		17.27	26.49	14.81	8.54	18.54	0.931	0.482	18.40	35.15	0.52	
	-	ПОГРЕБАНА			109.60	-10.40	0.90	15.70	107.60	-12.40	1.60		10.54	10.54 20.	1 26 40 15	1.5 21 0	0.74	10.74	0.007	0.470	22.00	22.40	0.00
	5	ПОЧВА - ПП2		дл	108.80	-11.20	0.80	106.00	-14.00	1.00		18.54	26.49	15.21	8.74	18.74	0.887	0.470	22.00	33.48	0.00		
		11.00 12			108.80	-11.20	20 1.70	106.00	-14.00	2.00	)	10.15	26.40	15.01	0.24	10.24	1 000	0.500	21.00	27.75	0.54		
	0	JIBOC - JIS		III.	107.10	-12.90	1.70	104.00	-16.00	2.00		18.15	26.49	15.01	8.24	18.24	1.000	0.500	21.00	37.75	0.56		
	7	ПОГРЕБАНА		ur	107.10	-12.90	0.80	]	104.00	-16.00	0.80		10.42	26.40	15 70	0.24	18.24	1 000	0.500	22.90	27.75	0.62	
		ПОЧВА - ППЗ		an.	106.30	-13.70	0.80		103.20	-16.80	0.80	1	17.42	20.49	15.70	0.24	10.24	1.000	0.500	25.80	51.15	0.05	

Фиг. 1 Обобщение на физичните почвени параметри

	Информа	ция от проуч	вателното	сондиран	е - инжене	рно-геоло	жки докл	ад на инж	геол. В. С	Спасова от	04/2022г.										
10		D	Подпоч-		MC1 & MC MC7 &	2 & MC3 & MC8 & MC	MC4 & MC 9 & MC13 &	75 & MC6 & & MC14	мс	10 & MC11 &	& MC12 & N	IC15				Деформа	ционни пара	метри			
+/- 0.00	No.	газновид- ност	вени	пропа- дъчност	Кота г.	Горе	Мощност	Обща	Кота г.	Горе	Мощност	Обща	ν	$\delta_{pr,300kPa}$	$p_0$	Ε	E <sub>d</sub>	E ord. 100kPa	E ocd 200kPa	E ord. 300kPa	
			води		[m]	[m]	[m]	[m]	fm]	[m]	[m]	[m]	[-]	[%]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	
							[]	11	120.00	0.00	[]	[]									
	-	пасин		HE	-	-	-	-			1.70		0.300	-	-	10000	30000	10000	15000	20000	
	1	СЪВРЕМЕННА ПОЧВА			-	-	-	-	110.20	1.50											
		no iba			120.00	0.00			118.30	-1.70											
	2	ЛЬОС - Л1		ДА	120.00 0.0 117.60 -2.4	-2.40	2.40		115.30	-4.70	3.00		0.325	4.8	62	10250	9500	4100	4400	3500	
	2	ПОГРЕБАНА			117.60	-2.40	2.80	1	115.30	-4.70	2.00		0.225	2.2	120	11000	10000	4400	5(00	7800	
120.00	3	ПОЧВА - ПП1	HIGMA	дл	114.80	-5.20	2.80		112.70	-7.30	2.00	16.80	0.323	2.5	128	11000	10000	4400	3000	/800	
120.00	4	льос - л2	112.22	ДА	114.80	-5.20	5.20		112.70	-7.30	5.10	10.00	0.325	4.5	4.5 66	66 15250	15250	12000	6100	8000	9500
					109.60	-10.40		13.70	107.60	-12.40											
	5	ПОГРЕБАНА		ДА	109.60	-10.40	0.80		107.60	-12.40	1.60		0.325	1.0	300	14000	18000	5600	7700	10800	
		1104BA - 11112			108.80	-11.20		1	106.00	-14.00											
	6	ЛЬОС - ЛЗ		HE	107.10	-12.90	1.70		100.00	-16.00	2.00		0.325	-	-	14000	18000	5600	7700	10800	
		ПОГРЕБАНА			107.10	-12.90		1	104.00	-16.00											
	7	ПОЧВА - ППЗ		HE	106.30	-13.70	0.80		103.20	-16.80	0.80		0.325	-	-	23335	30000	9334	12834	18000	

Фиг. 2 Обобщение на деформационните почвени параметри

	Информа	ция от проуч	вателното	сондиран	е - инжене	рно-геоло	жки докл	ад на инж.	геол. В. С	пасова от	04/2022г.									
			Подпоч-		MC1 & MC MC7 &	2 & MC3 & MC8 & MC	MC4 & MC 9 & MC13 8	5 & MC6 & MC14	MCI	0 & MC11	& MC12 & N	1C15	Яко	остни п	араме	гри				
K0T2	Пласт	Разновид-	вени	пропа-	Кота г.	Горе	Monuoer	Обща	Кота г.	Горе	Monuoca	Обща		0	0	p				
+/- 0.00	110.	ност	води	дьчност	Кота д.	Долу	мощност	мощност	Кота д.	Долу	мощност	мощност	Ψ	Ľ	<i>c<sup><i>u</i></sup></i>	R <sub>0</sub>				
					[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]				
		НАСИП							120.00	0.00										
		inacim		нг	-	-	-	-			1 70		35.00	0.00	0.00	250				
	1	СЪВРЕМЕННА									1.70		33.00	0.00	0.00	200				
	почва			-	-	-	-	118.30	-1.70											
	2 льос	TFOC - TI		7.4	120.00	0.00	2 40		118.30	-1.70	3.00		23.00	5.00	50.0	160				
	2 3	mboe - m			117.60	-2.40	2.40	-	115.30	-4.70	5.00	-	20.00	5.00	50.0	100				
	3	ПОГРЕБАНА	няма	няма	HSMA	НЯМА	няма	7.4	117.60	-2.40	2.80		115.30	-4.70	2.60		21.00	7.00	70.0	160
120.00	5	ПОЧВА - ПП1							114.80	-5.20	2.00		112.70	-7.30	2.00	16.80	21.00	7.00	70.0	100
120.00	4	160C - 12	101.51.5	ПА	114.80	-5.20	5 20	-	112.70	-7.30	5.10	10.00	25.00	7.00	70.0	170				
	-	inde - inz		<i></i>	109.60	-10.40	5.20	13 70	107.60	-12.40	5.10		20.00	7.00	, 0.0	170				
	5	ПОГРЕБАНА		7.4	109.60	-10.40	0.80	13.70	107.60	-12.40	1.60		20.00	15.00	150.0	200				
		ПОЧВА - ПП2		~~	108.80	-11.20	0.00		106.00	-14.00	1.00		20.00	15.00	150.0	200				
		1600 - 13		HE	108.80	-11.20	1 70		106.00	-14.00	2.00		22.00	20.00	200.0	200				
		1000-115		HE	107.10	-12.90	) 1.70		104.00	-16.00	2.00	1	22.00	20.00	200.0	250				
	7 ПОГРЕБАНА		нг	107.10	-12.90	) 0.80		104.00	-16.00	0.80		19.00	35.0	350.0	250					
1	· '	ПОЧВА - ППЗ			106.30	-13.70	0.00		103.20	-16.80	0.00		12.00	55.0	550.0	2.50				

Фиг. 3 Обобщение на якостните почвени параметри



	Информа	ция от проуч	вателното	о сондиран	е - инжен	ерно-геоло	жки докл	ад на инж	. геол. В. С	Спасова от	04/2022г.											
10		D	Подпоч-		MC1 & MO MC7 &	2 & MC3 & MC8 & MC	MC4 & MC 9 & MC13 a	3 & MC6 & & MC14	мс	10 & MC11	& MC12 & N	4C15		K	онститут	вен / физ	ичен почв	ен модел -	Hardenin	g Soil Mod	el	
Кота +/- 0.00	Пласт No.	Разновид- ност	вени	пропа- льчност	Кота г.	Горе	Мошност	Обща	Кота г.	Горе	Мошност	Обща	E .a	E	E	p	V	σ	C	Ψ	m	KaNC
			води		Кота д.	Долу		мощност	Кота д.	Долу		мощност	50	oeu		T hy		- 20000	anc a	503		0
					լայ	լոյ	m	m	լայ	[m]	m	m	kPa	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa	×	-	-
	-	НАСИП			-	-	-	-	120.00	0.00												
		CLEPEMEUHA		HE							1.70		10000	10000	30000	100	0.20	0.00	0.00	5.00	0.50	0.426
	1	почва				-	-	-	118 30	-1.70												
					120.00	0.00			118.30	-1.70		1										
	2	ЛЬОС - Л1		ДА	117.60	-2.40	2.40	115.30	-4.70	3.00		10250	0250 4100	43050	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.609	
		ПОГРЕБАНА			117.60	-2.40	2.00	1	115.30	-4.70	0.00	1	11000	1100	46200	100	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.640
120.00	3	ПОЧВА - ПП1		ДА	114.80	-5.20	2.80		112.70	-7.30	2.60	16.80	11000	4400	46200	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.642
120.00		1100 11	няма		114.80	-5.20	6.00		112.70	-7.30	5.10	10.80	1.5250	(100	64050	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.577
	4	JIBOC - JI2		да	109.60	-10.40	5.20	12.50	107.60	-12.40	5.10		15250	6100	64050	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.577
	,	ПОГРЕБАНА			109.60	-10.40	0.90	13.70	107.60	-12.40	1.00		14000	5(00	50000	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.659
	5	ПОЧВА - ПП2		дл	108.80	-11.20	0.80		106.00	-14.00	1.00		14000	5000	28800	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.658
		TLOC IN			108.80	-11.20	1.70	1	106.00	-14.00	2.00	1	14000	5(00	50000	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.025
	0	JIBOC - JI3		HE	107.10	-12.90	1.70		104.00	-16.00	2.00		14000	5000	28800	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.625
	-	ПОГРЕБАНА			107.10	-12.90	0.90	1	104.00	-16.00	0.90	1	22225	0224	00007	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.674
	7	ПОЧВА - ППЗ		HE	106.30	-13.70	0.80		103.20	-16.80	0.80		23335	9334	98007	100	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.674



Не е установена видима анизотропност на влажността до дълбочина 9÷10 m, ниво на подземни води до дълбочина 16.00 m, както и неблагоприятни физико-геоложки явления и процеси, с изключение на пропадъчността на льоса и високата сеизмичност.

Резултатите от инженерно-геоложкото проучване, както и допълнения към тях, по експертна оценка от страна на автора, са систематизирани както следва във Фиг. 1, Фиг. 2, Фиг. 3 и Фиг. 4.

За целите на определянето на началното напрежение на пропадане,  $p_0$ , е използвана стойността на коефициента на относително пропадане,  $d_p$ , при 300 kPa за всеки един пропадъчен пласт в зависимостта "напрежение – коефициент на относително пропадане". Втората точка за построяване на приетите линейни зависимости е разположена в началото на координатната система. Началното напрежение на пропадане,  $p_0$ , е дефинирано графично за  $d_p = 1\% - Фиг. 5$ .



Фиг. 5 Методология за определяне на начално напрежение на пропадане

Най-съществената особеност, описана геоложките условия е, че пластове първи льосов хоризонт (Л1), първа погребана почва (ПП1), втори льосов хоризонт (Л2) и втора погребана почва (ПП2) са пропадъчни (обемът на макропорите, *n*<sub>m</sub>, е по-голям от 1%.), II тип по смисъла на [9] – пропадането от собствено тегло на почвата е по-голямо от 5 ст. Дълбочината на пропадане достига до около 11.20 m под приетата за обекта кота ±0.00, която е фиксирана на относителна кота 120.00 m, т.е. около кота 109.30 m.

При проектиране на фундаментни конструкции върху земна основа от II тип, съгласно [9], трябва да се определят:

1. Максималната стойност на пропадането,  $s_{np}$ , която настъпва при пълно водонасищане на цялата пропадъчна зона,  $h_{np}$ , вследствие на интензивно заливане на площ с широчина, не по-малка от  $h_{np}$ , или при повишаване на нивото на почвените води;



2. Възможното пропадане, което настъпва при локално намокряне на площ с широчина, помалка от мощността на пропадъчната зона.

Общото слягане се изчислява като сума от слягането от уплътняване на земната основа и от слягането от пропадане, а проектирането трябва да се отчитат възможностите за повишаване на водното съдържание на почвите вследствие на:

1. Местно (частично) заливане на земната основа от аварийни води, което предизвиква пропадане на ограничена площ;

2. Интензивно заливане на земната основа на площ със значителни размери, което обхваща цялата пропадъчна мощност;

3. Повишаване нивото на почвените води;

4. Бавно повишаване на водното съдържание на пропадъчните пластове, предизвикано от нарушаване на естествените хидрогеоложки условия.

### МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА АНАЛИЗ НА СЛЯГАНИЯТА

Проведен е анализ на сляганията по три независими метода, които са базирани както на класическите изчислителни подходи (метод на послойното сумиране и разпределение на напреженията по метод на Westergaard – Фиг. 6), така и на метод на крайните елементи (МКЕ) в геотехниката, който е считан за особено прецизен – Фиг. 7 и Фиг. 8.

В проектирането на плоски фундаменти следва да бъдат разгледани да основни аспекта: носимоспособност (конструктивна и геотехническа) и слягане – [7] и [8]. В представения случай от практиката особено критичен е аспектът, свързан със сляганията. Активната зона на слягане и фиксирана на 12.5 m съгласно препоръките на [9] за широкоплощни фундаменти.



Фиг. 6 Фундаментна конструкция с кота на фундиране +116.35 – средно слягане (SLS-SYM) за осреднен геоложки профил – разпределение на напреженията по метод на Westergaard





Фиг. 7 Изглед на пространствен изчислителен модел по метод на крайните елементи



Фиг. 8 Фундаментна конструкция с кота на фундиране +116.35 – средно слягане (SLS-SYM) за осреднен геоложки профил – метод на крайните елементи (физичен модел Mohr-Coloumb)

# ИЗБОР НА ФУНДАМЕНТНА КОНСТРУКЦИЯ И ДЪЛБОЧИНА НА ПОДОБРЯВАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА

Докладът представа две взаимнозаменяеми концепции за фундаментна конструкция както следва: 1) двойна стоманобетонна плоча със свързващи вертикални конструктивни елементи (колони) с габарит (височина) 4.15 m – основната плоскост попада на кота +116.35; 2) единична стоманобетонна плоча (F-тип) с габарит (височина) 2.10 m – основната плоскост попада на кота +116.35. И двете решения осигуряват технологична функционалност (при единия вариант инсталациите се разполагат между двете плочи, а при другия – в оформени в конструкцията канали), както и надеждно широкоплощно предаване на натоварването от връхната конструкция върху земната основа, с което се избягва концентрация на напрежения, а сляганията са равномерни. На първа итерация са разгледани варианти със "стъпване" на фундаментните конструкции върху земната основа без подобряване на



почвените параметри – Табл. 1. Разпределението на напреженията в дълбочина за двата случая на фундиране са показани на Фиг. 9.

Табл. 1. Обобщение на сляганията на двата типа фундаментни конструкции с различни коти на фундиране – без мерки за подобряване на земната основа – слягане от уплътняване и слягане от пропадане

			Без мерк	и за подо	бряване	на земнат	га основа		
Тип			Уплът	няване		Про- падане	Общо		
фундаментна конструкция	Местоположение	Послойно	Settle3D -	M	KE	Послойно	Послойно	Послойно	
	MC5 & MC6 & MC7 & MC8 &	сумиране	Method	Mohr- Coloumb	HSM	сумиране	сумиране	+ Settle3D	
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	
Фундаментна		13.98	14.40	19.00	0.18	31.89	45.87	46.29	
конструкция с	MC9 & MC13 & MC14								
двойно дъно (+116.35)	MC10 & MC11 & MC12 & MC15	16.52	16.70	21.00	0.18	35.90	52.42	52.60	
Фундаментна конструкция с	MC5 & MC6 & MC7 & MC8 & MC9 & MC13 & MC14	14.46	14.20	19.00	0.16	34.13	48.59	48.33	
единично дъно (+118.40)	MC10 & MC11 & MC12 & MC15	16.20	15.60	22.00	0.16	44.85	61.05	60.45	

Резултатите ясно демонстрират, че сляганията превишават граничните възприети стойности. Прави впечатление, че приносът на пропадането е доминиращ – сляганията единствено от него достигат до стойности от порядъка на 50÷60 ст. Ето защо, като особено важна предпоставка на концептуалните решения за фундиране, е възприето третирането на цялата пропадъчна зона до кота 109.30 m (-11.20).

Изключение прави решението по метод на крайните елементи (модел Hardening soil), което макар обикновено да дава реалистични резултати (на база на предишен опит на автора), не следва да бъде възприето окончателно, тъй като в инженерно-геоложките изследвания липсват надеждно определени стойности на параметрите дефиниращи го. То е дадено информативно, а от гледна точка на сигурността, за изчисленията са използвани другите три независими метода, които са описани понагоре.



Фиг. 9 Разпределяне на напреженията в дълбочина за двата типа фундаментни конструкции с различни коти на фундиране – без мерки за подобряване на земната основа



В [9] са дадени следните три типа мерки за намаляване на ефекта от пропадане на почвите:

1. Отстраняване на пропадъчните свойства на почвите посредством уплътняване или заздравяване: повърхностно уплътняване; полагане на уплътнени на пластове почвени или циментопочвени подложки; силикатизация, смолизация, циментация, термична обработка и др.;

2. Предпазване на земната основа от заливане: правилно разположение на обектите; направа на водоплътни екрани под сградите; полагане на тръбопроводите в корита и кожуси; осигуряване на контрол за откриване на течове и др.;

3. Конструктивни мерки: прилагане на конструкции, нечувствителни към неравномерни слягания; увеличаване на коравината на подземната част на сградата (съоръжението); увеличаване дълбочината на фундиране; преминаване на пропадъчния пласт с дълбоко фундиране и др.

В допълнение, при II тип земна основа следва да бъде създаден екран под цялата сграда или съоръжение – [10].

С оглед на гореизложеното са възприети два окончателни варианта за фундиране – Фиг. 10 и Фиг. 11.







Фиг. 10 Вариант 1 за фундиране: двойна фундаментна плоча, дебела цименто-почвена възглавница и импулсно уплътнена почва

Фиг. 11 Вариант 2 за фундиране: фундаментна плоча F-тип, тънка цименто-почвена възглавница и дискретно разпределена дълбочинно смесена почва

• <u>Вариант 1:</u> фундаментна конструкция с двойно дъно (висока 4.15 m), 2.5 m цименто-почвена възглавница и импулсно уплътнена (подобрена) почва, [1] и [6], с габарит около 4.55 m. Общо: 4.15 m + 2.5 m + 4.55 m = 11.20 m, което ще доведе до преодоляване на пропадъчната зона. Подходът предвижда увеличаване на дълбочината на фундиране, корава стоманобетонна кутия под кота ±0.00, екран под цялото съоръжение и отстраняване на пропадъчните свойства на почвите. Впоследствие следва да се включат и водозащитни мероприятия, които са задължителни за II тип земна основа съгласно [9].



Табл. 2 Обобщение на сляганията на фундаментна конструкция (h<sub>фунд</sub> = 4.15 m) с двойно дъно (заложена на кота +116.35) при подобряване на земната основа чрез 2.5 m цименто-почвена възглавница и импулсно уппътняване в почвен слой с мощност 4.55 m – слягане от уппътняване и слягане от пропадане

		Дебела	а почво-п	иментов	а възгл	+ импулсі	но уплъті	іяване	
Тип			Уплът	няване		Про- падане	Общо		
фундаментна конструкция	Местоположение	Послойно	Settle3D -	MI	KE	Послойно	Послойно	Послойно	
		сумиране	Method	Mohr- Coloumb	HSM	сумиране	сумиране	+ Settle3D	
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	
Фундаментна конструкция с	MC5 & MC6 & MC7 & MC8 & MC9 & MC13 & MC14	6.01	7.18	12.00	-	0.49	6.50	7.67	
двойно дъно (+116.35)	MC10 & MC11 & MC12 & MC15	7.69	8.24	13.00	-	9.31	17.00	17.55	
Фундаментна конструкция с	MC5 & MC6 & MC7 & MC8 & MC9 & MC13 & MC14	-	-	-	-	-	-	-	
единично дъно (+118.40)	MC10 & MC11 & MC12 & MC15	-	-	-	-	-	-	-	

Впоследствие е важно да бъдат предвидени допълнителни лабораторни изследвания (Проктортестове), на база на които ще бъдат определени специфична плътност и оптимално водно съдържание. Тези показатели са изключително важни при планиране на уплътнителни строителни дейности.

Преди започване на дейността по заздравяването на земната основа, следва да бъде предвиден опитен участък за доказване на приложимостта на импулсното уплътняване на почвата. Уплътняването с трамбовки се прилага при почви със степен на водонасищане  $S_r < 0.7$  и плътност, не по-голяма от 1.6 g/cm<sup>3</sup>. В конкретния случай е удовлетворено условието степента на водонасищане да бъде по-малка от 0.7, но не и условието обемната плътност да бъде по-малка от 1.6 g/cm<sup>3</sup>. Въпреки това, на база предишен опит, авторът са уверен в положителния резултат от приложението на тази мярка. Уплътняване на земната основа на предишни подобни обекти чрез тази техника показва, че "импулсното уплътняване" пълноценно "задейства" (подобрява) почвен пласт с мощност от порядъка 3.5÷8 m. Сляганията са систематизирани в Табл. 2.

• <u>Вариант 2:</u> фундаментна конструкция, F-тип, с единично дъно (висока 2.10 m), 0.6 m циментопочвена възглавница и дълбочинно цименто-почвено смесване, [4] и [5]: 103 бр. колони с диаметър D=1.20m и височина 8.50 m за всеки силоз (17.5% запълване в пропадъчната зона). Общо: 2.10 m + 0.6 m + 8.50 m = 11.20 m, което ще доведе до преодоляване на пропадъчната зона. Подходът предвижда екран под цялото съоръжение и отстраняване на пропадъчните свойства на почвите. Функцията на цименто-почвената възглавница, освен на водоплътен екран, има смисъл и на зона, която задейства равномерно цименто-почвените колони. Впоследствие следва да се включат и водозащитни мероприятия, които са задължителни за II тип земна основа съгласно [9].

Преди прилагане на технологията за изпълнение на дълбочинно почвено смесване, следва бъде предвиден опитен участък. Сляганията са систематизирани в Табл. 3.

Двата типа товарни състояния, които се разглеждат, SYM (симетрично изпразване на силоза) и SD (едностранно изпразване на силоза), водят до допълнително подразделение типовете фундиране. За състояние SYM са валидни всички мерки описани по-нагоре. Състояние SD води до опънни напрежения в основната плоскост на фундаментите (отлепяне на фундаментите), които могат да бъдат решени по два начина:

• За Вариант 1: изключване на опъна чрез обединяване на съседни силози в обща фундаментна плоча. Всички останали мерки за подобряване на земната основа остават в сила;

• За Вариант 2: изключване на опъна чрез обединяване на съседни силози в обща фундаментна плоча или вграждане на метални профили във външните два ринга от дълбочинно смесени колони (профилите се анкерират към фундаментната плоча). Всички останали мерки за подобряване на земната основа остават в сила.



Табл. 3 Обобщение на сляганията на фундаментна конструкция (h<sub>фунд</sub> = 2.10 m) с единично дъно (заложена на кота +118.40), F-фундамент, при подобряване на земната основа чрез 0.6 m циментопочвена възглавница и дълбочинно почвено смесване с височина 8.50 m (100 бр., D = 1.20 m) – слягане от уплътняване и слягане от пропадане

		Тънка	почво-ци	-циментова възгл. + дълбочинно почв. сем						
Тип			Уплът	няване		Про- падане	Об	що		
фундаментна конструкция	Местоположение	Послойно	Settle3D -	MKE		Послойно	Послойно	Послойно		
		сумиране	Method	Mohr- Coloumb	HSM	сумиране	сумиране	+ Settle3D		
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
Фундаментна	MC5 & MC6 & MC7 & MC8 &	_	_	_	_	_	_	_		
конструкция с	MC9 & MC13 & MC14									
двойно дъно (+116.35)	MC10 & MC11 & MC12 & MC15	-	-	-	-	-	-	-		
Фундаментна конструкция с	MC5 & MC6 & MC7 & MC8 & MC9 & MC13 & MC14	2.71	3.31	7.40	-	0.50	3.21	3.81		
единично дъно (+118.40)	MC10 & MC11 & MC12 & MC15	3.61	3.54	8.80	-	9.28	12.89	12.82		

С оглед на предишния опит на авторите, както и на този на геотехническата гилдия в България през годините, предвиденото количество цимент за оформяне на цименто-почвените възглавници е 6÷8% от твърдата фаза на почвата – [2] и [3]. Циментът за предпочитане следва да бъде сулфатоустойчив. Количеството вода, което ще бъде добавяно, е базирано на оптимално водно съдържание, получено чрез Проктор-тестове.

### СЪПОСТАВКА НА ВАРИАНТИТЕ ЗА ФУНДИРАНЕ

Предимствата и недостатъците на предложените два варианта за фундиране, оценени на база предишен опит на автора и проведен технико-икономически анализ, са систематизирани на Фиг. 12.

Критерий / Тип фундиране	I: Двойно дъно + цименто-почвена възглавница + импулсно уплътняване	Коментар	
Удовлетворяване на проверки за носимоспособ- ност	ο	0	-
Удовлетворяване на проверки за средно слягане	ο	0	След доказване на приложимостта на импулсното уплътняване.
Приложимост на решението	Δ	0	Приложимостта на импулсното улътняване следва да бъде доказана.
Дуракоустойчи- вост	ο	х	-
Цена	Δ	Δ	Икономически целесьобразното решение слдва да бъде избрано след офериране.
Времетраене	х	0	-

Фиг. 12 Съпоставка на вариантите за фундиране



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Докладът предлага два взаимнозаменяеми (от технико-инженерна гледна точка) варианта за фундиране, които надеждно биха обезпечили експлоатацията на съоръженията.

Двата подхода са обосновани от проектна гледна точка, като са направени задълбочени изчисления – най-вече с оглед на прецизно определяне на сляганията.

Резултатите ясно показват доминацията на сляганията от пропадане над тези от уплътняване. По-прецизните изчислителни подходи (метод на крайните елементи – модел Hardening soil) дори прогнозират слягания от уплътняване под 1 ст, което е напълно реалистично. Доказателство за това е относително малкото слягане на вече изпълнените съоръжения в близост до строителната площадка.

Въпреки това, от гледна точка на отговорността на съоръженията и изискванията на [9], следва да бъдат отнети пропадъчните свойства на почвите до кота 109.30 m. В противен случай рискът от пропадане при непредвиден контакт на почвите с вода е твърде голям и би довел до катастрофални последици.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Adam, D. and I. Paulmich. 2007. *Rapid impact compactor–an innovative compaction device for soil improvement*. In Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Geotechnical Conference, 183–193.
- [2] Angelova, R. and D. Evstatiev. 1990. *Strength gain stages of soilcement*. In Proceedings of 6<sup>th</sup> Interantional IAEG Congress, 3147–3154.
- [3] Evstatiev, D., D. Karastanev, R. Angelova, I. Jefferson. 2002. Improvement of collapsible loess soils from Eastern Europe: Lessons from Bulgaria. In Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Ground Improvement Techniques, 331–338.
- [4] Kitazume, M. 2022. *Quality Control and Assurance of the Deep Mixing Method*. CRC Press (Taylor and Francis Group).
- [5] Kitazume, M. and M. Terashi. 2013. *The Deep Mixing Method*. CRC Press (Taylor and Francis Group).
- [6] Serridge, C. J. and O. Synac. 2006. Application of the rapid impact compaction (RIC) technique for risk mitigation in problematic soils. In 10<sup>th</sup> IAEG International Congress, paper no. 294.
- [7] БДС-ЕN1997-1 Еврокод 7-1. Геотехническо проектиране. Основни правила.
- [8] БДС-ЕN1997-2 Еврокод 7-2. Геотехническо проектиране. Изследване и изпитване на земната основа.
- [9] Норми за проектиране на плоско фундиране. ДВ 85/96.
- [10] Минков, М. и Д. Евстатиев. 1975. Основи, облицовки и екрани от заздравени льосови почви. София, Техника.



### ЕКСПРЕСЕН АНАЛИЗАТОР ЗА УСТАНОВЯВАНЕ НА ЪГЛИТЕ НА ОТКОСИТЕ ЗА ЛИТОЛОЖКА РАЗНОВИДНОСТ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ПРОЦЕСА НА ОПТИМИЗАЦИЯ НА РУДНИК "ЕЛАЦИТЕ"

### Никола Тошков - n.toshkov@ellatzite-med.com; Любомир Свиленов - l.svilenov@ellatzite-med.com; Желязко Ялъмов - zh.yalamov@ellatzite-med.com

### РЕЗЮМЕ

Ъгълът на откоса за отделна литоложка разновидност е важен входен параметър при проектирането на открити рудници. Той трябва да е оптимален и съобразен с приетия праг на сигурност. Настоящият доклад представя разработената методика за намиране на оптималния ъгъл на откоса за литоложка разновидност в софтуера UDEC, чрез програмния език Fish, приложен в условията на рудник "Елаците".

Разработеният програмен код извършва множество стабилитетни изчисления на автоматично генерирани геометрични конфигурации, зависещи от броя и височината на рампите, широчината на геотехническите площадки и междурамповия ъгъл. Оценява влиянието на подземните води в зависимост от дълбочината на водното ниво и вероятността за загуба на устойчивост, според вариацията на якостните параметри.

### METHODOLOGY FOR DETERMINING OPTIMAL SLOPE ANGLE FOR LITHOLOGICAL UNIT IN ELLATZITE OPEN PIT MINE

### Nikola Toshkov - n.toshkov@ellatzite-med.com; Lyubomir Svilenov - I.svilenov@ellatzite-med.com; Zhelyazko Yalamov - zh.yalamov@ellatzite-med.com

### ABSTRACT

Lithology slope angle is an important input parameter in the mine design process. This angle should be optimal and meet certain acceptance criteria. Developed in Ellatzite Open Pit methodology for determining optimal lithology slope angle using the programing language FISH in the software UDEC is presented in the report.

Developed programing code is performing slope stability calculations on many automatically generated pit configurations that depends on the number and height of ramps, width of the geotechnical berms and interramp angle. The code is also design to access the groundwater influence on the slope stability for different water depth and the probability of failure given the parameters uncertainties.

### Въведение

Една от задачите при проектиране на големите открити рудници е намирането на оптималната конфигурация, която да гарантира безопасно и пълно изпълнение на разработвания проект. Търсенето й става чрез стабилитетни изчисления, отчитащи инженерно-геоложките условия, които могат да бъдат със значителна сложност. Често откосите се изграждат в множество на брой литоложки разновидности и за по-целесъобразното проектиране е нужно да бъде известен оптималният ъгъл за всяка от тях. Този ъгъл, в повечето софтуери за минно проектиране, се измерва между долните ръбове на пакетите от стъпала (рампи). За намирането му се изследват множество конфигурации, които могат да бъдат разнообразни, поради различните геометрични елементи на откосите. Някои от тези елементи са широчини на бермите, ъгли на откосите, височини на откосите, височини на пакетите от единични стъпала и др. Оптималните ъгли се съобразяват с приетите прагове на допустимост, които се



определят чрез коефициента на устойчивост и вероятността от разрушаване. Освен стабилитетните изчисления на множеството възможни геометрични конфигурации и намирането на коефициент на устойчивост за тях, се изследва и вариацията на якостните параметри – за определяне на вероятността от разрушаване.

Имайки предвид всички тези особености, за намирането на оптималния ъгъл за отделните литоложки разновидности, разкриващи се в рудник "Елаците", е разработена методика и код, с помощта на програмния език Fish в софтуерния продукт UDEC на компанията ITASCA. Методиката описва подхода, по който се избират диапазоните от входни геометрични параметри за конкретна литоложка разновидност, съобразена с проектна руднична конфигурация. С помощта на кода се извършват множество стабилитетни изчисления на автоматично генерирани геометрични конфигурации за всяка литоложка единица, зависещи от броя и височината на рампите, широчината на геотехническите площадки и генералните ъгли на рампата (измерен между долните и горни ръбове на рампата).

### Елементи от конфигурацията на откосите в открити рудници в различни мащаби

Проектирането на откоси в открити рудници се извършва в три различни мащаба – на единично стъпало, на пакет от стъпала (рампа) и цялостен откос (Фигура 1).



Фигура 1. Елементи от конфигурацията на откосите в открити рудници за различните мащаби.

Елементите на единично стъпало са височина на стъпалото, широчината на площадката и ъгъл на откоса. Често в този мащаб, освен с инженерно-геоложките условия, изборът на конфигурация е съобразен и с възможностите на минната механизация. В мащаба на пакета от стъпала се разграничават следните елементи: брой единични стъпала, височина, междурампов ъгъл (измерен



между долните ръбове на единичните стъпала), генерален ъгъл на рампата (измерен между долния и горния ръб на рампата) и широчина на геотехническото стъпало. По-широките геотехнически стъпала намаляват риска възникнало разрушаване на масива да излезе извън границите на рампата. В случай на срутищни процеси или взривни работи рампата играе роля на буфер, способен да поеме скален материал. Освен височината важен елемент в мащаба на цялостен откос е неговият генерален ъгъл, който е съставен от ъглите на различните литоложки разновидности, изграждащи откоса. Тези ъгли се измерват между долните ръбове на пакетите от стъпала и са входен параметър при минното проектиране и определянето на запаси (Read and Stacey 2010).

### <u>Методика за избор на диапазон от входни геометрични параметри по литоложки разновидности за</u> проектна руднична конфигурация

Първата стъпка за определяне на входните геометрични параметри по литология на рудник "Елаците" е намирането на най-голямата дълбочина, измерена от проектната корона на рудника, на която петата на всяка литоложка разновидност би попаднала, спрямо бъдещо разширение с отстояние 100-150 m от фактическия откос (Фигура 2а). След това се избира броя рампи и тяхната височина, съгласно определената максимална дълбочина (Фигура 2б). Височината на рампите е съобразена с досегашния опит в рудника. Пример: Ако имаме приблизително около 360 m максимална дълбочина на петата, а искаме височината на рампата да е 120 m, следва да изследваме 3 рампи. Допуска се, че откосът над петата е изцяло изграден от същата литоложка разновидност. В случаите, когато имаме различна литология в откоса над изследвания тип скала, която е с по-нисък ъгъл, това допускане е консервативно, но по този начин множеството модели към всяка генерирана геометрия се опростяват, а изчислителното време се съкращава значително. Физически рампите са изразени чрез два геометрични елемента: генерален ъгъл, без да има единични стъпала между геотехническите площадки и геотехническа площадка, представена с пълната й широчина.

След определяне на височината и броя на рампите за всяка литоложка единица се избират диапазони на двата геометрични елемента, описващи всяка рампа (Фигура 2в). Пример: за дадена литоложка разновидност широчината на геотехническите площадки може да варират от 16 до 30 m със стъпка 2 m. Избира се подходящ диапазон и стъпка за генералния ъгъл на рампата. Този избор е с компромисен характер, тъй като малките стъпки или големият диапазон ще доведат до изследване на повече геометрии и увеличаване на изчислителното време. Според двата избрани геометрични елемента на рампата се оформя матрица от геометрични комбинации с различни ъгли по литологии, за които програмният код извършва стабилитетни изчисления (Таблица 1).

Таблица 1. Матрица с обхват на геометрични елементи за анализ на ъгъла на откоса по литология. Широчината на геотехническия хоризонт се изменя от 16 до 30 m, а генералният ъгъл на рампата от 49° до 54°. При комбинацията на тези два елемента се получават различни ъгли на откоса по литологии, като най-полегатият е 41.8°, а най-стръмният 49.3°. След завършване на изчислението за всяка геометрия се получава коефициент на устойчивост. В матрица **а**. е показан генералният ъгъл на рампата, в матрица **б**. е преизчислен междурамповият ъгъл.

â	a.										б.										в.										
Ъгъл на откоса по литологии, °									Ъгъл на откоса по литологии, °							Коефициент на устойчивост															
	Генерален ы	л Ц	Циро	чина	на ге	еотех	книче	ският	г хорі	130HT	Междурам	шов	Ширс	очина	на ге	отех	ничес	кият	хори	зонт	Гене	рален в	ыы	Шир	очина	наг	еотех	ниче	ският	хори	зонт
	на рампата,	• _	15	18	20	22	24	26	28	30	ъгъл, °		16	18	20	22	24	26	28	30	на р	рампата	i, °	16	18	20	22	24	26	28	30
		49 4	4.9 4	44.5	44.0	43.5	43.1	42.6	42.2	41.8		44.9	44.9	44.5	44.0	43.5	43.1	42.6	42.2	41.8			49	1.49	1.51	1.53	1.55	1.5/	1.60	1.63	1.65
		50 4	5.8 4	45.3	44.8	44.4	43.9	43.4	43.0	42.6		46.1	45.8	45.3	44.8	44.4	43.9	43.4	43.0	42.6			50	1.44	1.47	1.50	1.51	1.53	1.55	1.56	1.59
		514	6.7	46.2	45.7	45.2	44.7	44.3	43.8	43.3		47.3	46.7	46.2	45.7	45.2	44.7	44.3	43.8	43.3			51	1.41	1.44	1.47	1.49	1.52	1.51	1.55	1.56
		52 4	7.6	47.0	46.5	46.0	45.5	45.1	44.6	44.1		48.5	47.6	47.0	46.5	46.0	45.5	45.1	44.6	44.1			52	1.37	1.39	1.42	1.45	1.47	1.50	1.51	1.54
		53 4	8.4	47.9	47.4	46.9	46.4	45.9	45.4	44.9		49.7	48.4	47.9	47.4	46.9	45.4	45.9	45.4	44.9			53	1.34	1.36	1.39	1.41	1.43	1.46	1.48	1.50
		54 4	9.3	48.8	48.2	47.7	47.2	46.7	46.2	45.7		50.9	49.3	48.8	48.2	47.7	47.2	4 <b>G</b> .7	46.2	45.7			54	1.31	1.33	1.33	1.36	1.37	1.39	1.45	1.45





Фигура 2. Приемане на геометрични параметри за анализ на множество конфигурации при търсенето на оптимален ъгъл на откоса за литоложка разновидност. Фигура 2а. показва определянето на максималната дълбочина на петата за литоложка разновидност. Фигура 2б. изобразява външните граници на изчислителния модел, както броят и височините на рампите, от които е изграден откоса. На Фигура 2в. е показан най-полегат и най-стръмен ъгъл на откоса по литологии, получаващ се при избора съответно на най-широка геотехническа площадка (30 m) и полегат генерален ъгъл на рампата (49°) и най-тясна геотехническа площадка (16 m) и стръмен генерален ъгъл на рампата (54°).

Ефективните напрежения се изчисляват спрямо автоматично генерирана линия, зависеща от избраната дълбочина на подземните води и геометрията на изчислителния случай. Вертикалният градиент на поровите налягания има хидростатично разпределение.

Вероятността от разрушаване е определена чрез изчисляване на изменението на коефициента на устойчивост спрямо вариацията на якостните параметри. Това става в две точки от разпределението му по статистическия метод на Rosenbleuth, Е., (1981). При този метод се налага извършването на 4 допълнителни изчисления за всяка геометрия с различните якостни параметри (формули 1,2,3 и 4). Те са определени спрямо вариацията на якостта на едноосов натиск (UCS) и индекса на геоложка якост (GSI) чрез използване на стандартното им отклонение. След получаването на коефициентите на устойчивост се изчислява средната стойност и стандартното отклонение по формули 5 и 6. От полученото разпределение, се установява вероятността коефициентът да бъде под граничното равновесие (при коефициент 1.00). Този статистически метод позволява бърза оценка на вероятността, поради относително малкия брой изследвани променливи (Hoek 2007).

$FoS_{++} = FoS(UCS_+, GSI_+);$	(1)
$FoS_{+-} = FoS(UCS_{+}, GSI_{-});$	(2)
$FoS_{-+} = FoS(UCS_{-}, GSI_{+});$	(3)
$FoS_{} = FoS(UCS_{-}, GSI_{-});$	(4)
$\mu_{FoS} = P_{++}FoS_{++} + P_{+-}FoS_{+-} + P_{-+}FoS_{-+} + P_{}FoS_{}$	(5)
$\sigma_{FoS}^{2} = P_{++}FoS_{++}^{2} + P_{+-}FoS_{+-}^{2} + P_{-+}FoS_{-+}^{2} + P_{}FoS_{}^{2} - \mu_{FoS}^{2}$	(6)

където:

UCS<sub>+</sub> и UCS<sub>-</sub> - средната якост на едноосов натиск съответно плюс и минус едно стандартно отклонение;

GSI+ и GSI- - средният индекс на геоложката якост съответно плюс и минус едно стандартно отклонение;

FoS, FoS+-, FoS-+, FoS-- – коефициенти на устойчивост за отделните комбинации на якостните параметри, ъгъл на вътрешно триене и кохезия, получени чрез якостта вариациите UCS и GSI;

 $P = P_{++} = P_{+-} = P_{-+} = P_{--} = 0.25 - коефициент на зависимост, двата параметъра UCS и GSI са изследвани като независими;$ 

*µ*<sub>FoS</sub> – среден коефициент на устойчивост;

*σ*<sub>FoS</sub> – стандартно отклонение на коефициента на устойчивост.



### Особености на разработения код в програмния език Fish

Написаният код се стартира в UDEC чрез главен команден файл, контролиращ цялото изпълнение на изследването. Съхранява се в желана компютърна директория с придружаващите го спомагателни файлове, които са два типа – библиотеки на якостните параметри и библиотека с функции. В него се избират настройките на изследването като брой и височина на рампите и диапазона на геометричните им елементи, литоложката единица, дълбочината на подземните води и гъстотата на изчислителната мрежа (Фигура 3). След задаване на желаните параметри се стартира изпълнението на командния файл, който извиква различните функции и променливи (Itasca Inc. 2018). Библиотеките с якостни параметри представляват списък с променливи с имена, обозначаващи домейна (литоложката единица) и вида на параметъра (Фигура 4).

; Главни геометрични настройки efish define \_angle general\_settings \_\_rh = 120 ; Височина на рампата \_\_rn = 3 ; Брой рампи 6 \_rn 
 \_1\_ra
 = 49.0
 ; Минимален генерален ъгъл на рампата

 \_up\_ra
 = 54.0
 ; Максимален генерален ъгъл на рампата

 \_interval\_ra
 = 1
 ; Интервал

 l\_rw
 = 16.0
 ; Минимална широчина на геотехническият площадка

 up\_rw
 = 30.0
 ; Максимална широчина на геотехническият площадка

 \_interval\_rw
 = 2
 ; Интервал
 end ; Избор на геотехническа/литоложка еденица ; GRD\_101, GRD\_102, HFS\_111, HFS\_112, HFS\_113, MDP\_121, MDP\_122, MDP\_123, ; SCH\_201, SCH\_203, SCH\_204, PHY\_211, PHY\_213, PHY\_214, WD\_001, WD\_002 Gfish define \_rock\_type rock\_type = 'GRD\_101' end ; Избор на гъстота на мрежата Efish define \_edge\_size command block zone generate edge 20.0 endcommand end ; Дълбочина на подземните води в метри fish define \_water\_condition = 'yes' water\_depth = 20

Фигура 3. Главен командващ файл, в който се задават основните параметри на изследването. Във функция angle general settings се дефинират желаните настройки на геометричните елементи – брой и височини на рампите. минимален и максимален генерален ъгъл и широчина на геотехническото стъпало и стъпката на тяхното търсене.

```
:Функция дефинираща имената и стойностите на променливите за якостните параметри
   □fish define average_parameters
        ;Гранодиорити (101)
        _E_Gr_101 = 3250000000
        v_{Gr_{101}} = 0.30
8
        _d_Gr_101 = 2630
        _c_Gr_101 = 427580
        f_{Gr_{101}} = 49.42
t_{Gr_{101}} = 4680
        14
15
   Lend
```

Фигура 4. Началната част на библиотеката за средни якостни параметри. Имената на променливите са съставени от вида на параметъра и литоложката единица. Като E, v, d, c, f, t, K и G са съответно модулът на Юнг (Ра), коефициентът на Поасон (-), обемната плътност (kg/m3), кохезията (Ра), ъгълът на вътрешно триене (°), якостта на опън (Ра), модул на обемно свиване (Ра) и модул на срязване (Ра).



С помощта на създадената библиотека с функции се извършват следните операции: управление на имената на файловете с резултата за всяка геометрия; изчисляване на геометриите от зададените диапазони на геометричните елементи на рампите; задаване на гранични условия и начални пълни и ефективни напрежения, зависещи от геометрията на всеки изчислителен модел; задаване на водно ниво; решаване на еластична задача за намиране на началните условия; изчисляване на коефициента на устойчивост и запазване на резултата за всяка геометрична конфигурация.

Функцията \_name, за контрол на имената, създава променлива \_file\_name (Фигура 5), която генерира име съставено от представка \_fos и наставките за вид скала (rock\_type), генерален ъгъл на рампата (\_n\_ra) и широчина на геотехническия хоризонт (\_n\_rw). Така имената на файловете, съхраняващи резултата за двете геометрии от Таблица 1а, с ъгли на откоса по литологии 41.8° и 49.3°, биха изглеждали така - \_fos\_GRD\_101\_54\_16.sav и \_fos\_GRD\_101\_49\_30.sav.

Геометрията на всеки един случай се генерира автоматично чрез запазване на двойки координати *x* и *y* в списъци. Тези координати са изчислени чрез хоризонтални и вертикални разстояния от началото на всеки модел, което е 0,0. Тригонометрична функция е използвана за намиране на заложението (хоризонталното разстояние) на генералния ъгъл на рампата (Формула 7). Така за примера с 3 рампи ще са нужни 8 точки, по които да се определи конфигурацията на моделите (Фигура 6). Изчислението на координатите за всяка от осемте точки в кода е показано на Фигура 7. Първоначално, чрез броя на зададените рампи, се избира решение за различен брой точки. За 2 рампи, те ще са 6, а за 4 рампи – 10. Независимо от броя на рампите, кодът продължава с изпълнението на два цикъла. В първия се залага различна широчина на рампата, според зададения диапазон, а във втория – различен генерален ъгъл на рампата. Така, за всяко изчисление, се получава матрица за двата геометрични елемента и произлизащия от комбинацията им ъгъл на откоса по литологии (Таблица 1).





Фигура 6. Пример за дефиниция на имената на променливите, използвани във функция \_angle\_create, за откос с три рампи. Обозначенията са обяснени на Фигура 7 и Фигура 8. С черен цвят са координатите на откоса, а със сив на подземните води.



19 ; Функция за изчисляване на геометриите на всеки	изчислителен случай
20 ; от зададените диапазони на геометричните елемен	ти на рампите
22 Difsh define _angle_create	Encă noutrum
22  pir  in  = 5	bpon pamint
23 B Toop in(1, num_intervals_iw)	; цикъл за широчината на рамите
24 B 100p 1(1, num_intervals_ra)	; цикъл за генералния ъгъл на рампата
25 LX0 = 600	коризонтално разстояние зад короната на откоса
26 Ly = 300	вертикално разстояние под петата на откоса
ZT $LXI = 200$	хоризонтално разстояние пред петата на откоса
$10^{28} \text{ th} = 3^{*} \text{ rh} + Ly$	Пълна височина на модела
29 angle_ra = _1_ra + 1*_interval_ra	: последователни генерални ъгли на рампита
30 angle_ra_deg = angle_ra*math.degrad	Превръщане в радиани
sw = _rn/math.tan(angle_ra_deg)	Изчисление на заложението на рампата
32 irw = _1_rw + _interval_rw*nn	Последователни широчини на геотехническите площадки
<pre>33 im = num_intervals_ra*(nn-1) + i</pre>	Опрератор за попълване на координатите
34 as = table.create(im)	: Редица от двойка данни за координатите на рампата
35	
$36 \qquad table.x(im,1) = 0$	Хоризонтално начало на модела
37 table.x(im,2) = Lx0	: Хоризонтално разстояние зад короната на откоса
$138 \qquad table.x(im,3) = Lx0 + sw$	. Хоризонтално разстояние до петата на първата рампа
$139 \qquad table.x(im,4) = Lx0 + sw + irw$	Хоризонтално разстояние до горен ръб на втора рампа
40 table.x(im, 5) = $Lx0 + 2*sw + irw$	: Хоризонтално разстояние до петата на втората рампа
41 $table.x(im, 6) = Lx0 + 2*sw + 2*irw$	: Хоризонтално разстояние до горен ръб на третата рампа
42 $table.x(im,7) = Lx0 + 3*sw + 2*irw$	Хоризонтално разстояние до петата на откоса
43 $table.x(im, 8) = Lx0 + 3*sw + 2*irw + Lx1;$	: Хоризонтално разстояние до края на модела
44	
45 $table.y(im, 1) = th$	Вертикален разстояние до края на модела
<pre>46 table.y(im,2) = th</pre>	Вертикално разстояние до короната на откоса
47 $table.y(im, 3) = thrh$	Вертикално разстояние до долен ръб на първа рампа
48 $table.y(im, 4) = thrh$	Вертикално разстояние до горен ръб на втора рампа
49 table.y(im, 5) = th - 2*_rh	Вертикално разстояние до долен ръб на втора рампа
50 table.y(im, 6) = th - 2*_rh	Вертикално разстояние до горен ръб на трета рампа
51 table.y(im,7) = th - 3*_rh	Вертикално разстояние до петата на откоса
52 table.y(im, 8) = th - 3*_rh	Вертикално разстояние до дъното на рудника
53 endloop	
54 endloop	
55 Bend_if	
56 .	
57 .	
58 -end	

Фигура 7. Функция \_angle\_create, която изчислява координатите х и у на 8 точки от геометрията на модел с 3 рампи. Част от значенията на променливите са дефинирани на Фигура 3.

(7)

$$sw = rh/tan(angle_ra_deg)$$

където:

\_rh – височина на рампата;

angle\_ra\_deg – генерални ъгли на рампата, виж Фигура 7.

Водното ниво се задава в няколко точки според броя рампи. В посочения пример с 3 рампи точките са 4 (Фигура 6). Координатите им се изчисляват от точки 1, 2, 7 и 8 на всяка изследвана геометрия. Хоризонталните и вертикални разстояния са преизчислени с променливата \_water\_depth, равна на зададената дълбочина на подземните води (Фигура 8).

108	; 4	Функци	ия, която генер	ира линия на по	дземните води		
109	HI13	an dei	ine _water_tap	ie_creation			
110	<b>户</b>	if_	<b>rn =</b> 3		;	Бро	й рампит
111	白		loop w(1,_tot_	num)		;	От 1 до пълния брой геометрии
112			ww = tot num	+ w		;	Създаване на списък от стойности
113			wwi=int(ww)			;	Оператор
114							
115			<pre>table.x(wwi,1)</pre>	= table.x(w,1)	- 1	;	Хоризонтално разстояние на първа точка
116			<pre>table.x(wwi,2)</pre>	= table.x( $w$ , 2)	- water depth*	2 ;	Хоризонтално разстояние на втора точка
117			<pre>table.x(wwi,3)</pre>	= table.x( $w$ , 7)	- water depth	;	Хоризонтално разстояние на трета точка
118			<pre>table.x(wwi,4)</pre>	= table.x(w,8)	+ 1	;	Хоризонтално разстояние на последна точка
119							te te · ·
120			<pre>table.y(wwi,1)</pre>	= table.y(w,1)	- water depth*	2 ;	Вертикално разстояние на първа точка
121			table.y(wwi,2)	= table. $y(w, 2)$	- water depth*	2 ;	Вертикално разстояние на втора точка
122			<pre>table.y(wwi,3)</pre>	= table. $y(w,7)$	- water depth	;	Вертикално разстояние на трета точка
123	-		table.v(wwi,4)	= table. $y(w, 8)$	- water depth	;	Вертикално разстояние на последна точка
124			endloop	1.,,,			k k ···
125	L.	end	if				
126			-				
127							
128	enc	1					

Фигура 8. Част от функцията \_water\_table\_creation, която създава водно ниво по 4 точки, за примера с 3 рампи.

Извършват се две стъпки за иницииране на всеки изчислителен модел. В първата се задават хоризонтални и вертикални напрежения, спрямо дълбочината на всяка изчислителна зона от модела


чрез функция \_overburden (Фигура 9). Вертикалните напрежения са изчислени чрез гравитацията, дълбочината и плътността. Хоризонталните са изчислени от вертикалните, чрез коефициента k, представляващ тяхното съотношение. Този коефициент е избран да бъде 0.5, като достатъчно консервативен вариант, поради липса на директни измервания.

Част от функция \_overburden, намираща и прилагаща вертикални и хоризонтални напрежения за всяка изчислителна зона от модела, за зададения тип скала с плътност *d* е показана на Фигура 9. За останалите скални разновидности, функцията е идентична. Допълнително използваните команди в кода, са запазени имена на Fish функции, описани подробно в ръководствата към софтуера UDEC (Itasca Inc. 2018).

$$\sigma_{yy} = gravity. \, y * d * \Delta z \tag{8}$$

$$\sigma_{xx} = \sigma_{zz} = 0.5 * \sigma_{yy} \tag{9}$$

където:

*σ*<sub>уу</sub>, *σ*<sub>xx</sub> и *σ*<sub>zz</sub> – вертикални, хоризонтални в равнината на профила и хоризонтални извън равнината на профила напрежения;

gravity.y – вертикална гравитация;

*d* – плътност според избраната литоложка единица; ∆*z* – дълбочина на зоната под повърхността на модела.

```
144 ; Функция за изчисляване и задаване на вертикални и хоризонтални напрежения в зоните на модела.
145 define _overburden
146 @if rock type = 'GRD 101'
147 bi = block.head
148 |loop while bi # 0
149
         zi = block.zone(bi)
         loop while zi # 0
             block.zone.stress.yy(zi) = gravity.y* d Gr 101*(table(m,block.zone.pos.x(zi))-block.zone.pos.y(zi))
             block.zone.stress.zz(zi) = 0.5*block.zone.stress.yy(zi)
             block.zone.stress.xx(zi) = 0.5*block.zone.stress.yy(zi)
154
            zi = block.zone.next(zi)
         end loop
        bi = block.next(bi)
158 end loop
159 bendif
```

Фигура 9. Изчисляване и задаване на хоризонтални и вертикални напрежения, коефициент на съотношение 0.5

Във втората стъпка се извършват еластични изчисления (без предизвикване на разрушаване) до балансиране на напреженията в модела. Това е направено с цел по-точно определяне на напреженията, които да бъдат базирани не само на геометрията чрез задаване на хоризонтални и вертикални напрежения, но и на деформационните свойства на литоложката разновидност. След завършване на еластичното изчисление, се пристъпва към изчисление на коефициента на устойчивост.

# <u>Ъгъл на откоса по литологии, широчина на рампата, взаимодействащи рампи и генерален ъгъл на рампата</u>

Различни графики помагат за интерпретацията на резултатите от изследването за ъгъла на откоса по литоложка разновидност. На Фигура 10 е показана зависимостта между коефициента на устойчивост и: ъгъла на откоса по литологии, с наличие и без наличие на подземни води; ъгъла на откоса по литологии и вариацията на якостните параметри; генералния ъгъл на рампата за изследваните широчини на геотехническото стъпало и от широчината на геотехническото стъпало за изследваните генерални ъгли на рампата.





Фигура 10. Зависимост на коефициента на устойчивост от – а. ъгълът на откоса по литологии с и без наличие на подземни води; б. ъгълът на откоса по литологии за среден коефициент на устойчивост, както и коефициентите при 5 % и 20 % вероятност от разрушаване; в. генералният ъгъл на рампата и широчината на геотехническото стъпало 16 m, 22 m и 30 m.; г. широчината на геотехническото стъпало и генералният ъгъл на рампата 49 °, 51 ° и 54°.

#### Изводи и заключения

Разработената методика и програмен код чрез програмния език FISH на UDEC е бърз и полезен инструмент за оценка на оптималните ъгли на откоса за конкретни литоложки разновидности. Позволява генериране, анализ и оценка на устойчивостта на множество проектни конфигурации на откосите за мащабите на пакет от стъпала или взаимодействащи пакети от стъпала, зависеща от главните фактори, които я контролират – якостните параметри, тяхната вариация и наличието на подземни води. Кодът постига основната си цел да направи стабилитетни изчисления на множество геометрии нужни за началните етапи на проектиране на рудника.

#### Използвана литература

- 1. Hoek, Evert. 2007. Practical Rock Engineering.
- 2.Itasca Inc. 2018. Fish in UDEC 7.0.
- 3. Itasca Inc. 2018. UDEC 7.0 User's Guide.
- 4.Read, John, and Peter Stacey, eds. 2010. Guidelines for Open Pit Slope Design. Collingwood, Vic: CSIRO Publ.
- 5. Rosenbleuth, E. 1981. Two-point estimates in probabilities. J. Appl. Math. Modelling 5, October, 329-335



### INTERNAL DUMP SLOPE STABILITY RISK ASSESSMENT ON OPENCAST COAL MINE TAMNAVA-WEST

Pavlovic Natalija<sup>1</sup>, Petrovic Branko<sup>2</sup>, Subaranovic Tomislav<sup>3</sup>, Jakovljevic Ivica<sup>4</sup> <sup>1</sup> – Doctoral research assistant, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Djusina 7, Belgrade, natalija.pavlovic@rgf.bg.ac.rs <sup>2</sup> - Scientific associate, Electric Power Industry of Serbia, Branch MB Kolubara, Svetog Save 1, Lazarevac, branko.petrovic@eps.rs

<sup>3</sup> – Associate professor, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Djusina 7, tomislav.subaranovic@rgf.bg.ac.rs

<sup>4</sup> – Assistant professor, University of Pristina, Faculty of Technical Sciences, Knjaza Milosa 7, Kosovska Mitrovica, ivica.jakovljevic@pr.ac.rs

#### ABSTRACT

Increased precipitation and flooding of the Tamnava-West Field opencast mine and its internal dump due to climate change have led to permanent changes in the geomechanical characteristics of the dumped overburden, but also caused the reduction of the overall slope factors of stability and caused a significant increase of mining risk. An updated analyzes of the internal dump slope stability with a probabilistic modeling approach for risk assessment in a presented case study is the basis for optimizing the overall slope angle, increasing the dewatering system efficiency, as well as attaining more reliable mining and work safety. *Keywords:* internal dump, slope stability, factor of safety, probabilities, consequences, risk

#### Introduction

The opencast coal mine Tamnava-West has the biggest coal production in the Republic of Serbia, and it's in the phase of full development with the formation of an internal dump. After the consequences of a huge flood in 2014 and increased rainfall due to current climate changes, there were significant hydrological and geomechanical changes in the parameters of the working environment, which endanger the previously projected internal dump overall slope stability in accordance with applicable legislation. Therefore, there's a need for an innovative analysis of the overall slope stability and, consequently, possible changes in the construction and dynamics of the formation of the internal dump. The presented case study demonstrates that it is necessary to use a quantitative probabilistic approach that enables the realization of an optimized opencast mine internal dump overall slope design process, by determining the variance values of slope angles and dump slope stability risks assessment. The value of risk was obtained as a product of the total probability of the slope failure as a product of the dependent probabilities of the determined impact factors and economic consequences of the slope failure. In this case study, the consequences include losses due to costs of internal dump sanation due to slope failure, equipment repairs, dewatering failures and costs of possible production losses and loss of human life or damage to health.

#### Opencast mine internal dump overall slope stability risk

The methodology of calculating opencast mine internal dump slope stability risk (R) is based on the well-known probabilistic principle of slope overall system failure probability ( $P_{fs}$ ) and quantitatively determined consequences (C) on the functionality and economy of opencast mines [7, 9, 11].

According to the classic definition, the risk of internal dump overall slope failure is practically the possibility of occurrence of a situation or event that can have negative consequences on the function and operation of the opencast mine, and it's defined as:

(1)

 $R = P_{fs} \cdot C$ 

Where:  $P_{fs}$  - probability of internal dump overall slope failure

C - expected losses caused by internal dump slope failure



The basic losses from failures due to internal dump failure causes can be classified in three main categories:

- o Losses associated with damage to the internal dump contours and infrastructure of the opencast mine.
- Financial losses including loss of production, cost of intervention, rehabilitation and repair, loss of life or damage to health, etc.
- Loss of reputation, including mistrust in production stability and management, etc.

Depending on the category, losses can be expressed in monetary units, the number of deaths, loss of time, the amount of lost production, the failure mass amount, etc. Total failure losses in opencast mines are usually expressed in monetary units.

In the set risk assessment methodology, three basic dependent impact factors were singled out (Fig. 1). These are the impact of the software-calculated geomechanical Factor of Safety (FS), impact of unacceptable failure of the internal dump dewatering system (DF) and impact of unpredictable extreme rain and flood events (ER) which are frequent due to global climate change. The impact of slope failure on the loss of human life or damage to health is one of the consequences.



Figure 1 Overall slope stability failure risk analysis model

FS calculations are based on the theory of limit equilibrium. A safety overall slope angle can be obtained by knowing all required geomechanical input parameters and using recognized software. With FS defined by state legislation in the field of mining or recommended by experts and professional organizations based on best known practice. According to the Serbian state Rulebook (2010), a FS from 1.5 to 2 is allowed for the overall dump slope when it comes to substrate fracture or slides. Among the output software-derived parameters, in addition to FS, an overall slope Probability of Failure (PF) was also obtained directly. The probability value of slope PF, in relation to the associated FS, as an example, can be seen in Figure 2 [4]. Probability of non-failure event is PnF = 1-PF.





Figure 2 Opencast mine Tamnava-West Field overall internal dump slope stability calculation (Internal dump height 120 m; Overall slope angle - 8 degree; Pore pressure - Ru = 0.5; FS = 1.15, PF = 0.18)

The functioning of the dewatering system has an extremely significant impact on the internal dump stability, as well as its appropriate sizing, especially in relation to climate change. Failures of this system lead to greater dump flooding, which then negatively affects the slope stability and can lead to dump slope failure and significant consequences. The probability of system failure is obtained on the basis of operating time ( $T_{od}$ ) and renewal times ( $T_{rd}$ ).

Internal dump operation probability until the failure of internal dump slope in relation to internal dump dewatering system failure, can be described by different laws of distribution. The simplest, in practice of system stationary probabilities, verified and the most used is the exponential distribution with the following stationary distribution function of system expressed through appropriate operating time to failure ( $T_{od}$ ) [1, 6, 12]:

 $P_{od}(t) = exp(-a \cdot t)$ 

Where: t - set operating time, a - distribution parameter (failure intensity -  $a = 1/T_{od}$ ).

The mean internal dump time to failure in relation to internal dump dewatering system failure is:

$$T_{od} = \int P_{od}(t)dt = \int exp(-a \cdot t) dt = 1/a$$

On the other hand, risk or the internal dump dewatering system renewal probability after a failure by the time *t* at an exponential law of time distribution through appropriate time of renewal ( $T_{rd}$ ) with the parameter b (renewal intensity - b =  $1/T_{rd}$ ) in time from 0 to t is:

$$P_{rd}(t) = exp(-b \cdot t)$$

The mean renewal time of the internal dump dewatering system failure is:

$$T_{rd} = \int P_{fd}(t)dt = \int exp(-b \cdot t) dt = 1/b$$

(3)

(2)

When t  $\rightarrow \infty$ , limited stationary dewatering operation probability (P<sub>od</sub>) and the dewatering system renewal probability elements after failure (P<sub>rd</sub>) are:

$$P_{od} = b/(a+b)$$

$$P_{rd} = a/(a+b)$$
(4)

Unpredictable extreme weather events, significantly increased due to global climate change, lead to flooding opencast mines, landslides due to changes in geomechanical characteristics and slow dewatering of internal dumps. This certainly entails the need for slope stability calculations with increased normal pore pressure and dewatering system corrections. The probabilities of occurrence of these extreme events are obtained based on return periods [3, 5, 7]. Hydrological calculations in the field of Serbian mining are based on the old prescribed value of a 100 years return period. Because of climate changes, the return period of 100 years no longer matches the reality.

Occurrences of internal dump slope stability risks which cannot be controlled (catastrophic events such as abnormal rainfall and floods and increasingly frequent storms) can cause high costs for the opencast



mines in terms of cost recovery, equipment and infrastructure objects repairs and consequential losses due to production interruption and loss of human life or damage to health [7, 8].

It is customary for the probability analysis in a set time (t) to use geometric distribution with a parameter related to the return period ( $T_r$ ) of catastrophic events with a probability p, where p =  $1/T_r$ , with the function f(t) =  $p(1 - p)^t$ . The return period is an unconditional time until the occurrence of a catastrophic event without the assumption of such an event in the first year [5, 8].

In relation to floods in general and meteorological conditions, there is a lot of research in the world. The changes in the 21st century compared to the 20th century are significant. Thus, Japanese experts have determined that the return period of floods and storms ( $T_r = 1/p$ ) of 100 years should be reduced to today's return period of 40 years (Fig. 3) [3].



Figure 3 Return periods before and after climate changes [3]

The probability that a catastrophic not-controlled event (P<sub>c</sub>) will not occur during the analyzed period of the project of n years is:

 $P_{oc} = (1-p)^n$ 

(5)

The risk, that is, the probability that the event will happen at least once during the analyzed period of the project is:

 $P_{fc} = 1 - (1 - p)^n$ 

The slope stability system can be defined as an unambiguously safety state or failure state of the slope system [5, 10]. System depended impact elements on slope stability are connected in series. If the system consists of (n) elements connected in series, the system probability safety state  $P_{ss}(t)$ , for the probabilities of each of *i* impact element safety state  $P_{ssi}(t)$ , is:

$$P_{ssi}(t) = P_{s1}(t) \cdot P_{s2}(t) \cdot \dots \cdot P_{sn}(t) = \prod_{i=1}^{n} P_{si}(t)$$
Probability of the system failure state is:
(6)

$$P_{fsi} = 1 - P_{ssi}(t) \tag{7}$$

Consequences of slope stability failure state include costs of repairing the collapsed slope ( $C_v$ ) given in euro Euro/m<sup>3</sup>, costs of equipment and infrastructure repairs ( $C_r$ ), possible losses in production ( $C_p$ ) and loss of human life or damage to health ( $C_h$ ) [8]:

$$C = C_v + C_r + C_c + C_h$$
, (Euro)

#### Case study: Opencast coal mine Tamnava-West internal dump overall slope angle selection

The opencast coal mine Tamnava-West Field had huge consequences due to 2014 flood with direct costs of rehabilitation of over 200 M Euro, not taking into account the indirect costs of losses in coal and electricity production (Fig. 5 - left). After the remediation from the catastrophic flood and further frequent rainfall, there were occasional internal dump slope failures (Fig. 5 - right). Serious deterioration of the dump's geomechanical characteristics shows the need to increase internal dump slope stability through decreasing overall slope angle in accordance with best known practice and with state legislation. The overburden in the internal dump is an inhomogeneous material represented by a mixture of different types of gravels, sands and clays. The average values of volumetric mass, cohesion and angle of internal friction were adopted on the basis of geomechanical research and laboratory analyzes.





Figure 5 Flooded opencast coal mine Tamnava-West with internal dump (left) and slope circular failure after flood sanation (right)

An innovated variant calculation of internal dump overall slope stability was done for slope angles of 8, 6 and 4 degrees. The previously projected 8-degree angle of inclination was done with a commonly used pore pressure (Ru) of 0.2. In addition to Ru, as an example for new calculations to demonstrate the methodological approach to the choice of the overall slope inclination in this case study, a limit pore pressure of 0.5 was applied.

The following physical and mechanical properties of the deposited material and other input geometric, legal and temporal parameters were adopted:

Volumetric mass:  $\gamma = 18.5 \text{ KN/m}^3$ Cohesion: C = 5 KN/m<sup>2</sup> Angle of internal friction:  $\varphi = 16^{\circ}$ Pore pressure: Ru = 0.2 and 0.5 Overall internal dump height: H<sub>d</sub> = 120 m Slope angles:  $\alpha = 8$ , 6 and 4 degrees FS for overburden dumps according to state legislation: 1.5 to 2 in case of fracture or slides Operating time of dewatering system until failure (2): T<sub>od</sub> = 1/a = 3 years Renewal time of dewatering system (3): T<sub>rd</sub> = 1/b = 0.1 year for 8<sup>o</sup> and 0.06 year for 6<sup>o</sup> and 4<sup>o</sup> Return period of an uncontrollable catastrophic event: T<sub>r</sub> = 40 years (p = 1/T<sub>r</sub>) Analyzed period: 5 years



Figure 6 Opencast coal mine Tamnava-West overall internal dump slope stability calculation for angle  $\alpha = 4^{\circ}$ , FS = 2.21, PF = 0 (left) and for angle  $\alpha = 6^{\circ}$ , FS = 1,52, PF = 0 (right) and Ru = 0,5



The calculated FS values (Figures 2 and 5) for pore pressures of 0.2 and 0.5 were obtained using Rocscience software, Slide 6.0, and are given in Table 1.

	D.,		α (ο)	
U. (m)	ĸu	4	6	8
	0.2	3.51	2.41	1.83
	0.5	2.21	1.52	1.15

Table 1 Calculated FS depending on slope angle and pore pressure

It is noticeable that for the projected internal dump slope  $8^{\circ}$  angle, the legal condition for pore pressure of Ru = 0.2 is met because FS = 1.83 > 1.5. However, FS for a pore pressure of 0.5 is not satisfactory. The value of FS in relation to fracture or sliding, for slope angles of  $6^{\circ}$  and Ru = 0.5, is within limits - but with higher risk, while for overall slope angles of 4 degrees FS = 2.21 and is completely satisfactory.

Determining the probability of slope stability safety state (non-failure state) was performed on the basis of product probabilities in relation to influencing factors. The probability that there will be no slope failure (PnF) from the basic software stability calculation with calculated PF is obtained from the expression PnF = 1 - PF. The probability of operation until failure of the dewatering system was obtained from formulas (2), (3) and (4) with better functioning and shortening renewal time from failure from 0.1 to 0.06 year for the 6<sup>o</sup> and 4<sup>o</sup> slope angles in comparison to the 8<sup>o</sup> angle. The catastrophic event probability occurrence for a return period of 40 years in the next period of 5 years was obtained from formula (5). In the specific analysis, the total probabilities of slope stability safety state for given angles in the next 5 years of opencast mining operation was calculated according to formula (6). Probability of slope stability failure state for given angles was obtained from formula (7). The results are shown in Table 2.

It is estimated that the consequence of slope stability failure state includes the cost of repairing the collapsed slope masses of  $C_v = 9$ , 8 and 7 Mm<sup>3</sup> for overall slope angles 8<sup>0</sup>, 6<sup>0</sup> and 4<sup>0</sup>, at a price of 2 Euro/ m<sup>3</sup>, equipment and infrastructure repairs and reconstructions  $C_r = 3$ , 2 and 1 M Euro for overall slope angles 8<sup>0</sup>, 6<sup>0</sup> and 4<sup>0</sup>, possible loss of production Cp = 4, 3 and 2 M Euro for overall slope angles 8<sup>0</sup>, 6<sup>0</sup> and 4<sup>0</sup> i loss of human life or damage to health Ch = 0.5 M Euro. All results are shown in Table 2.

Opencast coal mine Tamnava-West overall internal dump slope stability risks for slope angles 8, 6 and 4 degrees are (1): R8 = 7.65, R6 = 3.01 and R4 = 2.45.

Slope angle (deg.)	PnF = 1-PF	P <sub>od</sub> (2), (3), (4)	P <sub>oc</sub> (5)	P <sub>ss3</sub> (6)	P <sub>fs3</sub> (7)	C <sub>∨</sub> M Euro	C <sub>r</sub> M Euro	C <sub>p</sub> M Euro	C <sub>h</sub> M Euro	C M Euro (8)	R (1)
8	0.82	0.97	0.88	0.70	0.30	18	3	4	0.5	25.5	7.65
6	1	0.98	0.88	0.86	0.14	16	2	3	0.5	21.5	3.01
4	1	0.98	0.88	0.86	0.14	14	1	2	0.5	17.5	2.45

 Table 2 Probability of slope stability safety state in relation to influencing factors on slope stability and corresponding consequences (Euro)

Compared to the overall slope failure risk with an angle of 8<sup>o</sup>, the risk for a slope of 6<sup>o</sup> was reduced by 61%, and the slope failure risk with a 4<sup>o</sup> angle was reduced by 68%. Having in mind the significantly increased factor of stability, it is clear that the option of forming an internal dump with an overall slope angle of 4<sup>o</sup> is the most acceptable. It is noticeable that the greatest influence on the change of the total probability of slope stability failure has the software calculated probability of failure, so it is necessary to pay special attention to the most accurate estimates of the input geomechanical parameters. The current stable state of opencast mine internal dump shows that this planned change is very successful.



#### **Conclusion**

Ongoing climate changes accompanied by heavy rainfall and opencast mine flooding leads to a significant deterioration of geomechanical characteristics, especially when it comes to the overburden materials of internal landfills. This conditions certain changes in the approach to the calculation of allowable values of impact factors included in the case study such as stability factor, degree of saturation, return period of extreme weather events and functioning of the dewatering system. The case study presented the possibility of applying the probabilistic model of optimizating internal dump overall slope angle in the function of risks obtained on the basis of product failure probabilities in relation to impact factors and related serious consequences. Practical analyzes have shown that it is extremely important for risk calculations to perform continuous internal dump monitoring, geomechanical research and laboratory analyzes to verify the input parameters, as well as the most accurate continuous assessment of possible concepts. The results of the analysis and constant monitoring of the situation on the ground show that mitigation of overall slope angle with slight modification of internal dump construction to mitigate overall slope angle and dewatering system corrections, provide the permitted safety factor of stability and safe operation of opencast coal mine Tamnava-West Field even in extreme weather.

#### **References**

- [1] Cox D. R. & Miller H. D. (1998): The Theory of Stochastic Processes, Chapman and Hall, London
- [2] Jean-Alain Fleurisson (2011): Slope Design and Implementation in Open Pit Mines: Geological and Geomechanical Approach, 1st International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry [SYMPHOS 2011], Procedia Engineering 46 (2012)
- [3] Masaru Morita (2014): Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas, Water 2014
- [4] Narendranathan S. and others (2021): A case study from operation to closure, transient slope supplementation measures for the northern batters of the Hazelwood mine, using the MGRI approach, Mine Closure 2021 - AB Fourie, M Tibbett & A Sharkuu (eds), ISBN 978-9919-25-266-3
- [5] Ozga-Zielinski B., Adamowski J. and Ciupak M. (2018): Applying the Theory of Reliability to the Assessment of Hazard, Risk and Safety in Hydrologic System: A Case Study in the Upper Sola River Catchment. Water, 10 (723)
- [6] Pavlovic V. (1998): Continuous Mining Reliability, Ellis Horwood Limited, Chichester
- [7] Pavlovic N., Ignjatovic D., Pavlovic V. (2019): Assessment of social and environmental risks on opencast coal mines, Int. J. Mining and Mineral Engineering, Vol. 10, Nos. 2/3/4, 2019 271, Inderscience Enterprises Ltd.
- [8] Pavlovic V., Ignjatovic D., Subaranovic T. (2016): Implementation of the rehabilitation operational strategy for the flooded opencast coal mine Tamnava-West Field, IMWA2016, Leipzig
- [9] Pavlović V., Ignjatovic D., Šubaranović T. (2017): Reliability and risks of mining projects realization, 8th International Conference COAL2017, Zlatibor
- [10] Pavlović V., Subaranovic T. (2012): Opencast mining dewatering systems reliability, optimization and management, Monograph (in Serbian), ISBN: 978-86-7352-240-1, COBISS.SR-ID 192077836, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade
- [11] Todinov M. T. (2006): Risk-Based Reliability Analysis and Generic Principles for Risk Reduction, Elsevier Science & Technology Books
- [12] Wolstenholme L. C. (1999): Reliability Modelling, Chapman and Hall, London



## ПВР ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ОСТАТЪЧНИТЕ ДЕФОРМАЦИИ В МЕКИ И СРЕДНО ЗДРАВИ СКАЛИ В РУДНИК "ЕЛАЦИТЕ". МОНИТОРИНГ НА ВЗРИВО-СЕИЗМИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ МАСИВА

#### инж. Григор Мишев; инж. Владимир Билев; инж. Радослав Асенов; инж. Павел Недков; инж. Росен Борисов; g.mishev@ellatzite-med.com; v.bilev@ellatzite-med.com; r.asenov@ellatzite-med.com; p.nedkov@ellatzite-med.com; r.borisov@explosiveprogress.eu

#### РЕЗЮМЕ

Рудник "Елаците" се отличава със своите големи мащаби на разработване. Многообразната литология, наличието на специфични геотехнически зони и широкият диапазон от стойности на якост на разработваните масиви, оказват съществено влияние върху скоростта на разпространение на сеизмичните вълни от извършените ПВР. В зависимост от средата, в която се разпространяват сеизмичните вълни, могат да се наблюдават, различни по характер и разпространение, остатъчни деформации, които осъществяват пряко влияние върху стабилитета и правилната геометрия на неработните бордове в рудника. Проектирането на ПВР и анализирането на разпространението на сеизмичните вълни при извършваните ПВР допринасят за тяхното оптимално управление в крайните бордове на рудника.

# DRILLING AND BLASTING ACTIVITIES FOR REDUCING THE RESIDUAL DEFORMATIONS IN SOFT AND MEDIUM HARD ROCKS IN "ELLATZITE" OPEN-PIT MINE. MONITORING OF THE EXPLOSIVE SEISMIC IMPACT ON THE ROCK MASS

#### Dipl. Eng. Grigor Mishev; Dipl. Eng. Vladimir Bilev; Dipl. Eng. Radoslav Asenov; Dipl. Eng. Pavel Nedkov; Dipl. Eng. Rosen Borisov v.bilev@ellatzite-med.com; r.asenov@ellatzite-med.com; p.nedkov@ellatzite-med.com r.borisov@explosiveprogress.eu

#### ABSTRACT

Ellatzite Open-pit Mine is typical for its large scale of excavation work. The various lithology, specific geotechnical areas and the large variety of strength values of the excavated rock mass have significant impact on the velocity of propagation of the seismic waves from drilling and blasting activities. Depending on the environment of propagation of the seismic waves, there can be seen residual deformations, different in type and distribution that have direct influence on the stability and right geometry of the non-operational boards in the mine. The design of drilling and blasting activities and the analysis of the propagation of the seismic waves during these activities contribute to their optimal management in the final pit boards.

#### Въведение

Медно-порфирно находище "Елаците" е открито през 60-те години на XX век. Разположено е в южната периферия на западно-балканската структура "Металогенна зона", близо до зона "Средногорие". Извозът на откривна минна маса започва в края на 70-те години, а първата руда е добита през 1982 г., като нейното транспортиране от рудника до обогатителния комплекс е осъществено посредством МГТЛ, разположена в подземен тунел с приблизителна дължина от 7 km. Разработването се извършва по открит способ за добив и първична преработка на медно-порфирни златосъдържащи руди. Към настоящия момент находището се разработва от "Елаците-Мед" АД, която е част от индустриална Група ГЕОТЕХМИН.





Фиг.1. Изглед на рудник "Елаците" от кота 1420 т в източната част на котлована.

При откритото разработване на полезни изкопаеми от изключително важно значение е осигуряването на устойчивост на откосите на стъпалата и бордовете през цялото съществуване на рудника. С устойчивостта на откосите е свързано безопасното извършване на минните дейности. Стабилността и геометрията на рудничните откоси се контролира от геоложките фактори, факторите свързани с дизайна на рудничните стъпала и извършваните взривни работи. В рамките на взривните полета може да се очаква около 80% намаляване на якостта на скалния масив. Това намаляване на якостта може да се разпространи и извън зоната на взривното поле по слаби повърхнини (контакти, разломи и пукнатини).

#### Геология на разработваните скални масиви в рудник "Елаците"

Разработваните скални масиви в рудник "Елаците" са представени основно от:

- Филити. Това са сиви, светлосиви или тъмносиви, финоналистени скали с подчертано добре изразена шистозна текстура;
- Ивичести и "петнисти" шисти. Подчертано по-плътни са в сравнение с филитите;
- Хорнфелзи. Навсякъде хорнфелзите са тъмнообагрени (сиви, тъмносиви до черни на цвят) плътни и крехки скали с трудно забележима ивичеста или шистозна текстура;
- Порфирити. Изграждат три отделни, сравнително добре индивидуализирани тела, вместени всред нискостепенните метаморфити от контактния ореол на Веженските гранодиорити;
- Гранодиорити. Разкрити на много обширни площи в северозападния, северния и североизточния сектори на рудника, а също така и в придънните му участъци.

	Якостни п	араметри	Деформационни параметри			
Литология	Якост на едноосов натиск	Якост на опън	Надлъжни вълни V <sub>Р</sub>	Напречни вълни Vs		
	MPa MPa		m/s	m/s		
Филити	11,24	2,09	3714,45	1864,62		
Ивичести и петнисти шисти	35,65	4,34	5010,70	2404,76		
Хорнфелзи	75,49	7,69	5303,76	2519,38		
Монцодиоритови порфирити	87,05	7,42	4245,01	2037,16		
Гранодиорити	93,77	9,11	4911,31	2400,76		

Таблица №1. Физико-механични свойства на литоложките разновидности в рудник "Елаците"



Таблица №2. Качествена оценка на деформациите в откосите на рудничните стъпала, извършена от отдел
"Геотехнически" в РК "Елаците".

Ниво на	Пукнатини и блокове	Ъгъл на откоса и състояние на	Изкопно-товарни дейности
деформа-	-	масива	(ИТД) и геометрия на откоса
циите			
1 Ниво – Леки деформа- ции	Пукнатините са затворени и запълването все още не е нарушено.	Ъгъл на откоса на стъпалото >75°. Контурните сондажи се виждат ясно по откоса. Няма натрошаване и минимално техногенно напукване на масива от взривните работи.	Белези от зъби на кофата на багера в по-меки скали. Материал годен за ИТД до проектната отбивна линия, минаваща през центъра на контурните сондажи.
2 Ниво – Умерени деформа- ции	Слабият запълващ материал на пукнатините е натрошен. Рядко някои блоковете са изместени и пукнатините са леко отворени.	Ъгъл на откоса от 65° до 75°. Откосът е гладък, някои от контурните сондажи са видими. Има незначително натрошаване и малко техногенно напукване на масива от взривните работи.	Материал годен за ИТД малко зад проектната отбивна линия, минаваща през центъра на контурните сондажи. Зъбите на кофата на багера "стържат звучно" по скалата.
3 Ниво – Силни деформа- ции	Някои блокове са преместени и пукнатините са разширени/отворени.	Ъгъл на откоса от 60° до 65°. Откосът е относително гладък Минимално натрошаване, умерено техногенно и видимо радиално напукване на масива от взривните работи.	Материал годен за ИТД до 1.5 м зад проектната отбивна линия в масива, минаваща през центъра на контурните сондажи.
4. Ниво – Тежки деформа- ции	Гъста мрежа от отворени пукнатини, като някои блокове са разхлабени и преместени.	Ъгъл на откоса от 55° до 60°. Неравен откос с малко натрошаване и силно техногенно напукан в дълбочина масив.	Материал годен за ИТД до 3 m зад проектната отбивна линия в масива, минаваща през центъра на контурните сондажи.
5. Ниво – Екстремни деформа- ции	Блоковете са преместени, силно разхлабени и преориентирани. Големи отворени пукнатини с видими нарушения от взривните работи.	Ъгъл на откоса < 55°. Много неравен откос със силно натрошаване и отворени техногенни пукнатини в дълбочина на масива.	Материал годен за ИТД над 3 m зад проектната отбивна линия в масива, минаваща през центъра на контурните сондажи.

# <u>Проектиране на ПВР в рудник "Елаците" за намаляване на остатъчните деформации в меки (от 25 до 50 МРа) и средно здрави скали (от 50 до 100 МРа)</u>

Разпространението на еластичните (сеизмични) вълни, основно значение имат общата енергия на заряда и свойствата на средата, в която се разпространяват. Зоната на разпространение достига на разстояние над 120-150 пъти диаметъра на заряда. Литоложките разновидности с по-ниска скорост на разпространение на надлъжните - Vp и напречните вълни - Vs, имат по-големи деформации в откосите след извършване на ПВР. Намаляването на якостта в скалният откос произтича от механиката на взрива, чрез получените от него вибрации и от работата на разширяващите се газове.

В настоящия доклад са разгледани извършваните ПВР в меки скали (филити и шисти) и средно-здрави скали (хорнфелзи и гранодиорити).



Фиг.2. Остатъчни деформации върху откосите на работните стъпала след извършени ПВР при: а) филити; b) хорнфелзи; c) порфирити; d) гранодиорити



Проектите за ПВР се съобразяват с геологията на разработвания скален масив. След оценка на геологията се избира работния диаметър на сондажите и сондажната мрежа, в която ще се изпълняват. В зависимост от геологията се определят и необходимите видове и количества взривни вещества, а в зависимост от съдържанието на полезен компонент се избира и системата за взривяване. Взривяването в краен контур се изпълнява задължително с контурни сондажи с цел намаляване на остатъчните деформации вследствие на извършваните взривни работи.

При проектиране на ПВР се използват софтуерни продукти с цел обработка на информацията, необходима за изготвянето на паспорт за ПВР. Един от използваните софтуери е разработен от "Austin Powder", който дава възможност да се извършват сравнения на различни варианти (сценарии) с предполагаеми резултати при: зареждане на сондажите с взривно вещество (ВВ); оптимални интервали за иницииране на отделните заряди от ВВ; посока и времеви интервали на изместване на взривявания материал; разпределение на взривната енергия при взривяване; предполагаем зърнометричен състав на взривното поле; изчисляване на предполагаемо взривосеизмично въздействие до охраняеми съоръжения и обекти; изчисляване на безопасни разстояния по отношение на разлет на скални късове и др.



Фиг.3. Emanu om проектиране на паспорт за ПВР в "Paradigm". "Licensed by Austin Powder"

#### – <u>Проектиране и изпълнение на контурно взривяване.</u>

Едно от условията за намаляване на нарушенията върху откосите на стъпалата е да се изпълнява контурно взривяване, което да спомогне за "разсейване" на енергията при извършването на контролираните взривни работи. В рудник "Елаците" контурните сондажи се изпълняват с диаметър d=165 mm, проектна дълбочина от H=24 m и проектен ъгъл а=65-75°. Разстоянието между контурните сондажи е 1,8 m.



Фиг.4. Схема на изпълнение на контурни сондажи и повърхнина на откос след изпълнени и взривени контурни сондажи.

Взривното вещество, което се използва за зареждане на контурните сондажи е пакетирано емулсионно - "Елацит-710". Шлаух на пакетираното ВВ, представлява трипластово кръстообразно антистатично фолио с диаметър d=40 mm и дължина L=10 m. Масата на взривното вещество "Елацит-



710" в един патрон с посочените размери е Q=16 kg. В един контурен сондаж се поставят два патрона взривно вещество "Елацит-710". Времевият интервал за детониране на поставените заряди в контурните сондажи е съобразен със физико-механичните и геотехнически показатели на масива. В случая за скален масив, който е представен от шисти или хорнфелзи, се инициират 96 kg в серия, като интервалът между отделните серии е t=15 ms. Времевите интервали на контурните и производствените сондажи се анализират по отношение на сеизмика чрез контролни взривосеизмични изследвания, извършвани от "Експлозивпрогрес-ГТМ" ЕООД.

 <u>Проектиране на ПВР за намаляване на остатъчните деформации в скален масив,</u> представен от шисти или филити.

За този вид скален масив се прилагат сондажи с d=165 mm и d=250 mm в шахматна конфигурация. За буферни сондажи се използва d=165 mm в сондажна мрежа 6 m x 5 m. Сондажите с d=250 mm се изпълняват в сондажна мрежа 8 m x 7 m, тъй като шистите и филитите са с относително ниски стойности на якост на натиск. Буферните сондажи се разполагат на 7 m от контурните сондажи, без преудълбаване. С цел да се намали сеизмичното въздействие върху откоса на стъпалото, буферните сондажи, които са разположени пред контурните сондажи, се изпълняват с разсредоточени заряди. Предбуферният ред се изпълнява с непрекъсната колонка на взривният стълб и забивка от 5 m. Сондажите с d=250 mm се изпълняват с непрекъсната заряд от BB и забивка на 7 m. За изпълняването на забивката се използва трошена фракция с размер на къса около 20 mm. За иницииране на сондажите се изпозлва система "NONEL" със закъснения между сондажите 42 ms, между редовете - 67 ms и дънни закъснения -1000 ms.



Фиг.5. Схема на изпълнение на взривните сондажи в скален масив, представен от шисти/филити и конструкция на разсредоточени буферни сондажи с дълбочина от 15 m.





Фиг.6. Схема на разположение на взривни сондажи при проектиране на ПВР в скален масив и диаграма на разпределение на енергията.



Таблица №3. Измервания на взривосеизмичното въздействие при еднакви разстояния в шисти, извършена от фирма "ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ" ЕООД".

Дата на взривяване •	Сеизмограф S/N	Сеизмограф Хоризонт	Сеизмограф видове скалч	Ср тіп скали, т/с	Сеизмограф Разположени-	B⊓№	Конструкция на буферния ред	Q, kg в сондаж	Lхип, m	V, mm/s	R, m/kg1/3	K	мшк-д
24 август 2021 г.	624	1210	Филити	2494	Зад контур	297	Разсредоточени	225	20,0	54,67	2,7	40,3	3,8
24 август 2021 г.	535	1420	Филити	2494	Зад контур	293	Не разсредоточен	400	38,0	120,20	5,2	319,7	4,9
31 август 2021 г.	536	1195	Шисти	2494	В края на полето	303	Не разсредоточен	320	30,0	119,60	4,4	230,1	4,9
31 август 2021 г.	625	1210	Филити	2494	Зад поле	304	Разсредоточени	225	45,0	45,01	6,4	183,5	3,5
31 август 2021 г.	537	1195	Шисти	2494	полето	304	Разсредоточени	225	30,0	52,87	4,3	95,8	3,8
02 септември 2021 г.	537	1195	Шисти	2494	В края на полето	310	Не разсредоточен	350	30,0	155,00	4,3	280,9	5,3
07 септември 2021 г.	535	1195	Шисти	2494	В края на полето	314	Не разсредоточен	320	30,0	169,50	4,4	326,1	5,4
07 октомври 2021 г.	625	1165	Шисти	2494	полето	354	Не разсредоточен	760	40,0	158,06	4,4	303,7	5,3
07 октомври 2021 г.	624	1165	Шисти	2494	В края на полето	359	Не разсредоточен	800	40,0	150,97	4,3	280,3	5,3
28 октомври 2021 г.	624	1165	Шисти	2494	Зад поле	366	Не разсредоточен	720	25,0	186,75	2,8	145,3	5,6

Проектираните взривни полета с разсредоточени заряди в буферните редове показват намаляване на остатъчните деформации спрямо такива с цял заряд.

- <u>Проектиране на ПВР за намаляване на остатъчните деформации в скален масив,</u> <u>представен от средно-здрави скали.</u>
  - Хорнфелзи.

За този вид скален масив се прилагат сондажи с d=165 mm и d=250 mm в шахматна конфигурация. За буферни сондажи се използва d=165 mm в сондажна мрежа 5 m x 4 m. Сондажите с d=250 mm се изпълняват в сондажна мрежа 7 m x 6 m. Буферните сондажи се разполагат на 7m от контурните сондажи без преудълбаване. Тъй като масива представен от хорнфелзи е с по-добри стойности на якост на натиск, не се налага разсредоточаване на конструкциите на зарядите от BB. Буферните сондажи, които са пред контурните сондажи се изпълняват с 8 m дължина на заряда (при проектна дължина на сондажа H=15 m) от BB, без да се изпълнява забивка, а останалите с d=165 mm с 5 m забивка. Сондажите с d=250 mm се изпълняват с непрекъснат заряд от BB и забивка на 6 m. За иницииране на сондажите се използва система "NONEL" със закъснения между сондажите 25 ms, между редовете - 67 ms и дънни закъснения - 500 ms;



Фиг.7. Схема на изпълнение на взривните сондажи в скален масив представен от хорнфелзи и конструкция на заряда на буферните сондажи.

• Гранодиорити

При извършване на ПВР в гранодиорити се прилага още един модел на ПВР. Характерното при него е прилагането на сондажи с дължина L=5 m, които се разполагат между контурните и буферните



сондажи на разстояние от 3,5 m. Моделът е приложим при "сдвояване" на 15 метрови стъпала. И тук се прилагат сондажи с d=165 mm и d=250 mm в шахматна конфигурация. За буферни сондажи се използва d=165 mm в сондажна мрежа 5 m x 4 m. Сондажите, които са с L=5 m се зареждат с 50 kg емулсионно ВВ и се оставят на 3 m без забивка. Сондажите, които са пред тях се зареждат с 9 m дължина на заряда от ВВ. Останалите сондажи d=165 mm се изпълняват с 5 m забивка. Сондажите с d=250 mm се изпълняват в сондажна мрежа 7 m x 6 m и дължина на зарядния стълб 11 m.



Фиг.8. Схема на изпълнение на взривни сондажи с прилагане на сондажи с дълбочина H=5 m и дължини на забивките в скален масив, представен от гранодиорити.

Таблица №4.	. Измервания на взривосеизмичното въздействие в хорнфелзи и гранодиорип	и, извършена от
	фирма "ЕКСПЛОЗИВПРОГН	РЕС-ГТЙ" ЕООД".

	Сеизмограф	Сеизмограф	Сеизмограф	Ср тіп скали,	Сеизмограф	RE No	Q, kg	l vun m	V mm/s	P m/ka1/3	ĸ	мшк.п
дата на взривяван-	S/N 🔻	Хоризонт 🔻	видове скали 🔻	m/s 🗾	Разположение 🛛		в сонда: 🔻	LAVIII, I	v,	ιτ, π/κγ π. ▼	n _	тана т
02 март 2021 г.	625	985	Гранодиорити	2500	Зад поле	75	850	40	233,77	4,2	416,8	5,9
02 март 2021 г.	626	985	Гранодиорити	2500	Зад поле	75	850	50	146,83	5,3	409,1	5,2
09 март 2021 г.	624	985	Гранодиорити	2500	В края на полето	74	730	40	94,57	4,4	186,6	4,6
09 март 2021 г.	625	985	Гранодиорити	2500	В края на полето	74	730	50	104,17	5,6	321,2	4,7
09 март 2021 г.	626	985	Гранодиорити	2500	В края на полето	74	730	55	69,66	6,1	259,9	4,2
15 юни 2021 г.	626	1150	Гранодиорити	2500	Пред контур	192	292	29,0	370,00	4,4	707,0	6,6
15 юни 2021 г.	535	1150	Гранодиорити	2500	Зад контур	192	292	31,0	180,00	4,7	393,0	5,5
15 юни 2021 г.	536	1150	Гранодиорити	2500	Зад контур	192	292	63,0	38,00	9,5	342,7	3,3
17 юни 2021 г.	624	1150	Гранодиорити	2500	Зад контур	200	770	24,0	353,49	2,6	242,4	6,5
17 юни 2021 г.	625	1150	Гранодиорити	2500	Зад контур	200	770	22,0	265,86	2,4	153,2	6,1
15 юли 2021 г.	625	1180	Хорнфелзи	2494	Зад контур	222	380	28,0	58,60	3,9	87,6	3,9
03 август 2021 г.	626	1180	Хорнфелзи	2494	В края на полето	262	520	27,0	305,12	3,4	344,0	6,3
05 август 2021 г.	625	1180	Хорнфелзи	2494	Зад контур	266-268	900	30,0	137,17	3,1	132,4	5,1
05 август 2021 г.	626	1180	Хорнфелзи	2494	Зад контур	266-268	900	30,0	105,40	3,1	101,8	4,8
12 август 2021 г.	624	1180	Хорнфелзи	2494	Зад контур	271	880	20,0	329,63	2,1	143,6	6,4
12 август 2021 г.	625	1180	Хорнфелзи	2494	Зад контур	271	880	20,0	417,36	2,1	181,8	6,7
31 август 2021 г.	535	1180	Хорнфелзи	2494	Пред контур	307-контур	160	30,0	132,70	5,5	405,2	5,1
18 ноември 2021 г.	625	1150	Гранодиорити	2500	В начало на полето	390+392-контур	300	25,0	146,22	3,7	203,9	5,2
18 ноември 2021 г.	626	1150	Гранодиорити	2500	В края на полето	390+392-контур	800	25,0	264,67	2,7	192,0	6,1

В заключение може да се каже, следното:

- В средно-здрав масив не е необходимо да се извършва разсредоточаване на буферния ред, защото борда зад тези полета е здрав и ненарушен.
- При гранодиоритите използването на допълнителни 5 метрови буфери спомага за ликвидиране оставащата междинна площадка при "сдвояване".



#### Контролни взриво-сеизмични изследвания за въздействието на взривните работи върху бордовете на <u>рудник "Елаците".</u>

Целите на взривосеизмичните изследвания са: определяне на въздействието на взривните работи върху бордовете на рудника, определяне размерите на зоните с остатъчни деформации в бордовете на рудника, въздействие на контурните сондажи с цел намаляване на взриво-сеизмичното влияние при извършване на ПВР, ликвидиране оставащата междинна площадка при "сдвояване" на откосите.

Резултатите от измерванията потвърждават положителния ефект от контурното взривяване и значителното намаляване на сеизмичното въздействие след неговото прилагане. Получените резултати при отработването на по-голямо разстояние със сондажи с малък диаметър, респективно помалко количество ВВ в една степен на закъснение и буферен ред с намалено количество ВВ в сондажите се вижда ефектът от намаляване на сеизмичното въздействие върху масива зад взривните полета. На база извършен анализ от получените резултати се констатира, че зоните с остатъчни деформации са 40 m при взривяване на различни количества взривно вещество в една степен на закъснение. Контурният ред се взривява едновременно с последното поле по възможност или предварително. Последните 40 m в краен контур се отработват нацяло с цел еднократно въздействие върху бордовете. В последните 20 m, пред контура, са със сондажи с по-малък диаметър и намалено количеството ВВ в една степен на закъснение.

#### Литература

- 1. Справочник на взривника. Петър Кръстев Шишков; София 2019
- 2. Доклади от външни одити върху производствените процеси в сферата на пробивно-взривните работи, проведени на територията на РК "Елаците"; 2021 г.
- 3. Отчет от "ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ" ЕООД по задача: Технология на ПВР в краен контур на рудник "Елаците".2021 г.
- 4. Applied explosives technology for construction and mining. Sweden. Stig O Olofsson



#### МИННО-ГЕОЛОЖКО ОВЛАДЯВАНЕ НА ЗЕМНИТЕ НЕДРА

Георги Константинов – e-mail: konstantinovgp@abv.bg Огнян Кованджийски – e-mail: kovandjiiska@yahoo.com

#### РЕЗЮМЕ

Дава се геоложкото овладяване на земните недра чрез прокарването на сондажи, и минното – чрез разработването на открити рудници за добив на полезни изкопаеми. Посочват се най-дълбоките открити рудници в света.

#### MINING GEOLOGICAL EXTRACTION OF MINERALS OF EARTH BOWELS

#### Georgi Konstantinov – e-mail: konstantinovgp@abv.bg Ognian Kovandjiiski – e-mail: kovandjiiska@yahoo.com

#### ABSTRACT

It is presented the geological extraction of minerals of earth bowels by extension drilling and mining – by the development of open-pit mines for the winning of minerals. In this article are included the deepest open-pit mines in the world.

#### 1. Общи положения

Усвояването на знанията за заобикалящия ни свят е предпоставка за минно-геоложкото овладяване на земните недра.

Планетата Земя, на която живеем влиза в системата от планети заобикалящи слънцето . А Слънцето това е най-близката до земята звезда. Тази разтопена плазмена топка е една от многобройните звезди на Вселената и е с маса 2x10<sup>30</sup> kg, радиус 696 хил. km (H<sub>2</sub> – 90%, He – 10%).

Земята като част от Слънчевата система е отдалечена от Слънцето средно на 149,6 млн. km (перигей – 147 млн. km, апогей – 152 млн. km).

Периодът на завъртане на Земята около Слънцето е 365,24 средни слънчеви денонощия.

Земята е с площ 510,2 млн. km<sup>2</sup> и маса 5967 х 10<sup>21</sup> kg. Плътността на Земята е 5,52 g/см<sup>3</sup>, на водата – 1 g/см<sup>3</sup>, а на въздуха до земната повърхност – едва 0,00129 g/см<sup>3</sup>. Средната плътност на тежкото метално ядро с радиус около 3000 km е от 9 до 11 g/см<sup>3</sup>. За сравнение средната плътност на седиментните скали е от 2,5 до 2,8 g/см<sup>3</sup>, а на желязната руда - от 2,9 до 3 g/см<sup>3</sup>.

Земята се състои от централно тежко ядро и редица обвивки или сфери с различна по състав и разпределение плътност на веществата. На показания на фиг.1 разрез на Земята от ядрото до екзосферата са дадени последователно: вътрешно ядро, външно ядро, мантия, горна мантия, кора, топосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, екзосфера [1].

Цялата дебелина на земната кора на 99,79% се състои от 9 елемента: O<sub>2</sub>, Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, H<sub>2</sub> (кислород, силиций, алуминий, желязо, калций, натрий, магнезий, калий, и водород) и само 0,21% се падат на останалите 105 известни елемента от таблицата на Менделеев.

Въздушната най-лека обвивка на земното кълбо – атмосферата – се състои от механични смеси на газовете: азот – 78,09%, кислород – 20,95%, аргон – 0,93%, въглероден двуокис – от 0,02 до 0,032%, а също така хелий, неон, ксенон, криптон, водород, озон, амоняк, йод и др. с обща част около 0,01% от целия обем.

Около 80% от масата на въздуха и почти всички водни пари са съсредоточени в долната част на атмосферата от 8 до 18 km, в тропосферата. Най-наситена е долната част на тропосферата с височина около 2 km. В долната част на атмосферата до височина 60 km над земната повърхност се съдържа променливо количество озон (O<sub>3</sub>). Неговата най-голяма концентрация е на височина 22 - 26 km.



Озоновият слой охранява всичко живо на Земята от прекалено високите късовълнови излъчвания на Слънцето. Той се явява като филтър, който намалява интензивността на слънчевото ултравиолетово излъчване като го отразява обратно в Космоса.



Фиг. 1. Разрез на Земята от ядрото до екзосферата.

На височина 50 – 80 km и до горните слоеве на атмосферата се намират атмосферни слоеве с повишено съдържание на леките газове хелий и водород. Те се разлагат под влияние на космическото излъчване като молекулите им създават атоми и йони, образувайки йоносферата. Йоносферата изпълнява защитна функция на земната повърхност и оказва голямо влияние за разпространяване на радиовълните.

Възниква въпросът за определяне на понятието земни недра. В енциклопедията от А до Я то се определя като [2]:

*недра земни* – скалите, изграждащи земната кора, земната мантия и земното ядро. В по-тесен смисъл земните недра обхващат земната кора, в пределите на която е възможен добив на полезни изкопаеми.

#### 2. Световно съревнование за овладяване на земните недра. Най-дълбоките структурни, научнотехнически и технологични сондажи в света [1]

Сеизмичните и геофизични методи са научна предпоставка за стратиграфията на земната кора. Но единственият начин за нейното потвърждаване и физическо състояние засега остава прокарването на дълбоки и свръх дълбоки сондажи и вземане и изследване на проби от различните геоложки формации.

I. Свръх дълбок сондаж (СГ-3), прокаран на дълбочина 12262 m (40230 фута) в Колския полуостров в Русия.

Проектната дълбочина на сондажа е била 15000 m., но поради възникналите технически затруднения (висока температура и налягане) тя не се достига. Прокарването на сондажа започва на 24 май 1970 г. и след продължителни аварии и спасителни операции завършва през 1989 г. на дълбочина 12262 m. Това е най-дълбокият вертикален сондаж прокаран до тогава, както и достигнатата най-дълбока изкуствена точка на Земята.

Основните цели, свързани с прокарването на сондажа са:

• Изучаване на геоложкия строеж на земната кора в дълбочина, както и границата между гранитовите и базалтовите слоеве.

• Изясняване на сеизмичните граници в континенталната земна кора и данни за изменение на температурата, съдържание на руда, вода и въглеводороди.

• Усъвършенстване на съществуващите техники и технологии при свръх дълбокото сондиране, геоложки и геофизически изследвания на скалите, за минерални енергийни ресурси.



През 70-те години на миналия век най-дълбокият сондаж, прокаран някога от човечеството е на Колския полуостров, близо до границата с Норвегия и приблизително на същата географска ширина като Прудоу бей, Аляска. След повече от пет години на строителство и подготовка, сондажните дейности започват на 24 май 1970 г. със сонди от серията "Уралмаш-4Э" и след достигане на 7000 m, продължава сондирането с "Уралмаш -15000".

#### Техника и технология на сондиране

• Началните 7263 m са прокарани със сондажна апаратура "Уралмаш-4Э", използвана при проучване на находища за нефт и газ. След тази дълбочина сондажната апаратура е демонтирана и заменена със сондажна апаратура "Уралмаш -15000", специално произведена за сондажа.

• Стоманеният сондажен лост, достигащ тегло над 200 t. е заменен с лекосплавни алуминиеви тръби

• Забойният двигател е турбина с дължина 46 m, задвижвана от налягането на промивната течност, въртяща сондажната корона или длето.

• Ядкоприемникът е извлекаема ядкова тръба, изваждаща просондираните скални материали.

При прокарването на сондажа след 6,7 km на различна дълбочина се установяват микроскопични фосили. Открити са 24 различни вида планктонни микрофосили, покрити с въглеродни и азотни покрития, вместо типичния варовик или силициев диоксид. Въпреки тежките условия на свръх топлина и налягане, микроскопичните фосили са останали в значителна степен непокътнати.

По време на прокарване на сондажа рязко се увеличава температурата след 7000 m, която е по-висока от геотермичния градиент. След 12000 m всички прилагани технически и технологични действия се оказват невъзможни за продължаване на сондирането поради високата температура. Разтворите се превръщат в гел, а стените на сондажите стават пластични и затварят сондажния отвор. На тази дълбочина изследователите са очаквали да открият скали с температура 212° F, 100° C, но реалната температура е около 356° F, 180° C, т.е. много по-висока от очакваното. При завършване на проекта при тези температурни аномалии са очаквали температурата на скалите вероятно да достигне 572° F, 300° C.

Извадената сондажна ядка от дъното на сондажа датира от около 2,7 милиарда години. Изследванията не са потвърдили геоложката хипотеза за границата между гранитните и базалтовите слоеве. До достигнатата 12262 m дълбочина сондажът преминава само в гранити, което е и голямата геоложка изненада. Не се потвърждава и геотемпературният градиент. Температурата след 12 km.достига над 220-230°, което прави изключително трудно прокарването на сондажа до проектната дълбочина от 15000 m.

II. Свръх дълбок сондаж "Берта Роджърс" с дълбочина 32000 фута

Сондажът е прокаран за добив на газ в щата Оклахома, САЩ и попада в разтопена сяра. Той е предишен рекорд на сондажа СГ-3.

III. Свръх дълбок сондаж "Ал Шахин" с дълбочина 40318 фута (12289 m).

Сондажът е прокаран през 2008 г. за добив на нефт в Катар.

IV. Свръх дълбок сондаж "Одупту ОР-11" с дълбочина 40502 фута (12345 m)

Сондажът е прокаран в находището "Сахалин – 1" недалеч от бреговете на руския остров Сахалин.

V. Най-дългият насочен вертикално-хоризонтален сондаж с дължина 40320 фута, (12,3 km).

Ориентираният сондаж с най голямо отклонение е прокаран със сондажна кула и апаратура "GSF-127" през май 2008 г. от Transocean в нефтените находища Ал Шахин за "Maersk".с хоризонтален участък 35770 фута (10,9 km). Този сондаж поставя рекорд за най-дългия насочен вертикалнохоризонтален сондаж в нефтените формации, като предишният рекорд за сондаж отново е на компанията "Maersk Oil" – 9000 фута, (2,7 km).

VI. Сондажът Odoptu OP-11 достига измерена обща дължина 40502 фута (12345 m) и хоризонтално отклонение от 37648 фута (11475 m).



През януари 2011 г. Exxon Neftegas Ltd., изпълнител на проекта "Сахалин-1", прокарва найдългия за времето си сондаж с отклонение. Той надминава както сондажът "Ал Шахин", така и лидерът от предишното десетилетие Колски свръх дълбок сондаж като най-дълъг сондаж в света.

VII. Сондаж Z-44 Chayvo с обща дълбочина от 40604 фута (12376 m).

През 2012 г. Exxon Neftegas Ltd надминава своя собствен рекорд със сондажа Z-44.

Светът продължава да се съревновава в усвояването на земните недра чрез,постиженията в свръхдълбокото сондиране.

3. <u>Минно овладяване на земните недра чрез разработването на открити рудници за добив на полезни</u> изкопаеми. Основни закономерности за резвитие на минните работи при удълбаване по неработния борд. Най-дълбоките открити рудници в света.

Експлоатацията на откритите рудници в световен мащаб също допринася за овладяването на земните недра. Същевременно развитието на минните работи при открития добив на полезни изкопаеми се подчинява на определени закономерности. В изследването [3] бяха дадени закономерностите, както и последствията при тяхното неспазване при удълбаване по долнището на рудното тяло

В процеса на разработване на находището се оформя рудничното пространство. Следствие на изземването на минната маса (руда и откривка) работните стъпала се преместват в хоризонтално направление. Създава се и се разширява дъното на рудника. Прокарват се наклонените траншеи за разкриване на по-долу лежащите хоризонти. С оформянето на разрезните траншеи се подготвя за експлоатация съответния хоризонт, който започва да се отработва. По такъв начин се създава работната зона на рудника, която се състои от работни бортове и дъно на рудника. Тя се премества в границите на рудничното поле като постепенно обхваща всичките скали и руди, намиращи се в контурите на рудника.

В резултат на този комплекс от дейности, развиващи се във времето и рудничното пространство, от рудника се извозва руда и откривка. Този сложен процес се подчинява на някои обективни закономерности, които задължително трябва да се спазват и отчитат при разработването на календарните графици, режима на минните работи, проектирането и експлоатацията на откритите рудници.

#### Закономерности в развитието на минните работи

Преди повече от половин век проф. А. И. Арсентиев в монографията си "Определяне на производителността и границите на открити рудници" публикува за пръв път взаимната връзка между скоростите в развитието на минните работи при разкриване на находища по открит начин. За целта големината и посоката на скоростите се изобразяват чрез вектори [4] (фиг.1).



Фиг. 2. Схема на взаимните връзки между скоростите за развитие на минните работи в открит рудник при разкривани (удълбаване) по неработния борд откъм долнището на рудното тяло.



На фигурата е даден напречен профил на открит рудник, при който разкриването на хоризонтите се осъществява с постоянни траншеи (спусъци) по неработния борд в долнището на рудния пласт. Удълбаването на рудника се осъществява под ъгъл *β* по линията OD..

Скоростите за преместване на минните работи са показани с вектори. За да се осигури възможността за удълбаването на минните работи и поддържането на нормалната широчина на работните площадки, на всяко работно стъпало, минните работи се развиват еднопосочно по направлението ОА. Скоростта на удълбаване на открития рудник (понижение на минните работи) ОД не е равна на скоростта на понижение на дсбивните работи KN.

От фигурата може да се определи, че:

$$h_{r} = \leq \frac{L_{p}}{ctg\varphi + ctg\beta}, m/год;$$
 (1)

$$h_0 = h_r \frac{ctg\varphi + ctg\beta}{ctg\varphi + ctg\gamma}, m/год;$$
 (2)

$$h_0 = \frac{L_p}{ctg\phi + ctg\gamma}$$
, m/год (3)

където h<sub>г</sub> – е скорост за удълбаване на открития рудник (понижение на минните работи), m/год;

- h<sub>0</sub> скорост на понижение на добивните работи (в пределите на рудното тяло), m/год;
- L<sub>P</sub> хоризонтална скорост за придвижване на работните стъпала по руда и откривка в скалите откъм горнището на рудното тяло, m/год;
- φ<sub>1</sub> изчислителен ъгъл на работния борд скалите от долнището на рудното тяло;

 $\gamma$  – ъгъл на западане на рудния пласт, т.е. ъгъл на удълбаването на открития рудник.

От формули (1), (2) и (3) следва, че **хоризонталните скорости**, [m/год.] за предвижване на минните работи трябва да са по-големи или равни на скоростта за удълбаване на рудника, [m/год.]. При това трябва да се отчитат както ъглите на работните бордове, така и ъгъла на западане на пласта.

Не по-малко отговорно е съставянето на графика за организацията на минните работи при разкриването и подготовката на два съседни хоризонта. Един хоризонт се счита за разкрит с прокарването на капиталната траншея, а подготовката му завършва с края на прокараната разрезна траншея.

За да се осигури организацията по разкриването и подготовката на по-долу лежащото стъпало трябва да се изследват минните работи на две съседни стъпала. За да се обезпечи прокарването на капиталната и на разрезната траншея на хор.2 трябва на съседния по-горен хоризонт (хор.1):

- да се прокара капиталната траншея;

- да се прокара разрезната траншея;

- да се придвижи фронта на минните работи на разстояние, осигуряващо минималната широчина на работната площадка.

При използване на автомобилен транспорт и работа без разрезни траншеи подготовката на хоризонта завършва със създаването на котлован с размери 40 m x 40 m в края на капиталната траншея.

Времето за разкриване и подготовка на хор. 2:

$$\mathsf{T} = \frac{1}{Q} \left( \frac{V_1}{m} + \frac{V_k}{c} + \frac{V_p}{c} \right), \text{ Mec.}$$
(4)

където Q – е месечна производителност на багера, m<sup>3</sup>/мес;

V<sub>1</sub> – обем на работата по разширяване на разрезната траншея на хор.1, осигуряващ възможността за подготовката на по-долното стъпало, m<sup>3</sup>;



- $V_{K}$  обем на капиталната траншея на хор.2, m³;
- V<sub>P</sub> обем на разрезната траншея на хор. 1, m<sup>3</sup>;
- m брой на багерите, работещи по разширяване на разрезната траншея на хор.1;
- с коефициент за намаляване производителността на багера при прокарване на
  - траншея; обикновено с = 0,7 ÷ 0,8.

От формула (4) следва, че времето за разкриване и подготовка на нов хоризонт е пропорционално на обемите на капиталната и разрезната траншея и обема свързан с нейното разширяване.

Описаните по-горе закономерности намират своя аналог при проектирането на открити рудници. Научните изследвания при открития добив са свързани с прилагането на съвременни методи за анализ, цифровизация, математическо моделиране, програмиране и др. [7, 8, 9].

Двата най-дълбоки открити рудника у нас са за добив на полиметални руди с основно съдържание на мед - това са "Асарел - Медет" и "Елаците". Към началото на 2017 г. те са достигнали близки дълбочини около 600 m, с което се нареждат на шесто място в света наред с "Фимистон", Австралия (виж табл.1).

			Вид			
Nº	Име на открития	Държава	основно	H, m	L, m	B, m
	рудник		полезно			
			изкопаумо			
1.	"Бингам каньон"	САЩ	Мед, Си	1200	-	4000
2.	"Чукикамата"	САЩ	Мед, Си	850	4300	3000
3.	"Ескондида"	Чили	Мед, Си	650	3900	2700
3 a	"Ескондида - Север"	Чили	Мед, Си	530	-	-
4.	"Удачни"	Русия	Диаманти	630	-	-
5.	"Мурунтау"	Узбекистан	Злато, Аи	600	3500	3000
6.	"Фимистон"	Австралия	Злато, Аи	600	3800	1500
7.	"Грасберг"	Индонезия	Злато, Аи	500	-	-
8.	"Бетце – пост"	САЩ	Злато, Аи	500	2200	1500
9.	"Нанфен"	Китай	Желязо, Fe	500		-
10.	"Айтик"	Швеция	Мед, Си	450	-	-
11.	"Асарел – Медет"	България	Мед, Си	550 - 600	-	-
12.	"Елаците"	България	Мед, Си	600	-	-

Таблица 1. Най-дълбоките открити рудници в света

Усвояването на земните недра с помощта на открития добив на полезни изкопаеми продължава с удълбаването на минните работи на все по-големи дълбочини.

#### ИЗВОДИ:

- 1. Овладяването на земните недра с помощта на прокарването на свръх дълбоки сондажи продължава. В световен мащаб достигнатите дълбочини надминават 12 km.
- 2. При усвояването на земните недра чрез разработването на дълбоки открити рудници за добив на полезни изкопаеми са достигнати дълбочини по-големи от 1200 m. Условията за тези достижения са свързани със стриктното спазване на обективните закономерности за развитието на минните работи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кованджийски О. Шистов газ. Човекът за и против шистовия газ. Нефт и газ. Техника и технологии. Фракинг патенти в САЩ. Издателство: Авто Принт, Пловдив, 2017 г.



- 2. Тодоров А. Геология от А до Я. Енциклопедичен геоложки речник, "Авангард Прима", София, 2018.
- Константинов Г., Кованджийски О. Основни закономерности в развитието на минните работи при открит добив на полезни изкопаеми. XVI Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми. Варна 06 – 10 септември 2021 г.
- 4. Арсентьев А. И. Определение производительности и границ карьеров. М., изд во "Недра", 1970.
- 5. Константинов Г. Алманах на специалисти с приноси в открития добив на полезни изкопаеми. София, 2018.
- В. Господинова, Фотограметрията и дистанционните изследвания в минното дело, Сборник доклади от XV Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 3-7 юни 2019, Варна, България, стр. 205-217, ISSN: 2535-0854.
- В. Господинова, Приложение на земна и въздушна фотограметрия и лазерно сканиране в минното дело, Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София – 2020, Издателска къща "Св. Иван Рилски", ISBN 978-954-353-416-6.
- В. Господинова, Приложение на дистанционните изследвания в минното дело, Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София – 2020, Издателска къща "Св. Иван Рилски", *ISBN* 978-954-353-419-7.



## ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ОТКОСИТЕ НА НОВОИЗГРАЖДАЩИЯ СЕ ЧЕТВЪРТИ НАСИПИЩЕН ХОРИЗОНТ В ПОЛЕТО НА Р-К "ТРОЯНОВО -СЕВЕР"

#### Ивайло Василев, Ясен Чаушев, Илия Карагяуров e-mail:ivailo.vasilev@marica-iztok.com; yasen.chaushev@marica-iztok.com; ilia.karagiaurov@marica-iztok.com

#### РЕЗЮМЕ

Сега съществуваща работна зона на As-6300 №281 е с точно определена насипищна вместимост, след нейното изчерпване е задължително осигуряване на ново работно място за насипване във вече съществуващи нарушени пространства и терени в полето на р-к "Трояново-север". Определената нова зона за насипване на As-6300 №281, е във вътрешното насипище на рудника.Там ще си оформи и развива с горно и долно насипване четвърти насипищен хоризонт. Преди да започне изграждането на новия насипищен хоризонт трябва предварително да се извърши стабилитето оразмеряване на откосите на стъпалата му, като се вземат предвид сложните условия в които ще се насипват и развиват.

В доклада са дадени резултати от оразмерявана на откосите на насипа на новото работно място за насипване на As-6300 №281. Стабилитетните изчисления са направени по схема с призма на активен и пасивен земен натиск и централен блок.

# DIMENSIONING THE SLOPES OF THE FOURTH WASTE DUMP LEVEL UNDER CONSTRUCTION IN THE FIELD OF TROYANOVO-NORTH MINE

#### Ivailo Vasilev, Yasen Chaushev, Iliya Karagyaurov E-mail: ivailo.vasilev@marica-iztok.com; yasen.chaushev@marica-iztok.com; ilia.karagiaurov@maricaiztok.com

#### ABSTRACT

The current working zone of As-6300 No. 281 has a precisely defined heaping capacity. After this capacity has been fully used, it is obligatory to ensure a new working area for heaping in disrupted spaces and terrains already existing in the field of Troyanovo-North mine. The new heaping area assigned for As-6300 No. 281 is located in the internal dump of the mine. There a fourth waste dump level will be formed and developed by means of upper and lower heaping. Before the construction of the fourth waste dump level commences, preliminary stability dimensioning of its highwalls has to be carried out, taking into account the complex conditions for heaping and development there.

The report provides the results of slope dimensioning of the new working area embankment where As-6300 No. 281 heaps. The stability calculations have been made by using a scheme with an active and passive earth pressure prism and a central block.

#### Увод

Рудник "Трояново-север" е един от трите рудника, разработващи Източномаришкия лигнитен басейн. Полето на рудника обхваща района северно от долината на река Овчарица. С обща площ 144 км<sup>2</sup> е най-големия рудник в находището.

Един от основните проблеми за устойчивото развитие на минните работи е намирането но свободни площи за депониране на откривка от откривните хоризонти. Това е причина за честите технологични преустройства, които се извършват в рудника. През 2022 година, поради изчерпването на



обемите в "Обединени северни насипища", предстои преместване на РТНК-4 във вътрешното насипище на рудник "Трояново-север", където ще започне изграждането на четвърти насипищен хоризонт. Насипищният хоризонт ще започне развитието си от руднична ос 36800 и между профили 322-335, в посока от изток на запад, като първата заходка е планувана за насипване през четвъртото тримесечие на годината. Насипването ще се извършва върху стар насип от вътрешното насипище на рудника. По начина на насипване и по сондажните проучвания е установено, че в най-долната част на този насип залягат смес от сивочерни и сиви глини с въглищни включения.Тяхната дебелина е приета средно 15 метра. Над тях заляга смес от сиво-синьозелени и жълтокафяви глини. Устойчивостта на откосите на новоизграждащия се насип в значителна степен ще се обуславя от състоянието на глините служещи за негова основа. Най-съществено влияние при формирането на свойствата на този материал оказва съприкосновението им с водата от атмосферните валежи, от водните пробиви на подземните води и прилаганата технология на насипване.Тези особености в инженерно-геоложките условия на зоната за насипване са определящи при извършване стабилитетни изчисления за оразмеряване на откосите на новоизграждащия си четвърти насипищен хоризонт.

# Определяне устойчивостта на първата заходка на *новоизграждащия се четвърти насипищен хоризонт* по плоскостна задача.

За оценката на определяне зоната за започване на насипни работи от IV-ти насипищен хоризонт, с горно и долно насипване в района на вътрешните насипища на рудник "Трояново север", бяха разгледани две възможности. Първата беше в посока юг, какви са възможностите от гледна точка на стабилитета и съобразно слабите сечения формиращи се по съответните профили. За целта са построени два изчислителни профила с посока юг-север. Втората посока е изток-запад, където е нормалното напредване на насипа, вследствие водените миннодобивни дейности на рудника. Тук определящо за устойчивостта на четвърти насипищен хоризонт е положението на площадката на предходния трети насипищен хоризонт, тъй като там се явява слабото сечение по профилите. За определяне устойчивостта в тази посока бяха построени също два изчислителни профила. Положението на изчислителните профили дадено на ситуационен план Приложение №1.

Стабилитетните изчисления за определяне на устойчивостта се извършват с изчислителни якостни показатели, съобразени с условията и състоянието на глините в нарушено състояние (в насипищата). Те са дадени в Методическото ръководство за стабилитетни изчисления..../1/ и табл.1.

	omac		
Литоложка разновидност	Обемна плътност [т/м]	Ъгъл на вътрешно триене	Кохезия Сх10 Ра
1.Сивочерни глини и глини от междупластието	1,500	0	5
2.Същите на контакта с основата		0	3
<ul> <li>3.Смес от синьозелени глини във вътрешните насипища:</li> <li>а) при σ<sub>n</sub> &lt; 4,27 . 10<sup>5</sup> Pa</li> <li>б) при σ<sub>n</sub> &lt; 4,27 . 10<sup>5</sup> Pa</li> </ul>	1,700	8	3
		0	8

Табл.1. Изчислителни показатели на глините в нарушено състояние по Методическото ръководство за стабилитетни изчисления... /1/.

Изчисленията са направени по изчислителна схема с призма на активен натиск, централен блок и призма на пасивен упор, подробно описани в /1/.



В таблица №2 и №3 са дадени коефициентите на устойчивост, получени при решаване на плоскостна задача по изчислителни профили- 1-1,2-2 и 3-3,4-4. Изчисленията по профили 1-1 и 2-2 са направени за очакваното положение на горното и долното стъпало при отсипване на първата заходка от новоизграждащия се четвърти насипищен хоризонт и проектното положение на работната площадка на трети насипищен хоризонт към края на 2021 година. Стабилитетна проверка на насипа в южна посока е направена по профили 3-3 и 4-4.

От таблицата се вижда, че коефициентите на устойчивост са по-големи от единица за всички насипищни стъпала по профилите -1-1,2-2 и 3-3,4-4.

	Коефициенти на устойчивост за стъпала на четвърти насипищен хоризонт от вътр. насипище на р-к "Тр-во-север" в посока изток-запад								
Профил	IV-ри насилишен хоризонт долно	IV-ри насилишен хоризонт горно							
Nº	стъпало	стъпало							
1 - 1	1,24	1,13							
2 - 2	1,31	1,16							

Табл.3.

	Коефициенти на устойчивост за стъпала на четвърти насипищен хоризонт от вътр. насипище на р-к "Тр-во-север" в посока север- юг		
Профил			
	IV-ри насипищен хоризонт долно	IV-ри насипищен хоризонт горно	
Nº	стъпало	стъпало	
3 - 3	1,02	1,01	
4-4	1,07	1,06	

От така получените резултати може да се заключи, че е удовлетворено условието за общата устойчивост на насипа, коефициентите на устойчивост са по-големи от единица.

# Определяне устойчивостта на насипищните стъпала на новоизграждащия се четвърти насипищен хоризонт при усвояване на годишните обеми за насипване през 2023 г. по плоскостна задача.

За да се гарантира устойчивото развитие на насипишнити стъпала на четвърти хоризонт спрямо определените обеми за насипване от изключително значение е осигуряването на необходимото заложение за развитието му. Осигуряването на това заложение зависи от темпа на развитие на добивния фронт в северната част на рудника и напредъка на стъпалата на първи и втори и трети насипищен хоризонт. С напредването на добивния фронт в тази част на полето се освобождават нови обеми за насипване в котлована на рудника. Те се насипват от по-ниските насипищени хоризонти, което от своя страна ще осигури необходимото заложение за устойчиво развитие на четвърти насипищен хоризонт. Това синхронно развитие насипишните хоризонти ще определи общата устойчивост на вътрешното насипище

В утвърдената годишна програма за развитие на РТНК-4 е определена за изкопаване, транспортиране и насипване 3 150 000 м<sup>2</sup> откривка. Насипването на тези обеми по ГТЛ-2411 на



четвърти насипищен хоризонт, ще доведе до изчислен годишен напредък на насипищния фронт от 170 м. показани на Приложение №2.

За този напредък е направена стабилитетна проверка за устойчивост на насипа спрямо работната площадка на трети насипищен хоризонт при нейното проектно положение към края на 2022 година, по профили 1-1 и 2-2. По изчислителни профили 3-3 и 4-4 е направена проверка за устойчивостта на насипа и в посока юг, при насипване на определените годишни обеми. Изчисленията са направени по плоскостна задача, като получените коефициенти на устойчивост на насипа при гореописаната конфигурация на стъпалата са показани съответно в таблици №4 и №5.

Профил	Коефициенти на устойчивост за стъпала на четвърти насипищен хоризонт от вътр. насипище на р-к "Тр-во-север" в посока изток-запад		
Nº	IVI-ри насипищен хоризонт долно стъпало	IV-ри насипищен хоризонт горно стъпало	
1 - 1	1,20	1,02	
2 - 2	1,26	1,06	

#### Табл.5.

Профил	Коефициенти на устойчивост за стъп вътр. насипище на р-к "Тр-	сефициенти на устойчивост за стъпала на четвърти насипищен хоризонт от вътр. насипище на р-к "Тр-во-север" в посока севир-юг		
No	IV-ри насипищен хоризонт долно	IV-ри насипищен хоризонт горно		
IN≚	CIBIIAIU	СТЫЛЛО		
3 - 3	1,02	1,01		
4 - 4	1,07	1,01		

От така получените резултати е видно, че по изчислителен профил -1-1,с който се определя устойчивостта на насипа при неговия напредък в посока изток-запад, коефициента на устойчивост показан в таб.5 е с критична стойност η=1.02. Може да се направи извода,че в зоната на профил-1-1 заложението между работната площадка на трети насипищен хоризонт и стъпалата на четвърти хоризонт не е достатъчно, за да гарантира устойчивостта на насипа. Нужно е развитие по долните хоризонти на насипищния фронт от вътрешното насипище за да се гарантира устойчивостта на четвърти носипищен хоризонт, при изчислен годишен напредък от 170м. Развитието на тези стъпала от вътрешното насипище на рудника е в пряка зависимост от напредъка на добивния хоризонт от южната част на добивния фронт. При годишен напредък от 70 м. на добивния хоризонт, заложен в приетия инженерен проект на рудника за 2023 година ще се отвори пространство за насипвани в котлована, което ще позволи напредък на стъпалата от първи и втори и трети хоризонт. Тъй като слабото сечение, определящо устойчивостта на четвърти насипищен хоризонт е работната площадка на трети, от голямо значение е да се определи нейния годишен напредък.

Направени са изчисления по плоскостна задача при новата конфигурация на насипа с годишен напредък от 70 м. за работната площадка на трети насипищен хоризонт и 170м. за стъпалата на четвърти насипищен хоризонт. Резултатите от тези изчисления са нанесени в таблици №6.



	Коефициенти на устойчивост за стъпала на четвърти насипищен хоризонт от вътр. насипище на р-к "Тр-во-север" в посока изток-запад		
Профил	. F F. F		
	IVI-ри насипищен хоризонт долно	IV-ри насипищен хоризонт горно	
Nº	стъпало	стъпало	
1-1	1,25	1,09	
2 – 2	1,30	1,11	

От таблиците е видно, че получените коефициенти за устойчивост на стъпала на насипа от вътрешното насипище на рудника са по-големи от единица, с което се удволетворява условието за устойчиво развитие на насипа при изграждане на четвърти насипищен хоризонт.

От направените изчисления се доказва необходимостта от ежегодно определяне на напредъка на по-долу лежащите хоризонти, който пък е в пряка зависимост от развитието на добива в северната част на рудник "Трояново-север". За да се осигурят, за дълъг период от време, необходимите обеми за насипване на вътрешното насипище на рудника и в частност на четвърти насипищен хоризонт, е необходимо да се подържа годишен напредък на добивния фронт от минимум 70 метра.

#### Литература:

- 1. Георгиев, К. И кол. Методическо ръководство за стабилитетни изчисления на работни подсипвани и неподсипвани неработни бордове и откоси на насипищата на рудниците от Източномаришкия басейн. 1981г.
- 2. Карачолов, П. Изследване н устойчивостта на насипищните откоси в Марица изток. Автореферат на Дисертация за получаване на научната степен "кандидат на техническите науки". 1990г.



#### Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19 – 23 September 2022, Varna, Bulgaria



Приложение №1



Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19 – 23 September 2022, Varna, Bulgaria

Приложение №2





#### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

#### Людмила Пимоненко<sup>1</sup>, Наталия Вергельская<sup>2</sup> <sup>1</sup>Институт геотехнической механики НАН Украины, г. Днепр <sup>2</sup> ГУ «Научный центр горной геологии, геоэкологии и развития инфраструктуры НАН Украины», г. Киев, vnata09@meta.ua

#### PREDICTION OF DYNAMIC PHENOMENA IN COAL MINES

Lyudmila Pimonenko<sup>1</sup>, Nataliia Vergelska<sup>2</sup>

# <sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro <sup>2</sup> State Institution "Scientific Center for Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, vnata09@meta.ua

#### ABSTRACT

The issues of forecasting and preventing dynamic phenomena in coal mines, despite decades of research, remain insufficiently studied. The nature of dynamic phenomena is far from being known, and as the depth of mining of coal seams increases, the phenomena become more and more formidable and, as a rule, unpredictable.

Most of the dynamic phenomena are related to the stress state of the massif and the peculiarity of its gas saturation, which is partly explained by the state of sedimentary rocks. In sedimentary rocks or crystalline fractured, the number of parameters characterizing the stress state of rocks at depth increases.

Studying the dynamic processes of different intensity in the coal rock massifs of the Donets Basin, it was found that the main factors that provoke them should include anomalously high formation pressures, stress state and gas content of the massif.

#### Вступление.

Вопросы прогноза и предотвращения динамических явлений в угольных шахтах невзирая на десятилетия исследований остаются недостаточно изучены. Природа динамических явлений – далеко не познанной, а явления по мере увеличения глубины отработки угольных пластов все более грозными и, как правило, не прогнозируемые.

В угольных шахтах наблюдается большое разнообразие внезапных динамических явлений как близких по характеру своего проявления и генезиса, так и противоположенных. В шахтах зафиксированные такие явления: суфляры, отжимы угля, внезапное обрушение кровли, пучение почвы, высыпания, стреляния, горные удары, внезапные выбросы угля, породы и газа.

Вопросам динамических явлений посвящено большое количество работ исследователей различного профиля – геологов, химиков, физиков, астрономов, климатологов, которые в качестве исходных предпосылок принимали совершенно различные признаки. Недостаточна изученность причин, вызывающих разнообразие видов динамических явлений, определила большое количество гипотез об их природе. Причины динамических явлений рассматривались в работах многих исследователей: А.Я. Радзивилла, А.Н. Сукачева, Г.Д. Лидина, А.А. Христиановича, В.С. Ярцева, А.И. Кравцова, Л.Н. Быкова, И.М. Печука, Г.А. Конькова, В.Г. Бондарчука, А.А. Скочинского, А.И. Чередниченко, В.В. Лукинова, Л.И. Пимоненко, Д.П. Гуни и многих других, однако этот вопрос еще далек от решения или создания относительно общей теории. Неоднозначность определений внезапных динамических явлений повлекло попытки по одному или нескольким факторам попытки обосновать все или их большую часть.

Основной задачей работы является оценка существующих методов изучения и прогноза динамических явлений, поиск приемлемых для практического использования и определения путей дальнейшего изучения этого важного аспекта горно-геологических условий отработки для глубоких горизонтов и отработанных участков.



#### Материалы и методы исследований.

Проведено обобщение ранние проведенных исследований. В основу исследований вошли проведенные в 2005 – 2021 гг. работы по изучению динамических явлений на шахтах Донецкого бассейна. На основании анализа более 1000 газовых проб, отобранных из угольных пластов, вмещающих пород и отработанного пространства проведено обобщение по выбросам на шахтах. Внезапные динамические явления углепородных массивов определялись по запатентованных методикам (патент № 79554 от 25.04.2013 [5] и № 99540 от 10.06.2015 [6]). Лабороторные исследования проб газа (газовая хроматография) проводились в ГП «УКРНАУКАГЕОЦЕНТР» и Институте геологии НАН Украины.

#### Результаты исследования.

Изучение динамических явлений еще более затруднилось, когда угледобывающая промышленность столкнулась с масштабным проявлением такого явления, как внезапные выбросы угля, сопровождаемые обильными газовыделениями. Этому вопросу посвящено большое количество работ исследователей различного профиля, которые в качестве исходных предпосылок принимали совершенно различные, порой второстепенные признаки динамических явлений. Существующие гипотезы разделяются, преимущественно, по расстановке главных действующих факторов в момент протекания явления, но нередко второстепенные признаки более выразительны, что приводит к появлению новых аналогов известных гипотез. В связи с этими особенностями все существующие гипотезы можно разделить на четыре группы: гипотезы горного давления, газовые гипотезы, геохимические гипотезы и смешанные.

В угольных шахтах наблюдается большое разнообразие динамических явлений как близких по характеру своего проявления и генезису, так и весьма отдаленных. В отдельных работах заведомо различные виды динамических явлений объединяются в группы по какому-либо одному признаку (выделению газа, звуковым эффектам, вывалам угля и т.п.). Вопрос о сходстве и различии внезапных выбросов угля, газа и горных ударов рассматривался в работах В.В. Ходота, С.А. Авершина, Я.А. Бича, В.Е. Забигайло и др. Было отмечено, что геологические нарушения, проявления магматической деятельности, наличие в почве и кровле крепких пород, глубина отработки, мощность угольных пластов оказывают существенное влияние на проявление этих динамических явлений. Названные факторы однонаправленно влияют как на горные удары, так и на внезапные выбросы. Условия проявления внезапных выбросов угля и газа и отжимов имеют определенное сходство. Основные факторы, которые их провоцируют, напряженное состояние и газовая составляющая массива.

Наиболее изучены по выделению газа – суфляры, которые характеризуются выделением газа из видимых трещин й пустот в толще угля или пород, по длительности действия до несколько лет [2, 4]. Различают геологические и эксплуатационные суфляры. В геологических суфлярах скопления газов имеют естественное происхождение, поскольку газ поступают из угля или вмещающих пород. Они приурочены к складчатым и разрывным нарушениям, обычно в толщах, содержащих песчаники. Много случаев газопроявлений наблюдалось в скважинах. Выделение метана из них иногда продолжалось более 20 лет. Значительно реже наблюдаются суфлярные выделения углекислого газа. Одним из наиболее крупных газовыделений в Донецком бассейне был суфляр из песчаника, при строительстве околоствольного двора шахты 17-17<sup>бис</sup> "Кировская". При этом выделялось такое количество метана, что взрывные работы приходилось вести в инертной среде. На шахте им. А.Ф. Засядько выделения газа из суфляра продолжалось более 3 лет. В Южном Дербешире, Ноттингемшире, Йоркшире (Англия) выходы газа приурочены к кровле пластов и выделения метана происходили на протяжении от нескольких дней до нескольких лет [4].

Эксплуатационные суфляры из трещин и пустот, которые образуются в результате проведения горных работ, являются более кратковременными. Срок действия их обычно не превышает 2-3 месяцев. Суфлярные выделения нередко сопровождаются шумовым эффектом, выбросом воды и затем газа.



Принятое разделение суфляров на геологические и эксплуатационные является условным. В обоих случаях скопления газов имеют естественное происхождение: они обусловлены одними и теми же геолого-структурными факторами, а суфлярные выделения обеих видов происходят только при ведении горных работ (проходка стволов подготовительных выработок, бурение скважин и т.д.). Такие признаки, как длительность деятельности суфляра, проявление его из трещин естественного или эксплуатационного характера не существенны и сути дела не меняет. Таким образом все суфляры являются по причине возникновения – эксплуатационными, с по своей природе – естественно-геологическими явлениями в угольных бассейнах.

Причиной отжима угля служит горное давление, вызывавшее напряженное состояние пластичной массы угля, вследствие чего происходит плавное выдавливание угля в выработанное пространство с одновременным плавным прогибанием и опусканием кровли и почвы пласта. В возникновении отжимов угля, содержащийся в пласте газ не принимает активного участия, хотя зачастую его выделение сопутствует отжиму в виде «микросуфляров». Примерами отжимов может служить перемещение угля в сторону выработанного пространства. В Донецком бассейне отжимы установлены для 34 % разрабатываемых пластов.

Внезапное резкое отделение большей или меньшей части угольного пласта или вмещающей породы, вызванное напряженным состоянием пластов и его разрядкой при разработке называют стрелянием. Это явление сопровождается отбрасыванием на значительное расстояние (порядка 3-5 м) отдельных мелких сколов угля или породы, их кусков, причем по окончанию динамического явления, образуется характерная вогнутая раковистая выемка на поверхности отрыва. Примером таких явлений могут быть описанные Д.В. Кучерским явления "хлопков" в лавах шахт в районах, опасных по горным ударам.

Горные удары представляют собой внезапное мгновенное разрушение целика угля или выступающей части массива, сопровождающееся отбросом угля в выработанное пространство. Обычно оно сопровождается звуковым эффектом, сотрясением массива и воздушно-ударной волной. Которые были изучены на ГП УК «Краснолиманская» при нарезании лав в засбросой зоне. Необходимым условием возникновения горного удара является наличие крепкой, зависающей на большой площади кровли, крепкой или средней крепости почвы. Причиной возникновения горных ударов является высокое горное давление, которое испытывает целик угля или выступающая часть массива, заключенные между указанными прочными поверхностями. Инициатором горного удара служит внезапное обрушение зависающей кровли над целиком, создающее предельные нагрузки на целик. Для внезапной разрядки созданных напряжений, достаточно даже незначительных воздействий, на пласт (взрыв, использование шпуров, работа врубовой машины или отбойного молотка). Характер разрушения и степень дробления отброшенного угля при горном ударе говорит о разрушении его силами, направленными вертикально к угольному пласту и совершенно отлично от характера разрушения при описанном ниже внезапном выбросе угля. В результате горного удара происходит резкое опускание кровли пласта над выработанным пространством, сопровождаемое разрушением крепи.

Следует отметить, что предупредительными признаками, указывающими на напряженное состояние углепородного массива, могут являться разные динамические явления в шахте.

Внезапные выбросы угля представляют собой лавинно-нарастающее изменение угля в массиве, завершающееся взрывоподобным выделением его в отработанное пространство из обнаженной поверхности угольного пласта, с образованием характерной полости. Полость имеет грушевидную форму с образованием узкой шейки, через которую происходит выброс измельченного угля. Внезапный выброс сопровождается значительным выделением газа, отбросом сильно измельченного (до состояния муки) угля на значительное (до десятков метров) расстояние.

Инициатором выбросов угля, как показывает практика ведения горных работ, могут являться все виды механического воздействия на пласт, а также некоторые динамические явления (обрушение кровли, горный удар, на крутых пластах - высыпание).



Выбросы пород происходят при проходке выработок взрывным способом. Они сопровождаются незначительными выделениями метана, образованием различных по форме полостей размером от нескольких до десятков метров, нередко с отчетливо, выраженной "шейкой", подобной образующимся при внезапных выбросах угля. Как правило, выбросы пород происходят из мощных пластов песчаников русловых и прибрежно-морских фаций, характерных для шахты имени А.Ф. Засядько. В результате выброса песчаник разрушается на обломки, чешуйки до размеров дресвы.

Как ранее указывалось, большинство динамических явление имеют связь с напряженным состоянием массива и особенностью его газонасыщености, что частично объясняется и состоянием осадочных пород. В осадочных породах или кристаллических трещиноватых, количество параметров, характеризующих напряженное состояние пород на глубине – увеличивается. Кроме геостатического давления (  $\sigma$ ), определяемого по принятому для тех или иных пород геостатическому градиенту (для осадочных пород геостатический градиент равен 23 МПа на один километр погружения) принимается во внимание также поровое или пластовое давление (Р).

Эффективное напряжение является очень важной характеристикой напряженного состояния пород, так как оно вызывает механическое уплотнение осадков под действием силы тяжести. Поровое давление, определяемое нормальным гидростатическим градиентом, может приобретать значение аномально высокого порового давления.

Геологическая обстановка, в которой чаще всего встречаются глинистые породы с аномально высоким давлением, характеризующие преимущественно регрессивные серии, в которых параличные и неритовые пески перекрывают неритовые глины. Содержимое песков в этих сериях имеет важное значение, поскольку аномальное давление обычно не наблюдается, если процент песков велик. Считается, что 5-10% песков является региональным индикатором аномально высокого давления. График давления для типовой скважины в мощных палеоген-неогеновых регрессивных отложениях показан на рис. 1. Ниже верхнего предела переходной зоны поровое давление увеличивается по сравнению с гидростатическим; при этом его градиент  $\Delta P / \Delta H$  обычно гораздо больше, чем градиент геостатического давления, но перед достижением значений геостатического давления, градиент уменьшается и максимальное давление обычно составляет около 90 процентов геостатического. Отношение порового давления к геостатическому на данной глубине ( $P/\sigma = \lambda^*$ ) рассматривается как доля полной массы выше лежащих отложений, поддерживаемая давление флюида. Когда  $P = \sigma$ , то  $\lambda^*=1$  и все геостатическое давление поддерживается поровым флюидом. Уравнение Терцаги при постановке в него  $P = \lambda^* \sigma$  приобретает вид  $\sigma_{ab} = \sigma(1-\lambda^*)$ .

По мере того, как поровое давление увеличивается, приближается к геостатическому λ<sup>\*</sup>→ 1, эффективное давление, уплотняющее осадки, приближается к нулю. Глинистые отложения с аномально высоким пластовым давлением, залегая под песчано-глинистыми отложениями с нормальным давлением, обычно недостаточно уплотнены для их глубины и обладают более высокой пористостью. На недоуплотнение указывает уменьшение электрического сопротивления пород и снижение скорости сейсмических волн. Экспериментальная практика показала, что значение уплотняющего давления в определенных условиях является хорошей характеристикой напряженного состояния скелета породы [3].

Особый интерес вызывают аномально высокие пластовые давления (АВПД) в углесодержащих породах, так как с ними связана безопасность разработки угольных месторождений. Одной из причин этого может быть наличие зон раздробленности под угольным пластом, являющимся покрышкой для углеводородов. По трещинам из больших глубин под большим давлением поступает водород и углеводороды, накапливаясь, образуют здесь высокие пластовые давления. При подходе выработки к такой зоне обязательно произойдет выброс взрывоопасного газа. Такие зоны, невозможно изолировать их, можно только разгружать путем дегазации, решая таким образом два вопроса: снижение АВПД и безопасность труда. Для их определения идеальнее всего подходят способы дистанционного исследования, потому что это зоны разуплотнения с малыми скоростями распространения упругих волн. Система АВПД рассматривается как метастабильная, а в районах с высокой нагрузкой в результате горно-геологических работ и других техногенных изменений может оказаться нестабильной.





*Рис. 1. График увеличения порового давления к геостатическому*  $\lambda^* \rightarrow 1[3]$ *.* 

#### Выводы.

Изучая, разные по интенсивности динамические процессы в углепородных массивах Донецкого бассейна было установлено, что к главным факторам, которые их провоцируют следует отнести аномально высокие пластовые давления, напряженное состояние и газоносность массива. Аналогичные факторы динамических явлений будут характеры и для отработанного пространства шахт, что было обосновано в ранее проведенных наших исследованиях [1].

Система АВПД рассматривается как метастабильная, а в районах с высокой нагрузкой в результате горно-геологических работ и других техногенных изменений может оказаться нестабильной. Не исключена возможность формирования современных техногенных водно-газовых структур из АВПД. Выявить их можно сейсмическими электро- и магниторезонансными методами и методами скважинного каротажа.

Для улучшения прогнозов по динамических явлениях в шахтах следует проводить постоянный мониторинг состояния углепородных массивах при разработке массива, а в отработанных лавах при дегазации. Результаты проведенных исследований станут фундаментом для определения потенциального источника динамических явлений в угольных шахтах.

#### <u>Литература</u>

- 1. Бокий Б.В., Гуня Д.П., Пимоненко Л.И., Балалаев А.К., Вергельская Н.В. Миграция и накопление глубинного газа как один из факторов возникновения аварийных ситуацій // Тектоніка и стратиграфія. 2013. Вип. 40. С. 49–58.
- Вергельская Н. В. Суфлярные выделения газа как один из критериев газоносности углепородных массивов Донецко-Макеевского углепромышленного района Донбасса // XII Международная научнопрактическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва: Российский государственный геологоразведочный университет, 8–10 апреля, 2015 г.): Т. 1. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2015. – С. 151-153.
- 3. Орищенко И.В. Воздействие аномально высоких пластовых давлений на процесс образования углеводородов // Докл. НАН Украины. – 2004. - № 5. – С. 133 – 136.
- Савчук В.С., Куделя Ю.А., Майданович И.А. Состояние и перспективы разработок по прогнозированию динамических явлений в угольных шахтах. Препринт 87-43. Киев ИГН АН УССР. 1987. 53 с.
- 5. Способ определения остаточной газовой составляющей углепородного массива Донбасса, авторы А.Я. Радзивилл, А.М. Сукачев, Н.В. Вергельская, М.Ю. Соболев, Патент № 79554 от 25.04.2013. Государственная служба интеллектуальной собственности Украины, 2013
- 6. Способ определения зон скопления газа в отработанном пространстве действующих шахт, авторы Н.И. Евдощук, Н.В. Вергельская, Патент №99540 от 10.06.2015. Государственная служба интеллектуальной собственности Украины, 2015


### ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПЛОЩАДКИ НА СТЪПАЛАТА НА РАБОТНИЯ БОРД НА РУДНИК "ТРОЯНОВО-3"

#### Инж. Георги Владиславов, g\_vladislavov@r3.marica-iztok.com Инж. Красимир Кадифейкин, k\_kadifeikin@r3.marica-iztok.com Инж. Стилян Стоянов, stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com Рудник "Трояново-3", "Мини Марица-изток" ЕАД

#### РЕЗЮМЕ

Основната производствена дейност в открития рудник "Трояново-3" включва мероприятия по добив и транспорт на полезното изкопаемо - лигнитни въглища до основния консуматор ТЕЦ КонтурГлобал Марица изток 3 и до външния склад на рудника и мероприятията по изземване, транспортиране и насипване на непродуктивната откривка на вътрешни и външни насипища. Съоръженията с които се извършват тези дейности (тежко минно оборудване, помощна механизация, линейни съоръжения), са разположени на технологичните площадки на стъпалата на работния борд на рудника. За гарантиране на безопасната експлоатация и осигуряване на надеждност при изпълнение на производствената дейност, тези площадки трябва да бъдат оразмерени срещу деформации.

#### TECHNOLOGICAL SITES DIMENSIONING OF WORKING FLANK BENCHES AT TROYANOVO-3 MINE

#### Eng. Georgi Vladislavov, g\_vladislavov@r3.marica-iztok.com Eng. Krasimir Kadifeikin, k\_kadifeikin@r3.marica-iztok.com Eng. Stilyan Stoyanov, stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com Troyanovo-3 mine, Mini Maritsa Iztok EAD

#### ABSTRACT

The main production activity of Troyanovo -3 opencast mine includes actions related to the mining and transportation of the mineral – lignite – to the main consumer ContourGlobal Maritsa East 3 TPP, and to the external storage facility of the mine, as well as the extraction, transportation and heaping of the unproductive overburden into external and internal dumps. The equipment for carrying out these activities (heavy mining equipment, auxiliary mechanization, linear equipment) is located at the technological sites of the mine working flank benches. In order to guarantee safe operation and to ensure the reliability of production activity implementation, these sites have to be dimensioned against deformations.

Откривните хоризонти от работните и неработните бордове в откритите рудници на Източномаришкия басейн са изградени от глини, характеризиращи се с различни свойства във вертикалния терциерен профил. Транспортирането на получената в резултат на добивната дейност непродуктивна глинеста маса до вътрешните и външното насипища се осъществява чрез гуменолентов транспорт, чиито трасета са разположени върху технологичните площадки на стъпалата. Откосите на тези стъпала много често се деформират и разрушават в резултат на специфичните особености на глинестите разновидности (наличие на мрежа от микро и макропукнатини, релаксационния ефект при разтоварването на масива, потенциални деформационни повърхнини на древни свлачища, сравнително ниски якостни характеристики на глините и др.), както и от динамичното въздействие, което оказват транспортните съоръжения. В тази връзка представляват интерес тези свойства на глините, които са установени при статичен и динамичен режим на срязване. Получените характеристики се явяват база при извършването на стабилитетни изчисления за стъпалата и на



техните параметри (височина и ъгъл на наклона), както и при оразмеряването на площадките с цел осигуряване на безопасна работа и транспорт.

При решаване на редица технологични задачи от съществено значение за теорията и практиката е определянето на възможната широчина на призмата на обрушване. Смята се, че при наличието на значителни размери нас работните хоризонти в откритите рудници този въпрос не е актуален. Много често обаче, когато фронтът на откривните работи в даден хоризонт изостава, се налага транспортните комуникации да бъдат разположени в непосредствена близост до откоса на стъпалото на по-долното ниво. При подобни случаи определянето на широчината на възможното обрушване е от особено значение за провеждането на добивните и откривните работи, при уточняването на вида и състоянието на транспорта и т.н.

Използването на методи, отчитащи прякото въздействие на динамичното натоварване върху устойчивостта на откосите под формата на допълнителна сеизмична сила, е свързано с определянето на показатели, които се явяват функция на различни координати в пространството. Тъй като хлъзгателната повърхнина не може точна да бъде определена, а е само вероятна, то и дефинирането на тези координати, респ. на необходимите параметри е свързано с редица трудности и условности. По тази причина най-подходящо е отчитането на вибрационните въздействия да става чрез якостните показатели, обусловени от инженерно-геоложките условия и схемата на деформиране.

Нормалната работа на изкопно-транспортната механизация в откритите рудници е свързана с осигуряването на устойчивостта на откосите на бордовете и стъпалата. В зависимост от специфичните условия на даден рудник, се използват различни методи и схеми за стабилитетна оценка. Липсва унификация на изчислителните процедури, което много често изключва възможността за подбиране на меродавен модел. Направен е сравнителен анализ при оценката на устойчивостта на откосите и респективно е определен коефициент на устойчивост за равни геотехнически и инженерно-геоложки условия. Отчетена е необходимостта от създаване на модел и метод, които могат да се прилагат в различни минни масиви без специални изисквания. В тази връзка, въз основа на метода на динамичното оптимизиране, е разработен модел, който е проверен за условията на рудник "Трояново-3". Получените резултати съвпадат с реалните деформационни процеси, наблюдавани в откривните стъпала, с което се доказва достоверността на разработения модел.

Едно от изискванията за нормална работа на изкопно-транспортната механизация в условията на Източномаришките открити рудници е осигуряване на устойчивостта на откривните и добивните стъпала. Появяването на деформации и свличания по откосите на откривните стъпала, изземвани с роторни багери, затруднява работата на същите, тъй като внезапното обрушване на откоса довежда до възникване на механични аварии на работния орган на багерите. При значителна височина на откривното стъпало, свлечената откривка достига до ходовата част на роторния багер и ограничава възможността му за маневриране. В случай на неблагоприятни климатични условия, разуплътнените свлечени маси поемат вода и полепват по работните органи на багера, което намалява производителността му, а едновременно с тези процеси се нарушава устойчивостта на откривните и добивните стъпала. Върху големината на коефициента на устойчивост влияят много фактори, като строежът и спецификата на литоложките разновидности; неправилно подбрани якостни и деформационни свойства на седиментите в масива; изборът на потенциална плъзгателна повърхнина; неправилно прилаганата изчислителна схема, която не отговаря на механизма на деформиране; скоростта и посоката на развитие на минните работи; развитието на деформационния процес във времето.

Съвременните инженерни методи за изчисляване на устойчивостта на откосите се основават на теорията на граничното равновесие. От нея следва, че докато свличащите сили не превишат съпротивителните сили, откосът ще бъде в състояние на равновесие. При превишаване на свличащите сили над съпротивителните, започва изразен деформационен процес. При изчисляване на устойчивостта на откосите се използва детерминиран подход. Всички изчислителни показатели геотехническите параметри (обемна плътност, обемно тегло, ъгъл на вътрешно триене, кохезия, якост на натиск и опън) се приемат като детерминирани параметри за дълъг период от време. В



действителност релефът, мощността и якостните показатели на литоложките разновидности се изменят непрекъснато във времето и пространството, което води до промяна на геометричните параметри на откосите и технологичните площадки на стъпалата на бордовете на рудника.

За осигуряване на безопасна и ефективна работа на минната механизация при разработването на находището основно значение има устойчивостта на откоса на стъпалото. От досегашните изследвания се налага извода, че условията на рудник "Трояново-3" оптималната височина на стъпалото варира от 15 m до 18 m, при което се осигурява безопасна и ефективна работа на ТМО.

Стабилитетните изчисления и оценката на устойчивостта на откривните стъпала в Източномаришките открити рудници се извършва по метода на Фисенко чрез алгебрично сумиране на силите (Георгиев, 1981). При този метод се определя съотношението между удържащите и срязващите сили по плъзгателната повърхнина при зададени височина и наклон на откоса и чрез промяна на посочените параметри се търси исканото съотношение на силите. Коефициентът на устойчивост, изчислен по резултатите от решаване на т. нар. равнинна задача по отделни профили, напречни на борда, не може да даде цялостна представа за интегралната устойчивост на откоса. Това може да се определи след решаване на т. нар. обемна задача за изменение на устойчивостта на борда при провеждане на технологични мероприятия при минната дейност.



Фиг. 1. Зависимост между съпротивлението на срязване и деформациите при изпитване на глини а) едноплоскостен апарат б) триаксиален апарат

Изпитванията в триаксиален, както и в едноплоскостен срязващ апарат показват, че след достигане на определени, наричани пределни, или критични деформации, съпротивлението на срязване при постоянна скорост на деформиране се понижава сравнително бързо и достига до една почти постоянна скорост, определена като остатъчна якост. Намалението на това съпротивление се дължи на разрушаването на невъзстановимите структурни връзки и на определена преориентация на отделните частици в зоната на деформиране, както и на промени в състоянието на глините в посочената зона. Намалението на съпротивлението при срязване в едноплоскостен апарат с лостово подаване на срязващите напрежения обуславя чувствителното нарастване на скоростта на деформиране. Моментът на настъпване на рязкото увеличение на скоростта на деформиране при тези апарати се приема като критерий за определяне на пределните (критичните) деформации, което е значително по-неточно, отколкото в апаратите с контролирана скорост на деформиране. Освен това изпитването на скалите в посочените плоскостни апарати не позволява определянето на необходимото за еднакви скорости на деформиране съпротивление при различни стойности на деформациите. Това има съществено значение за оценката на якостта на масива. Деформирането на еднороден откос става по траектория с най-малко съпротивление на срязване. За намиране на потенциалната плъзгателна повърхнина, която съответства на условието, че на границата на две среди настъпва промяна в



посоката й, се изчислява дълбочината на площадките на срязване и широчината на призмата на обрушване.

Построяването на плъзгателната повърхнина се извършва по следния начин:

- Определя се височината на вертикалното откъсване по условието, че елементарните площадки на срязване възникват при напрежения σ<sub>1</sub> не по-малки от

$$\sigma_1 = \sigma_0 = 2 * c * ctg \epsilon$$
 (1)

където:

с - кохезия на скалите, [МРа]

- ф ъгъл на вътрешно триене, [deg]
- ε ъгъл между направлението на най-голямото главно напрежение и елементарните площадки на срязване, [deg]

$$\varepsilon = 45 - \frac{\varphi}{2} \tag{2}$$

В масиви на еднороден откос площадките на срязване възникват на дълбочина

$$H_{90} = \frac{\sigma_0}{\gamma} = \frac{2 * c}{\gamma} * ctg(45 - \frac{\phi}{2})$$
(3)

Намира се широчината на призмата на обрушване по горната площадка на откоса

$$a = \frac{2 * H * [1 - ctg\alpha * tg(\frac{\alpha + \phi}{2})] - 2 * H_{90}}{ctg(45 - \frac{\phi}{2}) + tg(\frac{\alpha + \phi}{2})}$$
(4)

където:

Н<sub>90</sub> - дълбочина на възникване на площадките на срязване, [m]

- а широчина на призмата на обрушване, [m]
- Н височината на откоса, [m]

α - ъгъл на откоса, [deg]

При определяне на най-опасната потенциална плъзгателна повърхнина в стъпалото трябва да бъдат отчетени фактическите стойности на технологичните параметри - ъгъл на откоса ( $\alpha$ ) височината на откоса (H), получени в резултат на провеждането на минните работи. Най-важен фактор, влияещ върху осигуряването на безопасен транспорт, е разположението на транспортните комуникации и трасета по отношение на горния ръб на откоса на стъпалото, върху което е разположено транспортното съоръжение и долния ръб на откоса на горележащото стъпало. В първият случай е възможно трасето на транспортните комуникации и минни съоръжения да попаднат в зоната на потенциалната призма на деформиране, а във втория - при динамичното, или статично натоварване може да се предизвика обрушване на горното стъпало и затрудняван, или невъзможност за водене на минно-добивна дейност.

Първи откривен хоризонт в рудник "Трояново-3" заема важно място в структурата на откривния комплекс. Той е пряко свързан с нормалната работа на участък "Добив", тъй като е разположен непосредствено над въглищния комплекс. Изоставането на откривните работи на този хоризонт води



до "подпиране" на фронта на добивните работи, като по този начин не се осигуряват заходки по въглища с нормални технологични параметри. Характерно за този хоризонт е, че той е изграден от три литоложки разновидности (от дълбочина към повърхността) - черни глини с две некондиционни въглищни прослойки (първи въглищен пласт), черни и сивочерни органични глини и синьозелени, мрежовидно напукани глини. Сивочерните глини се характеризират с ниска степен на структурираност. ниска чувствителност и високо водно съдържание. Над втори въглищен пласт, в интервала средно от 5 до 1 m, изграден предимно от сивочерни глини и маломощни въглищни пачки, заляга първи въглищен пласт, неиздържан по площ и мощност и с високо пепелно съдържание. Над него следват сивочерни и синьозелени мазни глини. Последната прослойка от сивочерни глини е условната граница между въгленосния и надвъглищния хоризонт. Въглищните глини (глини в въглищни включения) се срещат най-често в горнището и долнището на въглищните пластове. Глинестата компонента в тях показва полимерен състав - илит, монтморилонит и каолинит. По цвят тази компонента е сиво-черна и включва различно количество въглищни фрагменти. Средното пепелно съдържание (пепел сухо състояние) на тези глини е около 65 %. Глинестите прослойки са представени от черна глина с малко количество въглищни фрагменти. Пепелното им съдържание надвишава 75 %. Под въздействие на процесите на литификация и тектоногенеза, съставляващите въгленосния и хоризонт и надвъглищния комплекс са ва различна степен и по различен начин напукани. Влияние върху характера на напукаността им оказва не само техния състав, но и ролята им в подложения на деформационни процеси околен масив.

Черните и сивочерните органични глини от надвъглищния комплекс се характеризират с ниска степен на структурираност и високо водно съдържание. При такива условия пълната (върхова) якост при вибрационни натоварвания е по-висока от тази при статичните натоварвания. Това се обуславя от едновременното действие на процесите на структурно и тиксотропно уплътняване и на филтрационна консолидация при динамичния режим. Ефектът е по-слабо изразен при остатъчната якост. В този случай изборът на параметри за стабилитетни изчисления зависи в по-голяма степен от структурните дефекти (мобилизация на остатъчната якост) и от по-високото водно съдържания, отколкото от динамичния ефект.

Ефектът на динамично натоварване от работа на минното оборудване е по-добре изразен и с много по-висока степен на неблагоприятно влияние върху устойчивостта на откосите на стъпалата. Динамичният процес се ускорява допълнително при провеждането на пробивно-взривни работи.

От технологична гледна точка за осигуряване на безопасни условия за работа на тежкото минно оборудване, помощната механизация и линейните съоръжения, разположени на технологичните площадки на стъпалата на работния борд на рудника, е необходимо:

- Определяне на динамични ефект на структурно разрушаване и намаляване якостта на различните глинести разновидности от терциерния надвъглищен комплекс. Най-голям ефект на понижаването и се установява в структурираните глини.

- Изборът на изчислителните параметри да се основава на най-неблагоприятните условия за работа в литоложките разновидности на стъпалата, свързани в най-голяма степен с динамичния ефект. Определянето на широчината на призмата на вероятното (възможно) обрушване се осъществява с методи, които се базират на два основни принципа - определяне на най-опасната повърхнина на свличане и построяване на група от криволинейни повърхнини на свличане, които се изразяват с различни математически зависимости.

Коефициентът на устойчивост при определяне на съответната хлъзгателна повърхнина се получава при съществуващите геометрични параметри на стъпалото (ъгъл и височина на откоса). Ако при конкретно стабилитетно изчисление се получи коефициент F<sub>s</sub> < 1, т.е. съществуват условия за нарушаване на равновесното състояние, се налага промяна на геометричните параметри.

Изчислителните показатели на якостните свойства на срязване в масива на глинестопесъчливите разновидности са представени в Табл. 1.



Табл. 1

Литоложка разновидност	Обемна плътност	Обемно тегло	При схема с призми на активен и пасивен натиск		За откосите на отделните откривни стъпала	
			кохезия	ъгъл на вътр. триене	кохезия	ъгъл на вътр. триене
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[ĸN/m³]	[MPa]	[deg]	[MPa]	[deg]
Глинесто-песъчлива свита на надвъглищния хоризонт	1,90	18,6	0,047	7	0,06	7

За определяне на дълбочината на възникване на площадките на срязване използваме показателите от Табл. 1 и от формула (3) получаваме H<sub>90</sub> = 5,70 m.

На Фиг. 2 е показан осреднения литоложки профил на първи разкривен хоризонт и елементите на най-напрегнатата плъзгателна повърхнина на откоса на стъпалото - дълбочина на възникване на площадките на срязване (Н<sub>90</sub>) и широчина на призмата на обрушване (а).



Фиг. 2. Първи откривен хоризонт в рудник "Трояново-З"

В Табл. 2 са показани различните широчини на призмата на обрушване при промяна на височината и ъгъла на откоса на стъпалото.

Табл. 2

H = 15 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	2,45	2,95	3,45	3,98	4,54	5,15	5,81	
H = 16 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	3,09	3,60	4,12	4,67	5,26	5,89	6,57	
H = 17 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	3,72	4,25	4,79	5,36	5,97	6,62	7,34	



H = 18 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	4,35	4,90	5,46	6,05	6,68	7,36	8,11	
H = 19 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	4,98	5,55	6,13	6,74	7,39	8,10	8,88	
H = 20 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	5,62	6,20	6,80	7,43	8,10	8,84	9,64	
H = 21 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	6,25	6,85	7,47	8,12	8,82	9,58	10,41	
H = 22 m								
α	45	50	55	60	65	70	75	
а	6,88	7,50	8,14	8,81	9,53	10,31	11,18	

#### Изводи:

1. При определяне на най-опасната потенциална повърхнина на свличане трябва да бъдат отчетени стойностите на технологичните параметри на стъпалото (височината и ъгъла на откоса), получени в резултат на минните дейности.

2. Негативното влияние на неблагоприятните свойства на литоложките разновидности и на динамичното въздействие на съоръженията, разположени на технологичните площадки върху устойчивостта на откосите работните стъпала при съществуващата технология на работа

3. Най-важният фактор, влияещ върху осигуряването на безопасен транспорт, е разположението на трасетата и комуникациите по отношение на горния ръб на откоса на стъпалото, върху чиято площадка са разположени и долния ръб на откоса на горележащото стъпало.

4. За гарантиране на безопасната експлоатация и осигуряване на надеждност при изпълнение на производствената дейност е необходимо площадките и откосите на стъпалата, на които са разположени тежкото минно оборудване, помощната механизация и линейни съоръжения, да бъдат оразмерени срещу деформации.

#### Използвана литература

- 1. Георгиев, Г. и кол., 1981, Методическо ръководство за стабилитетни изчисления на работни, подсипвани и неподсипвани неработни бордове и откоси на насипищата на рудниците в Източномаришкия басейн.
- 2. Иванов, И., П. Гечев, 1965, Върху устойчивостта на откосите в откритите рудници на Източномаришкия лигнитен басейн.
- 3. Златанов, П., 1981, Опростен метод за построяване на потенциална повърхнина на плъзгане в еднороден откос.
- 4. Фисенко, Г., 1965, Устойчивост бортов, карьеров и отвалов.



# THE FEATURE OF THE REVITALIZATION AND LAND-RECLAMATION WITH SELECTIVE DUMPING IS REDUCED TO SEPARATING THE FERTILE SOIL WHEN CARRYING OUT THE OVERBURDEN MINING AND ITS SPREADING OVER THE SURFACE OF ALREADY DEPOSITED WASTE MASS

#### <sup>1</sup> Sasa Ilic

#### <sup>1</sup> Faculty of Mining and Geology, 11000 Belgrade, Serbia; E-mail: sasa.ilic@rgf.bg.ac.rs

#### ABSTRACT

This period is characterized by the minimization of income, lack of investments, followed by deteriorated work conditions, and accordingly, significant decrease in reliability of work and availability of capital mining equipment, as well as the reduced and delayed overhaul.

*Keywords*: Land-reclamation, Kolubara and Kostolac basin, selective mining of solum, bucket wheel excavator.

#### INTRODUCTION

Land-reclamation, from the general point of view, covers the renewed establishment of plant communities (vegetation) over the surfaces remaining after coal exploitation. Land-reclamation may be carried out periodically (discontinuously) or continually through following the mining activities. Under EPIS conditions it has discontinuously been carried out.

Mostly, it is impossible and not required that by land-reclamation process the area be restored identically to the previous status prevailing before coal exploitation. The selected method of land post-utilization must fulfil the requirements of local inhabitants, the needs of natural environments, the properties of the newly-formed land, post-exploitation stratigraphy and costs, namely the cost price. To achieve all the above mentioned, the following should clearly be defined:

- Preservation strategy, either of integration or of partial type? Partial preservation strategy prevails worldwide, resulting in estimates of priority areas for preservation of species and natural environments.
- Within the areas where the restoration for protection of nature would be carried out, the main targets should clearly be defined, whether being either preservation of the natural process or preservation of species (biodiversity)
- As concerns the areas not classified into the priority category, the solutions of co-existence of land recovery and its preservation should be found out.

Apart from the regulations, the important factor for a successful land-reclamation represents both the ownership and the way of financing. Expropriation of land (predominantly of the agricultural soil in the Kolubara and Kostolac basin) purchased from the farmers should be reclaimed for agricultural purposes and change with farmers on the occasion of new expropriations for further development of open pit mines. The social lands, the lands in the vicinity of settlements, should be used, apart from agricultural purposes, for forests, parks, recreation complexes, animals and plants environments, for industrial capacities, residential building, sports fields and similar.

The owner of the entire degraded land is EPIS. For the two main reasons, financing of the works of reclamation, should be partially carried out from the public sources, as well. The primary reason being that the national feasibility, namely general well-being, is that over almost 9,000 hectares (so far) of degraded land by the surface exploitation, natural and economic-production functions be returned. The second one being of a moral attitude, representing the deserved reduction of the EPIS costs for rehabilitation of the exploited space, as the EPIS over decades allocated and is allocating large funds to the state budget on the account of legal obligations "on payment of indemnity for changes of the purpose of agricultural soil utilization.



Establishing of a good vegetation cover is conditioned by chemical properties of the soil, by texture, structure and compactness, by the medium for sprouting and growing of plants, good approach to the water and drainage. Providing a favourable environment for the root system represents a key point of a successful reclamation. The layer of a natural fertile land over the surface (solum), renders wider possibilities for reclamation option and successful land-reclamation. The worst alternative represents the impossibility that a layer of original fertile soil (O and A horizon) be preserved.

In such cases, the success of land-reclamation is limited. Selective mining and dumping of the layer of fertile soil represents the best solution and guarantee of a successful land-reclamation, as well.

The above stated completely explains (support) the necessity, urgency and importance of preparing of this Study, and indicates that the problems concerning the selected excavation and dumping of overburden along the coal open pit mines in EPIS, land-reclamation, revitalization and spatial arrangement of the soil of exploitation fields, should be in a function of a feedback and the observed multidisciplinarity.

The complexity and demanding tasks of this Study conditioned the multidisciplinary structure of the professional team, being composed of 24 experts from the various scientific fields: mining, geology, agriculture, forestry, spatial arrangement, landscape architecture, melioration techniques, protection against erosion, pedology, economy, estimation of risk and computer science.

Along with the experts from the Engineering Academy of Serbia and Montenegro, the experts from the Faculty of Agriculture, the Faculty of Forestry and the Faculty of Mining and Geology, the Institute of Forestry in Belgrade and the Electric Power Industry of Serbia, also took part during the research works.

All the stated tasks have been completely achieved as per the contents and structure of the Study and are fully given in the Program of the same.

#### PAST TECHNOLOGY OF OVERBURDEN AND COAL MINING

Production of coal represents one of the two most predominant production activities of EPIS. In the total production of electric power energy (capacity 7,066MW) 55.7(%) (or 3,936 MW) accounts for lignite. Out of the total number of the 52,000 employed in EPIS, about 25,000 is engaged in coal production. At the beginning of the 1990s, along with the imposing the sanctions within the country, the coal production at open pit mines decreased from 35 to either 28 or 30 million tons per year. This period is characterized by the minimization of income, lack of investments, followed by deteriorated work conditions, and accordingly, significant decrease in reliability of work and availability of capital mining equipment, as well as the reduced and delayed overhaul. Due to the lack of money resources, the required expropriation is not carried out and land-reclamation of the degraded surfaces is almost completely suspended. The heat values of exploited coal reserves in these two basins amounts to 19.829x10<sup>15</sup>(kJ). being the equivalent to the heat from 483.42x10<sup>6</sup>(t) crude oil.

Coal exploitation, mining, conveyance and dumping of overburden at open pits is carried out by continuous technology. The common characteristic of the applied work technologies at open pit coal mines of the Kolubara and Kostolac coal basin, is that the same have not been designed for selective mining and dumping of overburden.

From the point of view of the target aim of the subject Study, this fact opens a large and demanding engineering problem of analysis and estimation of selective mining and dumping overburden feasibility. Selective mining and dumping of overburden of heteregoneous lithological composition has conflict-multicriterion dimensions where effects of possible solutions should be considered through the problem of land-reclamation and revitalization of the spaces exposed to exploitation works and cost-profit analysis.

#### PAST BIOLOGICAL LAND-RECLAMATION AT OPEN PIT MINE AREAS

**Land-reclamation at open pit mines in the MB of Kolubara**: At open pit mines of the MB Kolubara, the land surface under waste dumps is 3,580.5(ha) and 1,150.8(ha) or 32.14(%) is land-reclaimed. The Table 3.1.1. gives a specified structure of occupied and land-reclaimed surfaces per open pit mines. Out of total land-reclaimed surfaces, the share of forests is 870(ha) or 76(%), the share of fields and plough-fields is 241.9(ha) or 21(%), the share of orchards is 16.7(ha) or 1.5(%) and arboretums, the share of classified under agricultural



land-reclamation with horticultural parks is 22.2(ha) or 1.5(%), namely 24(%) accounts for agricultural land-reclamation. Such a relation between agricultural and forest land-reclamation has, in some way, an explanation, should the fact be take into account that the forest eco-systems are of the largest importance for protection and maintenance health of the living environment, without which the ecological balance in nature could not be imagined.

Land-reclamation at open pit mines within the Kostolac basin: The initial works on land-reclamation started in 1970 at the open pit mine of "Klenovnik". Since 1980, the technical land-reclamation-arrangement of waste dumps has started. The deposited dump soils at the waste dumps of Kostolac basin are stretched over about 1,435 (ha), the biological land-reclamation covers 32.2(%), all in all not being sufficient as regards the necessity for restauration of vegetation eco-systems, landscapes as well as the protection of living environment, protection of settlements located in the near vicinity of open pit mines and thermo electric power plants, and the surrounding environment of the same.

As regards the structure of surfaces where the biological land-reclamation was carried out, the forest land-reclamation covers 318(ha) or 68.5(%), agricultural land-reclamation covers 144(ha) or 31.5(%), namely crops share is 31(%), while the orchards account for 0.5(%).

#### POSSIBLE TECHNOLOGICAL PROCEDURES OF SELECTIVE MINING OF SOLUM OR ITS PART FROM OVERBURDEN

Land-reclamation of waste dumps of the Kolubara and Kostolac open pit mines represents a set of works at the waste dump surfaces by which the deposited masses are prepared as the soil suitable for returning to the original natural functions aimed for agricultural development, forestry and other useful purposes. In order to make land-reclamation a successful one, the same should meet the functional and economical requirements (criteria), should be technically and biologically feasible with the aim to arrange the surface and create multiple purposes soils.

For economic and technical reasons, the technical land-reclamation in principle, should be adjusted with mine works at open pit mines, namely it should be carried out simultaneously with the mining and dumping of overburden works. Technical land-reclamation with selective mining, conveyance and covering of fertile soil (solum) at the final waste dump surfaces might be carried out:

- **Unified** (simultaneous) with the technological process of mining, conveyance and dumping of overburden from the highest pit level,
- **Separated** (individual) from the technological process of mining the overburden at the open pit mine. Mining of fertile soil (solum) is carried out separately in front of the system for overburden mining at the highest open pit level, as well as the conveyance of fertile soil from the open pit mine to the waste dump and dumping.

**Unified selective mining, conveyance and dumping of solum** incorporates utilization of available ECS system equipment running at the top level of the open pit mine. Bucket wheel excavator running at the top level (under terrain surface) in the height block selectively mines the solum. In the first cut of the height block, with the cut height equivalent to the thickness of solum, the excavator mines the fertile soil, that further on is conveyed by the existing conveyors up to the spreader at the waste dump. The spreader deposits the solum mass over the top part of the dumping mass thus forming the surface with fertile soil required for biological land-reclamation. Upon completion of one cycle of bucket wheel excavator mining of solum (deep down to the full cut depth), the excavator continues with mining of the remaining part of overburden in the height block. The spreader deposits those masses in the height block at the dump, representing a basis for the next solum laying.

#### CONCLUSION

The model of unified manner of working of ECS system with selective mining of fertile soil in function of waste dump land-reclamation consists of: The bench of bucket wheel excavator running at the open pit directly below the terrain surface, should be divided vertically so that the first cut excavates only the fertile soil, while the other



cuts excavate the waste being below the fertile soil. In relation to the technological scheme of non-selective mining, this scheme differs in change of the bench height also. Significantly lower thickness of the fertile soil, compared to the diameter of the working wheel of the bucket wheel excavator, causes the height of the first cut to be lower than the optimum one. The block height of the bucket wheel excavator with selective mining of fertile soil is reduced between 5 and 10(%), depending on the working wheel. All other technological characteristics of the excavated block remain unchanged. By reducing the height of the first cut to the thickness of the fertile soil, the capacities of the bucket wheel excavator are also reduced. The analysis shows that the entire capacity of the bucker wheel excavator in the height block, during selective mining of the fertile soil, is reduced between 5 and 20(%). With conveyance during the selective mining of the fertile soil, no changes occur, except the reduced utilization of the installed capacity in the phase of solum mining, that otherwise reduces the entire capacity efficiency of the ECS system by the same percentage appearing with the bucket wheel excavator. Technological running scheme of the spreader that selectively dumps the fertile soil and waste differs in relation to the scheme of non-selective overburden mining. The height block of spreader remains unchanged according to the height. The width of the block is reduced in order to provide for the smooth conveyance of the spreader in the phase of the fertile soil spreading. The length of the spreader block (for one cycle of the bucket wheel excavator) is longer and is also in function of decreasing the block width.

Determining the dimensions of the spreader block should be grounded on the equalizing the volume of the mining block and dumping block, taking into consideration the coefficient of loosening, mass quantity of the fertile soil and waste, as well as the condition that the spreader might smoothly lay the fertile soil over the waste. The dumping process is carried out in two phases. In the first phase a block from waste is formed being excavated by the excavator below the fertile soil. When the bucket wheel excavator started cutting the fertile soil, the spreader moves along previously formed waste block and continuously spreads the fertile soil over it.

#### LITERATURE

- [1] Studija "Izbor otkopno-transportno-odlagališne opreme pri selektivnom otkopavanju ugljenih serija, Mining and Geology University of Belgrade, 2010.
- [2] Vujiü, S. i dr. (2008) Projektovanje rekultivacije i uredjenja predela površinskih kopova, monografija.



## A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE QUARRYING DIRECTION AND THE ORIENTATION OF ROCK DISCONTINUITIES FOR THE "KAZANITE-1" QUARRY

#### Assist. Prof. Dimitar Kaykov, University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", dimitar.kaykov@mgu.bg M. Eng. Nadezhda Stoycheva, University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", nandy\_f@abv.bg

#### ABSTRACT

Based on the obtained results from studying the discontinuities of the rock mass for the "Kazanite-1" rhyolite quarry, a block model is created which reflects the orientation of joint planes. The block model serves a basis for the investigation of an optimal quarrying direction which ensures a maximum value of the yield. For the purpose, the block model approach is based on a predefined cutting pattern. Apart from the different quarrying direction, different origin points for the block models have been considered and their influence on the yield has been studied.

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАВИСИМОСТТА МЕЖДУ ПАРАМЕТРИТЕ НА СИСТЕМАТА НА РАЗРАБОТВАНЕ И ЕСТЕСТВЕНАТА ПРЕКЪСНАТОСТ НА МАСИВА В КАРИЕРА "КАЗАНИТЕ-1"

#### Димитър Кайков, Надежда Стойчева

#### РЕЗЮМЕ

Въз основа на получените резултати от различни методи за изследване прекъснатостта на масива в кариера "Казаните-1" за добив на риолит е създаден структурен блоков модел на геоложките запаси. На негова база са изследвани най-подходящите параметри на системата на разработване за находището. Целта на получения структурен блоков модел е да се определи оптималната посока на развитие на минните работи на база увеличаване на рандемана на кариерата.

#### Introduction

The yield of extraction of stone blocks is one of the main metrics used for obtaining a quantifiable measurement of how efficient a quarrying operation is. It is highly depended on two groups of factors: natural and artificial (I. Koprev, 2016). Natural factors include the naturally occurring discontinuities in the rock mass, ornamental properties of the rock as well as the orientation of crystals in the structure of the rock. Discontinuities, as one of the most frequently occurring phenomenon, unavoidably cause the rock to fracture in the pre-existing orientation of the naturally occurring joints and discontinuities. This leads to the extraction of dimension stone blocks with irregular shapes which do not necessarily coincide with the desired predefined shape of the stone block. Furthermore, the artificial factors include the choice of design parameters of the quarry, the established quarrying direction, the cutting pattern for obtaining stone blocks, as well as the technology utilised for cutting and extracting stone blocks. However, the orientation of the guarrying direction, as well as the cutting pattern are one of the main reasons why certain guarries achieve a higher yield. The best course of action is to align the guarrying direction to the orientation of joint sets (families), but in some cases the exact direction is not entirely evident. Therefore, numerical methods are mandatory for the estimation of an optimal guarrying direction for the purpose of maximising the yield. However, it should be pointed out that the yield is not the only metric used to estimate the efficiency of the guarrying operation. M. Elkarmoty et al. (2020) point out that the result of the optimisation problem of estimating the best quarrying direction can differ in the cases where a maximum yield is obtained, compared to the solution with a maximum revenue. Nonetheless, this study utilises the yield as a key performance parameter for the efficiency of the guarrying operation, depending on different scenarios of possible guarrying directions.



#### Studied quarry

"Kazanite-1" is a rhyolite quarry which is situated on the Northern slope of Central Rhodopes Mountain, in the region of the Debrashtitsa village (Pazardzhik Province). The rhyolites are dated from the Oligocene and are characterized as massive with a spheroidal weathering and fluidal texture. The colour of the rhyolite is light pink to greyish pink. The main rock-forming minerals are potassium feldspar, quartz, biotite amphibole, while the secondary minerals include apatite. The rock's density is 2.6 ÷ 2.62 t/m<sup>3</sup>. Compared to other igneous rocks such as granites, sienites and diabase, the rhyolites have a relatively lower compressive strength. This is due to their chemical and mineral composition, as well as their structural and texture features. Their compressive strength for the studied conditions vary in the interval between 97 and 175 MPa. In terms of production, it has been established that the "Kazanite-1" quarry is situated in an area of a discontinued rock massif of collapsed rhyolite boulders with a varying size. However, the deposit's reserves are categorized as suitable for the extraction of dimension stones for construction purposes.

#### Extraction process

The primary extraction of rhyolitic blocks is performed manually by stone wedges and after the block is separated from the slope, an excavator is used for the separation of the block. Despite the fact, that utilizing an excavator for this purpose may prove to be a sub-optimal solution due to the deriving losses of stone, the overall yield of the quarry is relatively low and varies for the different sectors of the quarry. Furthermore, the accessibility to the guarry is hindered by the poor guality of forestry roads and meteorological conditions. On a national scale, these conditions are similar to other rhyolite guarries, which lead to the utilisation of a cheap extraction technology for the remaining period of exploitation. It is widely known regarding dimension stone extraction that the use of diamond wire cutters or saw cutters lead to lower revenues for smaller dimensions of the extracted block. Therefore, they are more suitable for quarries which have higher productivity as well as higher volumes of extracted blocks. Even though many rhyolite guarries were unable to maintain an economic suitability of their operations, "Kazanite-1" has undertaken different approaches to optimise the guarrying operation in terms of the utilised technology for extraction, but also in the short-term planning of the quarrying direction as well. One of the cheaper ways of extracting dimension blocks is the controlled use of expanding chemical compositions. Compared to blasting the use of expanding compositions is not effective in softer rock formations, however it could be used effectively in marble, breccia, granite and other harder rock types. The utilised drillholes are with a diameter of 32 ÷ 55 mm. It has been previously established that the use of a smaller diameter does not improve the volume expansion of the composition. Furthermore, it is not substantial for maintaining consistent cracks between drillholes. The utilised spacing between drillholes is 100 ÷ 400 mm and 400 ÷ 600 mm between the first drillhole and the free face. In most cases the length of the drillholes varies between 2/3 and 3/4 of the bench height and on rare occasions it reaches the full height of the bench. The height of the blocks is relatively small (2.5 ÷ 3 m), compared to other quarries. Due to the varying depth of the overburden, in some cases the height of the fresh rhyolite rock may assume greater values. In such cases the stone blocks are extracted at two sub-levels of the bench. The time for the chemical composition to fully separate the stone block from the bench is between 15 and 72 hours depending on the brand of the expanding mixture, the hardness of rocks, as well as the temperature. The time of expansion can be further optimised given that the spacing between drillholes is reduced. However, this scenario leads to reduced overall productivity, as well as the increase of operational costs. Furthermore, the extraction of stone blocks can be improved by the presence of horizontal drillholes which are not filled with the chemical composition.

#### Numerical models in the extraction of dimension stone blocks and quarrying operations

Regarding the problem of estimating the yield of the quarry or the volume of in-situ blocks, there are numerous papers focusing on different aspects of optimising the quarrying operation in terms of estimating an optimal quarrying direction and cutting pattern but only recently have the approaches based on numerical methods emerged.

Previous experience in the field of quarrying in Bulgaria have used joint sets analysis for the estimation of the boundaries of the zone suitable for quarrying, as well as failing wedge analysis for the estimation of a suitable bench height (I. Koprev, E. Aleksandrova, 2008). Experimental studies in the "Mizia" limestone quarry have



identified the linear yield of the quarry by using data from drill cores. Furthermore, different scenarios for the bench height have been established which have been compared by calculating the linear yield coefficient (I. Koprev, E. Aleksandrova, 2018). As easy for implementation these methods may be, they do not provide an answer to the main question of what the expected yield would be on a volumetric base, as well as the estimation of the actual direction of quarrying based on the volumetric yield ratio. Therefore, the use of numerical methods tends to be superior as they can directly quantify the yield given a certain quarrying direction and predefined cutting pattern of the blocks.

Previous studies on the same topic have used well-established algorithms and numerical models which provide a good level of understanding how the yield of regular shaped stone blocks is affected by the dimensions of the desired block as well as the direction of cutting.

A viable numerical method (3D-BlockExpert) is presented by S. Mosch et al. (2011). The purpose of their model is to evaluate the volume of unfractured blocks given an already established data set of the occurring joint planes. The body is split into identically sized cells or voxels (volumetric pixels) with a size of 12.5 cm. It assumes the same colour for multiple voxels depending on a numerical procedure to them, which collectively forms an individual in-situ block. After modelling the tessellation, the volume of each block is computed by the sum of the voxels' volumes. The model is a viable instrument and is used to this day. The 3D-BlockExpert software was successfully implemented in quarries in Germany and Spain in different lithologies in such as sandstones, limestones, slate and granites (Schneider-Löbens et al, 2022).

M. Fernández-de Arriba et al. (2012) described a custom computer program which serves as a tool for estimating the best direction for cutting. The input of the program requires the dip angle, dip direction and the spacing between joint sets (families), as well as the pattern of the cuts. The program automatically makes calculations for different scenarios of the orientation of the cuts and obtains the maximum yield value. The same approach can be used for bigger and smaller sized of the stone blocks as well as a different size of the predefined volume boundary. However, the authors understand that this approach requires a deep understanding of the geotechnical state of the quarry, as the spacing may vary between families.

R. Yarahmadi et al. (2018) have utilised a similar approach to ones of S. Mosch et al. (2011) and M. Fernández-de Arriba et al. (2012) regarding the use of in-situ blocks. However, the extracted stone blocks are classified in 4 groups depending on their volume and shape (best guality, good guality, medium guality and waste blocks). Nonetheless, they also measured the orientation of individual joints and have established a structural model where the volume and shape factor of each in-situ block is calculated. By obtaining the number of blocks per category, depending on the guarrying direction, the best solution out of the considered cases is identified, based on the total volume of non-waste blocks. In a similar fashion to the one utilised by M. Fernández-de Arriba et al. (2012), M. Elkarmoty et al. (2020), have applied a division of the extracted block shape into separate slabs. However, this approach is more practical due to the inclusion of individual joints and fracture, obtained by a geo-penetrating radar (GPR) (M. Elkarmoty et al., 2018). The same approach is also utilised by the same authors for a larger scale when studying the intersections of each joint plane with each extractable stone block. A simple, yet effective is their approach of using Boolean values representing intersected blocks by joint planes for a model. In a similar fashion to M. Elkarmoty et al. (2020), E. Sirin et al. (2021) demonstrated a custom model in their paper which resembles a block model, similar to the one used in ore mining operations. Similarly, the input variables include the desired size of the extracted blocks, as well as the joint planes. Therefore, this approach proves to be very perspective due to the easy way of automated calculation of the total volume of the reserves and the volume of the non-intersected blocks to gain the value of the yield.

#### Assumed methodology

In this study it was assumed that the optimisation problem is solved by maximising the yield of a predefined cutting pattern: 1,5m length, 1m width and 3m height. The problem is simplified for calculating the yield only for Class 1 stone blocks, which preserve the predefined shape of the stone block. Therefore, the assumptions marginalised the problem for the block model approach to be easily utilised in a custom manner in order to obtain an optimal solution for the quarrying direction.



The block model is a simplified representation of the spatial occurrence of certain types of reserves and waste rock types. It is a computer-aided approach, where certain irregular volumetric shapes can be represented and approximated by computer generated blocks with regular shapes. The purpose of the blocks is to represent a small volume of the rock mass below the surface, which also store data of certain features of interest, which are utilised by geologists or mining engineers. This approach is widely used for ores, representing the grade or percentage of metal contents, rock type attributes, etc. The blocks of such a model can be interpreted as cells in a 3D coordinate system (XYZ), as a block model can be established by blocks with different shapes (www.deswik.com). In order to define a block model a prototype is built which defines a part of the 3D space used for the block model itself. The "prototype" requires three types of parameter values in order to place it in a global coordinate system: coordinates of the starting point (also known as "origin"), rotation angle for X, Y and Z and values for the size of the block. When working with irregular shapes, subdivision of the original predefined size of the blocks is required in order to obtain a good fit of them. Usually, sub-cells are stored independently of their parent blocks and therefore their volumetric values vary depending on their size (increment values). Depending on the method used for subdivision, two approaches are widely used: Octree and flexible subdivision. For this case study the flexible subdivision is used, as each dimension of the stone block deriving from the assumed cutting pattern (1,5 x 1 x 3 m) is divided to a minimum of 10 x 10 x 10 cm blocks, similar to the approach used by S. Mosch et al. (2011). In terms of the application of the block modelling approach for this case, one additional variable must be assumed for the block model - a Boolean value indicating whether a certain block's volume is equal to the nominal block's volume. This is another way of introducing joint planes in the problem by avoiding a check whether the block is intersected by one, but rather by building the model by filling a number of solids, which represent the in-situ blocks. Furthermore, apart from the other authors' approaches, this study assumes that the position of the origin of the block model can affects the yield of stone blocks. Models of the of the mentioned authors assume the model's origin to be either the centre of regularly shaped block or the lower edges of the investigate volume. However, in the cases of irregularly shaped solids which represent the in-situ blocks, the choice of the origin point is not straightforward. This study proposes that each full-sized origin block (based on the cutting pattern) can be subdivided in a 3D mesh the nodes of which can be used as a starting point for the origin of the next iteration, given that the origin is outside the volume of the in-situ block (Figure 1).



Figure 1. Array of nodes (obtained from the stone block's dimensions) used a possible starting point for the "origin" block of the block model

As it can be observed from Figure 1, the filled points are the ones which can be used as a starting point of the origin. Theoretically, there is no limit to the number of nodes utilised for obtaining different scenarios of the different block models origin's positions apart from the number of iterations required for calculation. If the Z axis is disregarded for the purpose of obtaining alternative origin coordinates, the total number of iterations will be i x j, given that i and j are the number of nodes per row and column of the mesh array respectively. Therefore, the time complexity of such an approach can be assumed to be  $X^2$ , which would be computationally expensive for bigger stone blocks. For the sake of simplicity, in the current study we have assumed that the



step for the X axis is 0,375 m and for the Y axis 0,5 m. These values are approximate to the spacing of the drillholes used for splitting blocks and the distance between the first drillhole and the free face respectively. Therefore, we propose that the size of the mesh has to be related to the radius of the zone where the possible cracks can form when splitting the block. This assumption can be attributed to the difference in the number of blocks which can differ significantly given that the blocks are started to be cut with an offset from the bench slope. In addition, due to the spheroidal weathering of the rock mass, layers may tend to peel off the quarry's face. Therefore, the approach of using a non-stationary origin point of the block model is crucial for this operation. From a practical standpoint, this can be interpreted as the sensitivity of the quarrying direction whenever fracturing and stone block extraction does not occur as smoothly as planned.

#### <u>Results</u>

Based on a previous work of establishing an accurate 3D model of the slope of Bench 1 for the "Kazanite-1" quarry, a digital model of the slope was utilised for mapping the planes of the discontinuities (Figure 2).



Figure 2. Bench face of the studied area from the "Kazanite-1" rhyolite quarry and the observed joint planes, intersecting the face

The block model approach is suitable for utilisation in the cases of quarrying operation due to the good representativity it has regarding the regular shape of extractable dimension stones blocks. Furthermore, this approach can further be extended into transforming the geological block model into an economical model when applying certain values regarding the revenue each extractable block possesses in different scenarios regarding the utilised technology for extraction and transportation. For the purpose of this study, a geological block model is established for the area of interest of the quarry which is bounded by the reserves' boundary and a boundary drawn for the area of interest for the study. The block model is created as a preliminary study of the efficiency of the utilised technology for the available reserves of Bench 1 of the quarry, where they are not covered by overburden. For this study the irregular shape of the quarry's face has been simplified to match a smooth surface, based on the toe and crest of the bench in order to avoid the fitting of irregular sized block in the block model, matching the surface of the slope. The face angle was established to be 74°, which was maintained as an input simplified digital model of the reserves as shown in Figure 3.



Figure 3. Discontinuities of the studied area and division of the rock mass into extractable blocks (left). Optimal quarrying direction providing maximum yield of a predefined cutting pattern (right)



The assumption of this paper proves to be right, that the change in the location of the block model's origin can lead to different outcomes of the yield, as seen in Figure 4. The darker coloured blocks are the ones which have the maximum volume of the predefined stone block, while the lighter ones are intersected by a joint plane or have a lesser volume and therefore are of a lower class.



Figure 4. Possible difference in the yield depending on the position of the block model's origin

The presented cases follow a same quarrying direction and yet they provide different yields depending on the position of the "origin" block of the model. The lefthand results obtains a yield of 32% with a total of 18 extractable blocks, while the righthand case reaches a yield of 37.5% with a total of 21 extractable blocks. Therefore, this parameter must be considered at all times due to its crucial role for establishing the maximum value of the yield and therefore the optimal quarrying direction. All the considered scenarios were assumed in in a 180° range, where 0° is assumed to be an advance towards North, 90° - East and -90° - West. The quarry's face dip direction is 5° which lead to the investigation of two additional cases of continuing quarrying activities in the current direction or perpendicular to the current direction, as shown on Figure 5.



Relation between the quarrying direction and the yield of the predefined cutting pattern

Figure 5. Relation between the quarrying direction of the quarry and the yield of predefined stone blocks

At a certain extent rhyolites are considered to be the effusive equivalent if granites. However, rhyolites have a fine-grained structure with small crystals. Due to the specific nature of the rhyolite deposit, one should keep in mind that the orientation of the small crystals of the rhyolite structure, reflecting the flow of magma affect the splitting direction of stone blocks. The crystals are known to be formed depending on the velocity of the magma flow and the time of cooling off once the magma reaches the surface. In this particular case the formation is oriented to W-E which corresponds to -85° angle in the graph. It should be pointed out that this leads to the remainder of only two viable options for the quarrying direction: -85° (parallel to the orientation) and 5° (perpendicular to the orientation). Every other option may lead to an undpredictable lower values of the yield due to cutting in a direction different from the one suitable for splitting. Nonetheless, these results show how much the results can differ given that this approach is utilized in different conditions, where the orientation of crystals in the rhyolite structure and therefore the suitable splitting orientation is not an important factor for



other quarries. Disregarding the possible reduction of the yield in the other cases of possible quarrying directions, the probability distribution of the yield is present by the histogram in Figure 6.



Figure 6. Histogram representing the probability distribution the yield for the considered cases

This graph serves as an example of how different two operations can be, when knowledge about the orientation of joint sets or even individual joints can affect the overall result of dimension stones extraction. Given that the quarry operates with limited or no information, the expected level of the yield is between 23 and 33% (highest probability). This is due to the positive skewness of the established probability distribution of the yield from the generated cases of different cutting directions. Furthermore, when the quarry operates with a better level of understanding, the yield of stone blocks can be increased to 46%. Given that certain deviations occur during the extraction of stone blocks, the bench may assume a more irregular shape in the cases when the expanding mixtures induce cuts in an unforeseen direction, leading to the cutting of the stone block in an irregular shape. Furthermore, unexpected events can occur due to mistakes by the operators, which may also lead to unwanted outcomes. Therefore, the established case (Cutting direction: -85°) is more resilient to unexpected changes and therefore no change of the cutting direction would be required. A diagram is shown in Figure 7, showing that the best solution is also Pareto-optimal.



On an average level the yield of the quarry can be increased by 14.04 % from its current expected level, which is 47 % time higher. Therefore, the optimal quarrying direction can be assumed to be appropriate for short-term planning given the safety of operation is maintained.

#### **Conclusion**

From a practical standpoint, a quarrying operation may never acquire a full understanding of the structural state of the deposit. It has been established that certain microfractures occur in the massif. Therefore, certain deviations can be expected from the established block model. However, we assume that utilising this approach systematically after the extraction of a stone block and updating the database and the block model



with newly observed discontinuities, the estimation of the yield can be further précised. Furthermore, we assume that this approach can be further improved by including lower classes of blocks for the purpose of quantifying the volume of other potentially feasible blocks with sub-optimal sizes. However, the improved estimation of the yield from the volume of the irregularly shaped blocks would be a part of a future study.

In conclusion, the proposed method utilizes the powerful tools used in the creation of block models of irregularly shaped deposits. This approach proves to be as effective as previously established models for the purpose of estimating an optimal cutting direction in quarrying operations or for increasing the yield of slabs or tiles. An important addition to the already established models, is that several cases of the position of the block model's origin point coordinates have been considered in order to establish the highest estimate of the yield for a certain quarrying direction. The variance of the yield directly corresponds to the block model's origin for a given direction. The same variance also serves as a measurement of the risk of lowering the estimated yield due to unexpected events on an operational level, and therefore have to be quantified for improving the sustainability of the decision made. Last but not least, the block model approach ensures a reduction of the waste generated by the quarry as well as an increase of the yield. For the current quarry, this study achieves an increase of the yield by 47%, which is by 14.04% higher than the averagely expected one for the current quarrying direction.

#### **References**

- 1. Elkarmoty, M., Bondua, S., Bruno, R., 2020a. A 3D optimization algorithm for sustainable cutting of slabs from ornamental stone blocks. Resour. Pol. 65, 101533
- 2. Elkarmoty, M., Bondua, S., Bruno, R., 2020b. A 3D brute-force algorithm for the optimum cutting pattern of dimension stone quarries. Resour. Pol. 68, 101761
- 3. Elkarmoty, M., Tinti, F., Kasmaeeyazdi, S., Giannino, F., Bondu`a, S., Bruno, R., 2018. Implementation of a fracture modeling strategy based on Georadar Survey in a large area of Limestone Quarry Bench. Geosciences 8, 481.
- Fernández-de Arriba, M., Eugenia Díaz-Fernández, M., González-Nicieza, C., Inmaculada Álvarez-Fernández, M., E. Álvarez-Vigil, A. 2013. A computational algorithm for rock cutting optimisation from primary blocks, Computers and Geotechnics, Volume 50, pp 29-40
- 5. Koprev, I. 2016.Tehnologia na dobiva na skalno-oblitsovachni materiali. Avangard Prima, Sofia (in Bulgarian)
- 6. Koprev, I., Aleksandrova, E. 2008. Application of modern software for setting the optimal parameters of the development system in the "Tsarevets" quarry. "Geologia i mineralni resursi" (in Bulgarian), Issue 1-2
- Koprev, I., Aleksandrova, E. Investigation of the dependence between the block extracting coefficient and natural rock mass discontinuities in "Mizia" open pit mine. Proceedings of the VIII International Geomechanics Conference, 2-6 July, 2018, Varna, Bulgaria, pp. 156 – 160
- 8. Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O. et al. 2011. Optimized extraction of dimension stone blocks. Environ Earth Sci 63, pp 1911–1924
- 9. Schneider-Löbens, C., Siegesmund, S., Stein, KJ., Löbens, S. 2022. Joint analysis as an important tool for an optimizing block extraction of natural stones. Environ Earth Sci 81, 94.
- 10. Yarahmadi R, Bagherpour R, Taherian S-G, Sousa LMO (2018) Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries. Eng Geol. 232, pp 22–33.
- 11. https://www.deswik.com/wp-content/uploads/2019/07/Block-model-knowledge-for-mining-engineers-Anintroduction.pdf (Last accessed 27.06.2022)





# TOPIC E

Environment protection in mining and construction activities

Опазване на околната среда при минни и строителни дейности

Охрана окружающей среды в горных и строительных деятельностях





## ПРИЛАГАНЕ НА НОРМАТИВНАТА УРЕДБА В ОБЛАСТТА НА УПРАВЛЕНИЕТО НА МИННИТЕ ОТПАДЪЦИ, МОНИТОРИНГА, КОНТРОЛА И ИНСПЕКТИРАНЕТО НА СЪОРЪЖЕНИЯТА ЗА МИННИ ОТПАДЪЦИ – ОСНОВНИ АСПЕКТИ И НАСОКИ ПРИ ПРИЛАГАНЕТО

#### инж. Елица Тодорова e.todorova@me.government.bg д-р инж. Георги Дачев g.dachev@me.government.bg

## IMPLEMENTATION OF THE LEGISLATION IN THE FIELD OF MINING WASTE MANAGEMENT, MONITORING, CONTROL AND INSPECTION OF WASTE FACILITIES - MAIN ASPECTS AND GUIDELINES FOR IMPLEMENTATION

#### Eng. Elitsa Todorova e.todorova@me.government.bg PhD. Eng. Georgi Dachev g.dachev@me.government.bg

#### ABSTRACT

The knowledge and correct implementation of the regulatory requirements in the field of mining waste management, obtained as a result of the activities of exploration, extraction, primary processing and storage of underground natural resources, including open mining and underground mining of underground resources, the application of self-monitoring and self-inspections by the operators of the waste facilities and the exercise of regular control by the state competent authorities are of a key importance and presuppose the achievement of the main goals of the European and national legislation in the field, namely:

- preventing, reducing or limiting the harmful impact of the generated mining waste and the waste facilities on the environment, safety and human health;
- > accident prevention.

At the national level, the mining waste management is carried out according to the provisions of Chapter Eight of the Underground Natural Resources Act and the specific requirements set out in the Mining Waste Management Ordinance. The mining waste management activities are carried out according to a mining waste management plan approved by the Minister of Energy and a permit issued by the Minister of Energy, when required by the law.

An important issue is to clarify the role, responsibilities and obligations of the operators responsible for the mining waste management and waste facilities. Knowledge and proper understanding of these responsibilities is of paramount importance for the optimal and safe operation of mining waste facilities, in this regards it should be a special attention putting onto tailing ponds. In this direction, amongst the priorities is the provision of appropriate self-monitoring and self-inspections by the operators. The other key aspect is the role of the state competent authorities in charge of inspections of mining waste facilities. Regular inspections should be carried out throughout the different life-phases of a mining waste facility - from the stage before it is put into operation, during it is in operation, until its closure, including the period after its closure. The competent authorities adopted by the European Commission. Last but not least, a special attention needs to be paid to the keeping and storage by the operators of all the necessary documentation in relation with the mining waste management activities.

#### <u>Въведение</u>

Нормативните изисквания и редът за управление на минните отпадъци, мониторингът, контролът и инспектирането на съоръженията за минни отпадъци на национално ниво са



регламентирани в глава осма от Закона за подземни богатства (ЗПБ) и Наредбата за управление на минните отпадъци (НУМО).

ЗПБ [1] дефинира следните основни понятия:

"минни отпадъци" са отпадъци в твърдо, течно или шламово състояние - пряк резултат от дейности по проучване, добив, първична преработка и складиране на подземни богатства, в т.ч. открит и подземен добив на подземни богатства, включително чрез сондажи или преработка на извлечения материал, независимо от техния собственик или държател и от момента, в който са генерирани.

"управление на минните отпадъци" са дейностите по транспортиране, депониране и съхраняване на минни отпадъци, както и изграждането, експлоатацията и закриването на съоръженията за минни отпадъци и осъществяването на последващ мониторинг, поддръжка и технически надзор на закритото съоръжение.

"съоръжение за минни отпадъци" е всяко пространство - насипище, хвостохранилище (шламохранилище) или друго, предназначено за събиране или депониране на минни отпадъци в твърда или в течна фаза, в разтвор или суспензия, за следния период от време:

a) неограничен - за съоръжения от категория "А" и за съоръжения за отпадъци, охарактеризирани като опасни в плана за управление на отпадъците;

б) над 6 месеца - за съоръжения за опасни отпадъци, генерирани непредвидено;

в) над една година - за съоръжения за неопасни, неинертни отпадъци;

г) над три години - за съоръжения за незамърсени почви, неопасни отпадъци от проучване, отпадъци при добива, преработката и съхранението на торф и инертни отпадъци.

Съоръжението за минни отпадъци включва и всяка язовирна стена/бент или друга структура, служеща да съдържа, задържа, ограничава или да поддържа по друг начин съоръжението.

"оператор на съоръжение за минни отпадъци" е юридическо или физическо лице, което осъществява проучване, добив и първична преработка на подземни богатства, или упълномощено от него лице, което е отговорно за управлението на минните отпадъци, включително по отношение на временното им съхраняване и за определено време след затварянето на съоръжението за минни отпадъци.

Минните отпадъци се депонират и съхраняват на определени за целта площадки или в съоръжения за минни отпадъци, чието местоположение, конструкция и управление предотвратяват или максимално намаляват отрицателното им въздействие върху компонентите на околната среда и/или човешкото здраве.

Не се допуска насипването или депонирането на минни отпадъци на места извън посочените по-горе съоръжения, както и изоставянето на съоръженията без надзор и контрол.

Дейностите по управление на минните отпадъци се извършват съгласно одобрен от министъра на енергетиката план за управление на минните отпадъци и издадено от министъра на енергетиката разрешително, когато такова се изисква от ЗПБ.

Планът за управление на минните отпадъци включва необходимите мерки за предотвратяване, намаляване или ограничаване на отрицателното им въздействие върху компонентите на околната среда, безопасността на хората и човешкото здраве.

Съгласно чл. 94, ал. 1, предложение второ от ЗПБ, който извършва действия по управление, включително, но не само по депониране, преработване, използване и обезвреждане на минни отпадъци без разрешително по чл. 22д, ал. 3 и/или план за управление по чл. 22г, ал. 5, се наказва с глоба от 10 000 до 100 000 лв. или с имуществена санкция от 50 000 до 500 000 лв.

Съгласно ал. 2 на същия член, който не спазва условията на издадено разрешително по чл. 22д, ал. 3 и/или одобрен план за управление по чл. 22г, ал. 5, се наказва с глоба от 1000 до 10 000 лв. или с имуществена санкция от 5000 до 50 000 лв.

При повторно нарушение, ако не е предвидено по-тежко наказание, глобата или имуществената санкция е в троен размер.

Разпоредбите на глава осма "Управление на минните отпадъци" от Част първа на ЗПБ, както и Наредбата за управление на минните отпадъци [3], не се прилагат за съоръжения за минни отпадъци,



закрити към 1 май 2008 г. (§ 90, ал. 1 от Преходните и Заключителни разпоредби към Закона за изменение и допълнение на ЗПБ и чл. 2, ал. 3 от НУМО).

# Специфични изисквания и ред за управление на минните отпадъци – задължения на операторите

# 1. <u>Задължения на операторите, свързани с изготвяне, изпълнение, отчитане и преразглеждане на</u> План за управление на минните отпадъци (ПУМО)

Титулярите на разрешение и концесионерите, от чиято дейност се формират минни отпадъци, както и всяко физическо или юридическо лице, в чието държане те се намират, отговарят за управлението на минните отпадъци в съответствие с изискванията на ЗПБ. (чл. 22в, ал. 1).

Посочените лица могат да възложат задълженията по управлението на минните отпадъци на трето лице чрез договор, при условие че то притежава необходимата квалификация, познания и технически възможности за осъществяване на дейностите по управление на минни отпадъци. (чл. 22в, ал. 3).

В горните два случая (чл. 22в, ал. 1 и ал. 3), упоменатите лица са оператори на съоръжения за минни отпадъци.

Всяка дейност, пораждаща минни отпадъци, се осъществява само с одобрен план за управление на минните отпадъци (чл. 22г, ал. 1 от ЗПБ).

За дейности по управление на минни отпадъци (представляващи незамърсени почви, инертни отпадъци, неопасни отпадъци от проучването и отпадъци от добива и преработката на торф), съхранявани в съоръжения от категория "Б", се изисква одобрен план за управление на минните отпадъци (чл. 22г, ал. 2 от ЗПБ).

За дейности по управление на минни отпадъци, съхранявани в съоръжение от категория "А", се изисква разрешително, включващо одобрен план за управление на минните отпадъци, издадено от министъра на енергетиката (чл. 22г, ал. 3 от ЗПБ).

Планът за управление на минните отпадъци (ПУМО) се изготвя от операторите на съоръжения за минни отпадъци съгласно изискванията на НУМО (Приложение № 1) и съдържа най-малко информацията, предвидена в чл. 22г, ал. 5 от ЗПБ, а именно:

- ✓ мотивирано предложение за категория на съоръжението;
- ✓ разработена политика за предотвратяване на големи аварии, система за управление на безопасността и вътрешен авариен план (за съоръжения от категория "А");
- доклад за оценка на риска от минните отпадъци и съоръженията за тяхното съхранение и идентифициране на възможните опасности от авария (за съоръжения от категория "Б");
- ✓ характеристика и прогнозно количество на минните отпадъци;
- ✓ описание на дейността, пораждаща минните отпадъци, както и всяка последваща преработка, на която те се подлагат;
- описание на възможните рискове за околната среда и човешкото здраве, както и превантивните мерки за минимизиране на въздействието върху околната среда;
- план за закриване на съоръжението и рекултивация на засегнатите земи, процедури след закриването и мониторинга на закритото съоръжение;
- мерки за предотвратяване влошаването на състоянието на водите и за предотвратяване и минимизиране на замърсяването на въздуха и почвата по време на функционирането и след закриването на съоръжението;
- информация и описание как избраните технологии за добив и първична преработка на подземни богатства ще постигнат целите за предотвратяване или намаляване образуването на минни отпадъци и на тяхната вредност;
- ✓ мерки за намаляване концентрацията на слабокиселинния разложим цианид, използвайки най-добрите налични техники, до възможно най-ниското равнище, но не повисоко от 10 mg/kg (за хвостохранилища с наличие на цианид – чл. 22г, ал. 6 от 3ПБ).



Заедно с ПУМО операторът предоставя на министъра на енергетиката (чл. 22г, ал. 7 от ЗПБ) и:

- влязло в сила решение по OBOC, издадено по реда на глава шеста от Закона за опазване на околната среда, или решение, с което е преценено да не се извършва OBOC, които съдържат и мотиви, че управлението на минните отпадъци не противоречи на плановете и програмите за управлението на отпадъците по Закона за управление на отпадъците;

- документи, удостоверяващи квалификацията, познанията и техническите възможности за извършване на дейностите по управлението, които стават неразделна част от плана след одобрението му;

- програма за обучение на персонала, която става неразделна част от плана след одобрението му;

- договор за възлагане на задълженията по управлението на минните отпадъци на трето лице (ако има сключен такъв).

Предвидените и изпълнявани дейности по управление на минните отпадъци, строителство, надграждане, експлоатация и закриване на съоръжения за минни отпадъци, заложени в ПУМО, задължително се включват като отделна част в цялостните и годишните работни проекти за разработване на находищата на подземни богатства.

Съгласно чл. 43 от НУМО, операторите на съоръжения за минни отпадъци представят на министъра на енергетиката **ежегодно до 31 март отчет за изпълнение на ПУМО**, включващ <u>отчет за изпълнението на програмата за обучение на персонала</u>, както и <u>информационна карта по образец</u> <u>съгласно приложение № 6 от НУМО</u>. Чрез изготвянето на посочения отчет, операторите удостоверяват изпълнението на ПУМО и на условията на разрешителното, предоставят <u>обобщена информация за минните отпадъци и докладват състоянието на съоръженията за минни отпадъци</u>, като в отчета задължително се включват <u>резултатите и изводите от провеждания собствен мониторинг (чл. 22в, ал. 5 от ЗПБ).</u>

Към всяка информационна карта на съоръжение за минни отпадъци се прилагат:

≻ план на съоръжението за минни отпадъци (в подходящ мащаб) в началото на отчетния период.

план на съоръжението за минни отпадъци (в подходящ мащаб) в края на отчетния период.

≻ копия на протоколи от всички извършени през отчетния период проверки на съоръжението за минни отпадъци от контролни органи.

≻ копия на протоколи, обобщаващи резултатите от проведените мониторингови процедури (собствен мониторинг) и направените инспекции, от компетентните лица, определени от оператора.

≻ копия от докладите, обобщаващи резултатите от възложени от оператора инспекции, извършени от независими експерти и експертизи, извършени от експертна техническа комисия, назначена от оператора (доклади по чл. 40, ал. 3) – такива доклади задължително се изготвят и прилагат към ежегодните отчети за изпълнението на ПУМО за всички съоръжения от категория "А" и всички хвостохранилища и шламохранилища без значение от категорията им.

Отчет за изпълнението на ПУМО през предходната календарна година, изготвен в съответствие с изискванията на чл. 22в, ал. 5 от ЗПБ и чл. 43 от НУМО, <u>задължително се представя</u> ежегодно, в срок до 31 март на текущата година, от всички лица, които имат одобрен ПУМО.

Съгласно чл. 22г, ал. 11 от ЗПБ и чл. 7, ал. 1 от НУМО, ПУМО се преразглежда на всеки 5 години или когато:

≻ са настъпили съществени промени в експлоатацията на съоръжението за минни отпадъци, засягащи неговата конструкция, в качествения състав или в количеството на минните отпадъци;

> е постъпило предложение от оператора за изменение и допълнение на одобрения план;

≻ резултатите от проверките на министъра на енергетиката или на оправомощено от него длъжностно лице във връзка с изпълнението на одобрения план налагат това;

▶ резултатите от мониторинга налагат това;

са настъпили съществени изменения в най-добрите налични техники.



# 2. Специфични изисквания към съоръжения от категория "А" и задължения на операторите на такива съоръжения

Съоръжения за минни отпадъци, които в резултат на непредвидени обстоятелства или лошо управление могат да станат причина за голяма авария, или такива, в които са депонирани опасни отпадъци над определения праг, или които съдържат опасни вещества или смеси извън допустимите норми се категоризират като съоръжения от категория "А" (чл. 226, ал. 4, т. 1 от ЗПБ). За тази категория съоръжения, операторите подават заявление по образец до министъра на енергетиката за издаване на разрешително за управление на минни отпадъци, съхранявани в съоръжение от категория "А". Към заявлението се прилагат:

- ✓ документи, удостоверяващи самоличността на кандидата за физически лица;
- ✓ документ, удостоверяващ, че кандидатът има права за търсене и проучване или за проучване, или за добив на подземни богатства, или е упълномощен от лице, притежаващо такива права;
- ✓ предложение за местоположение на съоръжението и други алтернативни варианти за местоположение, отразени на план с нанесени подземни и надземни комуникации, водни обекти, санитарно-охранителни зони, сгради и други;
- ✓ инженерно-геоложки, хидрогеоложки, хидроложки, хидрохимични, сеизмични и морфоложки данни за района, в който ще бъде разположено съоръжението;
- ✓ план за управление на минните отпадъци, изготвен съобразно изискванията на ЗПБ и НУМО;
- ✓ мерки за предотвратяване на големи аварии и авариен план;
- ✓ предложение за финансово обезпечение;
- доказателства, че кандидатът притежава необходимите за дейността квалификация, познания и технически възможности;
- ✓ мотивирано предложение за срока на разрешителното;
- ✓ декларация относно данните, които според оператора представляват търговска тайна и не трябва да са част от публичния регистър на операторите и на издадените разрешителни.

Съгласно чл. 22е, ал. 2 от ЗПБ и чл. 13, ал. 3 от НУМО, разрешителното за управление на минни отпадъци се преразглежда на всеки 5 години или когато:

- са настъпили съществени промени в експлоатацията на съоръжението за минни отпадъци, засягащи неговата конструкция, в качествения състав или в количеството на минните отпадъци;
- > е постъпило предложение от оператора за изменение и допълнение на одобрения план;
- резултатите от проверките на министъра на енергетиката или на оправомощено от него длъжностно лице във връзка с изпълнението на одобрения план налагат това;
- резултатите от мониторинга налагат това;
- > са настъпили съществени изменения в най-добрите налични техники.

# 3. <u>Задължения на операторите за изготвяне и изпълняване на програми по смисъла на чл. 20 и чл. 21</u> и планове по чл. 22 от НУМО

Операторите на съоръжения за минни отпадъци са задължени да изготвят и изпълняват:

Програма за предотвратяване влошаването на състоянието на водите и на почвите над установените норми в съответствие със Закона за водите и Закона за почвите, чието съдържание е указано в чл. 20, ал. 1, т. 1 от НУМО. Такава програма се изготвя и за отработени пространства, запълнени с минни отпадъци, които ще бъдат наводнени (чл. 20, ал. 2 от НУМО).

Програма за предотвратяване замърсяването на въздуха, чието съдържание е указано в чл.
20, ал. 1, т. 2 от НУМО.

 Програма за намаляване на концентрацията на слабокиселинния разложим цианид в точките на заустване на минните отпадъци до възможно най-ниско равнище, ненадвишаващо 10 mg/kg (чл. 21 от НУМО) – отнася се само за операторите на хвостохранилища с наличие на цианид.

• Планове и договорености за редовен собствен мониторинг и инспектиране на съоръженията за минни отпадъци (чл. 22 от НУМО).



4. Задължения на операторите за уведомяване на министъра на енергетиката и на министъра на околната среда и водите

Съгласно чл. 22м, ал. 1 и ал. 3 от ЗПБ и чл. 26, ал. 1 от НУМО, операторите на съоръжения за минни отпадъци уведомяват министъра на енергетиката и министъра на околната среда и водите незабавно, както и писмено, но не по-късно от 48 часа, за:

▶ всяка голяма авария;

≻ всяко събитие, което е вероятно да засегне стабилността на съоръжението за минни отпадъци;

≻ всички значителни въздействия върху околната среда, установени в резултат на провеждани мониторингови и контролни процедури съгласно ПУМО.

По смисъла на § 1, т. 47 от Допълнителните разпоредби на ЗПБ, "голяма авария" е събитие на миннодобивния обект по време на дейността му, включваща и управлението на минните отпадъци, водещо до сериозна опасност за човешкото здраве и/или околната среда, независимо дали незабавно или с течение на времето, както на миннодобивния обект, така и извън него.

Операторите са задължени да извършват уведомяването по смисъла на чл. 26, ал. 1 от НУМО по време на строителството, експлоатацията, закриването и през периода след закриването на съоръженията за минни отпадъци.

В срок до един месец от настъпването на някое от гореизброените събития, операторът предоставя на министъра на енергетиката информацията, указана в чл. 27 от НУМО, която включва:

- същност и описание на събитието и начина на установяване, местоположението и момента на настъпването му;
- ✓ кратко описание на съоръжението за минни отпадъци и на мониторинговите и контролните процедури;
- описание и момент на предоставяне на информацията от оператора на компетентните органи, както и на публичното оповестяване на информацията;
- оценка на евентуалното отрицателно въздействие върху околната среда и човешкото здраве, както и на възможните последици за стабилността на съоръжението;
- анализ на възможните причини за събитието, както и описание на предприетите коригиращи мерки;
- ✓ допълнителна информация по преценка на оператора.

5. <u>Задължения на операторите за осигуряване на квалификация и обучение на персонала, ангажиран с</u> дейностите по управление на минните отпадъци (чл. 44 и чл. 45 от НУМО)

Управлението на съоръженията за минни отпадъци се възлага на компетентни физически лица, притежаващи необходимата за съответната дейност квалификация.

Операторите на съоръжения за минни отпадъци задължително изготвят Програма за обучение на персонала, която след одобряване на ПУМО става неразделна част от плана.

В съответствие с Програмата за обучение на персонала, операторите са длъжни периодично да организират и провеждат обучения и курсове за повишаване квалификацията на персонала, ангажиран с дейностите по управление на минните отпадъци, в т.ч. с управление и изпълнение на дейностите по строителство, експлоатация и закриване на съоръженията за минни отпадъци.

Обученията и курсовете са задължителни и са за сметка на оператора. Операторите на съоръжения за минни отпадъци определят: вида на обученията и периодичността на провеждането им; програмите, по които ще се провеждат обученията; лицата, за които се организират и провеждат обученията.

6. <u>Задължения на операторите за водене и съхраняване на документацията, свързана с дейностите по</u> управление на минните отпадъци (чл. 42 от НУМО)

Операторите са длъжни да водят и съхраняват документация за всички дейности по управление на минните отпадъци, както и да я представят за проверка при поискване на компетентните органи.



В случай на смяна на оператора, настоящият оператор предава документацията на новия оператор.

При закриване на съоръжението за минни отпадъци документацията се определя за постоянно запазване и се съхранява в съответните териториални държавни архиви съгласно изискванията на Закона за Националния архивен фонд.

Всеки оператор следва да води и съхранява най-малко следната документация, свързана с дейностите по управление на минните отпадъци и съоръженията за тяхното съхранение:

• Пълна проектна документация, съдържаща предложените и изпълнявани технически и технологични решения, свързани със строителството, надграждането, експлоатацията и поддържането, и закриването на съответното съоръжение за минни отпадъци, както и всички последващи изменения и допълнения на работните проекти (ако има такива).

• Одобрен план за управление на минните отпадъци, заедно с всички приложения към него, както и всички негови актуализации;

• Издадено разрешително за управление на минни отпадъци (за съоръжения от категория "А"), както и всички негови актуализации;

 Разработена политика за предотвратяване на големи аварии, система за управление на безопасността и вътрешен авариен план (за съоръжения от категория "А");

• Външен авариен план (когато е приложимо);

 Разработена процедура за незабавно и писмено (до 48 часа) уведомяване на министъра на енергетиката и на министъра на околната среда и водите в случай на голяма авария, за всяко събитие, което е вероятно да засегне стабилността на съоръжението, както и за всяко значително въздействие върху околната среда, констатирано в рамките на процедурите за контрол и мониторинг на съоръжението;

• Договори за възлагане на задълженията по управлението на минните отпадъци на трети лица (когато е приложимо);

 Административни актове, издадени по силата на специални закони, изискващи се във връзка с разрешаване и реализиране на дейностите по строителство/надграждане, експлоатация и поддържане на съоръжението;

- Годишни отчети за изпълнението на ПУМО;
- Програми за обучение на персонала и отчетите за изпълнението им;
- Програми за предотвратяване влошаването на състоянието на водите и на почвите;
- Програми за предотвратяване замърсяването на въздуха;

• Програми за намаляване на концентрацията на слабокиселинния разложим цианид в точките на заустване на минните отпадъци (когато е приложимо);

Вътрешни документи (вътрешни правилници/правила, инструкции, заповеди, заповедни книги и др., включително програма за технически контрол и инструкции за експлоатация на съоръжението), свързани с реда и организацията на дейностите по управление, поддържане и безопасна експлоатация, мониторинг и контрол на техническото състояние и оценка на сигурността (по показатели за конструктивна и технологична сигурност и за влияние върху околната среда, човешкото здраве и материалните ценности [4]) на хвостохранилището, както и за определянето на задълженията и отговорностите на компетентните лица (персонала), ангажирани с дейностите по управление на минните отпадъци, в т.ч. с управление и изпълнение на дейностите по строителство, експлоатация и поддържане на съоръженията за минни отпадъци;

• Ежедневни, ежеседмични, месечни инспекционни форми; анализи на оперативни данни от наблюдения и измервания; дневник за експлоатация и управление на съоръжението или други еквивалентни;

• Планове за собствен мониторинг;

• Планове за собствен (вътрешен) контрол (инспектиране) – програма за технически контрол;

• Протоколи от извършен собствен мониторинг, съдържащи данни от измерванията, наблюденията и опробванията;



• Протоколи от собствени инспекции (технически прегледи), извършени от компетентни лица (комисии), назначени от съответните оператори на съоръженията за минни отпадъци;

Цялата документация за възлагане и извършване на инспектиране на съоръженията за минни отпадъци от независими експерти (външна експертна техническа комисия), в т.ч. изготвени експертизи, доклади и други документи (доклади за извършените анализ на техническото състояние и оценка на сигурността). Извършване на такъв вид външни инспекции и водене и съхраняване на свързаната с тях документация са задължителни за всички съоръжения от категория "А", както и за всички хвостохранилища и шламохранилища (независимо от категорията им). За всички други съоръжения за минни отпадъци – възлагане на инспектиране от независими експерти се извършва при необходимост. [3]

• Протоколи от проверки на съоръженията за минни отпадъци, извършени от контролните органи;

В случай на смяна на оператора, цялата събрана, изброена по-горе, документация надлежно се предава на отговорното за съоръжението за минни отпадъци лице.

#### <u>Процедури и договорености за собствен мониторинг, контрол и инспектиране от страна на</u> <u>операторите (чл. 39 и чл. 40 от НУМО)</u>

Операторът провежда мониторинг и контрол и инспектира съоръжението за минни отпадъци в съответствие с предвиденото в ПУМО.

Операторът инспектира съоръжението за минни отпадъци по време на строителството, експлоатацията, закриването и периода след закриване с цел да се гарантира, че:

- съоръжението се експлоатира, поддържа и управлява по безопасен начин и в съответствие с условията на ПУМО и когато е приложимо – с издаденото разрешително.
- се вземат необходимите мерки за предотвратяване или намаляване на неблагоприятните въздействия върху околната среда и човешкото здраве.

Съгласно чл. 22и, ал. 3 от ЗПБ и чл. 39, ал. 3 от НУМО, резултатите от проведения собствен мониторинг и от направените собствени инспекции на съоръжението от компетентните лица (вътрешни технически прегледи) се обобщават в протоколи, които се:

- ✓ съхраняват заедно с документацията по одобрения ПУМО и когато е приложимо с издаденото разрешително;
- ✓ използват за предприемане на действия в случаи на констатиране на признаци на нестабилност на съоръжението и/или замърсяване на почвите, въздуха и водите;
- ✓ използват при изготвянето на ежегодните отчети за изпълнението на ПУМО;
- ✓ предоставят задължително на министъра на енергетиката, приложено към отчетите за изпълнение на ПУМО, а при поискване, и на други контролни органи, извършващи проверки на съоръжението.

При необходимост, операторът **възлага инспектирането на съоръжението на външни** независими експерти (чл. 40, ал. 1 от НУМО).

Съгласно <u>чл. 40, ал. 2 от НУМО, за всички съоръжения от категория "A", както и за всички хвостохранилища и шламохранилища без значение от категорията им, операторът ежегодно възлага на назначена от него експертна техническа комисия извършването на експертиза на съоръженията, която включва най-малко следното:</u>

- > оглед на място;
- > проверка на годишните отчети, данните от измерванията, наблюденията и опробванията;
- > заключение за техническото състояние и инженерната сигурност на съоръженията;
- потвърждение за годността на съоръженията да работят нормално през следващия експлоатационен период.

Резултатите от инспектирането и експертизата на съоръжението се обобщават в доклади, екземпляр от които се предоставя на министъра на енергетиката (чл. 39, ал. 3 от



#### НУМО), приложено към отчетите за изпълнение на ПУМО.

#### Инспектиране на съоръженията за минни отпадъци от страна на министъра на енергетиката или оправомощени от него длъжностни лица (чл. 41 от НУМО)

Съгласно чл. 90, ал. 1, т. 2 от ЗПБ, министърът на енергетиката, е компетентният орган, който осъществява контрола върху съдържанието и изпълнението на разрешителните и плановете за управление на минните отпадъци.

Съгласно чл. 41, ал. 1 от НУМО, министърът на енергетиката или оправомощени от него длъжностни лица инспектират всяко съоръжение за минни отпадъци:

- преди пускането му в експлоатация;
- по време на експлоатацията;
- по време на закриването и периода след закриването му (за съоръжения за минни отпадъци закрити след 1 май 2008 г.).

Инспекциите на съоръженията за минни отпадъци могат да бъдат планови въз основа на програма за планирани инспекции и извънредни – във връзка с постъпили жалби, при аварии и злополуки, при неспазване на условията по издадено разрешително и в други случаи – по преценка на министъра на енергетиката.

Министърът на енергетиката оправомощава длъжностни лица от специализираната администрация на Министерство на енергетиката да извършват горепосочените инспекции.

Длъжностните лица извършват инспекциите в съответствие с изискванията на ЗПБ и НУМО, както и съобразно Решение за изпълнение (ЕС) 2020/248 на Комисията от 21 февруари 2020 г. за определяне на технически насоки за инспектирането в съответствие с член 17 от Директива 2006/21/ЕО на Европейския парламент и на Съвета.

Резултатите от инспектирането, извършвано от длъжностни лица на Министерство на енергетиката, се обобщават в протоколи, екземпляр от които се предоставя на оператора (чл. 41, ал. 5 от НУМО).

Съгласно техническите насоки за инспектиране на съоръженията, приети от Европейската комисия, при извършване на планирани инспекции на съоръжения за минни отпадъци в експлоатация следва да се направят констатации за [5]:

◆ неблагоприятни въздействия върху околната среда и човешкото здраве и предприетите мерки за минимизирането им (по-специално пригодност на конструкцията, управлението и поддръжката на съоръжението с оглед гарантиране на физическата му стабилност, предотвратяване на замърсяването на почвите, въздуха и водите в краткосрочен и дългосрочен план и за минимизиране увреждането на ландшафта), както и тяхното съответствие с условията на одобрения ПУМО, разрешителното (ако е издадено такова) и решението по ОВОС (ако се изисква);

количества, характеристики и класификация на минните отпадъци, депонирани в съоръжението и тяхното съответствие с одобрения ПУМО и условията на разрешителното (ако е издадено такова);

категоризация на съоръжението (категория А или категория Б);

 очаквано образуване на инфилтрат, включително съдържание на замърсители в инфилтрата от депонираните отпадъци и във водния баланс на съоръжението и тяхното съответствие с одобрения ПУМО и условията на разрешителното (ако е издадено такова);

структурни и оперативни промени на съоръжението за минни отпадъци въз основа на проверка на:

- управлението на водите;
- качеството на геотехническите строителни дейности;
- управлението на геотехническите системи за безопасност;
- количеството и характеристиките на депонираните минни отпадъци спрямо прогнозираните в одобрения ПУМО;



- образуваният инфилтрат, включително съдържанието на замърсители в него спрямо прогнозираното в одобрения ПУМО;
- водният баланс на съоръжението спрямо прогнозираното в одобрения ПУМО; техниките, използвани за управление на околната среда и безопасността, и за наблюдение на околната среда, както и тяхната адекватност;
- предприетите коригиращи мерки по направени препоръки при предходни инспекции;
- одитни доклади и становища, свързани с околната среда и безопасността (ако се изисква);

✤ план за собствен мониторинг (мониторингови и контролни процедури) – предвидени и проведени наблюдения, получени резултати и докладване на всички мониторингови данни на компетентните органи;

• визуални промени на съоръжението;

• представителност на опробването и характеризирането на минните отпадъци;

◆ задължения, отговорности и компетентност на персонала, отговарящ за управлението на минните отпадъци и за безопасната експлоатация на съоръжението, в т.ч. наличие на достатъчно персонал и обучения, предлагани на персонала;

✤ процедурите за уведомяване на компетентните органи за всякакви събития, които е вероятно да засегнат стабилността на съоръжението за минни отпадъци, както и за всякакви значителни неблагоприятни въздействия върху околната среда, установени в рамките на съответните процедури за контрол и мониторинг;

◆ адекватност на плана за закриване и спазването на мерките по закриване, определени в плана;

✤ адекватност на финансовото обезпечение спрямо изчислените разходи за задълженията на оператора по разрешителното, включително за мерките по закриването и след закриването, както и за рекултивацията на засегнатите земи;

спазването на всички други условия в одобрения ПУМО и разрешителното (ако е издадено такова), както и всички други приложими нормативни изисквания.

#### <u>Ред и начин за извършване на планирана проверка на място за инспектиране на съоръжение за</u> минни отпадъци – хвостохранилище (шламохранилище) в експлоатация

Във връзка с инспектирането на хвостохранилища е важно да се изяснят следните основни понятия:

- по смисъла на § 1, т. 40а от Допълнителните разпоредби на ЗПБ, "хвостохранилище (шламохранилище)" е естествено или инженерно съоръжение за депонирането на финозърнести отпадъци наред с различни количества свободна вода, получени след преработката на подземни богатства и от пречистването и рециклирането на производствена вода.
- Съгласно § 1, т. 40в от Допълнителните разпоредби на ЗПБ, "язовирна стена/бент" е инженерно съоръжение, проектирано да задържа или да ограничава вода и/или отпадъци в дадено съоръжение за минни отпадъци.

Длъжностните лица извършват инспекциите в съответствие с изискванията на ЗПБ и НУМО, както и съобразно техническите насоки за инспектиране, определени в Решение за изпълнение (EC) 2020/248 на Европейката комисията от 21 февруари 2020 г. [5]

При планирана проверка на място на съоръжение за минни отпадъци – хвостохранилище в периода на експлоатацията му, длъжностите лица от специализираната администрация на Министерство на енергетиката извършват най-малко следните контролни действия, в присъствието на оператора на съоръжението и/или упълномощен/и негов/и представител/и, както и със съдействието на съответните компетентни лица, на които операторът е възложил задълженията и отговорностите по дейностите за управление на минните отпадъци, експлоатацията и поддържането на хвостохранилището:



1. <u>Преглед на наличната документация за хвостохранилището, която се води и съхранява от</u> оператора на съоръжението за минни отпадъци:

1.1. Проектна документация: одобрен от министъра на енергетиката План за управление на минните отпадъци и всички негови актуализации; издадено от министъра на енергетиката Разрешително за управление на минните отпадъци и всички негови актуализации (за съоръжения от категория "А"); пълната проектна документация, съдържаща предложените и изпълнявани технически и технологични решения, свързани със строителството, надграждането, експлоатацията и поддържането, и закриването на хвостохранилището, както и всички последващи изменения и допълнения на работните проекти;

1.2. Договори за възлагане на задълженията по управлението на минните отпадъци на трети лица;

1.3. Административни актове, издадени по силата на специални закони, изискващи се във връзка с разрешаване и реализиране на дейностите по строителство/надграждане и експлоатация на хвостохранилището (напр. разрешителни по ЗУТ/ЗВ/ЗООС и др.; решения по ОВОС; решения за преценяване необходимостта от извършване на ОВОС; решения за промяна предназначението на земи; актове и протоколи, които се съставят по време на строителството/надграждането и др.);

1.4. Окончателни доклади, съставени от лицата, упражнили строителен надзор;

1.5. Доклади за технически одит на съоръжението (ако е приложимо);

1.6. Актуални вътрешни и външни аварийни планове;

1.7. Разработена политика за предотвратяване на големи аварии и въведена в действие система за управление на безопасността на съоръжението (за съоръжения от категория "А");

1.8. Годишни отчети за изпълнението на ПУМО;

1.9. Програми за обучение на персонала и отчетите за изпълнението им;

1.10. Програми за предотвратяване влошаването на състоянието на водите и на почвите;

1.11. Програми за предотвратяване замърсяването на въздуха;

1.12. Програми за намаляване на концентрацията на слабокиселинния разложим цианид в точките на заустване на минните отпадъци (за хвостохранилища с наличие на цианид);

1.13. Вътрешни документи (вътрешни правилници/правила, инструкции, заповеди, заповедни книги и др., включително програма за технически контрол и инструкции за експлоатация на съоръжението), свързани с реда и организацията на дейностите по управление, поддържане и безопасна експлоатация, мониторинг и контрол на техническото състояние и оценка на сигурността на хвостохранилището, както и за определянето на задълженията и отговорностите на компетентните лица, ангажирани с дейностите по управление на минните отпадъци и съоръжението;

1.14. Разработена процедура за незабавно и писмено (до 48 часа) уведомяване на министъра на енергетиката и на министъра на околната среда и водите в случай на голяма авария, за всяко събитие, което е вероятно да засегне стабилността на съоръжението, както и за всяко неблагоприятно въздействие върху околната среда, констатирано в рамките на процедурите за контрол и мониторинг на съоръжението;

1.15. Планове за собствен мониторинг и протоколи от извършен собствен мониторинг, съдържащи данни от измерванията, наблюденията и опробванията;

1.16. Планове за собствен (вътрешен) контрол (инспектиране) и протоколи от собствени инспекции (технически прегледи), извършени от компетентни лица (комисии), назначени от съответния оператор на съоръжението;

1.17. Документацията за възлагане и извършване на инспектиране на съоръженията за минни отпадъци от независими експерти (външна експертна техническа комисия), в т.ч. изготвени експертизи, доклади и други документи, съдържащи анализ на техническото състояние и оценка на сигурността на хвостохранилището и съоръженията към него, заключения относно пригодност на съоръжението за продължаване на експлоатацията или за извършване на основен ремонт или реконструкция (доклади за извършените анализ на техническото състояние и оценка на сигурността);



1.18. Протоколи от проверки на съоръжението, извършени от контролните органи: Министерство на енергетиката, Държавна агенция за метрологичен и технически надзор – регионални отдели на Главна дирекция "Надзор на язовирните стени и съоръженията към тях", Районна дирекция "Пожарна безопасност и защита на населението" на МВР, РИОСВ, Басейнови дирекции, контролни органи на областни и общински администрации и др.);

1.19. Протоколи от проверки на хвостохранилището и/или на язовирните стени и съоръженията към тях на Комисиите по чл. 138а, ал. 3 от Закона за водите, назначени със заповеди на съответните областни управители за извършване на проверки на място за готовността за безопасна експлоатация на съответните съоръжения; [2]

1.20. Ежедневни, ежеседмични, месечни инспекционни форми; анализи на оперативни данни от наблюдения и измервания; дневник за експлоатация и управление на съоръжението или други еквивалентни;

1.21. Други относими документи – по преценка, в момента на проверката.

За целите на проверката длъжностните лица могат да изискат от оператора на съоръжението да предостави копия на част от гореизброените документи, които се прилагат към съставения констативен протокол от проверката и представляват неразделна част от него.

2. Обход на хвостохранилището и съпътстващите го системи и съоръжения, включващ най-малко визуален оглед за констатиране състоянието и функционирането на (според приложимото):

2.1. Хидротранспортната система (изход обогатителна фабрика – трасе на главния магистрален хвостопровод, разпределителен възел, разпределителни хвостопроводи, намивни отклонения);

2.2. Системата за оборотно водоснабдяване;

2.3. Помпените станции;

2.4. Основните елементи и съоръжения на хвостохранилището - технически характеристики (проектни и текущо състояние):

- тип (намивен; наливен /язовирен тип/; намивен с хидроциклониране);
- характерни коти;
- общ обем;
- полезен обем;

 запълнен обем (общо депонирани количества минни отпадъци от въвеждането в експлоатацията и през проверявания период);

- обща площ;
- залята площ;
- площ на утаителното езеро (водно огледало);
- дължина на плажа;
- изградени диги;
- площ на основната стена;

2.3.1. Водоподпорни преградни стени – тип, технически параметри, надграждане:

- 2.3.1.1. Основна стена:
- Височина на стената;
- Надграждане;
- Затежняване;
- Корона (кота, дължина и широчина);
- Откоси:
  - ✓ въздушен (външен);
  - ✓ воден (вътрешен);
  - ✓ наклони на откосите;
  - ✓ берми по откосите (широчина и денивелация);
- 2.3.1.2. Контрастена;
- 2.3.1.3. Ретензионна стена;



2.3.2. Противофилтрационни устройства (вид – екран; ядро; диафрагма);

2.3.3. Дренажна система (елементи);

2.3.4. Вътрешна отводнителна система (елементи): преливник (тип, размери); водоотливна кула; колектор; отвеждащ тунел; водоприемна шахта; други;

2.4. Външна отводнителна система (елементи): отводнителни канавки; скатни събирателни канали; други;

2.5. Оросителна система;

2.6. Други (система за видеонаблюдение; осветителна система; пропускателен режим и осигурена охрана на обекта; информационни табели);

2.7. Речно корито до 500 м след стената;

2.8. Контролно-измервателната система (КИС) за наблюдения и измервания – елементи:

✓ Нивомерна (за измерване на водни нива) – нивомерни рейки, други;

✓ Геодезична (за установяване на вертикални деформации /слягания/ и хоризонтални деформации /премествания/) — наблюдаеми марки; работни и контролни нивелачни репери, наблюдателни стълбове;

✓ Пиезометрична (за измерване на поровото налягане и положението на депресионната повърхност в тялото на стената) – пиезометри;

2.9. Локалната система за оповестяване;

2.10. Пътищата за достъп и пътните връзка.

3. <u>Съставяне на констативен протокол на основание чл. 41, ал. 5 от НУМО</u>, в който се обобщават резултатите от проверката и съдържа най-малко направените от проверяващите констатации по отношение на наличната документация за хвостохранилището, създадената организация за изпълнение на дейностите по управление на минните отпадъци, извършените прегледи/проверки на техническото състояние и оценка на сигурността и готовността за безопасна експлоатация, резултатите от работата на КИС и базата данни от мониторинга, и свързаните с тях анализи, извършения визуален оглед на съоръжението, съответствието на изпълняваните дейностите по управление на минните отпадъци и експлоатацията на хвостохранилището, с предвиденото в одобрения ПУМО и условията на издаденото разрешително (за съоръжения от категория "А"), констатирани несъответствия, неизпълнения и/или нарушения (ако има такива) и дадените предписания (ако има такива) със срок за изпълнението им. Към констативния протокол се прилагат всички поискани от оператора копия на документи относими към проверката.

Протоколите се съставят и подписват от длъжностните лица на Министерство на енергетиката, извършили проверката и от оператора на съоръжението и/или упълномощен/и негов/и представител/и в два еднообразни екземпляра, единият от които се предоставя на оператора.

#### Заключение

Съвкупност от фактори като отговорното спазване на действащите нормативни изисквания, регламентиращи дейностите по управление на минните отпадъци, изграждането/строителството, експлоатацията и поддържането, и закриването на съоръженията за минни отпадъци, провеждането на собствен мониторинг и редовно инспектиране (вътрешен и външен контрол), своевременното изпълнение на предписанията на контролните органи, се явяват определящи за постигането на безопасна експлоатация на съоръженията за минни отпадъци по отношение на тяхната конструктивна сигурност, опазването на околната среда и човешкото здраве и безопасност от една страна, а от друга за управлението на минните отпадъци по начин, който води до:

> предотвратяване или намаляване на образуването им, както и на тяхната вредност;

> оползотворяването им чрез рециклиране, повторно използване или използване за специфични цели;

> гарантиране на краткосрочното им и дългосрочно безопасно депониране;



≻ предотвратяване или минимизиране на дългосрочните отрицателни въздействия върху околната среда и човешкото здраве;

≻ гарантиране на дългосрочна геотехническа стабилност на надземните съоръжения за минни отпадъци;

> съкращаване до минимум на периода за мониторинг, контрол и управление на закритото съоръжение за минни отпадъци.

#### Използвана литература

- [1] Закон за подземните богатства (обн., ДВ, бр. 23 от 1999 г., последно изм. и доп., ДВ, бр. 17 от 2021г.).
- [2] Закон за водите (обн., ДВ, бр. 67 от 1999 г., последно изм. и доп., ДВ, бр. 20 от 2022 г.).
- [3] Наредба за управление на минните отпадъци, приета с ПМС № 1 от 07.01.2016 г. (обн., ДВ, бр. 5 от 2016 г., изм. и доп., ДВ, бр. 58 от 2019 г.).
- [4] Наредба за условията и реда за осъществяване на техническата и безопасната експлоатация на язовирните стени и на съоръженията към тях и за осъществяване на контрол за техническото им състояние, приета с ПМС № 12 от 28.01.2020 г. (обн., ДВ, бр. 9 от 2020 г.).
- [5] Решение за изпълнение (ЕС) 2020/248 на Комисията от 21 февруари 2020 г. за определяне на технически насоки за инспектирането в съответствие с член 17 от Директива 2006/21/ЕО на Европейския парламент и на Съвета.


# МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ ТЕРРИКОНОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА НА ЭКОЛОГИЮ РЕГИОНА

Наталия Вергельская<sup>1</sup>, Виктория Вергельская<sup>2</sup>, Василий Мельник<sup>1</sup>, Дина Головченко<sup>1</sup> <sup>1</sup>ГУ «Научный центр горной геологии, геоэкологии и развития инфраструктуры НАН Украины», г. Киев, vnata09@meta.ua

<sup>2</sup>Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», г. Киев, vvika10@meta.ua

# MONITORING THE IMPACT OF THE DONETS BASIN COAL-MINING TERRICONS ON THE REGIONAL ECOLOGY

#### Nataliia Vergelskaya<sup>1</sup>, Victoriia Vergelskaya<sup>2</sup>, Vasyl Melnik<sup>1</sup>, Dina Golovchenko<sup>1</sup> <sup>1</sup> State Institution "Scientific Center for Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, vnata09@meta.ua <sup>2</sup>State institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, vvika10@meta.ua

#### ABSTRACT

In recent years, much attention has been paid not only to the rational extraction of minerals, but also to the ecology of coal-mining regions. Monitoring of man-made landscapes of coal mining enterprises is a topical study from the standpoint of environmental impact of coal mine heaps.

The impact of coal mining on the lithosphere, hydrosphere, atmosphere and climate change has become even more relevant with global research on its impact on climate change. All coal basins are characterized by the presence of waste heaps and their significant impact on the soil: the rise of groundwater and the migration of chemical compounds from waste heaps into the soil, the expansion of waste heaps by area. Changes of heaps under the influence of exogenous factors are established. Peculiarities of gas distribution and chemical composition of waste heaps are determined.

It is expedient to carry out full reclamation on the territory of closed mines, to improve the ecological condition of technogenic-loaded (mining) regions and to give preference to complex ecological-industrial-tourist projects. *Key words*: ecology of coal mining regions, monitoring of heaps.

#### Введение.

Украина входит в число самых загрязненных и экологически проблемных стран. По оценкам Индекса качества окружающей среды (Environmental Performance Index), которые осуществляет Йельский университет (США), Украина занимает 87 место среди 163 стран мира. Уровень нагрузки на окружающую среду в Украине в 4-5 раз превышает аналогичные показатели других стран.

Продолжительная деятельность добывающих, особенно угледобывающих, предприятий на территории Украины обусловила существенную и многоплановую техногенную нагрузку на окружающую среду. Площади угледобычи занимают около трети территории Украины и представлены карьерами Днепровского буроугольного бассейна и Закарпатской угленосной площади, шахтами Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. Ликвидация шахт и карьеров в последние годы приводит к возникновению и развитию взаимосвязанных комплексов новых негативных явлений и процессов воздействия на окружающую среду. В последние годы вопрос влияния последствий угледобычи на литосферу, гидросферу, атмосферу и климатические изменения стал еще более актуален в связи с мировыми исследованиями влияния на изменения климата.



На современном этапе общественного развития, особое значение приобретает процесс формирования и реализации действенной и эффективной государственной экологической политики, учитывающей существующий природно-ресурсный потенциал регионов. Рассмотрению современных проблем охраны окружающей среды и определению направлений формирования и реализации государственной экологической политики, в том числе на региональном уровне, посвятили свои публикации такие ученые, как А. Бондарь, В. Кравцев, В. Потапенко, Л. Якушенко, Л. Яценко и др. [1, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12].

Мониторинг техногенных ландшафтов угледобывающих предприятий является актуальным исследованием с позиции изменения терриконов угольных шахт и их влияния на экологию региона.

#### Материалы и методы исследования.

За основу взяты полевые исследования, проведенные в 2019–2021 гг. Авторами публикации исследованы терриконы действующих и закрытых угледобывающих предприятий Красноармейского углепромышленного района. Отобраны пробы для определения газового состава в породах террикона и состав пород. Лабораторные исследования химического и газового состава пород терриконов проводились в комплексной лаборатории ГП "Укрнаукагеоцентр" г. Полтава.

#### Изложение основного материала.

Вмешательство человека в процесс развития ландшафта приводит к конфликтности отношений между его компонентами и далее его изменению (рис. 1). На современном этапе развития общества особенно обострились проблемы, связанные с чрезмерным использованием природных ресурсов, что обусловлено нарушением в размещении производительных сил и производственных мощностей в течение длительного времени и техногенной нагрузкой в добывающих регионах Украины. В последние годы, хотя и наблюдается спад производства, ежегодный уровень загрязнения окружающей среды достаточно высок. Влияние человеческой деятельности на структуры поверхности Земли, на сегодняшний день, особенно ощутимы в угледобывающих регионах.



Рис. 1. Террикон шахты Добропольская, 2021год.

Каждый угольный бассейн (в том числе шахта и углеразрез) имеют как общие, так и индивидуальные последствия разработки углепородных массивов, которые негативно влияют и влияют на окружающую среду и коррелируются с геологическим строением региона [2, 3, 7]. Мониторинг структурно-геоморфологических новообразований в геологической среде, имеющих природно-



техногенное происхождение, особенно в районах отработки горных выработок, может быть использован как полигон для проведения учебных и исследовательских работ для разработки методики антропогенового (техногенного, биосферного) картирования горнопромышленных агломераций GIS и карты современного состояния поверхности Google. На существующих геологических картах антропогенные нагрузки не показаны.

Современные геологические карты отражают последствия геологических процессов преимущественно доантропогеннового времени. Геолого-техногенные образования не отражены на существующих картах и принципиально важные черты современного состояния поверхности земли и ее недр остаются без внимания [8]. Именно современные методы GIS позволяют мониторинг площади терриконов, их формы и изменения, что негативно влияет на сельскохозяйственные угодья, с которыми они граничат.

Из рассмотрения современного состояния терриконов (рис. 1, 2) не возникает сомнений в актуальности и необходимости геологического картирования объектов, которые являются следствием взаимодействия природно-техногенных факторов современного геологического процесса. Целесообразно соединить картирование поверхности с позиции поиска и разведки вторичных (техногенных) месторождений отвалов, терриконов, отработанных горных выработок и т.д.



Рис. 2. Террикон шахты Добропольская (вид с Google планета).

Выведенные и поднятые на поверхность значительные массы включаются в природный энергетически-вещественный круговорот вещества и энергии на поверхности, становятся геологическими процессами, отражающими природно-техногенные, в том числе продолжающиеся на поверхности геолого-геохимические процессы (рис. 3, 4).

В ходе исследования определены особенности распространения газа и химический состав пород терриконов, проведена корреляция с полученными ранее результатами.

В углеродистых породах терриконов установлены минералы: кварц (SiO<sub>2</sub>), мусковит (KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub>), кальцит (CaCO<sub>3</sub>), клинопироксен (M'M Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, где M' — Mg, Fe<sub>2+</sub>, Na, Ca, Li; M-Mg,



Fe<sub>2+</sub>, Fe<sub>3+</sub>, Al, Mn<sub>2</sub>+, Ni<sub>2</sub>+, Ti<sub>3</sub>+ Ti<sub>4+</sub>, Cr<sub>3+</sub>, V<sub>3+</sub>), альбит (Na[AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]), гипс (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), каолинит (Al<sub>4</sub> [Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>] (OH)<sub>8</sub>), ломонтит (Ca(Si<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>)O<sub>12</sub>•4H<sub>2</sub>O) и пирит (FeS<sub>2</sub> (46,6% Fe, 53,4% S)).

Во всех угледобывающих бассейнах характерно наличие терриконов и значительное их влияние на почву: поднятием грунтовых вод и миграцией химических соединений из терриконов в почвы, расширением терриконов по площади. Процессы превращения в самих терриконах изучены недостаточно.



Рис. 3. Террикон ГП УК Краснолиманская, 2021 год.



Рис. 4. Террикон шахты Родинская, 2021 год (год после закрытия шахты).



Следует отметить, что на участках, где летом определены ненасыщенные углеводороды на терриконе Родинской шахты в осенне-зимнее время установлены задымление и повышение температуры при четко выраженном запахе газовой смеси. Следовательно, изучение газоносности терриконов следует продолжать, для мониторинга подобных явлений. Задымление терриконов в ноябре 2021 установлено как на шахте Родинская, так и Степная (блок 2).

Хотелось отметить, что изучение экологических нарушений в угледобывающих регионах происходит много лет, но это рассматривается как результат [7, 13]. Сегодня многое сделано, чтобы улучшить экологическую ситуацию в техногенно нагруженных угледобывающих регионах, но еще больше предстоит решить. Поскольку совместно с международными партнерами планируется провести реформирование угольной отрасли и трансформацию угледобывающих регионов Украины.

#### Выводы.

Угледобывающие регионы Украины, находящиеся в состоянии глубоких техногенных изменений и преобразований, имеют шанс использовать результаты интенсивных геолого-техногенных реальностей для выводов поисков научных основ природопользования и сохранения окружающей среды. На современном этапе общественного развития, которому присуще ускорение темпов научнотехнического прогресса с одной стороны, обострение экологических проблем и загрязнение окружающей среды – с другой, особое значение приобретает процесс формирования и реализации действенной и эффективной государственной экологической политики, учитывающей существующий природно-ресурсный потенциал регионов.

На территории закрытых шахт целесообразно проводить полную рекультивацию для улучшения экологического состояния техногенно нагруженных (горнодобывающих) регионов и предпочтение целесообразно отдавать комплексным промышленно-туристическим проектам.

#### REFERENCES

- 1. Baranovsky V.A. 2001. Ecological geography and ecological cartography: a monograph. Kyiv: Phytosocial Center, 252 p.
- Vergelska N., Vergelska V., Melnyk V. 2020. Influence of spent coal workings on the environment. Collection of scientific works IX International Geomechanics conference, September 7-11, 2020, Varna, Bulgaria. P. 304 - 310.
- Vergelska N. V., Vergelska V. V. 2020. Man-made landscapes of coal mining enterprises of Ukraine. Proceedings of the eighth scientific-practical conference "Mineral resources of Ukraine: ways of optimal use" (October 2, 2020, Khoroshiv). Kyiv. P. 31 - 34.
- 4. Final report on research work "Analysis of the state of implementation of regional environmental policy" [Electronic resource]. Access mode: <u>http://www.menr.gov.ua/docs/activity-ecopolit/NDR%20regionalna%20politika%202013.doc</u>.
- 5. Law of Ukraine "On the basic principles (strategy) of state environmental policy of Ukraine for the period up to 2020" of 21.12.2010 № 2818-VI [Electronic resource]. Access mode: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2818-17.
- 6. Kravtsiv V. S. 2007. Regional environmental policy in Ukraine and mechanisms of its implementation: NAS of Ukraine. Institute of Regional Studies. Lviv. 72 p.
- 7. Liventseva H. A., Vergelska V. V., Melnyk V. V. 2019. Ecological and hydrogeological challenges of coal mining regions of Ukraine. Tectonics and stratigraphy. Vyp. 46. S. 133–140.
- 8. Melnyk V. V. 2020. Monitoring the impact of coal mining regions on the environment. Tectonics and stratigraphy. Vyp. 47. pp. 139-144.
- 9. Nesterchuk I. K. 2011. Geoecological analysis: conceptual approaches, sustainable development: a monograph. Zhytomyr: ZhSTU. 312 p.
- 10. Olishevska Y. A. 2005. Methods of geoecological zoning of the territory of Ukraine: author's ref. dis. Cand. geogr. Sciences: 11.00.11 Kyiv. 22 p.



- 11. Potapenko V. Environmental and man-made problems in Ukraine that need to be addressed as a matter of priority. Analytical note [Electronic resource]. Access mode: <u>http://www.niss.gov.ua/articles/577/</u>.
- 12. Yakushenko L. M., Yatsenko L. D. On ways to increase the effectiveness of national programs in the field of environmental protection. Information and analytical reference [Electronic resource] Access mode: http://www.niss.gov.ua/articles/537/
- 13. Vergelska N. V. 2014. Geological prerequisites to evaluate gas-bearingness of the Krasnoarmiysk coalmine district, Donbass. Tectonics and stratigraphy. Vyp. 41. P. 41–46.



# TOPIC F

Environment protection in mining and construction activities

Опазване на околната среда при минни и строителни дейности

Охрана окружающей среды в горных и строительных деятельностях





### MINING LANDSCAPE RECLAMATION: AN IMPORTANT STEP TOWARDS ENVIRONMENTAL PROTECTION

# Prof. Ing. Vladimír Sedlák, Ph.D., Pavol Jozef Šafárik University in Košice, Faculty of Science, Institute of Geography, 5 Jesenná Street, 040 01 Košice, Slovakia, vladimir.sedlak@upjs.sk

#### ABSTRACT

Reclamation of the mining landscape is a long-term and process in revitalizing a destroyed ecosystem. The article presents the results of reclamation work in the former magnesite mine Košice-Bankov in the east of Slovakia. The reclamation brought several specific procedures mainly due to localization of the magnesite mine area nearby the forest park, which is a popular tourist and recreational zone for inhabitants of Košice and its surroundings. Geodetically collected data from the monitored mining subsidence created by long-term mining of magnesite were processed in the GIS environment for the virtual 3D visualizations within the framework of the reclamation plan.

Key words: Mining landscape, reclamation, mine subsidence, GIS, 3D modelling.

#### Introduction

At present, with an extremely sharp increase in people's material needs, priority must be given to their security from any economic prosperity of many countries around the world. To protect the environment, which should be an intact ecosystem, it is necessary to protect the lives of people and their property from adverse industrial impacts. One of the most negative industrial impacts on the whole ecosystem is the adverse impact of any mining activity. The land subsidence (mining subsidence, hereinafter referred to as subsidence) is created on the earth surface as a result of underground extraction of the mineral deposits especially at the chamber mining by a caving method [4, 9]. In many cases, the subsidence represents the large-scale and very deep down-thrown blocks that is dangerous for any movement of people in them. As at the deep mining there are created many large voids in the rock massif (especially during the aforementioned mining by the chamber method), their collapse occurs with the manifestations of deformations on the earth surface mostly in the form of the subsidence. The collapse of these cavities can occur at different time horizons, i.e. from the commencement of mining up to several years, or even decades or more after the end of mining. Especially for endangering the lives of people and their property, the most dangerous are the sudden and unexpected formation of invasions of the earth surface over the mined rock massif, which often happens even in some abandoned mines.

The nature and magnitude of the subsidence on the earth surface depends mainly on tectonic and geological conditions and also on the overload of the rock massif above the excavated space. Knowing the range, i.e. localization of the edges (boundaries) of the subsidence in mining territories may provide for more precise placement of technical barriers (fencings and warning boards) and thus help to prevent persons and animals from entering these danger zones. Geodetic methods for investigation of deformation vectors, which can be derived from the processing of some specifics geodetic measurements at the monitoring stations based on these mining territories, are the priority methods for determining the extent of movement in the subsidence on the earth surface above the excavated underground space. The deformation vectors in their 3D model concept the most markedly characterize any movements of the earth surface, buildings and other civil engineering structures located in the mining territory with occurrence of the subsidence. In many cases, 3D modelling of the deformation vectors is based on regular (periodic) monitoring the spatial changes in suitably structured points of the geodetic network of a monitoring station located on the earth surface or on buildings and civil engineering structures.

In the evaluation of deformation vectors and their 3D modelling, the time factor of the gradual creation of the subsidence over the mined-out space underground plays an important role in its overall evaluation of the earth ground movements. Possibility in improving polynomial modelling of the subsidence is conditioned by the knowledge to detect position of so-called break points, i.e. the points in the surface in which the subsidence



border with a zone of breaches and bursts start to develop above the mined mineral deposit. This means that the break points determine the edges of the subsurface at which the naturally consistent coherent of the earth surface is broken and the subsidence begins to form. 3D deformation vector models help to support the location of the break points [6, 7].

#### Mining Landscape Košice-Bankov and Environment

The territory Košice-Bankov is situated in the northern part of the city of Košice in Slovakia where a popular city recreational and touristic centre of the city of Košice is situated. This popular urban recreational area is located in close proximity to the mining area of the abandoned magnesite mine Košice-Bankov (Fig. 1). The entire recreational area of Košice-Bankov consists of an extensive forest park with several recreation and sports and cultural zones, which provide the inhabitants of the city of Košice close to their health-beneficial and relaxing suburban locality [8].



Fig. 1: Orthophoto map of the city of Košice with a detailed view of the mining territory Košice-Bankov.

The magnesite mine Košice-Bankov had been causing the devastation of the surrounding area for many decades and the negative impacts of mining have also uncontrollably interfered to the nearby touristic and recreational area and forest park. Mixed deciduous trees with predominance of the European beech (Fagus sylvatica) form the basic tree component of the forest park in the whole locality of Košice-Bankov. Despite the relatively high resistance of the European beech to dusty air pollution, the magnesite gradient (drift of microscopic trace elements of magnesite) from the nearby magnesite mine finishing mill has significantly damaged its ecosystem [3]. The beech forest began to degenerate and its surface area gradually decreased. The recreational, cultural and sports zones of the Košice-Bankov forest park have been constantly under the influence of magnesite dust for more than fifty years. Thus the beneficial oxinogenic healing effect of the forest park for its visitors has finally disappeared. Several ecological studies have confirmed an unfavourable nay alarming state of air pollution in the locality Košice-Bankov with the occurrence of harmful trace elements from magnesite gradient [3, 10].



Another negative impact of deep exploitation of magnesite on the forest park and surrounding area of Košice-Bankov was the devastation of the entire land surface in close proximity to the forest park. On the earth surface, a large mining subsidence gradually generated [5-7]. The mining subsidence (down-thrown block on the earth surface above the excavated underground space) [2, 4, 9] was approximately a circular ground plan with the diameter of about 450 m and the maximum depth of 50 to 60 m. Fig. 2 shows the panoramic views to the subsidence of Košice-Bankov from the south-western edge of this subsidence in 2002. In that time the magnesite mine had been out of its operation for three years. The most dangerous for humans was the number of deep cracks and fissures around the mining subsidence (Fig. 3) [7]. Their depth was up to several meters. Many of these cracks and fissures were overgrown with vegetation (dense shrubs and high grassland), making them invisible to humans. Several times there have been menacing injuries of people who disregarded warning signs about banning entry into a caving fall and undermined territory and they fell into these cracks and fissures and they had severe injuries, sometimes with permanent health consequences.



Fig. 2: The mining subsidence Košice-Bankov; panoramic view: spring 2002.



Fig. 3: Cracks and fissures around the mining subsidence Košice-Bankov.



#### Theory of the deformation vector specific solution

As already mentioned in the Introduction, the geometric and thus data structure of the geodetic network of the monitoring station in the subsidence may be changed by some external intervention, such as some unforeseen earthworks and construction works at the monitoring station. Estimation of the structures of geodetic networks based on the Gauss-Markov model is the most used and the most effective method for their processing. In determining the statistical formulation of the Gauss-Markov model we start from the following equations [5-7].

$$\mathbf{v} = A \left( \hat{C} - C^{o} \right) - \left( L_{(o)} - L^{o} \right) = A d \hat{C} - dL \tag{1}$$

$$\boldsymbol{\Sigma}_{L} = \sigma_{0}^{2} \boldsymbol{Q}_{L} \tag{2}$$

where  $\mathbf{v}$  is the vector of corrections of the measured (observed) values  $\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{A}$  are the configuration (modelling) matrix of the geodetic network (otherwise called also the Jacobian matrix), i.e. the matrix of the partial derivatives of functions  $\mathbf{L}^o = f(\mathbf{C}^o)$  by the vector  $\mathbf{C}^o$ ,  $\hat{\mathbf{C}}$  is the vector of the aligned 3D coordinate values,  $\mathbf{C}^o$  is the vector of the approximate 3D coordinate values,  $\mathbf{L}_{(o)}$  is the vector of the approximate observation magnitude values of the observed elements in the first measuring epoch  $t_{(o)}$ ,  $\mathbf{L}^o$  is the vector of the approximate observation magnitude values of the observed elements,  $d\hat{\mathbf{C}}$  is the deformation vector,  $d\mathbf{L}$  is the vector of the measured values supplements,  $\boldsymbol{\Sigma}_L$  is the covariance matrix of the measured values,  $\sigma_o^2$  is a priori variance,  $\mathbf{Q}_L$  is the cofactor matrix of the observations.

It will also be appeared in the changed structures, let us say in a size of the matrixes and vectors  $A, Q_L, C^o$  and  $L^o$ . These matrixes and vectors enter into the presupposed model of a network adjustment following out from the Gauss-Markov model.

#### **Deformation vector**

If between monitoring epochs there are no changes in the geometrical and observational structure of the geodetic network, then the matrixes and vectors  $A, Q_L, C^o$  and  $L^o$  remain identical for each epoch. Only in such case the deformation vector  $d\hat{C}$  can be determined by a conventional procedure according to the following model [7]:

in the basic (first) monitoring epoch t<sub>(0)</sub>, we have the vector C
 <sup>(0)</sup> of the adjusted 3D coordinates of the observed points which are obtained according to the Gauss-Markov model

$$\hat{C}_{(\theta)} = C^{o} + \left(A^{T} Q_{L}^{-1} A\right)^{-1} A^{T} Q_{L}^{-1} \left(L_{(\theta)} - L^{o}\right) = C^{o} + G\left(L_{(\theta)} - L^{o}\right)$$
(3)

• in other following epochs  $t_{(i)}$  we also obtain the vector  $\hat{C}_{(i)}$  of the adjusted 3D coordinates of the observed points according to the equation

$$\hat{C}_{(i)} = C^{o} + \left(A^{T} Q_{L}^{-I} A\right)^{-I} A^{T} Q_{L}^{-I} \left(L_{(i)} - L^{o}\right) = C^{o} + G\left(L_{(i)} - L^{o}\right)$$
(4)

• thus, for the deformation vector  $d\hat{C}$  will be valid the following equation

$$d\hat{C} = \hat{C}_{(i)} - \hat{C}_{(0)} = G(L_{(i)} - L^{\circ})$$
(5)

where  $L_{(0)}$  and  $L_{(i)}$  are the vectors of the observed magnitude values in the epochs  $t_{(0)}$  and  $t_{(i)}$ .

Furthermore, we consider the case when there is a change in the geometric and thus in the data structure of the geodetic network of the monitoring station between the individual epochs of measurements. It means, that the geometric and data structure of the geodetic network between the basic epoch  $t_{(0)}$  and the actual epoch  $t_{(i)}$  is changed. Then the transformation of the original matrixes vectors  $A, Q_L, C^o$  and  $L^o$  are transformed into the following equations

$$\overline{A} = A + dA \tag{6}$$

$$\overline{\boldsymbol{Q}}_{L} = \boldsymbol{Q}_{L} + d\boldsymbol{Q}_{L} \tag{7}$$



$$\overline{C}^{o} = C^{o} + dC^{o} \tag{8}$$

$$\overline{L}^{o} = L^{o} + dL \tag{9}$$

According to Eq(s). from (6) to (9) the vectors  $\overline{C}_{(o)}$  and  $\overline{C}_{(i)}$  of the adjusted 3D coordinates of the observed points in the epochs  $t_{(o)}$  and  $t_{(i)}$  will be determined

$$\hat{\overline{C}}_{(0)} = \overline{C}^{o} + \left(\overline{A}^{T}\overline{Q}_{L}^{-1}\overline{A}\right)^{-1}\overline{A}^{T}\overline{Q}_{L}^{-1}\left(L_{(0)} - \overline{L}^{o}\right) = \overline{C}^{o} + \overline{G}\left(L_{(0)} - \overline{L}^{o}\right)$$

$$(10)$$

$$\hat{\overline{C}}_{(i)} = \overline{C}^{o} + \left(\overline{A}^{T} \overline{Q}_{L}^{-I} \overline{A}\right)^{-I} \overline{A}^{T} \overline{Q}_{L}^{-I} \left(L_{(i)} - \overline{L}^{o}\right) = \overline{C}^{o} + \overline{G} \left(L_{(i)} - \overline{L}^{o}\right)$$
(11)

and then the deformation vector  $d\hat{C}$  is expressed according to Eq. (5) in the form

$$d\vec{\overline{C}} = \hat{\overline{C}}_{(i)} - \hat{\overline{C}}_{(o)} \tag{12}$$

which not only expresses the 3D changes in the coordinates of the geodetic network points between the individual epochs of measurement, but such deformation vector can also express changes in the overall

structure (geometric and data structure) of the geodetic network. The deformation vector  $d\overline{C}$  thus obtained will not provide reliable data for testing the particular deformations in the subsidence.

The proposed and presented theory of the specific solution of the deformation vector in a case of any structural changes in the geodetic network will be acceptable for its proving in an analytical way, if we compare the deformation vector structures  $d\hat{C}$  and  $d\hat{C}$  expressed according to Eq. (5) and Eq. (12). Then the structure of the deformation vector  $d\hat{C}$  is expressed according to Eq. (12) and the further equation will be valid

$$d\widehat{\overline{C}} = \left[\overline{C}^{o} + \overline{G}\left(L_{(i)} - \overline{L}^{o}\right)\right] - \left[C^{o} + G\left(L_{(0)} - L^{o}\right)\right] = \overline{G}\left(L_{(i)} - L^{o}\right) - G\left(L_{(0)} - L^{o}\right) + \overline{C}^{o} - C^{o}$$
(13)

and on the base of Eq(s). from (6) to (9) and also on the base of the linearization of  $\overline{G}$  into  $\overline{G} = G + dG$ , the following derivation will be applied for the deformation vector  $d\hat{C}$ 

$$d\widehat{\overline{C}} = (G + dG)(\underline{L}_{(i)} - \overline{L}^{\circ}) - G(\underline{L}_{(0)} - \underline{L}^{\circ}) + dC^{\circ} = \overline{G}[\underline{L}_{(i)} - (\underline{L}^{\circ} + d\underline{L}^{\circ})] + dG(\underline{L}_{(i)} - \overline{L}^{\circ}) - G(\underline{L}_{(0)} - \underline{L}^{\circ}) + dC^{\circ} = G(\underline{L}_{(i)} - \underline{L}^{\circ}) + Gd\underline{L}^{\circ} + dG(\underline{L}_{(i)} - \underline{L}^{\circ}) - G(\underline{L}_{(0)} - \underline{L}^{\circ}) + dC^{\circ} = G(\underline{L}_{(i)} - \underline{L}_{(0)}) + Gd\underline{L}^{\circ} + dG(\underline{L}_{(i)} - \overline{L}^{\circ}) + dC^{\circ}$$

$$(14)$$

and finally the deformation vector  $d\overline{C}$  will be calculated according to the following equation

$$d\overline{\vec{C}} = d\hat{C} + \delta d\hat{C} \tag{15}$$

Eq. (15) notates that the deformation vector  $d\overline{C}$  (calculated at some changes in the geodetic network structure) is different from its vector of the correct values  $d\hat{C}$  only by the component  $\delta d\hat{C}$  (i.e. the correction component of the deformation vector corrections). In such a set case, the component  $\delta d\hat{C}$  is generated not only by the spatial movement of points in the geodetic network between the particular epochs of the geodetic measurements, but at the same time it is generated by changes in the geometric and data structure of the network between the particular epochs due to some changes in its point field.

To avoid the so-called degradation of the deformation vector  $d\hat{C}$  due to changes in the geometric and data structure of the geodetic network and at the same time for the deformation vector to express the real spatial changes in the subsidence, the presented theory offers the following procedures:

- The geodetic networks at the monitoring stations shall be designed in order to achieve the maximal
  physical integrity of its points (object and especially reference points) throughout the entire monitoring
  period. When designing a monitoring station, expert consultation with representatives of a spatial planning
  and also with the mine district owners is essential.
- If some reference points were lost or destroyed, new points should be stabilized in enough proximity to these lost or destroyed reference points as possible. The same principle is held for the object points.
- However, if the matrixes A and  $Q_L$  are significantly or even slightly changed between the monitoring epochs  $t_{(o)}$  and  $t_{(i)}$  (for example, in  $t_{(o)}$  the geodetic network was measured by a trilateration



## Proceedings of the IX International Geomechanics Conference 7 – 11 September 2020, Varna, Bulgaria

measurement way, and in  $t_{(i)}$  by traverse measurement way, it is necessary to observe (measure) other new magnitudes, etc.), then the deformation vector  $d\hat{C}$  can be determined according to the following equations

$$d\hat{C} = C^{o} + \left(A^{T} Q_{L}^{-I} A_{(i)}^{-I} A_{(i)}^{T} Q_{L(i)}^{-I} (L_{(i)} - L^{o}) - \left[C^{o} + \left(A^{T} Q_{L}^{-I} A_{(o)}^{-I} A_{(o)}^{T} Q_{L(o)}^{-I} (L_{(o)} - L^{o})\right]$$
(16)

and

$$d\hat{C} = G_{(i)}L_{(i)} - G_{(0)}L_{(0)} - L^{o}(G_{(i)} - G_{(0)})$$
(17)

because using the identical  $C^{o}$  and  $L^{o}$  is not problem to adhere in the individual epochs. Or the deformation vector corrections  $\delta d\hat{C}$  are calculated according to Eq. (10), Eq. (11) and Eq. (13), so that the

deformation vector  $d\hat{C}$  is then corrected according to the introduced Eq. (15).

Before reclaiming the mining landscape on the territory of Košice-Bankov, the monitoring station was located on the site of the former subsidence at the mining shaft, which was called the Western shaft. The monitoring station was built from the geodetic network consisting of the network of the reference points (No: 01A, 01B, 01C, 01D) and the network of the object points (78 points in total). The object points were geometrically grouped into six geodetic network profiles (0-V) (Fig. 4). All geodetic network profiles of the monitoring station of Košice-Bankov were geometrically spaced across and along the expected movements in the subsidence. Gradually, by creating the subsidence, some object points were destroyed by the nature destructive processes in the subsidence.



Fig. 4: Monitoring station Košice-Bankov; (reference points 01C and 01D - destroyed points).

#### Reclamation of the Košice-Bankov mining landscape

The outputs from the deformation survey from long-term geodetic measurements at the monitoring station Košice-Bankov were implemented into Geographical Information Systems (GIS) to a process of a gradual reclaiming the mining landscape around the magnesite mine [1]. After completion of the mining operations and liquidation of the mine company it was necessary to determine the exact edges of the subsidence Košice-Bankov with the zones of residual ground motion (cracks and fissures) in order to implement reclaiming the devastated mining landscape. The obtained results from the deformation measurements were transformed into



3D model of the subsidence within GIS for needs of the Municipality of the city of Košice to implementation of the reclaiming work.

Given the fact that extraction of magnesite has been completed at the mine Košice-Bankov and this mine is abandoned since the end of the 90-years of the last century and whole mining territory Košice-Bankov with the huge subsidence on the conclusions of the deformation investigations are stable, the Municipality of the city of Košice adopted the plan for the reclaiming that mine landscape. Numerical and graphical presentation of long-term investigations on the deformation monitoring station Košice-Bankov with their successive test analyses of the deformation vectors confirmed stability of the subsidence. The subsidence and by mining activities devastated all surroundings around the mine plant of huge proportions began gradually to backfill by a secondary imported soil. The reclaiming work on the basis of the investigation geodetic deformation measurements around the former mining area Košice-Bankov began at the beginning of this century. Some final reclaiming work were completed in summer 2016 (Fig. 5, Fig. 6).



Fig. 5: The Košice-Bankov subsidence after reclaiming; panoramic view – summer 2016. Solar collectors on the site of the former mining tailings piles; afforesting (in the background) on the site of the former subsidence.



Fig. 6: The reconstructed recreation zone and revitalized forest park Košice-Bankov after reclaiming the mining landscape.



#### **Conclusion**

On the territory of the former extensive subsidence the forest park Košice-Bankov was built as the environmental green-forest part of the urban recreation area of the city of Košice. The subsidence was backfilled by imported natural material. Such sporadic embankment work took too long, i.e. more than years. After completion of the embankment and other earth-work the forest park Košice-Bankov was built on the territory of the former subsidence. It was planted in particular birch trees. Finalization of building the recreation area Košice-Bankov was completed in spring 2016. It has also reclaimed the mining tailings piles and the devastated surrounding territory of the former mining plant. On the site of the former mining tailings piles the solar collectors were built which contribute to renewable energy for the city of Košice The inhabitants of Košice and its surroundings thus received a health-friendly recreation area for their relaxation and rest.

#### Acknowledgement

The research study was supported by solution of the projects: APPV/SK-CN-RD-18-0015, Interreg ENI Programme/HUSKROUA/1702/8.1/0065 and VEGA/1/0839/18.

#### **References**

- Blachowski, J., 2016. Application of GIS spatial regression methods in assessment of land subsidence in complicated mining conditions: case study of the Walbrzych coal mine (SW Poland). In: *Natural Hazards*, 84(2):997–1014, ISSN Print: 0921-030X, ISSN Print: 1573-0840, ISSN Online: 2511-1280, doi: 10.1007/s11069-016-2470-2.
- Can, E., Mekik, Ç., Kuşçu, Ş., Akçin, H., 2012. Computation of subsidence parameters resulting from layer movements post-operations of underground mining. In: *Journal of Structural Geology*, 47:16-24, ISSN: 0191-8141, doi: 10.1016/j.jsg.2012.11.005.
- Hodnotenie kvality ovzdušia v Slovenskej republike, Verzia 1 (2018). (in Slovak). [Air quality assessment in the Slovak Republic, Version 1], Annex 1: Meracie stanice monitorovacích sietí kvality ovzdušia - 2017. (in Slovak). [Measuring stations of air quality monitoring networks - 2017]. [Cited: 10.12.2019]. Slovak Hydrometeorological Institute, Air Quality Monitoring Department, Bratislava, Slovakia, 63 pp./98 pp. Available at: http://www.shmu.sk/File/oko/hodnotenie/2017\_Hodnotenie%20KO\_v\_SR.pdf http://www.shmu.sk/File/oko/hodnotenie/2017\_Hodnotenie\_KO\_v\_SR\_Priloha.pdf
- 4. Kratzsch, H., 1983. Mining Subsidence Engineering. Berlin: Springer-Verlag, ISBN: 978-3-642-81923-0.
- 5. Sedlák, V., 1997. Modelling subsidence deformations at the Slovak coalfields. In: *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 24(2):339-349, ISSN: 1024-8684.
- Sedlák, V., 1998. Measurement and prediction of land subsidence above longwall coal mines, Slovakia. In: Borchers, W. J. (Editor), Land Subsidence: Case Studies and Current Research. Belmont: U.S. Geological Survey, 257-263 ISBN: 0-89863-197-1.
- 7. Sedlák, V., 2014. Mathematical testing the edges of subsidence in undermined areas. In: *Journal of Mining Science*, 50(3):465-474, ISSN: 1062-7391, doi: 10.1134/S1062739114030089
- 8. Stredisko Bankov, KETURIST.sk. (2008). (in Slovak). [Bankov resort]. [Cited: 18.12.2019]. Available at: http://www.keturist.sk/info/turisticke-vychodiska/strediska-a-centra/stredisko-bankov/
- 9. Whittaker, B. N, Reddish, D. J., 1989. Subsidence: Occurrence, Prediction and Control. Amsterdam: Elsevier, ISBN: 978-0-444-87274-6.
- 10.Znečistenie ovzdušia a jeho vplyv na organizmus ako celok, 2019. (in Slovak). [Air pollution and its impact on the organism as a whole]. [Cited: 17.12.2019]. Available at: https://uniba.sk/fileadmin/jlf/Pracoviska/ustav-patologickejfyziologie/07Pregradualne\_studium/02Zubne\_lekarstvo/04Handouty\_a\_prednasky/02Prednasky/14p\_Zneci

fyziologie/07Pregradualne\_studium/02Zubne\_lekarstvo/04Handouty\_a\_prednasky/02Prednasky/14p\_Zneci stenie\_ovzdusia\_zubne\_JP.pdf



# АДАПТАЦИЯ НА ОСНОВНАТА ФОРМУЛА В МЕХАНИКА НА МУЛДАТА

#### ЗА УСЛОВИЯ НА РУДНИК "БАБИНО"

Михаил Вълков<sup>1</sup>, Кристина Илиева-Стойчева<sup>2</sup> <sup>1</sup>Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София, Р. България, e-mail: mvulkov@abv.bg <sup>2</sup>Филиал Кърджали на Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски" София, Кърджали, Р. България, e-mail: ilieva\_krisi@abv.bg

# ADAPTATION OF THE BASIC FORMULA IN MINING SUBSIDENCE FOR THE CONDITIONS OF "BABINO" MINE

#### Michail Vulkov, Kristina Ilieva-Stoycheva

#### ABSTRACT

The study is in th field of rockmechanics. The article examines the formation of a mine subsidence when conducting underground mining or construction work. A new formula is considered summarizing the basic dependence in the mechanics of the mining subsidence. The possibilities for its adaptation for the specific conditions of a mine area are shown. An example of the application of the method is given, using measurement data for horizon 421 of the "Babino" underground coalmine. The calculations were done programmatically using PTC Mathcad.

*Keywords:*rockmechanics, miningsubsidence mechanics, basic formula summary, measurement data adaptation, application software

#### Защо се налага ревизиране на основната формула?

В последните години методите и технологиите за провеждане на минно-добивни работи в световен мащаб търпят бурно развитие. Наблюдават се сериозни изменения като резултат от предприетите мерки за рационализиране, интензифициране на добива и за прилагане на технологии, щадящи околната среда.

Новите технологии водят до съществено изменение на класическата картина на геомеханичната обстановка около добивните пространства и на формирането на минната мулда. На това се дължи наличието на несъответствие между пресметнатите и наблюдаваните на практика параметри на движението на скалите и на пресметнатите и реализиралите се щети на инфраструктурни и на природни обекти на земната повърхност като последствие от минните работи [5].

Тези факти предопределят големия интерес към геомеханичните явления, съпътстващи изследвания феномен, и към многочислените опити пресмятането на преместванията да бъде приведено в съответствие с новите начини на провеждане на добивните работи, характеризиращи се с увеличена интензивност, концентрация [5], с увеличен коефициент на подработеност [8] и др. подобни [6], [7], [9], [10].

Промените в изчислителните методи бяха търсени главно в изменения на вида на функцията на влияние [5], а не в самата структура на т.н. основна формула за определяне на слягането, която при решаване на двумерна задача има известния вид [5]:

$$w(x, y) = a. m. f(x)$$
, (1)

където w(x, y) е вертикалното преместване на точка с координати (x, y)- фиг.1;

а - коефициент на слягане;



m - иззета мощност на пласта полезно изкопаемо; f(x) - функция на влияние.



Фиг. 1. Схема за извеждане на новата зависимост

Опитите, промените в геомеханичната обстановка да се отразят единствено чрез промени във функцията на влияние, без да се засегне структурата на самата зависимост, не дават приемливи резултати.

Следващите разсъждения са базирани на модела на интегрално-геометричната теория за формиране на мулдата според изложеното в [2].

#### Нова формула

За създаването на новата формула е използвана следната систематика: Процесът на преместване на точките от зоната на влияние в скалния масив и на земната повърхност в следствие на провеждането на минните работи се разглежда като двустранен. От една страна, при подземно отстраняване на геоматериал във всички точки от зоната на влияние на извадения от равновесие скален масив се създава потенциал за преместване, който зависи единствено от иззетия обем и геометричните му характеристики (фиг.1). Този потенциал се реализира в известна степен, определена от физико-механичните свойства и структурните особености на средата скален масив.

На този модел на взаимодействие отговаря формула за определяне на вертикалните премествания със следната структура [3]:

$$w(x, y) = a. m. f(x, y). g(x, y),$$

където f(x, y) описва каква потенциална възможност за преместване е създадена в точка P(x, y) при изземане на определена част от пласта полезно изкопаемо;

(2)

g(x,y) показва как точката от скалния масив реагира на предложената възможност за движение.

Функцията на реакция на масива заема стойности от интервала  $0 \le g(x, y) \le 1$  и при g(x, y) = 1 от (2) следва формула (1), т.е. (2) обобщава съществуващата зависимост. Трябва да се отбележи и фактът, че с така въведената функция на реакция на масива е възможно на изследвания процес да се даде и описание с помощта на лингвистични променливи и да се прилагат размити множества за неговата интерпретация като се открива възможност да се отчитат и експертни становища, базирани на опита и на интуицията на експертите. От авторите са планирани изследвания в тази насока.

За определяне на хоризонталното преместване е необходимо да се конструира формула със структура, аналогична на (2), или да се използва доказалата се в практиката зависимост на С.Г.Авершин [1].



#### Логически модел

При конструирането на (2) е ползвана следната логическа схема: Причината (отстраненият геоматериал) предизвиква следствието (поява на вертикално преместване), преодолявайки съпротивлението на средата (реакцията на масива), т.е. отстраняването на даден обем полезно изкопаемо създава в точките на извадения от равновесие скален масив потенциална възможност (оферта за преместване), която зависи само от обема иззето полезно изкопаемо и геометрията на задачата, но не и от свойствата на скалния масив. Скалният масив реагира на създадената потенциална възможност по начин, зависещ единствено от неговите свойства и структурни особености, като осъществява само част (може и цялата) от създадената възможност за преместване.

В зависимост (2) се дава израз на по-общия природен закон, че явлението *следствие* се реализира чрез "филтриране" на причината през съответната физическа среда. Именно филтрирането определя степента, в която се реализира създадената потенциална възможност.

#### Подходи за определяне на реакцията на масива

Във връзка с намирането на функциите, характеризиращи реакцията на масива на предложената възможност на движение, могат да се приложат няколко подхода:

- Конструиране на тези функции с използване на сравнението между теоретичния модел и натурните измервания на реализиралите се премествания;

- Напълно теоретичен подход, при който след като са определени преобладаващите свойства на средата скален масив (еластични, вискозно-пластични и др.п.) върху преместванията на точките от зоната на влияние се наложи изискването те да удовлетворяват основните физически уравнения за съответната среда;

- Конструиране на функциите по чисто прагматични съображения (при абстрахиране от физическата същност на процеса) единствено на базата на изискването за по-пълно съответствие между пресметнатите и фактически реализиралите се стойности на преместванията.

#### Определяне на функцията на реакция на скалния масив по данни от измервания

В това изследване е предпочетен първият подход от изброените в предходния параграф. Предимствата се състоят основно в ползването на данни от натурни изследвания и в получаването на зависимост, която в голяма степен съответства на конкретните минно-геоложки и минно-технологични условия за даденото находище. Друго предимство е свързано с възможността измерванията на преместванията на точки от земната повърхност да се провеждат бързо и ефективно с модерни уреди и средства и да се обработват чрез прилагане на цифрови технологии.

Тъй като видът на f(x) е изяснен в [3], настоящото изследване е насочено към определянето на функцията g(x).

За намиране на реакцията на масива се сравняват теоретичният модел, представен със зависимост (2), и измерените стойности на слягането в натурни условия.

Измерванията, използвани в разработката, са реализирани от колектив под ръководството на проф. П. Мечкарски [4].

В изследването са анализирани измерените данни за хоризонт 421-1 на рудник за подземен добив на въглища "Бабино" в състава на СМК "Бобов дол". Основните характеристики на изземания пласт са:

- мощност на пласта около 4,8 m (от 4,19 m до 5,19 m);
- дълбочина на залягане около 420 m (H<sub>1</sub>= 412 m; H<sub>2</sub>= 428 m);
- наклон спрямо хоризонталата около 8°.

Преобладаващата част от скалите над пласта представляват глинести разновидности. Те имат усреднена якост на едноосен натиск около 1,13. 10<sup>9</sup> Ра. След почвения слой до дълбочина 200 m – 230 m са установени шистозни глини. Под тях следват пясъчници с мощност от 46 m до 104 m, след това е



ОТ

на лице тънък слой от глини и отново следват песъкливи глини с мощност от 70 m до 80 m. Под тях залягат отново пясъчници с мощност от 30 m до 36 m. Усреднено, от трите направени сондажа в участъка, глините са 64 – 83 %, а пясъчниците са 17 – 36 %. Непосредственото горнище е изградено от слаби, плътни шистозни глини и от аргилити. Изземането на въглищата в участъка се реализира с механизиран комплекс.

Разрези по западане на пласта и по простиране на пласта с главни сечения на мулдата на преместване при непълно подработване и при пълно подработване са представени на фиг.2.

Максималната стойност на вертикалното преместване в мулдата по линия на западане на пласта и по линията на простиране на пласта е  $w_m = 1,77083 \text{ m}.$ 



Фиг. 2. Разрез по западане на пласта и по простиране на пласта с главни сечения на мулдата на преместване при непълно подработване и при пълно подработване

В Таблица 1 колона 1 съдържа равномерни точки на полумулдата по задигане /от 1 до 70/ и на полумулдата по западане /от 70 до 170/ по линията на западане на пласта на хоризонт 421-1 на рудник "Бабино".

С w(x) (колона 2 на Таблица 1) са въведени стойностите на слягането, пресметнати по теория на потенциала, с дименсия m. Техните безразмерни стойности са в колона 3 на Таблица1. С  $\overline{w}(x)$  са обозначени измерените стойности в m – колона 4 на Таблица 1, а Колона 5 на Таблица 1 съдържа безразмерните стойности на  $\overline{w}(x)$ .

Измерените стойности на слягането се разглеждат като действително реализиралите се и определени чрез зависимост (2), а пресметнатите по потенциалната теория - като създадена възможност за преместване, т.е.

$$\overline{w}(x, H) = a. m. f(x). g(x).$$
(3)

$$w(x, H) = a. m. f(x),$$
 (4)

Разликата между пресметнатите по потенциалната теория и измерените стойности се определя

$$\Delta w(x, H) = m. a. f(x) - m. a. f(x). g(x)$$
 (5)

и стойностите на  $\Delta w(x, H)$  са посочени в колона 6 на Таблица 1.

Функцията на реакция на масива g(x), се намира след решаване на последното равенство спрямо нея



$$g(x) = 1 - \frac{\Delta w(x,H)}{m.a.f(x,H)} = 1 - \frac{\Delta w(x,H)}{w(x,H)}$$
(6)

и е таблично представена в колона 8 на Таблица 1, а нейният графичен вид е изобразен на фиг.3 с непрекъсната линия.

N₽	w(x)	w(v)	$\overline{\mathbf{w}(\mathbf{x})}$	W(V)	Δταγ	$\Delta \mathbf{w}$	0( <b>x</b> )	
	[m]	W(X)	[m]	W(A)		w(x)	P(A)	
1	2	3	4	5	6	7	8	
0	0	-0.000006	0.00000	0.00000	0.00	1.0000	0.0000	
10	-0.06850	-0.038056	-0.05910	-0.03337	0.00	0.1230	0.8770	
20	-0.07800	-0.043333	-0.06580	-0.03716	-0.01	0.1425	0.8575	
30	-0.52000	-0.288889	-0.51000	-0.28800	0.00	0.0031	0.9969	
40	-1.32000	-0.733333	-1.29500	-0.73130	0.00	0.0028	0.9972	
50	-1.70000	-0.944444	-1.65420	-0.93414	-0.01	0.0109	0.9891	
60	-1.76000	-0.977778	-1.71357	-0.96766	-0.01	0.0103	0.9897	
70	-1.800000	-1.000000	-1.77083	-1.00000	0.00	0.0000	1.0000	
80	-1.700000	-0.944444	-1.63220	-0.92171	-0.02	0.0241	0.9759	
90	-1.553000	-0.862778	-1.52010	-0.85841	0.00	0.0051	0.9949	
100	-1.420000	-0.788889	-1.35210	-0.76354	-0.03	0.0321	0.9679	
110	-1.250000	-0.694444	-1.12200	-0.63360	-0.06	0.0876	0.9124	
120	-0.710000	-0.394444	-0.67800	-0.38287	-0.01	0.0293	0.9707	
130	-0.510000	-0.283333	-0.45200	-0.25525	-0.03	0.0991	0.9009	
140	-0.310000	-0.172222	-0.26900	-0.15191	-0.02	0.1180	0.8820	
150	-0.150000	-0.083333	-0.12500	-0.07059	-0.01	0.1529	0.8471	
160	-0.090000	-0.050000	-0.05000	-0.02824	-0.02	0.4353	0.5647	
170	-0.001000	-0.000556	0.00000	0.00000	0.00	1.0000	0.0000	

Таблица 1: Данни за хоризонт 421-1 на рудник "Бабино"

Функцията на реакция на масива се търси като множествената зависимост, при която променливата y зависи от променливите  $x_1, x_2, \ldots, x_n$ , изразена като полином от 8 степен. Неизвестните коефициенти на полинома  $a_1, a_2, \ldots, a_n$  са пресметнати с вградената функция regress в РТС Mathcad и решението е показано на фиг.3. Резултатът е изведен под формата на вектор, на който първите три позиции съдържат служебна информация, а останалите са коефициентите на полинома по нарастване на степенния показател.

Функцията на реакция на масива като полином от 8 степен за данните на хоризонт 421-1 на рудник "Бабино" е:

$$U(x) = -15,437.x^{8} + 111,329.x^{7} - 335,799.x^{6} + 547,129.x^{5} + -519,554.x^{4} + 289,706.x^{3} - 91,192.x^{2} + 14,757.x + 0.012.$$
(7)

На фиг.3 е показано решението в програмна среда на РТС Mathcad и съвместно са изведени графиката на получените от измерванията данни, представени с непрекъсната линия, и графиката на регресионния полином, изобразена с прекъсвана (щрихова) линия.





 $U(x) := -15.437 \cdot x^8 + 111.329 \cdot x^7 - 335.799 \cdot x^6 + 547.129 \cdot x^5 - 519.554 \cdot x^4 + 289.706 \cdot x^3 - 91.192 \cdot x^2 + 14.757 \cdot x + 0.012 \cdot x^2 + 14.757 \cdot x^2 +$ 



Фиг. 3. Решение за определяне функцията на реакция на масива за хоризонт 421 на рудник "Бабино" в програмна среда на РТС Mathcad

Видът на получената интерполираща функция дава възможност да се правят изводи за физическата същност на реакцията на точките от скалния масив, на предложената възможност за преместване, както и за по-дълбоко осмисляне на същността на явлението.

#### Заключение

Предлаганата процедура за намиране на реакцията на масива е бърза и ефективна и значително подобрява изчислителните резултати с въвеждането на функцията, характеризираща реакцията на скалния масив на предложената възможност за движение (фиг.3). Чрез новата формула (2) е възможно изчислителният метод да се адаптира към конкретните условия за всяко изследвано находище. Това повишава качествено точността на пресмятанията на преместванията за други хоризонти и участъци на зададеното минно поле. Резултатите от направените пресмятания могат да бъдат използвани и при предварителните изчисления за находища със сходни минно-геоложки условия в етапите на проектиране на нови минни предприятия.

Определянето на функцията, характеризираща реакцията на скалния масив на предложената възможност за преместване, предоставена от изкуствено създадените под земята празни



пространства, дава завършен вид на най-широко използваната методика за определяне на преместванията и възможност за съгласуване на новата формула с измерванията in-situ.

#### Литература

- 1. Авершин С.Г. Сдвижение горных пород при подземных разработках. М., Углетехиздат, 1947, 215 с.
- 2. Вълков М.В., Геомеханични модели в минното дело., С.,ИК "Св.Ив. Рилски", 2011,стр.400.
- Вълков М.В., Нова формула за определяне на предизвиканите от подземни минни работи премествания в скалния масив и на земната повърхност, VII<sup>a</sup> национална маркшайдерска конференция с международно участие, 19÷23 юни 2000, Златни пясъци, стр. 177÷183.
- 4. Мечкарски П. и колектив, Маркшайдерски наблюдения за изучаване на деформационния процес при изземане на мощни пластове на голяма дълбочина за условията на СМК "Бобов дол", ВМГИ, Договор № 948, 1987 г.
- 5. Chilian, J.: Die Korrektur der Senkungsvorausberechnung bei anomalem Senkungsverlauf. In: *Glückauf-Forsch.h.* 45 (1984) H 3 S. 135-139.
- 6. Kratzsch H. Mining Subsidence Engineering, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1983, p. 543.
- 7. Bals, R.: Beitrag zur Frage der Vorausberechnung bergbaulicher Senkungen. In: *Min. Markscheidewesen*42/43 (1931/32), I. 98-111.
- 8. Knufinke, P., Bodenbewegungen über einem starkdurchbauten Abbaufeld im Ruhrgebiet. In: *Min. Markscheidewesen* 93 (1986) Nr. 3, S. 238-241.
- 9. Sauer, A.: Vergleich von Messungsergebnissen an Beobachtungslinien und Ergebnissen von Vorausberechnungen von Bodenbewegung. In: *Schriftenreihe Lagerstättenerfass. u. -darstellung, Bodenben: it. Bergschäden, Ing.-Vermess.* Berlin: Inst. Markscheidew., 1972.
- 10. ZhuWeiyi, Vorausberechnung der Bodensenkungen mit Hilfe einer dreidimensionalen Einflussfunution, das Markschidewesen 100 (1993) Nr.213, S 408÷419.



# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМ В ГОРНОЙ ЗОНЕ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Алборов И.Д.- д.т.н., проф., зав. кафедрой; Тедеева Ф.Г.- к.т.н, проф.; Мадаева М.З. (доцент Грозненского государственного нефтяного университета); Гриднев Е.А.- к.т.н., доц., Гуцаев Ф.Х.аспирант кафедры, Алборов С.Т. магистр кафедры экологии и техносферной безопасности, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет), e-mail: ekoskgmi@rambler.ru, ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, Россия, 360021

#### РЕЗЮМЕ

В статье приведены результаты выполненных исследований на территории деятельности объектов переработки полиметаллических руд Садонского рудного поля, включая металлургический передел в г. Владикавказ. Дается оценка состава, как добываемых минералов, так и отходам переработки руд и концентратов. Показаны жизнедеятельность отдельных видов растительного сообщества в зоне деятельности полигона отходов переработки руд, приведен уровень миграции подвижных форм ионов тяжелых и других металлов из почвы в растительные сообщества. Даны выводы и предложения по испытуемым видам растений, возможность их использования для детоксикации загрязненной тяжелыми металлами почвы.

**Ключевые слова**: горный ландшафт, аэрозоли, экосистемы, веществ, техногенный фактор, разряженная атмосфера, тяжелые металлы.

#### Введение

В целях сохранения близкой к природной растительности, а также для растениеводческих и лесоводческих целей в условиях антропогенного загрязнения особое значение придается вопросу, насколько имеющиеся растения уже обладают устойчивостью к тяжелым металлам. Для проверки этого существует несколько способов, например, сравнительное измерение роста корней и метод сравнительной протоплазматики [8, 2, 1].

Воздействие на почву неодинаково в зависимости от источника загрязнения на плотно заселенной территории, которые обычно занимают удобные и выгодные местоположения. По этой причине очищение (восстановление) почв от избыточных масс поллютантов представляет весьма актуальную задачу. Ее практическое решение пока остается на стадии разработки. Одним из возможных путей решения этой задачи может быть фиторемедиация - очищение почвенного покрова от загрязнения посредством культивирования растений, активно поглощающих загрязняющие вещества. Фиторемедиация является высокоэффективной технологией очистки от ряда органических веществ. Растения можно использовать для очистки твёрдых, жидких и воздушных субстратов [4, 3, 5]. Фиторемедиация загрязнённых почв и осадочных пород уже применяется для очистки военных полигонов (от металлов, органических поллютантов), сельскохозяйственных угодий (пестициды, металлы, селен), промышленных зон (органика, металлы, мышьяк), мест деревообработки (ПХБ). Фиторемедиации могут быть подвергнуты городские сточные воды, сточные воды сельского хозяйства и промышленности, грунтовые воды [6]. Для достижения максимальной эффективности очистки фиторемедиация может использоваться в сочетании с другими методами биоремедиации и небиологическими технологиями очистки. Например, наиболее загрязненные части субстрата могут удаляться путем экскавации, после чего дальнейшая очистка может проводиться с помощью растений [7].

#### Предмет исследования

В экосистемах с горно-перерабатывающей составляющей происходит многофакторное влияние процессов производства на локальную экосистему местности, что способствует развитию негативного



воздействия на флору и фауну, поэтому исследования направленные на изучение развития каждого из факторов является актуальной научно практической задачей. Учитывая многолетние наблюдения проживающего в этой зоне населения можно констатировать, что уровень разрушения роста и развития растений достигает ощутимых значений в связи с изменением вкусовых качеств садоводческой продукции (яблоки, груши), не говоря уже о проявление тенденций к исчезновению некоторых видов растений. Все вышеприведенное и послужило авторам основанием выбора объекта исследования локальная экосистема воздействия Садонского свинцово-цинкового комбината.

#### Результаты выполненных научно-практических исследований

Разработка технологии детоксикации почвенного горизонта техногенно загрязненных земель деятельностью горно-индустриального комплекса в отрогах гор Северного Кавказа является актуальной научно практической задачей. В результате выполнения исследований на территории деятельности объектов горной индустрии будет создана матрица, включающая этапы использования апробированных средств и способов нейтрализации привнесенных в почву техногенных компонентов в результате разработки и эксплуатации месторождений полиметаллических руд в условиях горных территорий Северного Кавказа. Реанимация загрязненных тяжелыми металлами земель откроет новые возможности для эффективного природопользования в условиях малоземелья горных провинций. Проведение натурных исследований почвы по потере элементов питания растений, вследствие накопления тяжелых, токсичных металлов, а также другие техногенные факторы, влияющие на формирование почвенного горизонта, позволят создать модель восстановления почвенного слоя в этой зоне с учетом природно-климатических факторов.

Общеизвестно, что ведение горных работ сопровождается нарушением литосферы с существенными изменениями гидрогеологических условий почвенного горизонта и ландшафта, перемещением горных масс, накоплением на дневной поверхности вывозимых из рудников горных пород, хранение которых наносит многоплановый вред окружающей природе, и еще не в полной мере оцененный экологический ущерб.

Горнотехнические условия разработки скальных месторождений Садонского полиметаллического месторождения (Республика Северная Осетия-Алания) обладает особенностями, определяющими подход к оптимизации технологии разработки месторождений. Рудное поле сложено кристаллическими сланцами и известняками, гранитами и гранодиоритами, осадочно-вулканогенными отложениями и четвертичными образованиями, и характеризуются довольно сложной тектоникой. Рудные тела образуют сложную жильную систему, состоящую из рудных зон с серией жил и прожилков мощностью до 8 м. Коэффициент крепости по шкале проф. М, М. Протодьяконова колеблется от 6 до 16. Породы смяты и передавлены. Зона состоит из раздавленных до рыхлого состояния гранитов. Горный массив характеризуется интенсивным горным давлением, наиболее проявляющимся на участках совокупности эксплуатационных выработок, общая протяженность которых достигает 200 км.

Месторождения (Садонское, Згидское, Холстинское, Буронское, Фиагдонское, Архонское и Верхне-Згидское), слагающие систему Садонского месторождения, сбрасывают в речную сеть около 1100 м<sup>3</sup>/ч неочищенных шахтных стоков с повышенной минерализацией. Горные породы месторождения содержат более 10% свободного кремнезема (SiO<sub>2</sub>), поэтому вентиляционные выбросы формируют мощный очаг влияния не только на прилегающую территорию, но и далеко за его пределами. Пыль рудников содержит свинец и цинк. Взвешенные фракции пыли размерами менее 2-х мкм составляют более 50% от общего объема вентиляционных выбросов. Вместе с тем в формировании пылевой обстановки атмосферного бассейна района участвуют такие источники, как: поверхностная эрозия, испарение шахтных вод и водной поверхности хвостохранилищ обогатительного производства, погрузочно-разгрузочные работы на руддворах, дробление перерабатываемой на обогатительной фабрике руды и другие работы. Взвешенные пылевидные частицы содержат до 44% двуокиси кремния, 0,8-0.9% свинца, осевшие 8-10% при допустимой концентрации 0,01 мг/м<sup>3</sup>. Силикозоопасность осевших пылей характеризуется их суммарным минеральным значением, равным для кварц - сульфидных руд-58, для гранитов - 70, альбитофиров - 67, Силикозоопасность взвешенных



частиц пыли указанных руд – соответствует 50, 63 и 57%. Интегральным воздействием выбросов в атмо-, гидро- и биосферу Садонские рудники оказывают прямое воздействие на прилегающий район площадью до сотен квадратных километров и косвенно - на регион Северного Кавказа. Садонское полиметаллическое месторождение порождает зону повышенной ионизации над поверхностью региона. Складчатость и трещиноватость горных пород повышает интенсивное выделение эманации радия, тория и актиния, Погодные условия и изменение барического давления способствуют активизации или замедлению выхода эманаций. Повышенная эманация воздуха поддерживается горными бурными реками и ультрафиолетовой составляющей солнечной радиации в разряженной атмосфере горных ландшафтов. Выход эманаций слаборадиоактивных ионов усиливает целебные свойства высокогорного воздуха, однако из-за пылевого загрязнения биосферы положительное влияние ионизации уменьшается.

Эксплуатация месторождения ведется около 170 лет. Суммарное влияние природных и техногенных факторов добычи и переработки сырья обуславливает механизм и интенсивность формирования очага влияния горных работ на окружающую среду.

Металлургия свинцово-цинкового производства сопровождается выделением в атмосферный воздух города сернистых газов, диоксинов и аэрозолей: свинца, цинка, кадмия, мышьяка, ртути и др. Уровень риска выбросов указанных вредностей определяется разными причинами, среди которых наиболее частым является эпизодические дискретные выбросы сернокислотного производства. Наличие в отходах высокого количества углерода (коксика) и серы вызывает периодическое горение в теле полигона отходов с выделением сернистых газов и других продуктов горения. Процесс взаимодействия углерода и серы с выходом языков пламени горения на дневную поверхность из трещин тела клинкера снижается и может прекратиться со временем, после полного выгорания серы в отходах. Продолжительное время воздушный бассейн г.Владикавказ характеризовался высокой загазованностью, поэтому уровень этого воздействия овладело пространством далеко за пределами источника их возникновения. Совместное влияние горно-долинной индустриальной агломерации на флору и фауну остро ставит проблему защиты окружающей природной среды, особенно в условиях рыночных отношений. На одного жителя среднем в год до недавнего времени приходилось несколько сотен килограммов свинца, цинка, кадмия, ртути, двуокиси серы, окиси углерода, окислов азота, паров кислот, углеводородов, органической и минеральной пыли и др. Несмотря на принимаемые на локальном и государственном уровне меры по технологическому перевооружению, ни одно предприятие не обеспечивает реализацию малоотходного или безотходного производства с использованием замкнутого цикла переработки сырья и энергоресурсов. Загрязнено более 600 квадратных километров территории республик, причем около 400 из них в г.Владикавказе.

Превышение ПДК по тяжелым металлам вокруг завода «Электроцинк» наблюдается на глубине до 80 см в радиусе до 3-х километров, на глубине до 30 см – в радиусе до 5 км, на глубине 10 см – в радиусе до 8 км. Интегральное содержание свинца, цинка, кадмия, меди, ртути в почвах превышает ПДК более чем в 200 раз. Совокупное воздействие следовых доз веществ органического и минерального происхождения в сочетании с солями тяжелых металлов в разы увеличивают тератогенную, мутагенную и канцерогенную активности на компоненты биосферы, включая человека. Воздействие горных разработок проявляется в результате «цепной реакции», вызванной прямым влиянием, и обусловливается взаимовлиянием и взаимодействием между топологическими элементами ландшафта. По мере развития добычных работ косвенное воздействие на среду обитания возрастает и достигает своего максимума к моменту завершения освоения запасов месторождения. Включаются накопленные целевые средства – ликвидационный фонд на проведение работ по завершению деятельности предприятия, что позволяет привести в надлежащее состояние выделенную под горный отвод территорию.

Традиционная технология переработки концентратов в металлургическом производстве скопило большие объемы шлаков на промплощадках и отвальных полях, расположенных в городской зоне, вблизи селитебных кварталов, нанося значительный вред окружающей среде и человеку. В г.Владикавказ завод «Электроцинк» перерабатывает свинцово-цинковые концентраты Садонских



полиметаллических руд в течение более 100 лет, отходы переработки которого в объеме более 3,5 млн. т размещены на промплощадке и на отвальном поле. Общая площадь, занимаемая отвалами в городской зоне, составляет около 35 га. Состав отходов шлаков приведен в табл. 1.,где отмечено преобладание железа, кремния, серебра.

Таблица 1. Состав лежалого к	клинкера ОАО «Электроцинк».
------------------------------	-----------------------------

Au,	Ag, г/т	Zn,	Cu,	Fe,	SiO <sub>2</sub>	CaO	Pb,	As,	C,	S <sub>общ</sub> ,	Мо,	Mn,	Co,
г/т		%	%	%	, %	, %	%	%	%	%	%	%	%
1,5-2,5	240,7	2,4	2,6	21,3	12,3	0,7	0,3	0,14	14,9	1,95	0,02	1,06	0,01

#### Деградационные процессы в техносфере в трехмерных ландшафтах

Хрупкие экосистемы, к которым относятся горные территории Республики Северная Осетия Алания. являются предметом пристального внимания ученых ландшафтоведов, геоэкологов, географов и других специалистов, чья деятельность связана с трансформацией литосферы и свойств. связанных с деградацией, под влиянием природных и негативных техногенных процессов. Такая тенденция связана лишь с факторами, присущими горным трехмерным ландшафтам со свойственными им специфическими климатическими, орографическими и барическими свойствами горных провинций. Одновременно параметры геофизических процессов, претерпевают серьезные изменения, поэтому общепринятые методы и традиционные технологии эффективно применяемые в равнинных условиях могут быть использованы при соответствующей корректировке или вообще могут оказаться неприемлемыми. Как было отмечено ранее в предыдущих отчетных материалах задача исследований сводится к созданию эффективной системы природопользования в рамках действующей природнотехнической системы (ПТС) в зоне деятельности горно-металлургических производств. Поэтому в отчетных материалах будут рассмотрены все аспекты функционирования (ПТС) с учетом сохранения природного равновесия в экосистеме с соблюдением нормативно правовых требований действующего природоохранного законодательства. В процессе работы было установлено, что в зоне деятельности Унальского хвостохранилища, уровень загрязнения почвенного профиля продолжает расти. Такое состояние почвенного профиля связано, прежде всего, с усилением активности выноса вредных веществ с пляжной зоны полигона в окружающую среду Унальского хвостохранилища.

Высокие (более 5-20 м/с) скорости ветра в горных условиях, по данным метеонаблюдений отмечаются редко, примерно 2-5 раз в год, а иногда раз в две недели. Как показали наблюдения, хвостохранилище Мизурской обогатительной фабрики было построено без учета горнодолинных ветров и фенов. Возведенное в пойме реки Ардон Унальское хвостохранилище попало под воздействие местных циркуляций воздушных масс. Отсохшие отходы фабрики в значительной степени токсичные, развеваются по Унальской котловине. В межгорных депрессиях близ полей полиметаллического оруденения редко, но локально распространены эндемические нервные заболевания – цефальгия и миалгия, что связано с химическими особенностями территории. Природные и, в первую очередь, климатические факторы здесь благоприятно влияют на больных хроническим бронхитом, ринитом, остаточными явлениями адгезивного плеврита, силикозом, бронхиальной астмой, а также различными формами анемий, функциональными заболеваниями нервной системы, начальными формами артериальной гипертонии. В целом для этой зоны характерна сравнительно низкая общая заболеваемость. По результатам проведенных в ноябре-декабре 2017года инструментальных исследований поверхности пляжной зоны Унальского хвостохранилища с помощью портативного рентгенофлуоресцентного анализатора Olympus (анализатор химического состава VANTA) шагом в 5 м, поэлементное содержание химических ингредиентов выглядит в следующем виде, в процентном исчислении: алюминий - 2,2-5,4; кремний - 8,3-20,0; сера - 1,5-7,2; железо - 2,5-12,6; свинец - 1,1-2,6; кальций - 1,1-5,2; цинк - 1,1-12,8; кадмий - 1,1-2,0; медь - 1,1-13,0.



Такие изменения содержания поэлементного состава в поверхностном слое связано с переработкой кеков на Мизурской обогатительной фабрике, отходы обогащения которой гидротранспортом направляются в Унальское хвостохранилище. Одним из возможных способов очистки загрязненных тяжелыми металлами земель является использование различных групп растений для вывода подвижных форм химических элементов путем миграции через корневую систему. Нами проведены исследования по выбору наиболее приемлемых видов растений для их эффективного использования для очистки почвы от тяжелых металлов. Ниже на рис.1 приведены диаграммы, характеризующие содержание различных ингредиентов в составе опытных видов растений, высаженных в зоне деятельности Унальского хвостохранилища (в 5-10 м от границы дамбы).



Рис.1. Наличие тяжелых металлов в составе различных видов растений.

Приведенные результаты исследований по мониторингу растений экосистем горной местности показали, что они различаются различными сорбционными способностями накапливать тяжелые металлы в течение вегетации, что может быть использовано в качестве диагностики по оценки территории горной местности после добычи полезных ископаемых.

#### Выводы и предложения:

Как видно из приведенных графиков почти все испытуемые растения имеют в своем содержании тяжелые металлы. В зоне деятельности хвостохранилища наиболее высокий уровень содержания свинца и цинка выявлены в клевере, крестовике, шалфее и кровохлебке, причем в кровохлебке эти металлы сосредоточены в корневой части, в то время как душица практически не реагирует на наличие указанных металлов.



Таким образом, из проведенного полевого опыта стало ясно, что эффект растений для очистки почвы от тяжелых металлов зависит от корневой системы и вида растения. Необходимы более представительные исследования для выбора растений с более высокими сорбционными свойствами по отношению к тем ингредиентам, которые мигрируют в почвенный горизонт.

#### <u>Литература</u>

- Алборов И.Д., Заалишвили В.Б., Тедеева Ф.Г. и др.- Экологический риск, принципы оценки окружающей природной среды и здоровья населения, г. Владикавказ: ИП Цопановой А.Ю. 2013, 343 с.
- 2. Алборов И.Д., Тедеева Ф.Г. Экоформирующие факторы при добыче и переработке руд. Ж. Устойчивое развитие горных территорий.№2(4) 2010, С.39-46
- 3. Бекузарова С.А., Александров Е.Н., Вайсфельд Л.И., Эйгес Н.С., Плиев И.Г. Патент № 2555595, опубликован 10.07.2015. МПК В09С1/10, А61D3/02, А01В7902
- 4. Бекузарова С.А., Бзиков М.А., Джанаев Х.Г., Цагараева Э.А., Кудзаева И.Л. Изобретение « Способ повышения плодородия почв» Патент № 2229782, опубликован 10.06.2004. МПК Ф01В79/02. A01C21/00
- 5. Бекузарова С.А., Ханиева Ф.М. Изобретение «Способ дезактивации почв, загрязненных радиоактивными нуклидами» Патент № 2574693, опубликован10.02.2016.- МПК Ф01В79/02, В09С1/00,G21F9/34
- 6. Биологический контроль окружающей седы. Генетический мониторинг. М.: Издательский Центр «Академия»,- 2010ю- 136 с.
- 7. Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование (под ред. О.П. Мелеховой, У.И. Сорапульцевой) М.-: Издательский Центр «Академия».- 2010.- 156 с.
- 8. Вопросы совершенствования горного производства (К 125–летию Садонских рудников). Изд-во ИР, Орджоникидзе, 1968г. С. 3-15



#### ВЛИЯНИЕ ОТРАБОТАННЫХ УГОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

#### Наталия Вергельская, Виктория Вергельская, Василий Мельник Государственное учреждение «Научный центр горной геологии, геоэкологии и развития инфраструктуры НАН Украины» (ГУ НЦГГГРИ НАНУ) Украина, 01601, г. Киев, бульвар Вернадского 34-б; e-mail: vnata09@meta.ua, vvika10@meta.ua

#### РЕЗЮМЕ

Изучение отработанных участков действующих шахт, позволит изучить процессы трансформации в отработанном пространстве, что позволит определить комплекс работ по снижению влияния отработанных участков и закрытых шахт на экологию угледобывающего региона. При ликвидации угледобывающих предприятий следует учитывать: тектонические нарушения углепородного массива, водоносность разрабатываемых горизонтов и газовую миграцию, как в массиве, так и на поверхность.

Ключевые слова: экология угледобывающих регионов, отработанное пространство шахт.

#### THE IMPACT OF SPENT AREAS COAL MINES ON THE ENVIRONMENT

#### Nataliia Vergelska, Viktoriia Vergelska, Vasiliy Melnik State institution "Scientific Center of Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of NAS of Ukraine" (SI SCMGGID NASU), Vernadskogo 34b, 01601 Kyiv, Ukraine e-mail: vnata09@meta.ua, vvika10@meta.ua

#### ABSTRACT

Studying the worked out areas of the existing mines will allow us to study the transformation processes in the worked out space, which will allow us to determine the scope of work to reduce the impact of the worked out areas and closed mines on the ecology of the coal mining region. When liquidating coal mining enterprises, one should take into account: tectonic disturbances of the coal-bearing massif, the water content of the horizons being developed, and gas migration, both in the coal-rock massif and on the surface. **Key words**: ecology of coal mining regions, mining space areas.

#### Вступление

В последние годы значительное внимание уделяется не только рациональному извлечению полезных ископаемых, но и экологии угледобывающих регионов. На территории Украины разрабатываются три угледобывающих региона, которые влияют на их окружающую среду. В начале 2000-х годов было проведено сокращение работающих шахт (закрытие), но процессы, которые протекают в угольных выработках имеют негативное влияние и после их закрытия. Наиболее очевидно их влияние в населенных пунктах – провалы и просадки зданий, газ в подвалах строений, а за пределами населенных пунктов – терриконы, подтапливание территорий, изменение гипсометрии поверхности. Как результат значительные территории угледобывающих районов имеют техногенные нагрузки, которые негативно сказываются на окружающей среде.

Значительное внимания исследованию влияния угольных шахт уделяли А.Я. Радзивилл, В.В. Лукинов, Г.И. Рудько, Л.И. Пимоненко, В.Г. Верховцев, И.В. Удалов, Е.С. Козий и многие другие. В то время, когда главное внимание было уделено исследованиям периоду разработки угольных месторождений, влияние отработанных выработок на окружающую среду не проводилось, за исключением отдельных измерений поверхности, состоянию терриконов. Исследование, влияния отработанных участков угольных выработок на окружающую среду позволит проводить работы по снижению негативного влияния и закрытых шахт.



#### Материалы и методы исследования

В основу положены исследования, проведенные в 2010 -2015 годах, дополнены работами 2019 года. На основании более 300 проб угля, вмещающих пород и газа с исследованных массивов отработанных угольных выработок. Лабораторные исследования проводились в комплексной лаборатории ГП «УКРНАУКАГЕОЦЕНТР» г. Полтава, в лаборатории ГП «Донецкгеология» г. Бахмут. Описания пород и их состояние в отработанном пространстве, размеры новообразованных техногенных коллекторов – авторами публикации. Для обобщений использованы данные геологических и маркшейдерских служб шахт, за что авторы благодарны Д. Гуни, А. Шевченко, О. Правоторовой, И. Назаровой.

#### Результаты исследования

Угольные шахты на территории Украины начали свою работу более 250 лет назад. За это время глубина выработок опустилась в отдельных регионах до 1600 – 1800 м, в среднем 600 – 900 м на востоке (Донецкий бассейн) и до 500 – 800 м на западе (Львовско-Волынский бассейн). В центральной части – Днепровский буроугольный бассейн, глубина карьеров до 90 м, а шахт до 250 м. Для каждого угольного бассейна (рис. 1) обозначены как общие, так и индивидуальные тенденции последствий выработки угольных пластов, которые негативно влияли и влияют на окружающую среду и коррелируются с геологическим строением региона. К сожалению, проводить исследования процессов в закрытых шахтах невозможно, но при исследовании отработанных частей, возможно проводить аналогии для обоснования проведения работ по уменьшению техногенных нагрузок на территории угледобывающих предприятий и улучшение экологической ситуации.



Рисунок 1. Карта-схема расположения угольных бассейнов на территории Украины

Для всех шахт характерно: изменение гипсометрического уровня поверхности (прогибание поверхности над выработками), наличие терриконов, развитие современной трещиноватости пород и миграция газов к поверхности, подтопление подземными водами и образование водоемов на



поверхности (Львовско-Волынский бассейн). Все названные причины несут изменения строение осадочных толщ, подземных вод, экосистем.

В районах угледобычи при проведении дистанционных методов исследования и дешифрировании космоснимков установлено формирование техногенных мелких структур, названных «шагреневой кожей» [2]. Наиболее характерны они для Донецкого бассейна, где угольные пласты залегают под углом, и часть из них разрабатываются перпендикулярно к падению, что позволяет при проседании кровли формировать «шагреневую кожу». Это негативно влияет на поверхностные ландшафты и грунтовые воды, что для степной зоны региона негативно влияет на развитие растительного покрова и биоценозов.

При разработке угольных пластов в пределах городов, через несколько лет можно прослеживать и просадку строений и городских коммуникаций. Негативно сказываются последствия и на транспортных дорогах как в городах, так и за их пределами, в зонах влияния отработанного пространства угольных шахт.

Развитие трещиноватости массивов приводит к повышению газовой миграции и формированию газообильных зон на поверхности. Такие зоны могут быть причинами возгорания. По нашим исследованиям содержание углеводородных газов в почве возрастает в 4 раза в сравнении с зонами не тронутыми подземными выработками. Сейчас эти исследования продолжаются, чтобы определить изменения во времени.

Так же опасна миграция газа к поверхности в городах, так как в подвалах строений собираются значительные скопления углеводородных газов, в результате происходят взрывы и их возгорания.

В зоне влияния Грачевского и Федоровского сбросов (рис. 2) (ГП «УК Краснолиманская») при дегазации отработанного пространства произошло возгорание отработанной выработки. Изменение углеводородных газов (метана) происходило в таких показателях: 0,86 % (в начале изучения); 1,2 – 1,8 % (через 1 неделю после стабилизации массива); 16 – 20% (через 6 недель после стабилизации массива). Таким образом, изменения газовой составляющей показывает современную вертикальную миграцию газов по тектоническим нарушениям, в углепородном массиве, что предопределено расположением выработки между двумя нарушениями.

Определенная газовая миграция тектоническими нарушениями в данной выработке может быть прослежена и в других, аналогичных по геологическому строению, углепородных массивах.

Как правило, техногенные коллектора (отработанные выработки) заполнены вмещающими породами (песчаниками, аргиллитами, алевролитами, сланцами, карбонатами и их углистыми разностями) и углем. Мощность техногенного коллектора увеличивается в 1,5 – 2,5 раза от мощности выработанного угольного пласта. Что позволяет проводить дегазацию отработанного пространства, которое постоянно пополняется углеводородными газами [2, 3].

Таким образом, газовая миграция характерна для отработанных частей углепородных массивов и может использоваться в качестве газового коллектора, что снижает миграцию газа на поверхность, снижая эмиссию газа на поверхность.

При закрытии шахт или отработанных участков «мокрой консервацией» повышается уровень подземных вод. Шахтные воды по своему химическому состоянию, как правило более агрессивные, и легко вступают в реакцию с рудничной атмосферой и железными конструкциями [1, 2, 4]. В связи с структурой шахтных полей, смежные шахты взаимосвязаны, что приводит к перераспределению вод, обогащенных газом и химическими элементами, по пласту разных выработок. Также подземные воды не только переносят газ, но и вытесняют его на поверхность. В отработанном пространстве, за счет газовой миграции, происходит насыщение воды газом, что было изучено нами на шахте «Свято-Покровская» (5 лет закрыт участок мокрой консервацией). Следует отметить, что количество углеводородных газов в воде увеличивалось, а водоносный горизонт постепенно трансформировался в водо-газоносный. Распространение шахтных вод негативно влияет на породы, с которыми они вступают в контакт, нарушая естественный баланс.

Особенностью Львовско-Волынского бассейна является горизонтальное относительно не глубокое залегание угольных пластов и значительное количество вод в почве. Вследствие чего, при отработке определенных участков поверхность постепенно опускается на глубину, до 80% мощности от извлеченной угольной пачки (0,8 – 1,8 м), и образуются участки заполнены на поверхности водой



(озера, болота) [2, 3]. Которые полностью изменяют ландшафт поверхности и его водно-поверхностный баланс, подтапливая лес и жилые строения.



Рисунок 2. Фрагмент тектонического строения Красноармейского углепромышленного района ГП «УК Краснолиманская» Донецкий бассейн

Проводится организация гидрогеологического мониторинга на полях ликвидированных шахт (рис. 3). Мониторинг возможен со смежных работающих шахт и по прогнозным картам.



Рисунок 3. Организация и проведение гидрогеологического мониторинга на полях ликвидированных шахт



Для всех угледобывающих бассейнов характерно и значительное влияние терриконов на почвы. А процессы преобразования, в самих терриконах также изучены недостаточно. Хотелось отметить, изучение экологических нарушений в угледобывающих регионах происходит много лет, но это рассматривается как результат. Сегодня много сделано, чтобы улучшить экологическую ситуацию в техногенно нагруженных угледобывающих регионах, но еще больше предстоит решить.

Проведение дегазации отработанного пространства значительно уменьшает эмиссию метана и CO<sub>2</sub> в атмосферу. Гидрогеологический мониторинг закрытых шахт позволяет контролировать притоки воды, но не дает возможности оценки их химического состояния, что не позволяет прогнозировать химические процессы, которые могут там происходить.

#### Выводы

Изучение отработанных участков действующих шахт, позволит изучить процессы трансформации в отработанном пространстве, что позволит определить комплекс работ по снижению влияния отработанных участков и закрытых шахт на экологию угледобывающего региона. При ликвидации угледобывающих предприятий следует учитывать: тектонические нарушения углепородного массива, водоносность разрабатываемых горизонтов и газовую миграцию, как в массиве, так и на поверхность.

Следует отметить, что процессы водной и газовой миграции при закрытии выработок (шахт) активизируются. Как следствие, постепенно все процессы заложены при отработки угольного пласта развиваются по мало исследованных направлениях. Результаты влияния отработанных выработок на окружающую среду находятся на начальных уровнях изучения, что не позволяет максимально снизить это влияние как в литосфере (смещение пород, развитие трещиноватости, миграция воды и газа) так и в атмосфере.

#### Библиография

- Вергельская В. В. Экологические аспекты влияния угольных предприятий на поверхностные воды в Красноармейском районе // Сборник материалов II Всеукраинской научно-практической конференции студентов, аспирантов та молодых ученых «Современные технологии землеустройства, кадастра и управление земельными ресурсами» 14-15 марта 2016 р., Киев. – С. 12 – 15.
- Вергельская Н. В., Вергельская В. В. Геолого-геохимические критерии газоносности отработанного пространства действующих шахт // Материалы научно-практической конференции «Вопросы поисков, разведки и экологических аспектов добычи углеводородов с уплотненных коллекторов, газосланцевых толщ и углесодержащих пластов» 3-4 июнь 2015 р. Киев. – С. 23–24.
- 3. Вергельская Н. В., Вергельская В. В. Влияние гидродинамического режима на газоносность углепородных массивов // Материалы научно-практической конференции «Новейшие проблемы геологии» памяти В.П. Макридина, 27-28 мая 2016, Харьков. – С. 57–59.
- 4. Удалов И. В., Кононенко А. В. Особенности процессов миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбасса // Вестник Днепропетровского университета. Серия: геология, география. 24 (2), 2016. С. 121–128.



# GEOLOGICAL EXPLORATIONS AND OPEN PIT ACTIVITIES AFFECTATION IN RECLAMATION DESIGNING IN KOLUBARA COAL MINES (KCM), SERBIA

#### Mr Sci Bogoljub Vuckovic<sup>1</sup>, PhD Dragana Zivotic<sup>2</sup>, PhD Bojan Dimitrijevic<sup>3</sup>,

#### ABSTRACT

Geological explorations in Kolubara Coal Mines runs from 1936. year up to these days and still ongoing. Results of >7,000 drill holes with  $\approx$ 580,000 m of core drilling which provide lignite resources of > 4,1Bt. Out of which 1,15Bt are excavated since 1986 of XIX up to early years of XXI century. For further mining operations in open pits stay 1,5Bt of lignite. Under waste heaps are  $\approx$ 80 km<sup>2</sup>, additional 85 km<sup>2</sup> should be filled. All of those masses/areas were, are and should be under mining and biology reclamation.

#### **GEOLOGY**

The Upper Miocene Kolubara lignite basin and Kolubara coal Mines (KMC) is located about 50 km SSW of Belgrade, and covers an area of nearly 600 km<sup>2</sup>. Geological exploration in KCM provided in next 85 years was started with buckshot drilling, and continuous with various technological types of drilling rigs. Since 1936. within the Kolubara basin in total, has been drilled over 7,000 drill-holes (Fig.1) with 580.000 m of cores. Exploitation started since 1896 in the eastern part of the basin (Tvrdojevac underground mine) and until 2019 in total has been produced 1,1Bt of lignite and up to 3Bm<sup>3</sup> of overburden sediments. Most of the excavated lignite (90%) used for electricity generation in thermal power plants. Lignite resources in the Kolubara basin estimated at 4,1Bt, while non-metallic raw materials are hundred millions m<sup>3</sup>.



Figure 1. Kolubara Coal Mines area, drill-holes since 1936. year; total >7,000 holes, e.g. 580,000 m of core drilling; dots – drill holes, curved line – river Kolubara which divide area on East and West side

The Kolubara basin consist of Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic rocks <sup>[1]</sup>. The border and the basement of the basin are made of Paleozoic schist, gneiss, slate and sandstone, Mesozoic carbonate and marl sediments and Upper Oligocene and Lower to Middle Miocene volcanic and pyroclastic rocks. The central part of the coal basin is consisting of Cenozoic and Quaternary sediments (Figure 2). The Kolubara basin is south part of the Pannonian Basin System, formed in shallow lacustrine, delta plain and fluvial environments,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> EPS Serbia, Kolubara Coal Mines, Design Division Project, Lazarevac, chief geologist

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Department of Economic Geology, full professor

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Chair of Surface Mining, associate professor



which became Lake Pannon <sup>[2]</sup> during late Miocene. Neogene of the Kolubara basin consists of <sup>[2]</sup>: 1) **Lower Miocene** fresh water marlstone, tuffite, and claystone; 2) **Badenian** (Middle Miocene) marine sand, loosely bounded conglomerate, freshwater sand, clay and gravel; 3) **Badenian-Sarmatian** (Middle Miocene) sand, clay and gravel; 4) **Sarmatian** (Middle Miocene) brackish clayey-marly and sandy sediments and limestone; 5) **Pannonian** (Upper Miocene) caspi-brackish sand, sandy clay, marly clay, silt, rarely gravel and marlstone; 6) **Pontian** (Upper Miocene) fresh water clastic sediments, with three coal seams: oldest the Lower coal seam, Main coal seam, and Upper coal seam (Fig. 2).



Figure 2. Kolubara Coal Basin, light gray – Paleozoic metamorophites and Mezozoic sediments; dark gray – Cenozoic sediments; black – coal beds; 3) Upper coal seam, 6) Main coal seam

The Main coal seam extends over a large area of the Kolubara basin and covers an area of about 200 km<sup>2</sup>. The morphology of the Main coal seam sequence (Figs. 2-4) indicates synclinal form with the eastern (fields A, B, C and D) and western (Zvizdar) elevated part, opposite the lowered central one (fields Tamnava, Radljevo) and especially southern part of the deposit (fields F, E). The difference between the highest elevation of the coal floor of +160 m (on north and east side) and the lowest of -280 m above sea level (south part) is 440 m. The average thickness of coal seam, coal and interbred sediments are 31.0 m, 21.2 m and 12.6 m respectively.

The Upper coal seam is developed in the southern part of the basin (Figure 1) and cover the area of about 36 km<sup>2</sup>. The average thickens of coal seam, coal and interbred sediments are 11.3 m, 9.3 m and 2.8 m respectively.



Overburden sediments consist of clay, sand, diatomite and gravel with average thickens of 30 m.

Figure 3. Kolubara Coal Basin- east part, drill holes data interpretation; dark gray – roof coal bed; black – mian coal bed; light gray – floor coal bed; green at bottom- metmorphites




Figure 4. Kolubara Coal Basin- west part, drill holes data interpretation; black – main coal bed; light gray – floor coal bed

## MINING

Underground exploitation was performed from 1896 to 1974. and from that period was excavated in total 12.6Mt (figure 5).

Mining coal in Kolubara opencast mines is dating back to the early 50-ies of XX century. This exploitation took place in the fertile fields of Posavo-Tamnava (figure 6). In the first years it was mined at a modest scale, and later the acceleration of mining activities began. After the first years of operation, production of coal in the open pit " Kolubara " is growing from year to year, coal mining capacity increases, so now the annual production is about 30 million tons of coal (figure 8). The industrialization of the country and the need for energy was influenced by the increasing production of coal and therefore the degradation of the area. Miles and miles of fertile farmland have been excavated and replaced by open pit overburden.



Figure 5. Underground mining in Kolubara Coal Basin; from 1946 up to 1974 year

At the end of 2020 the exploitation of coal has been completed on six open pits since 1974 on "A" up to "D" in 2019 year. Since 1994, the open pit "Tamnava–West field" is in operation, northern and central part has been excavated, and the southern part of the deposit has remained for exploitation. After the closure of the above mines, replacement capacities were opened, i.e. new open pits were successively opened: fields "E" in 2015, "C" in 2016 and "G" in early 2018. In the following years, after the closure of the "Tamnava–West field" open pit, the opening of the "Radljevo" open pit is planned.





Figure 6. Overview map of mining activities in Kolubara coal basin, end of 2019; (www. RB Kolubara)



Figure 7. Opencast mining in Kolubara Coal Basin; from 1952 up to 2019 year

Stripping ratio on open pits was 1:1 in early years, then it was 2:1 in late XX century; in early XXI century reached 3:1. In the next decades of operation, the stripping ratio of overburden will be 3.5 and even more than 4:1. All of that produce enormous quantities of waste, which were deposited inside the open pits or outside in them nearest vicinity.

# RECLAMATION

Numerous attempts to land reclamation brought positive effects, but always on small experimental parcels. By the end of 2020, more than 70 km<sup>2</sup>, or about 7,000 ha, is unused. Currently, the Kolubara mine has a reclaimed area of 8 km<sup>2</sup>, devastated waste zones with auto vegetative processes on 62 km<sup>2</sup> and zones of active mining works on 10 km<sup>2</sup>. The picture 8 shows that in three green areas we have 800 ha of professionally reclaimed space. The first reclamation works began in 1957 with the planting of 110 ha of acacias in fields A and B. In the first years of operation, pure crops of deciduous and coniferous tree species were raised on the degraded areas of surface mines in Kolubara, and later mixed crops were introduced. Of the deciduous species were planted: maple, ash, linden, alder, acacia and oak. Of the coniferous species, the



following were planted: black, white and Weymouth pine, larch, spruce, Douglas fir. Better results were achieved by planting coniferous tree species whose acceptance and growth do not lag behind in comparison with the normal plantings on forest land. Cultivation of field crops is done on about 100 ha by sowing corn, wheat and other field crops. An apple orchard was planted on an additional 7 ha. All of the above are at the disposal of the professional service of the Kolubara mine - Sector for Environmental Protection.



Figure 8. Overview map of mining activities in the Kolubara coal basin; Tamnava East Field, north of D - recultivated areas; light gray - devastated zone of overburden with autovegetative processes, dark gray - areas of active works (www. RB Kolubara)

# SUSTAINABLE DEVELOPMENT PLANS

This paper discusses outside the standard framework, recommending a modern approach to reclamation and use of space in accordance with the principles of sustainable development.

Geothermal energy is energy generated and stored in the earth's crust. It is located at depths of 100 up to several thousand meters. Thermal energy can be accumulated in underground rocks, gases or most often in underground thermal or thermo-mineral waters. The temperature is provided by the presence of magma or radioactive decay of certain chemical elements. Depending on the depth at which it is located and the heating source, temperatures can reach hundreds of degrees <sup>o</sup>C. The potential of geothermal energy in a certain area can be described as the flow density of geothermal heat (in the amount of geothermal heat that comes from the interior of the Earth to its surface every second through the area of 1m<sup>2</sup>). According to Global Network Energy Institute (2015) the average values in Europe are around 60mW / m<sup>2</sup>, while in Serbia these values are significantly higher, in the central part of Serbia are over 100mW / m<sup>2</sup>.

In general, the Earth's geothermal energy can be used from shallow or greater depths. Of course, the greater the depth of intervention, the higher the temperature and the amount of energy. The above indicates a very significant potential of geothermal energy in Serbia. Given that Kolubara coal covers an area of 600 km<sup>2</sup> and that wells could use geothermal energy from greater depths without degrading the terrain surface, we conclude that there is a significant energy potential deep below the lowest levels of Kolubara coal <sup>[4,5,6,7]</sup>. The following considerations are of a theoretical nature, based on general data on geothermal energy for Serbia



and represent a game of large numbers. More detailed geological research and numerous technicaltechnological considerations are necessary for more detailed considerations. Economic parameters were not considered. Given the above, we can conclude that the potential of the surface and subsoil of this area is huge.

On the surface of the terrain we have 7,000 ha, or 70 km<sup>2</sup>, an area suitable for further consideration <sup>[8,9]</sup>. Surface area has not fully defined purpose. The surface area is completely devastated and covered with thick layers of waste from surface mines. Waste, by itself, does not have elevated concentrations of heavy metals or other chemical compounds dangerous to the environment, and is suitable for all types of biological reclamation. Decades ago, the "standard" method of biological reclamation was approached. Alternative solutions are needed.

The energy potential of the underground is huge and is not used at all. The level of geological research is low. Realization of works on geothermal energy from great depths does not endanger the environment on the surface of the terrain. It is possible to get geothermal energy in large quantities. It is an inexhaustible and completely free input raw material. Substitution of energy from coal by another energy is achieved. The development of new technologies and the employment of a large number of workers will be achieved. Environmentally it is absolutely acceptable and recommended. Ultimately it is sustainable development in mining in practice.

For an area of 70 km<sup>2</sup>, the amount of completely unused geothermal energy is 6,000,000,000mW in just 1 second. That is, it is 60 MW/sec, or 60,500 MW/day, or 60.5 GW/day. That is equivalent to the energy contained in 8,400 t of Kolubara lignite <sup>[10]</sup>.

The following could be calculated as 1 year/70 km<sup>2</sup> = 220,500 GJ/year, which is equivalent to the energy contained in 3,100,000 t of Kolubara lignite. The amount of geothermal energy from this area can be used for several types of purposes, but still primarily for direct use by heating. Residential and business premises, hotel-tourist complexes, sports facilities, agricultural goods (stables, greenhouses, processing facilities, warehouses, garages, services, etc.), fishponds, industrial facilities, road infrastructure, etc. can be heated. This amount of energy viewed as energy for direct use (heating) can supply up to 210,000 family households or less if the use is for multiple types of heating. In any case, this amount of geothermal energy far exceeds the needs of the city of Lazarevac and its surroundings. In every respect, the installations of geothermal plants do not occupy large areas and do not pollute or degrade the surface of the terrain at all. In that case, the terrain area remains for additional complementary activities.

Previously, about the complete ecological acceptability of surface mine tailings in terms of establishing agricultural and forest crops, very positive and encouraging results of afforestation and agricultural production, decades of experience in these jobs and huge free areas allow us to play the game of large numbers. Namely, the non-standard approach implies a departure from "classic" types of afforestation, and the emphasis is on planting acacia seedlings in the entire area. There is a great justification for this and great favorable opportunities. Acacia is a type of tree that is very easy to receive when planting, and it is almost equally good on all types of terrain and substrate. It is a very resistant species to plant diseases and weather conditions. Acacia seedlings are by far the cheapest on the Serbian market and are easily available. They are honeybearing during the flowering period and the quality of the wood mass is excellent. The calorific value of wood mass is excellent, while the growth of wood mass is lower than with other types of trees. Multipurpose use is also possible.

Conceived in this way, this can be achieved by simple planting in the appropriate spacing, successively by plots and years. Shortly after planting, in 3-5 years, acacia blooms in significant quantities and represents a honey-bearing agricultural crop. After 10 years it reaches a significant size and bloom, the lifespan is over 50 years. Along with the planting of acacia, locally on smaller plots and with planted linden, beekeeping sections (plots) with large number of hives will be established. Geothermal energy is produced from underground, agricultural and economic activity is performed on the surface, tailings are cultivated, afforestation is performed, honey is produced. Also, the value of produced honey is significant and represents a saving on the extraction and combustion of lignite, of about 3M t per year.



# CONCLUSION

This paper presents natural indicators of energy production and / or possible types of energy production and compares the average calculated calorific value of lignite that is still unearthed in the form of deposits in the districts of the Kolubara Mining Basin, with other selected types of energy production. Special attention is given to the possibility of using geothermal energy as a source of energy production. This type of energy is renewable and actually inexhaustible. This process of energy exchange takes place every day, before our eyes, every second or day, or year, completely unnoticed and absolutely unused. A complete understanding of the geothermal capacity of the Kolubara basin is possible only if extensive geological research is performed, followed by numerous multidisciplinary studies of technical and technological feasibility, all the way to the final financial parameters. If in the next period the possibilities of using at least 10% of this presented energy potential are shown, the ecological and other profit would reach exceptional proportions.

On this occasion, the specific coefficients of energy conversion into electricity, technical-technological solutions of production, environmental conditions and / or problems, production cost prices, economics of electricity production, etc. Only some selected examples with the idea are given. to be considered in the following period from the energy aspect as relative indicators in technical design and strategic planning. Also, with additional activities on the surface of the terrain, it is necessary to perform reclamation by afforestation with honey acacia seedlings, during which an exceptional combined profit is achieved. The proposals given in this paper are an example of sustainable development in action in the areas where mining has been completed and which are looking for the appropriate most favorable purpose for the next decade.

# REFERENCES

- 1. Ercegovac, M., Pulejković, D., 1991. Petrographic Composition and Coalification Degree of Coal in the Kolubara Coal Basin. Annales Géologiques de la Péninsule Balkanique 55, 223–239.
- 2. Magyar, I., Geary, D.H., Müller, P., 1999. Paleo geographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 147, 151–167.
- 3. Kezović, M., 2011. Coal bearing in Kolubara basin. The Journal of the Public Enterprise Electric Power Industry of Serbia, Belgrade, 64, 154-163 (in Serbian with English abstract; ISSN: 0013-5755).
- 4. Jankovic V., 2009 : Geothermal Energy : How to Take Advantage of Hidden Potential of Serbia Jefferson Institute, USA,2009
- 5. Milivojevic M., Martinovic M., 2003 : Utilization of Geothermal Energy in Serbia International Geothermal Conference, Reykjavik, Iceland, 2008
- 6. Martinovic M., Milivojevic M., 2008 : Geothermal Energy Utilization in Serbia New Aproach United Nations University, Geothermal Training Programme, 30th Aniversary Workshop, Reykjavik, Iceland, 2008
- 7. Oudech S., Djokic V., 2015 : Geothermal Energy Use, Country Update for Serbia World Geothermal Congress, Melburne, Australia, 2015
- Vuckovic B., Nesic D., 2011. : Beyond 2010, Sustainable Development in Kolubara Coal Mines, Serbia -SGEM 11<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 20-25 June, Albena, Bulgaria, 2011., p. 727-734
- Vučković B., Vulićević M., Radosavljević S., Ignjatović M., 2014 : Komparacija odabranih prirodnih i veštačkih izvora emisije SO<sub>2</sub> i uticaj na životnu sredinu V Simpozijum sa međunarodnim učešćem "Rudarstvo 2014", 20-22 maj 2014, Vrnjačka banja, Srbija, str 403-415
- Vuckovic B., Rakijas M., Stojkovic H., Vuckovic J., 2017 Comparison of geothermal energy potential in Kolubara Coal Basin with lignite, Vol. 5 – Energy value and previous geological considerations - VI. International Symposium "Mining and Environmental Protection, MEP 2017", 21-24. june 2017., Vrdnik, Serbia, p. 223-229, ISBN: 978-86-7352-298-2

JOURNALS, WWW, DOCUMENTATION CENTER :

Alternative Energy Magazine, 2015

EPS, Kolubara Coal Mines, Technical & Designing Documents

European Environmental Agency, Annual Report 2012



EU, South East Europe, Transnational Cooperation Programme, Geo SEE, 2014 : Serbia – State of the Art of Country and Local Situation, 2014

Global Wind Electricity Council (GWEC) : Annual report 2014

Renewables Global Status Report, 2012

Republika Srbija, Ministarstvo Energetike, Razvoja i Zaštite Životne Sredine, 2013 : Construction of Plants and Electricity/Heat Generation frpm Hydro-Geothermal Sources in the Republic of Serbia, 2013 Stanford University Magazine, 2012

The International Geothermal Association (IGA), Annual Report 2011. www. EPS.co.rs