

ЗРГИМ

XVII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО

ПОДЕКС – ПОВЕКС ’26

30 ÷ 31. 10. 2026 година
Охрид

ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ

XVII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО ПОДЕКС – ПОВЕКС ’26

од 30 ÷ 31. 10. 2026 година, Охрид

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

Зборник на трудови:
ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ

Издавач:
Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија
www.zrgim.mk

Главен и одговорен уредник:
Проф. д-р Стојанче Мијалковски

За издавачот:
м-р Горан Сарафимов, дипл.руд.инж.

Техничка подготовка:
Проф. д-р Стојанче Мијалковски

Изработка на насловна страна:
Репресент Коммуникатионс ДОО Скопје

Печатница:
“МИКС” ДОО, Скопје

Година:
2026

Тираж:
150 примероци

Место на издавање:
Кавадарци

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

622.22/23:622.3(062)

ТЕХНОЛОГИЈА на подземна и површинска експлоатација на минерални суровини: зборник на трудови / XVII стручно советување со меѓународно учество Подекс-Повекс'26 од 30-31.10.2026 година, Охрид; [главен и одговорен уредник Стојанче Мијалковски]. - Кавадарци:

Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија, 2026.-236, [31] стр. : илустр.; 30 см

Библиографија кон трудовите
ISBN 978-608-67464-0-7

а) Рударство -- Експлоатација -- Минерални суровини -- Собири
COBISS.MK-ID 69894661

Сите права и одговорности за одпечатените трудови ги задржуваат авторите. Не е дозволено ниту еден дел од оваа книга да биде репродуциран, снимен или фотографиран без дозвола на авторите и издавачот.

ОРГАНИЗАТОР:

ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ ИНЖЕНЕРИ НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА
www.zrgim.org.mk

КООРГАНИЗАТОРИ:

УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО

МАР МАКЕДОНСКА АСОЦИЈАЦИЈА ЗА РУДАРСТВО

НАУЧЕН ОДБОР

Претседател:
Проф. д-р **Зоран Панов,** Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија.

Членови на научниот одбор:
Проф. д-р **Дејан Мираковски,** Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Стојанче Мијалковски,** Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Зоран Десподов,** Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Ѓорѓи Димов**, Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Радмила Каранакова Стефановска**, Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, С. Македонија;
Проф. д-р **Ристо Поповски**, Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Николинка Донева**, Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Благица Донева**, Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Иван Боев**, Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Ванчо Ациски**, Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија;
Проф. д-р **Виктор Гавриловски**, Машински факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Северна Македонија;
Проф. д-р **Милорад Јовановски**, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Северна Македонија;
Проф. д-р **Ивица Ристовиќ**, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Белград, Србија;
Проф. д-р **Владимир Живановиќ**, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Белград, Србија;
Проф. д-р **Владимир Павловиќ**, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Белград, Србија;
Проф. д-р **Раде Токалиќ**, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Белград, Србија;

Проф. д-р **Војин Чокорило**, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Белград, Србија;
Проф. д-р **Божо Колоња**, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Белград, Србија;
Проф. д-р **Радоје Пантовиќ**, Технички факултет во Бор, Универзитет во Белград, Србија;
Проф. д-р **Јоже Кортник**, Факултет за природни науки и инженерство, Универзитет во Љубљана, Љубљана, Словенија;
Проф. д-р **Владимир Бркиќ**, Факултет за рударство, геологија и нафта, Универзитет во Загреб, Загреб, Хрватска;
Проф. д-р **Кемал Гутиќ**, Факултет за рударство, геологија и градежништво, Универзитет во Тузла, Тузла, Босна и Херцеговина;
Проф. д-р **Кемал Зекири**, Факултет за геонауки, Универзитет "Иса Болетини", Митровица, Косово;
Д-р. **Андреј Лепавцов** – Инженерска институција на Македонија, Скопје, Северна Македонија;
Д-р **Кремена Дедељанова**, Научно – технички сојуз за рударство, геологија и металургија, Софија, Бугарија;

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР

Претседател:
Кристина Крстева, Рудник "Бучим", Радовиш.

Потпретседатели:
Митко Крмзов, Геомин, Струмица;
Пепи Мицев, ДИЕРМС, Скопје;
Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, ФПТН, УГД, Штип.

Генерален секретар:
м-р **Горан Сарафимов**, Рудник "Бучим", Радовиш.

Членови на организациониот одбор:
м-р **Драган Димитровски**, ДИЕРМС, Скопје;
м-р **Борче Гоцевски**, Рудник „САСА", М. Каменица;
м-р **Љупче Ефнушев**, Министерство за енергетика, рударство и минерални суровини, Скопје;
м-р **Андреј Кепевски**, Цементарница „Титан Усје", Скопје;
м-р **Лазе Атанасов**, ДИЕРМС, Скопје;
Ивица Карапетров, Рудник „Бучим", Радовиш;
Емил Јорданов, ГД „Гранит" АД Скопје
Мице Тркалески, „Мермерен комбинат", Прилеп;
Диме Петрески, „Тригон Мајнинг", Скопје
Велимир Стојановски, „Мактек", Скопје
Тони Митевски, Рудник „САСА", М. Каменица;
Мики Дамески, „МИСА-МГ", Скопје;
Сашко Дамески, „МИСА-МГ", Скопје;
Лазар Пончев, „Машинокоп Ресурсис", Кавадарци;
Виктор Шотаровски, „Метсо",Скопје;
Васко Саламовски, „Метсо", Скопје;
Илија Лозановски, „Теиком Тим", Битола

XVII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ”

- со меѓународно учество –

---

30 Октомври 2026, Охрид

Република Северна Македонија

ОРГАНИЗАТОР:

ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ ИНЖЕНЕРИ
НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА
www.zrgim.org.mk

КООРГАНИЗАТОРИ:

УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
www.ugd.edu.mk

МАКЕДОНСКА АСОЦИЈАЦИЈА ЗА РУДАРСТВО
https://www.mchamber.mk/mk/home/asocijacii/3

XVII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални суровини”

ПОДЕКС – ПОВЕКС ’26

ЗРГИМ

Охрид
30 ÷ 31. 10. 2026 год.

ПРЕДГОВОР

Меѓународното стручно советување за подземната експлоатација на минералните суровини (ПОДЕКС), за првпат се одржа на 06.12.2007 год. во Пробиштип во организација на Сојузот на Рударските и Геолошките Инженери на Македонија (СРГИМ).
Од 2012 година советувањето е проширено со трудови од површинската експлоатација на минерални суровини и е именувано како ПОДЕКС-ПОВЕКС.
Стручното советување, на тема: технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални суровини, традиционално се одржуваше секоја година во месец ноември. По пауза од три години, поради пандемијата од COVID-19, започнува со оддржување во октомври. На ова советување земаат учество голем број на стручни лица од: рударската индустрија, универзитетите, научно - истражувачките и проектантските организации, производителите на опрема и др.
На досегашните шеснаесет советувања (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2022, 2023, 2024 и 2025 год.) учествуваа повеќе автори од 13 држави, кои презентираа 454 стручни трудови.
За ова седумнаесето советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС ’26) пријавени се 25 труда, на автори од 5 држави.
Големиот број на трудови од домашните автори произлезе како резултат на научно-истражувачката работа реализирана на високообразовните институции во Р. С. Македонија. Меѓутоа, посебно не радува учеството на автори од непосредното рударско производство, кои што презентираат постигнати резултати во рударската пракса.
Се надеваме дека традицијата за собирање на сите специјалисти од областа на подземната и површинската експлоатација на минералните суровини, ќе продолжи и дека во идниот период ова советување ќе прерасне во меѓународен симпозиум.

Уредници

XVII EXPERT CONFERENCE THEMED:

"Technology of underground and surface mining of mineral raw materials"

PODEKS - POVEKS '26

AMGEM

Ohrid
30 ÷ 31. 10. 2026

FOREWORD

The International expert conference on underground mining of mineral raw materials (PODEKS), organized by the Association of Mining and Geology Engineers of Macedonia (AMGEM), was first held on 06.12.2007 in Probishtip.
Since 2012, in this counseling, surface exploitation of mineral resources is included too, and it is called PODEKS-POVEKS.
This expert conference called: Technology of underground and surface mining of mineral raw materials, traditionally, was been organized annually during November. After a three-year hiatus, due to the COVID-19 pandemic, starts taking place in October. A number of experts from the mining industry, universities, research institutions, planning companies, and equipment manufacturing companies participate in this conference.
Many authors from 13 countries participated in the previous sixteen conferences (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2022, 2023, 2024 and 2025) presenting 454 expert papers.
Twenty-five authors from 5 countries have registered their expert papers for the XVIIth conference (PODEKS - POVEKS '26).
The large number of expert papers from the domestic authors has emerged as a result of the research work carried out at the higher education institutions in the Republic of North Macedonia. We are particularly delighted by the participation of the authors involved in the immediate mining production who will be presenting the achieved results in the mining practice.
We hope that the tradition of gathering of all specialists from the field of underground and surface mining of mineral raw materials will continue and that this conference will grow up to an international conference in the future.

The Editors

XVII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални суровини
ПОДЕКС – ПОВЕКС ’26
ЗРГИМ
Охрид
30 ÷ 31. 10. 2026 год.

СОДРЖИНА

ПРИМЕНЕТИ ПРОГРАМИ ЗА ПРЕКАТЕГОРИЗАЦИЈА НА РУДНИ РЕЗЕРВИ КАЈ НАОЃАЛИШТЕТО “МАРКОВ КАМЕН” * Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски, Бојан Ивановски..... 1

КАРБОНАТНИТЕ КАРПИ КАКО ВАЖНА СУРОВИНА ЗА АРХИТЕКТОНСКО УКРАСЕН И ГРАДЕЖЕН КАМЕН ВО ОКОЛИНАТА НА ПРИЛЕП * Бојан Ивановски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски, Орце Петковски..... 12

FROM AUTONOMOUS MINERAL EXPLORATION TO AI-SUPPORTED PROCESSING AND BIOLEACHING REMEDIATION: EU-FUNDED INNOVATIONS ACROSS THE CRITICAL RAW MATERIALS VALUE CHAIN * Marko Komac..... 21

ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА ПРИ ВРШЕЊЕ ИСТРАЖНИ РАБОТИ И ОБЕЗБЕДУВАЊЕ НА ДОЗВОЛА ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРЛАНИ СУРОВИНИ * Звонко Кушоски, Александар Стоилков, Иван Трпески..... 32

STAKEHOLDER GROUPS IN THE SOCIAL MINING LICENSE AND THE DYNAMICS OF ENGAGEMENT * Ujmir Uka, Ariana Sadiku, Risto Dambov, Kemajl Zeqiri..... 38

ПРИМЕНА НА ВЕШТАЧКАТА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА ВО РУДАРСТВОТО – ПРЕДИЗВИЦИ, МОЖНОСТИ И НОВИ ПРАКТИКИ * Зоран Панов, Душан Биков, Радмила Каранакова Стефановска, Бојан Максимов..... 43

ПРИМЕНА НА ДАЛЕЧИНСКА ДЕТЕКЦИЈА ЗА 3D МОНИТОРИНГ ВО РУДАРСТВОТО * Игор Ивановски, Ѓорѓи Димов, Благица Донева, Стојанче Мијалковски, Радмила Каранакова Стефановска ….. 56

ДИГИТАЛИЗАЦИЈА НА РУДАРСТВОТО И КОНЦЕПТОТ „SMART MINING“: МОЖНОСТИ, ОГРАНИЧУВАЊА И ПЕРСПЕКТИВИ ЗА ПРИМЕНА ВО СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА * Наталија Угрева Тасева, Горанче Гроздаоски, Костадин Ѓорѓиев..... 70

ИНТЕГРИРАН САТЕЛИТСКИ ПРИСТАП ЗА РАНА ДЕТЕКЦИЈА НА ПРОМЕНИ И НАСОЧУВАЊЕ НА ТЕРЕНСКИТЕ АКТИВНОСТИ ВО ПОДРАЧЈА НА ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА * Бојан Максимов, Зоран Панов, Ристо Поповски, Радмила Каранакова Стефановска …… 81

АНАЛИЗА И ОЦЕНКА НА ПОТРЕБАТА ОД ОДВОДНУВАЊЕ И ЗАШТИТА НА ПК ЖИВОЈНО ВО ФАЗАТА НА ОТВОРАЊЕ * Александар Стоилков, Звонко Кушоски, Иван Трпески …… 91

TECHNOLOGY OF WORKING OF NEW MECHANIZATION AT THE SURFACE MINE "FIELD E" OF MINING BASIN "KOLUBARA" * Milos Živanovic, Milan Jovanović..... 98

ОПТИМИЗАЦИЈА НА ДУПЧЕЧКО-МИНЕРСКИТЕ РАБОТИ СО ПРИМЕНА НА СОФТВЕРОТ O-PITBLAST: КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА НА МИНСКИ СЕРИИ ВО БОРОВ ДОЛ И БУЧИМ * Горан Јованов, Пепи Мицев, Наталија Угрева Тасева..... 109

АНАЛИЗА НА РАБОТНИТЕ ПЕРФОРМАНСИ, ОДРЖУВАЊЕТО И ЕКСПЛОАТАЦИОНИОТ ВЕК НА ДАМПЕРСКИТЕ ГУМИ ВО РУДНИКОТ БОРОВ ДОЛ * Горан Сарафимов, Драган Димитровски, Марјан Томов….. 118

КОНФИГУРАЦИИ НА ПРОЦЕСНИ ДУПЧОТИНИ И НИВНА ПРИМЕНА ВО ТЕХНОЛОГИЈАТА НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски, Благица Донева, Бојан Максимов……..... 126

ОПИСНИ МЕТОДОЛОГИИ ЗА ИЗБОР НА РУДАРСКИ ОТКОПНИ МЕТОДИ * Стојанче Мијалковски, Александар Петровски, Драги Пелтечки..... 138

ГЕОМЕХАНИЧКИ МЕТОДОЛОГИИ ЗА ИЗБОР НА РУДАРСКИ ОТКОПНИ МЕТОДИ * Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Дражана Тошиќ, Николинка Донева, Драги Пелтечки..... 147

FROM INSTALLED TO VERIFIED: PRACTICAL QA/QC, ACTIVE GROUND SUPPORT AND MONITORING FOR DIFFICULT UNDERGROUND MINING CONDITIONS * Petr Čada, Štefan Súkeník……..……..…. 158

ПРИДОНЕС ВО УСОВРШУВАЊЕТО НА КАПИТАЛНАТА ПОДГОТОВКА ЗА ОТКОПУВАЊЕ НА ЖИЧНИ РУДНИ НАОЃАЛИШТА ВО РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА * Зоран Десподов, Николинка Донева, Стојанче Мијалковски, Дарко Начковски……..……... 167

ВЛИЈАНИЕ НА *pH* НА ФЛОТАЦИСКИОТ МЕДИУМ ВРЗ СЕЛЕКТИВНОСТА НА ФЛОТАЦИЈАТА ПРИ ПРИСУСТВО НА ГЛИНЕСТИ МИНЕРАЛИ – МИНЕРАЛОШКО-ТЕХНОЛОШКА И ИНДУСТРИСКА АНАЛИЗА * Милена Дановска, Наталија Угрева Тасева, Игорче Трајанов……..…… 177

ОД ПРОЦЕНА НА РИЗИК ДО ПРИМЕНА НА БЕЗБЕДНОСНИТЕ МЕРКИ ВО ПОВРШИНСКИТЕ КОПОВИ (СОГЛЕДУВАЊА ОД ПРАКТИКАТА НА ВЕШТАЧЕЊЕ) * Младен Бошковски……..... 187

ВЛИЈАНИЕТО НА БЕЗБЕДНОСНАТА КУЛТУРА ВРЗ СТАПКАТА НА ЗАЧЕСТЕНОСТ НА ИНЦИДЕНТИ ПРИ РАБОТА – ТЕОРЕТСКО-АНАЛИТИЧКИ ПРИСТАП * Станке Тасковски, Стојанче Мијаловски, Марија Хаџи – Николова, Горан Андонов……..... 195

HEALTH AND SAFETY INSPECTIONS IN INDUSTRIAL SETTINGS, ACCIDENT INVESTIGATIONS AND REGULAR INSPECTIONS * Kemajl Zeqiri, Izet Zeqiri……... 205

КВАЛИТЕТ НА ВОЗДУХ ВО БЛИЗИНА НА РУДНИК ЗА БАКАР БУЧИМ – ПОВРШИНСКИ КОП БОРОВ ДОЛ * Марина Санева…… 213

AQUA GUARD AI: РАЗВОЈ НА ИНТЕЛЕГЕНТЕН РОБОТСКИ СИСТЕМ ЗА МОНИТОРИНГ НА ВОДИ ВО ПРИБЛИЖНО РЕАЛНО ВРЕМЕ * Ана Михаиловска, Весна Христовска, Афродита Зенделска, Дејан Мираковски, Сашо Коцески, Ѓорѓи Димов, Рубин Гулабоски..... 220

СЕИЗМОЛОШКИ ПОДАТОЦИ КАКО ОСНОВА ЗА ИДЕНТИФИКАЦИЈА НА ПОТЕНЦИЈАЛНИ ГЕОХАЗАРДИ ВО ВАРДАРСКА СЕИЗМОГЕНА ЗОНА * Катерина Дрогрешка, Јасмина Најдовска, Драгана Черних, Свемир Горин, Благоја Марковски, Иван Радевски, Ирена Стојковска, Љубчо Јованов, Ивана Молеровиќ, Моника Андрееска, Арсе Кузмановски, Ерблина Зеќири Синани..... 228

XVII ТО СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални суровини
ПОДЕКС – ПОВЕКС ’26
ЗРГИМ
Охрид
30 – 31. 10. 2026 год.

ГЕОМЕХАНИЧКИ МЕТОДОЛОГИИ ЗА ИЗБОР НА РУДАРСКИ ОТКОПНИ МЕТОДИ

Стојанче Мијалковски[1], Зоран Десподов[1], Дражана Тошиќ[2], Николинка Донева[1], Драги Пелтечки[1]
[1]Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија
[2]Рударски факултет, Универзитет во Бања Лука, Приједор, Република Српска, Босна и Херцеговина

Апстракт: *Изборот на соодветна рударска откопна метода претставува сложен инженерски процес, кој директно влијае врз безбедноста, економичноста и ефикасноста на експлоатацијата на подземните рудни лежишта. Со зголемувањето на длабочината на експлоатација и појавата на посложени геолошки и геотехнички услови, стабилноста на карпестиот масив станува еден од најзначајните фактори при донесувањето одлука за избор на откопна метода.*
Во развојот на методологиите за избор на рударски откопни методи, геомеханичките пристапи претставуваат значаен напредок во однос на класичните описни методологии, бидејќи овозможуваат систематска проценка на карактеристиките и однесувањето на карпестиот масив. Овие методологии се засноваат на примена на геомеханички класификациски системи и емпириски модели преку кои се анализираат параметрите како што се цврстината на карпите, степенот на напукнатост, квалитетот на карпестиот масив, состојбата на дисконтинуитетите и стабилноста на откопниот простор.
Во овој труд се разгледуваат и анализираат најзначајните геомеханички методологии за избор на рударски откопни методи, со посебен осврт на методологијата на Laubscher (MRMR) и методологиите базирани на Stability Graph Approach според Mathews и Potvin. За секоја методологија се анализираат основните принципи, параметрите кои се користат, начинот на примена и нивното значење при определување на применливи откопни методи.
Целта на трудот е да се прикаже улогата на геомеханичките методологии во процесот на рационален избор на рударски откопни методи, како и нивните предности и ограничувања во однос на класичните описни пристапи. Анализата покажува дека геомеханичките методологии обезбедуваат пореална и посигурна проценка на условите на карпестиот масив, но за конечен избор на оптимална откопна метода потребно е нивно комбинирање со технички, економски и други релевантни критериуми.

Клучни зборови: *избор на рударска откопна метода, геомеханички методологии, карпест масив, Laubscher MRMR, Mathews Stability Graph, Potvin методологија.*

GEOMECHANICAL METHODOLOGIES FOR UNDERGROUND MINING METHOD SELECTION

Stojance Mijalkovski[1], Zoran Despodov[1], Drazana Tosic[2], Nikolinka Doneva[1], Dragi Peltechki[1]
[1]Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia
[2] Faculty of Mining, University of Banja Luka, Prijedor, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

Abstract: *The selection of an appropriate mining method is a complex engineering process that directly affects the safety, economy and efficiency of underground mining. With increasing mining depth and the emergence of more complex geological and geotechnical conditions, the stability of the rock massif becomes one of the most important factors in making a decision on the selection of the mining method. In the development of methodologies for the selection of mining excavation methods, geomechanical approaches represent a significant advance over classical descriptive methodologies, as they enable a systematic assessment of the characteristics and behavior of the rock mass. These methodologies are based on the application of geomechanical classification systems and empirical models through which parameters such as rock strength, degree of fracturing, rock mass quality, state of discontinuity and stability of the excavated area are analyzed.*
This paper reviews and analyzes the most important geomechanical methodologies for selecting excavation methods in mining, with a special emphasis on the Laubscher methodology (MRMR) and methodologies based on the stability graph approach according to Matthews and Potvin. For each methodology, the basic principles, parameters used, method of application and their importance in determining applicable excavation methods are analyzed.
The aim of the paper is to present the role of geomechanical methodologies in the process of rational selection of mining excavation methods, as well as their advantages and limitations compared to classical descriptive approaches. The analysis shows that geomechanical methodologies provide a more realistic and reliable assessment of the condition of the rock massif, but for the final selection of the optimal excavation method it is necessary to combine them with technical, economic and other relevant criteria.

Key Words: *underground mining method selection, geomechanical methodologies, rock mass, Laubscher MRMR, Mathews Stability Graph, Potvin methodology.*

1. ВОВЕД

Изборот на соодветна рударска откопна метода претставува една од најзначајните одлуки при проектирањето и експлоатацијата на подземните рудници. Избраната откопна метода треба да овозможи безбедна, економична и ефикасна експлоатација, при што мора да биде усогласена со карактеристиките на рудното лежиште, условите на карпестиот масив, производните барања и економските ограничувања [1].
Во почетните фази од развојот на методологиите за избор на рударски откопни методи, изборот најчесто се вршел врз основа на искуството на рударските инженери и анализа на основните геолошки и геометриски карактеристики на рудните тела [2]. Подоцна биле развиени описни методологии, кои овозможиле посистематизиран пристап преку класификациски системи, табели и дијаграми за селекција на потенцијално применливи откопни методи.
Меѓутоа, со развојот на подземното рударство, зголемувањето на длабочината на експлоатација и примената на поголеми откопни простории, станало јасно дека геометриските карактеристики на рудното лежиште не се доволни за донесување сигурна одлука. Однесувањето и стабилноста на карпестиот масив претставуваат клучни фактори кои директно влијаат врз можноста за примена на одредена откопна метода.
Карпестиот масив претставува сложен природен систем чие однесување зависи од повеќе геомеханички параметри, како што се цврстината на карпите, степенот на напукнатост, квалитетот на карпестиот масив, ориентацијата и состојбата на дисконтинуитетите, присуството на вода и природното напонско поле. Поради тоа, развиени се геомеханички методологии кои овозможуваат поконкретна проценка на стабилноста на откопниот простор и применливоста на различни рударски откопни методи.

Геомеханичките методологии претставуваат значаен напредок во однос на описните пристапи, бидејќи изборот на откопна метода го поврзуваат со мерливи параметри на карпестиот масив. Тие најчесто се базираат на емпириски класификациски системи и модели, како што се RMR (Rock Mass Rating), Q-системот, GSI (Geological Strength Index), MRMR (Mining Rock Mass Rating) и Stability Graph методологијата.
Методологиите за избор на рударски откопни методи можат да се поделат во три основни групи: описни методологии, нумерички методологии и методи за мултикритериумско одлучување (MCDM) [3, 4]. Геомеханичките методологии претставуваат посебна група на пристапи кои се користат за рационална проценка на применливоста и стабилноста на одделни откопни методи, особено во услови каде што карактеристиките на карпестиот масив имаат доминантно влијание врз изборот.
Во овој труд се анализираат најзначајните геомеханички методологии за избор на рударски откопни методи, со посебен осврт на методологијата на Laubscher (MRMR) и Stability Graph методологијата развиена од Mathews и дополнително унапредена од Potvin. Целта на трудот е да се прикажат основните принципи, параметрите, можностите и ограничувањата на овие методологии, како и нивното значење во современиот процес на избор на подземни откопни методи.

2. ГЕОМЕХАНИЧКИ МЕТОДОЛОГИИ ЗА ИЗБОР НА РУДАРСКИ ОТКОПНИ МЕТОДИ

Геомеханичките методологии за избор на рударски откопни методи претставуваат развиени инженерски пристапи кои овозможуваат проценка на влијанието на карактеристиките на карпестиот масив врз применливоста и стабилноста на различни откопни методи. За разлика од описните методологии, кои главно се базираат на квалитативна анализа на геометриските и геолошките карактеристики на рудното лежиште, геомеханичките методологии користат мерливи параметри за определување на квалитетот и однесувањето на карпестиот масив [5, 6, 7, 8].
Основната претпоставка кај овие методологии е дека изборот на рударска откопна метода не зависи само од формата, големината и залегнувањето на рудното тело, туку и од способноста на рудата и околните карпи да обезбедат стабилност на откопниот простор. Особено кај современите подземни рудници, каде експлоатацијата се одвива на поголеми длабочини и во услови на зголемени напрегања, правилната проценка на геомеханичките услови претставува основен предуслов за безбедно и економично рударење.
Геомеханичките методологии најчесто се засноваат на класификација на карпестиот масив преку параметри кои ги опишуваат неговите физичко-механички и структурни карактеристики. Најчесто користени параметри се:

- едноаксијална јакост на притисок на карпата;
- квалитет на карпестиот масив (RQD – Rock Quality Designation);
- број, ориентација и состојба на дисконтинуитетите;
- карактеристики на пукнатинските површини;
- присуство на подземни води;
- природно напонско поле во карпестиот масив.

Во зависност од пристапот и намената, геомеханичките методологии може да се базираат на различни класификациски системи и емпириски модели. Меѓу

најзначајните се системите RMR (Rock Mass Rating), Q-системот, GSI (Geological Strength Index), како и методологии специјално развиени за избор и дизајн на подземни откопни методи, како што се MRMR (Mining Rock Mass Rating) на Laubscher и Stability Graph методологијата развиена од Mathews и унапредена од Potvin.
За разлика од описните методологии, геомеханичките пристапи овозможуваат не само идентификација на потенцијално применливи откопни методи, туку и проценка на стабилноста на откопниот простор, потребата од подградување и можноста за појава на нестабилности при експлоатацијата.
Во понатамошниот дел од трудот ќе бидат разгледани најзначајните геомеханички методологии за избор на рударски откопни методи, со посебен осврт на методологијата на Laubscher (MRMR) и Stability Graph методологијата според Mathews и Potvin.

2.1. Методологија според Laubscher (MRMR)

Методологијата развиена од Laubscher претставува една од најзначајните геомеханички класификациски методологии за проценка на применливоста на подземни рударски откопни методи, особено кај методите базирани на контролирано зарушување (*caving methods*). Овој пристап претставува надградба на класичните геомеханички класификациски системи и е развиен со цел да се земат предвид специфичните услови кои се појавуваат при рударската експлоатација [5, 6, 7, 8].
Основата на методологијата претставува системот Mining Rock Mass Rating (MRMR), кој се базира на проценката на квалитетот на карпестиот масив преку вредноста на Rock Mass Rating (RMR) и негово коригирање со фактори кои ги опфаќаат реалните услови при рударење. За разлика од оригиналниот RMR систем, MRMR методологијата ги зема предвид влијанијата поврзани со процесот на експлоатација, како што се ориентацијата на дисконтинуитетите, ефектите од минирањето, влијанието на напрегањата и временското слабеење на карпестиот масив.

RMR → корекциски фактори → MRMR → проценка на стабилност → избор на откопна метода

Слика 1. Шематски приказ на Laubscher-овата методологија

Општата вредност на MRMR се определува преку корекција на основната вредност на RMR со примена на соодветни корекциски фактори:

$$MRMR = RMR \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4$$

каде што:
RMR – основна класификација на карпестиот масив;
F_1 – корекција поради ориентацијата на дисконтинуитетите;
F_2 – корекција поради влијанието на минирањето;
F_3 – корекција поради влијанието на напрегањата;
F_4 – корекција поради временско слабеење на карпестиот масив.

Вредноста на MRMR овозможува класификација на карпестиот масив според неговиот квалитет и однесување при рударска експлоатација. Високите вредности укажуваат на стабилен и компетентен карпест масив, додека ниските вредности укажуваат на послаби услови и потреба од дополнителни мерки за стабилизација.

При изборот на рударска откопна метода, Laubscher методологијата овозможува поврзување на геомеханичките карактеристики на масивот со можноста за примена на различни методи, особено:

- блоковско зарушување (*block caving*);
- подетажно зарушување (*sublevel caving*);
- откопни методи со потпирање и контролирано нарушување на масивот.

Главната предност на MRMR методологијата е тоа што ги вклучува реалните услови на рударска експлоатација и овозможува подобра проценка на однесувањето на карпестиот масив во споредба со класичните геомеханички класификации. Таа е особено значајна кај големи масивни рудни тела каде стабилноста и способноста на масивот за самозарушување имаат клучно влијание врз изборот на откопната метода.
Сепак, ограничување на методологијата е нејзиниот емпириски карактер и потребата од квалитетни геомеханички податоци и искуство при определување на корекциските фактори. Поради тоа, MRMR најчесто се користи како дел од поширок процес на избор кој може да вклучува дополнителни технички, економски и нумерички анализи.

2.2. Mathews Stability Graph Method

Методологијата *Mathews Stability Graph Method* претставува една од најзначајните емпириски геомеханички методологии за проценка на стабилноста на подземните откопи и избор на соодветни рударски откопни методи. Таа е развиена од Mathews и соработниците (1981) врз основа на анализа на реални рударски случаи, со цел да се воспостави врска помеѓу геомеханичките карактеристики на карпестиот масив, димензиите на откопниот простор и можноста за стабилно однесување на откопите [5, 6, 7, 8].
Основниот принцип на оваа методологија се заснова на определување на односот помеѓу геомеханичкиот квалитет на карпестиот масив и геометриските карактеристики на откопот. Резултатите од анализата се прикажуваат преку Stability Graph, каде стабилноста на откопниот простор се проценува според вредноста на модифицираниот број на стабилност и хидрауличниот радиус на откопот.
Главниот параметар кој го карактеризира геомеханичкиот квалитет на масивот е Modified Stability Number (N'), кој претставува модифицирана вредност на бројот на стабилност и се определува врз основа на неколку фактори:

- *Q' – индекс на квалитет на карпестиот масив*, кој ги опфаќа структурните карактеристики и квалитетот на дисконтинуитетите;
- *A – фактор на влијание на напрегањата*, кој го зема предвид односот помеѓу напрегањата во масивот и јакоста на карпата;
- *B – фактор на ориентација на дисконтинуитетите*, кој го оценува влијанието на ориентацијата на пукнатинските системи во однос на откопот;
- *C – фактор на влијание на гравитацијата*, кој го зема предвид влијанието на падот на кровината, подината и бочните страни на откопот.

Вториот основен параметар во Stability Graph методологијата е *хидрауличниот радиус* (Hydraulic Radius, HR), кој ја опишува геометриската форма и големината на површината на откопот. Тој се определува како однос помеѓу површината на разгледуваната страна на откопот и нејзиниот периметар.

Врз основа на односот помеѓу вредноста на *N'* и *HR*, откопите се класифицираат во различни области на Stability Graph, како што се:

- стабилна зона, каде што откопот може да остане стабилен без дополнителни мерки;
- зона со потенцијална нестабилност, каде што се потребни дополнителни анализи или мерки за стабилизација;
- зона на зарушување, каде што условите се погодни за губење на стабилноста и контролирано зарушување.

Примената на Mathews Stability Graph методологијата овозможува избор и оптимизација на различни подземни откопни методи, особено кај методите како што се:

- подетажно откопување со отворени откопи (*sublevel stoping*);
- откопување со големи отворени комори (*open stoping*);
- откопување со заполнување на откопаниот простор (*cut and fill stoping*).

Главната предност на оваа методологија е можноста за директно поврзување на геомеханичките карактеристики на карпестиот масив со дозволените димензии и стабилноста на откопниот простор. За разлика од класичните описни методологии, Stability Graph пристапот овозможува поконкретна проценка на ризикот од нестабилност и претставува значаен чекор кон инженерски базиран избор на откопна метода.
Сепак, како и другите емпириски методологии, Mathews Stability Graph методологијата има одредени ограничувања. Нејзината примена е условена од квалитетот на влезните геомеханички податоци и потребата од калибрација врз основа на локалните геолошки и рударски услови. Поради тоа, резултатите треба да се користат како дел од поширока анализа која може да вклучува дополнителни нумерички модели и инженерски проценки.

2.3. Modified Stability Graph Method според Potvin

Modified Stability Graph Method развиена од Potvin (1988) претставува унапредување на оригиналната Stability Graph Methodology предложена од Mathews и соработниците. Главната причина за развојот на оваа модификација била потребата од подобрување на точноста и зголемување на применливоста на методологијата преку анализа на поголем број реални рударски случаи [5, 6, 7, 8].
Како и кај оригиналната методологија на Mathews, основниот принцип на Potvin пристапот се заснова на односот помеѓу геомеханичкиот квалитет на карпестиот масив и геометриските карактеристики на откопниот простор. Стабилноста на откопот се оценува преку споредување на модифицираниот број на стабилност (*N'*) и хидрауличниот радиус (*HR*) на анализираната откопна површина.
Главната промена кај Potvin методологијата се однесува на подобрување и редефинирање на факторите кои влијаат врз стабилноста на откопите. Модифицираниот број на стабилност се определува со следниот израз:

$$N' = Q' \times A \times B \times C$$

каде што:
Q' – индекс на квалитет на карпестиот масив, кој ги опишува геомеханичките карактеристики на масивот;

A – фактор на влијание на напрегањата, кој го зема предвид односот помеѓу индуцираните напрегања и јакоста на карпата;
B – фактор на ориентација на дисконтинуитетите, кој го оценува влијанието на структурните карактеристики врз стабилноста;
C – фактор на влијание на гравитацијата, кој го зема предвид влијанието на гравитациското паѓање на блокови од кровината или страничните површини.

Во споредба со оригиналниот пристап на Mathews, Potvin воведува подобрени фактори и пошироко дефинирани области на стабилност врз основа на поголем број практични податоци од рударската индустрија. На тој начин се подобрува можноста за предвидување на однесувањето на откопите и определување на соодветни димензии на откопниот простор.
Резултатите од анализата се прикажуваат преку модифициран Stability Graph, каде што се определуваат различни области на однесување на откопите:

- *стабилна област*, каде што откопот може да се одржи без значителни нестабилности;
- *област на потенцијална нестабилност*, каде што може да бидат потребни дополнителни мерки за стабилизација;
- *област на зарушување*, каде што се очекува губење на стабилноста на откопниот простор.

Modified Stability Graph Method има широка примена при избор и проектирање на различни подземни откопни методи, особено:

- подетажно откопување со отворени откопи (*sublevel stoping*);
- откопување со големи отворени комори (*open stoping*);
- откопување со заполнување на откопаниот простор (*cut and fill stoping*);
- откопни методи со контролирано зарушување.

Главната предност на Potvin методологијата е можноста за поврзување на геомеханичките параметри со реалните услови на откопување и определување на прифатливи граници за големината на откопниот простор. Во споредба со описните методологии, таа обезбедува поконкретна и инженерски заснована проценка на стабилноста.
Сепак, како емпириска методологија, нејзината точност зависи од квалитетот на влезните податоци и од сличноста помеѓу условите на анализираниот рудник и условите врз основа на кои е развиена. Поради тоа, резултатите добиени со Modified Stability Graph Method најчесто се користат како основа за понатамошни геотехнички анализи и нумерички моделирања.

3. КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА НА ГЕОМЕХАНИЧКИТЕ МЕТОДОЛОГИИ

Геомеханичките методологии за избор на рударски откопни методи претставуваат значаен напредок во однос на класичните описни пристапи, бидејќи овозможуваат изборот на откопната метода да се поврзе со мерливи карактеристики на карпестиот масив и неговото очекувано однесување при експлоатација.
Иако методологиите на Laubscher (MRMR) и Mathews/Potvin (Stability Graph Method) припаѓаат на групата геомеханички пристапи, нивната основна намена е различна. Методологијата на Laubscher е првенствено насочена кон класификација и проценка на однесувањето на карпестиот масив при примена

на подземни методи, особено кај методите со зарушување, додека Stability Graph методологијата е насочена кон проценка на стабилноста и определување на соодветни димензии на поединечни откопни простории.
Laubscher MRMR методологијата се базира на класификација на карпестиот масив преку основниот RMR индекс и корекциски фактори кои ги земаат предвид специфичните услови при рударење. Нејзината главна предност е можноста за проценка на способноста на карпестиот масив за контролирано зарушување и избор на соодветни методи со зарушување. Сепак, поради нејзиниот емпириски карактер, примената зависи од квалитетот на геомеханичките податоци и искуството при определување на корекциските фактори.
Од друга страна, Mathews Stability Graph Method и Modified Stability Graph Method според Potvin се фокусираат на односот помеѓу квалитетот на карпестиот масив и геометријата на откопниот простор. Со користење на параметрите Modified Stability Number (N') и Hydraulic Radius (HR), овие методологии овозможуваат проценка дали одреден откоп ќе биде стабилен, потенцијално нестабилен или погоден за зарушување.
Основните разлики помеѓу анализираните методологии се прикажани во Табела 1.

Табела 1. Компаративна анализа на геомеханичките методологии за избор на рударски откопни методи

Карактеристика	**Laubscher MRMR**	**Mathews Stability Graph**	**Potvin Modified Stability Graph**
Основен пристап	Класификација на карпест масив	Анализа на стабилност на откоп	Подобрена анализа на стабилност на откоп
Главен параметар	MRMR вредност	N' и HR	N' и HR
Основни влезни податоци	RMR, структура, напрегања, влијание на минирање	Q', напрегања, дисконтинуитети, геометрија	Подобрени фактори A, B, C и HR
Главна примена	Методи со зарушување и проценка на масивот	Методи со отворени откопи	Методи со отворени откопи и оптимизација на откопи
Резултат	Оценка на квалитет и однесување на масивот	Проценка на стабилност	Подетална проценка на стабилност
Карактер	Емпириска класификација	Емпириски модел	Подобрен емпириски модел

Од компаративната анализа може да се заклучи дека секоја од разгледуваните методологии има специфична област на примена. Laubscher MRMR методологијата е посоодветна за рана проценка на однесувањето на карпестиот масив и избор на методи каде зарушувањето има значајна улога, додека Mathews и Potvin методологиите се посоодветни за дизајн и контрола на стабилноста на откопниот простор кај методите со отворање на комори.
Во современата рударска практика, овие методологии често не се користат независно, туку се комбинираат со други геотехнички анализи, нумерички модели и методи за мултикритериумско одлучување. На тој начин се

овозможува посигурен и поцелосен избор на оптимална рударска откопна метода.

4. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ НА ГЕОМЕХАНИЧКИТЕ МЕТОДОЛОГИИ

Геомеханичките методологии претставуваат значаен напредок во процесот на избор на рударски откопни методи, бидејќи овозможуваат систематска анализа на влијанието на карпестиот масив врз стабилноста и применливоста на различни методи на подземна експлоатација. Во споредба со описните методологии, овие пристапи се базираат на квантитативна проценка на геомеханички параметри и овозможуваат посигурна инженерска проценка.

4.1. Предности на геомеханичките методологии

Главните предности на геомеханичките методологии се:
1. Намалување на субјективноста при изборот на откопна метода
За разлика од описните методологии, каде изборот во голема мера зависи од инженерското искуство, геомеханичките методологии се базираат на мерливи параметри на карпестиот масив. Примената на класификациски системи и емпириски модели овозможува посистематски и пообјективен пристап.
2. Подобра проценка на стабилноста на откопниот простор
Една од најголемите предности е можноста за проценка на однесувањето на карпестиот масив при создавање на подземни празнини. Со тоа може да се определи дали одредена откопна метода ќе обезбеди прифатлива стабилност или ќе бидат потребни дополнителни мерки за стабилизација.
3. Вклучување на реалните геомеханички услови
Геомеханичките методологии ги земаат предвид важните карактеристики на карпестиот масив, како што се јакоста на карпата, степенот на напукнатост, состојбата на дисконтинуитетите, влијанието на напрегањата и присуството на вода.
4. Можност за оптимизација на димензиите на откопите
Методологиите како Stability Graph Method овозможуваат определување на прифатливи димензии на откопниот простор, со што се подобрува искористувањето на резервите и се намалува ризикот од нестабилности.
5. Подобрување на безбедноста во подземното рударство
Со правилна проценка на геомеханичките услови се намалува можноста за појава на одрони, нестабилности и други опасности поврзани со нарушување на карпестиот масив.
6. Основа за современи инженерски анализи
Геомеханичките методологии претставуваат важна основа за примена на посложени нумерички модели, како и за интеграција со методи за мултикритериумско одлучување при избор на оптимална откопна метода.

4.2. Недостатоци на геомеханичките методологии

И покрај значајните предности, геомеханичките методологии имаат и одредени ограничувања:
1. Зависност од квалитетот на влезните податоци
Точноста на резултатите директно зависи од квалитетот и репрезентативноста на геомеханичките податоци. Недоволен број испитувања, неправилна проценка

на дисконтинуитетите или ограничено познавање на напрегањата може да доведат до несоодветни заклучоци.

2. Емпириски карактер

Повеќето геомеханички методологии се развиени врз основа на анализа на конкретни рударски случаи. Поради тоа, нивната примена во услови кои значително се разликуваат од оние врз основа на кои се развиени може да има ограничена точност.

3. Потреба од инженерско искуство

Иако се базираат на квантитативни параметри, изборот и интерпретацијата на одредени фактори сè уште бараат значително инженерско знаење и искуство.

4. Ограничено вклучување на економски и технички критериуми

Главниот фокус на геомеханичките методологии е стабилноста на карпестиот масив. Тие обично не ги опфаќаат директно факторите како што се оперативните трошоци, продуктивноста, степенот на искористување, влијанието врз животната средина и други критериуми значајни за конечниот избор.

5. Ограничена можност за избор помеѓу повеќе алтернативи

Геомеханичките методологии најчесто овозможуваат проценка на применливоста и стабилноста на одредени методи, но не секогаш обезбедуваат целосно рангирање на сите можни алтернативи.

Од анализата може да се заклучи дека геомеханичките методологии претставуваат значаен чекор кон рационален и инженерски заснован избор на рударски откопни методи. Сепак, поради нивната ограниченост во однос на економските, техничките и други критериуми, современиот пристап се насочува кон нивно комбинирање со нумерички модели и методи за мултикритериумско одлучување.

5. ЗАКЛУЧОК

Изборот на соодветна рударска откопна метода претставува комплексен инженерски процес, при што геомеханичките карактеристики на карпестиот масив имаат значајно влијание врз безбедноста, стабилноста и економичноста на подземната експлоатација. Со развојот на рударската индустрија и примената на откопни методи во сè посложени геолошки и геотехнички услови, потребата од систематска анализа на однесувањето на карпестиот масив станува сè поизразена.

Во овој труд се анализирани најзначајните геомеханички методологии за избор на рударски откопни методи, со посебен осврт на методологијата на Laubscher (MRMR) и Stability Graph методологиите според Mathews и Potvin. Овие пристапи претставуваат значаен напредок во однос на класичните описни методологии, бидејќи овозможуваат изборот на откопна метода да се поврзе со мерливи карактеристики на карпестиот масив и неговото очекувано однесување при експлоатација.

Компаративната анализа покажа дека различните геомеханички методологии имаат различна намена и област на примена. Методологијата на Laubscher (MRMR) е особено значајна при проценка на квалитетот и однесувањето на карпестиот масив, особено кај методите со контролирано зарушување, додека Mathews и Potvin Stability Graph методологиите се насочени кон проценка на стабилноста и определување на соодветни димензии на откопниот простор кај методите со отворање на комори.

Главните предности на геомеханичките методологии се намалувањето на субјективноста при изборот на откопна метода, можноста за проценка на стабилноста на откопниот простор и подобрената сигурност при донесување инженерски одлуки. Сепак, нивната примена е ограничена од квалитетот на влезните податоци, емпириските карактер на моделите и ограниченото вклучување на технички, економски и други критериуми кои имаат влијание врз конечниот избор.

Од анализата може да се заклучи дека геомеханичките методологии претставуваат значајна алатка во процесот на рационален избор на рударски откопни методи и обезбедуваат подобра основа за донесување одлуки во споредба со класичните описни пристапи. Сепак, тие не треба да се применуваат изолирано, туку како дел од поширок процес кој вклучува нумерички анализи, економски проценки и современи методи за мултикритериумско одлучување.

Идниот развој на методологиите за избор на рударски откопни методи е насочен кон интегрирање на геомеханичките модели со нумерички симулации и методи за донесување одлуки, со цел постигнување на посигурни, поефикасни и поодржливи решенија во подземното рударство.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

[1] Bogdanovic D., Nikolic D., Ilic I. (2012) Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 84(1), 219–233. https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000013

[2] Mijalkovski S., Peltecki D., Despodov Z., Mirakovski D., Adjiski V., Doneva, N. (2021) Methodology for underground mining method selection. Mining science, 28, 201-216. https://doi.org/10.37190/MSC212815

[3] Nourali H., Nourali S., Ataei M., Imanipour N. (2012) A hierarchical preference voting system for mining method selection problem, Archives of mining sciences, 57(4), 925-938.

[4] Namin F.S., Shahriar K., Bascetin A., Ghodsypour S.H. (2009) Practical applications from decision-making techniques for selection of suitable mining method in Iran, Mineral Resources Management, 25(3), 57-77.

[5] Darling, P. (2011). SME Mining Engineering Handbook Third Edition. USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Part 13, 1327-1454. https://www.amazon.com/Mining-Enginering-Handbook-Third-Volumes/dp/0873352645

[6] Tatiya, R. R. (2005). Surface and Underground Excavation: Methods, Techniques and Equipment, Taylor & Francis Group, London, UK, Chapter 16, 405-506. https://books.google.mk/books?id=Aj59BgAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[7] Tatiya, R. R. (2013). Surface and Underground Excavation 2nd Edition: Methods, Techniques and Equipment, Taylor & Francis Group, London, UK, Chapter 16, 527-684. https://doi.org/10.1201/b14818

[8] Hartman, H. L. (1992). SME Mining Engineering Handbook Second Edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Part 23.4, 2090-2106. https://www.amazon.com/SME-Mining-Engineering-Handbook-Second/dp/0873351002