

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.

ОПИСНИ МЕТОДОЛОГИИ ЗА ИЗБОР НА РУДАРСКИ ОТКОПНИ МЕТОДИ

Стојанче Мијалковски[1], Александар Петровски[2], Драги Пелтечки[1]
[1]Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија
[2] Воена Академија "Генерал Михајло Апостолски" (придружна членка), Универзитет “Гоце Делчев”, Штип, Северна Македонија

Апстракт: *Правилниот избор на рударска откопна метода претставува еден од најзначајните предуслови за успешно и економично експлоатирање на подземните рудни лежишта. Изборот на соодветна откопна метода е сложен процес, кој зависи од голем број фактори поврзани со геолошките и геометриските карактеристики на рудното лежиште, како и со условите на околниот карпест масив. Во развојот на рударската наука и практика, за избор на откопните методи првично биле применувани едноставни описни и класификациски пристапи, засновани на меѓусебно поврзување на карактеристиките на рудното лежиште со применливоста на одделни откопни методи.*
Во овој труд се разгледуваат и анализираат описните методологии за избор на подземни рударски откопни методи. Посебно внимание е посветено на методологиите развиени од Boshkov и Wright, Hartman и Morrison, кои претставуваат значајни класични пристапи во процесот на избор на откопна метода. За секоја методологија се анализираат основните принципи, параметрите што се земаат предвид, начинот на класификација и избор на соодветна откопна метода, како и можностите и ограничувањата при нивната практична примена.
Целта на трудот е да се прикаже развојот и значењето на описните методологии, да се идентификуваат нивните заеднички и специфични карактеристики и да се изврши нивна меѓусебна компарација. Анализата покажува дека, и покрај нивната релативна едноставност и зависност од инженерската проценка, описните методологии претставуваат значајна основа за развојот на подоцнежните, посложени методологии за избор на рударски откопни методи.

Клучни зборови: *рударски откопни методи, избор на откопна метода, описни методологии, Boshkov и Wright, Hartman, Morrison.*

DESCRIPTIVE METHODOLOGIES FOR UNDERGROUND MINING METHOD SELECTION

Stojance Mijalkovski[1], Aleksandar Petrovski[2], Dragi Peltechi[1]
[1]Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia
[2]Military Academy "General Mihailo Apostolski" (associate member), Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Abstract: *The right choice of mining method is one of the most important prerequisites for the successful and economical exploitation of underground ore deposits. The choice of an appropriate mining method is a complex process, which depends on a large number of factors related to the geological and geometric characteristics of the ore deposit, as well as the conditions of the surrounding*

rock massif. In the development of mining science and practice, simple descriptive and classification approaches were initially applied to the selection of mining methods, based on the interrelationship of the characteristics of the ore deposit with the applicability of individual mining methods.
This paper reviews and analyzes descriptive methodologies for selecting underground excavation methods. Special attention is paid to the methodologies developed by Boskov and Wright, Hartman and Morrison, which represent significant classical approaches in the process of selecting an excavation method. For each methodology, the basic principles, the parameters taken into account, the method of classification and selection of the appropriate excavation method, as well as the possibilities and limitations in their practical application are analyzed.
The aim of the paper is to present the development and importance of descriptive methodologies, to identify their common and specific characteristics and to compare them with each other. The analysis shows that, despite their relative simplicity and dependence on engineering judgment, descriptive methodologies represent an important basis for the development of later, more complex methodologies for the selection of mining excavation methods.

Key Words: *mining methods, underground mining method selection, descriptive methodologies, Boshkov and Wright, Hartman, Morrison.*

1. ВОВЕД

Изборот на соодветна рударска откопна метода претставува комплексен инженерски проблем, бидејќи избраната метода треба да биде усогласена со природните карактеристики на рудното лежиште, условите на карпестиот масив, производните барања и економските ограничувања. Поради тоа, изборот на откопна метода претставува една од најзначајните одлуки при проектирањето и планирањето на подземните рудници.
Неправилниот избор на рударска откопна метода може да предизвика зголемување на трошоците, намалување на продуктивноста, зголемено разредување на рудата, намалена искористливост на рудните резерви, како и проблеми поврзани со стабилноста на откопниот простор и безбедноста при работа.
Факторите кои влијаат врз изборот на рударска откопна метода можат да се поделат во неколку главни групи [1]:

- Геолошки фактори - форма и големина на лежиштето, дебелина, пад, длабочина и распределба на рудата,
- Геотехнички фактори - цврстина на рудата и околните карпи, степен на напукнатост, стабилност на кровина и подина,
- Технички фактори - продуктивност, степен на механизација и обем на развојни работи,
- Економски фактори - инвестициони и оперативни трошоци, како и искористување на рудните резерви.

Голем број автори ја имаат истражувано проблематиката на избор на рударски откопни методи, при што кај повеќето постои согласност дека процесот на избор може да се подели во две основни фази: рационален избор и оптимален избор на рударска откопна метода [2].
Во фазата на рационален избор се врши идентификација и рангирање на потенцијалните откопни методи врз основа на карактеристиките на рудното лежиште и условите на карпестиот масив. Главната цел на оваа фаза е намалување на бројот на можни алтернативи кои ќе бидат предмет на понатамошна анализа во фазата на оптимален избор.

Во фазата на оптимален избор се врши детална проценка и селекција на најсоодветната откопна метода врз основа на технички, економски и други релевантни критериуми.
Во почетниот период изборот на откопната метода се вршел главно врз основа на искуството и инженерската проценка на рударските стручњаци. Со понатамошниот развој на рударската наука се развиле описни методологии засновани на табели, дијаграми и класификациски системи, потоа геомеханички и нумерички пристапи, а во поново време и методи за мултикритериумско одлучување.
Методологиите за избор на рударски откопни методи најчесто се класифицираат во три основни групи: описни методологии, нумерички методологии и методи за мултикритериумско одлучување (MCDM) [3]. Описните и нумеричките методологии најчесто се применуваат во фазата на рационален избор, додека методите за одлучување се применуваат при оптималниот избор на откопна метода [4].
Во овој труд се анализираат описните методологии за избор на рударски откопни методи, нивните основни принципи, критериуми и начинот на примена, како и нивното значење во развојот на современите пристапи за избор на најсоодветна откопна метода.

2. ОПИСНИ МЕТОДОЛОГИИ ЗА ИЗБОР НА РУДАРСКИ ОТКОПНИ МЕТОДИ

Описните методологии претставуваат едни од првите систематски пристапи развиени за избор на соодветна рударска откопна метода. Тие се базираат на анализа и споредба на основните карактеристики на рудното лежиште и условите на карпестиот масив со применливоста на различни откопни методи. За разлика од подоцнежните нумерички и методи за мултикритериумско одлучување, описните методологии не се засноваат на сложени математички модели, туку на класификациски системи, дијаграми, табели и инженерски правила за избор [5, 6, 7, 8].
Основната цел на овие методологии е да се изврши рационален избор на потенцијално применливи откопни методи, односно да се намали бројот на можни алтернативи кои понатаму можат да бидат предмет на подетална анализа. При изборот најчесто се земаат предвид геолошките и геометриските карактеристики на рудното лежиште, како што се формата, дебелината, падот, длабочината и големината на лежиштето, како и основните карактеристики на околниот карпест масив.
Развојот на описните методологии започнува со едноставни пристапи засновани врз искуството на рударските инженери, а подоцна се усовршува преку воспоставување систематски класификации и дијаграми за избор. Меѓу најзначајните описни методологии кои имаат значајно влијание врз развојот на постапките за избор на откопни методи се методологиите предложени од Boshkov и Wright, Hartman и Morrison.
Иако современите методологии овозможуваат посложени анализи и вклучување на поголем број критериуми, описните методологии и понатаму имаат практично значење, особено во почетните фази на проектирање на подземните рудници, кога е потребно брзо дефинирање на потенцијално применливите откопни методи.

2.1. Методологија според Boshkov и Wright

Класификациониот систем предложен од Boshkov и Wright (1973), објавен во првиот дел од *SME Mining Engineering Handbook* (врз основа на пристапот на Peele, 1941), претставува еден од првите квалитативни класификациски системи развиени за избор на подземни рударски откопни методи.
Методологијата претпоставува дека претходно е донесена одлука за примена на површинско или подземно откопување за конкретното рудно лежиште. При изборот на подземна откопна метода, системот се заснова на основни карактеристики на рудното тело и околниот карпест масив, при што како главни критериуми се земаат дебелината на рудното тело, неговото залегнување, цврстината на рудата и цврстината на околните карпи [5, 6, 7, 8].
Класификацијата е изведена врз основа на карактеристиките на рудните тела и условите во кои традиционално се применувале одделни откопни методи. Со помош на оваа шематска класификација се идентификуваат потенцијално применливи откопни методи кои одговараат на дадените геолошки и геометриски услови на рудното лежиште.
Системот на Boshkov и Wright овозможува едноставен и брз почетен избор на можни откопни методи, но негово ограничување е тоа што изборот е заснован главно на квалитативна проценка и не ги опфаќа детално техничките, економските и безбедносните аспекти на рударското производство.
Методологијата на Boshkov и Wright се заснова на идентификација на најсоодветните откопни методи преку анализа на неколку основни карактеристики на рудното лежиште. Главните параметри што се разгледуваат се:

- залегнување на рудното тело – хоризонтално, благо наклонето или стрмно;
- дебелина на рудното тело – тенки, средно дебели и дебели рудни тела;
- цврстина на рудата – слаба, средно цврста и цврста руда;
- цврстина и стабилност на околните карпи – карактеристики на кровината и подината.

Врз основа на комбинацијата на овие карактеристики, методологијата овозможува определување на група потенцијално применливи откопни методи. Таа не претставува постапка за конечен избор на оптимална метода, туку служи како прв чекор во процесот на селекција, односно како средство за елиминирање на методите кои не се соодветни за дадените услови.
Главната предност на оваа методологија е нејзината едноставност и можност за брза примена во почетните фази на рударското проектирање. Сепак, поради квалитативниот карактер, методологијата е ограничена во однос на вклучување на економски, технички и други фактори кои можат значително да влијаат врз конечниот избор на откопната метода.

Табела 1. Основни параметри разгледувани во класификациониот систем на Boshkov и Wright (адаптирано според изворното издание)

Карактеристика на лежиштето	**Категории разгледувани при избор**
Залегнување	хоризонтално, благо наклонето, стрмно
Дебелина	тенко, средно дебело, дебело
Руда	слаба, средно цврста, цврста
Околни карпи	нестабилни, средно стабилни, стабилни

2.2. Методологија според Hartman

Hartman (1987) развил дијаграм на тек за избор на рударски откопни методи, кој се заснова на геометриските карактеристики на рудното лежиште и условите на карпестиот масив во рудната зона. Овој пристап претставува развој на претходните класификациски системи, при што е сличен со методологијата предложена од Boshkov и Wright, но овозможува подетална анализа и насочување кон поспецифични откопни методи.
Основните параметри што се земаат предвид во методологијата на Hartman се поврзани со формата, големината и залегнувањето на рудното тело, како и со стабилноста и карактеристиките на рудата и околните карпи. Врз основа на овие карактеристики, преку дијаграмот на тек се елиминираат несоодветните методи и се издвојуваат потенцијално применливи алтернативи [5, 6, 7, 8].
Hartman нагласува дека оваа методологија има квалитативен карактер и треба да се користи како почетна проценка во процесот на избор на откопна метода, а не како конечна одлука. Класификацискиот систем опфаќа различни методи за површинско и подземно откопување, како и методи применливи при експлоатација на јаглен и други цврсти минерални суровини.
Главната предност на методологијата на Hartman е нејзината систематичност во процесот на елиминација и селекција на методите, додека нејзино ограничување е зависноста од инженерската проценка и ограниченото вклучување на економски и производни критериуми.

2.3. Методологија според Morrison

Класификациониот систем предложен од Morrison (1976) претставува еден од раните пристапи за избор на рударски откопни методи, при што подземното рударство е поделено во три основни групи: методи со оставање на заштитни столбови, методи со контролирано слегнување и методи со зарушување.
Основата на оваа класификација се карактеристиките на рудното лежиште и условите на карпестиот масив, при што како главни критериуми се земаат дебелината на рудното тело, потребниот вид на подградување и степенот на акумулирана деформациска енергија и напрегања во карпестиот масив. Врз основа на комбинацијата на овие параметри се определува најсоодветната група на откопни методи [5, 6, 7, 8].
Методологијата на Morrison овозможува систематско образложување на изборот на една откопна метода во однос на друга, преку анализа на различни комбинации на условите во рудното тело и околниот карпест масив. Посебно внимание се посветува на однесувањето на карпестиот масив и неговата стабилност, што овозможува определување на потребното ниво и тип на подградување при примена на одделни откопни методи.
Иако методологијата има квалитативен карактер и не вклучува детална економска анализа, таа претставува значаен придонес во развојот на систематските пристапи за рационален избор на подземни рударски откопни методи.

3. КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА НА ОПИСНИТЕ МЕТОДОЛОГИИ

Описните методологии за избор на рударски откопни методи претставуваат значаен чекор во развојот на систематските пристапи за решавање на проблемот на избор на најсоодветна метода за подземна експлоатација. Иако

методологиите предложени од Boshkov и Wright, Hartman и Morrison се развиени во различни временски периоди и имаат одредени специфичности, нивна заедничка карактеристика е тоа што се базираат на анализа на основните карактеристики на рудното лежиште и условите на карпестиот масив.
Методологијата на Boshkov и Wright претставува еден од најраните класификациски пристапи, при што изборот на потенцијално применливи откопни методи се врши врз основа на основни геометриски и геолошки карактеристики на рудното тело. Нејзината главна предност е едноставноста и можноста за брза проценка во почетните фази на проектирање. Сепак, поради ограниченият број на разгледувани параметри, методологијата има изразен квалитативен карактер и не овозможува детална анализа на повеќе влијателни фактори.
Методологијата на Hartman претставува надградба на претходните класификациски пристапи преку примена на дијаграм на тек за селекција на откопни методи. За разлика од Boshkov и Wright, овој пристап овозможува посистематска елиминација на несоодветните методи преку последователна анализа на геометриските карактеристики и условите на карпестиот масив. И покрај подобрената систематичност, изборот сè уште зависи од инженерската проценка и квалитативната интерпретација на влезните параметри.
Методологијата на Morrison се разликува од претходните пристапи по тоа што поголем акцент става на однесувањето и стабилноста на карпестиот масив, како и на потребата од соодветно подградување. Со класификацијата на методите во групи според начинот на одржување на стабилноста на откопниот простор, овој пристап претставува премин кон подоцнежните геомеханички методологии.
Компаративната анализа на разгледуваните методологии покажува дека сите три пристапи користат слични основни параметри, пред сè:

- геометрија на рудното тело (дебелина, пад и форма);
- карактеристики на рудата;
- услови на околните карпи;
- стабилност на откопниот простор.

Сепак, постојат разлики во начинот на нивно користење и степенот на деталност. Boshkov и Wright се наједноставни и најпогодни за прелиминарна селекција, Hartman обезбедува посистематизиран процес на елиминација на методите, додека Morrison внесува поголемо внимание на стабилноста и условите за подградување.
Во Табела 2 е прикажана споредбата на основните карактеристики на анализираните описни методологии.

Табела 2. Компаративна анализа на описните методологии за избор на рударски откопни методи

Методологија	**Основен пристап**	**Главни параметри**	**Предности**	**Недостатоци**
Boshkov & Wright	Класификациски систем	дебелина, пад, цврстина на руда и околни карпи	едноставност и брза примена	ограничен број фактори
Hartman	Дијаграм на тек за селекција	геометрија и услови на	систематска елиминација на методи	квалитативна проценка

		карпестиот масив		
Morrison	Класификација според стабилност и подградување	дебелина, тип на подграда, напрегања	подобро разгледување на стабилноста	зависност од инженерска проценка

Од извршената анализа може да се заклучи дека описните методологии имаат значајна улога во почетната фаза на избор на рударски откопни методи. Иако нивната примена е ограничена поради недостатокот на квантитативна анализа и економски критериуми, тие претставуваат основа врз која се развиени подоцнежните геомеханички, нумерички и мултикритериумски пристапи.

4. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ НА ОПИСНИТЕ МЕТОДОЛОГИИ

Описните методологии претставуваат важен чекор во развојот на систематските пристапи за избор на рударски откопни методи. Иако денес постојат посложени геомеханички, нумерички и мултикритериумски методологии, описните методологии и понатаму имаат практична вредност, особено во почетните фази на проектирање на подземните рудници.

4.1. Предности на описните методологии

Главните предности на описните методологии се:
1. Едноставност и лесна примена
Описните методологии се карактеризираат со релативно едноставна примена, бидејќи не бараат сложени математички пресметки или голем број влезни податоци. Изборот се врши врз основа на основните карактеристики на рудното лежиште и карпестиот масив, што овозможува нивна примена и во раните фази на рударското проектирање.
2. Брза прелиминарна селекција на откопни методи
Овие методологии овозможуваат брзо идентификување на потенцијално применливите откопни методи и елиминирање на оние кои не се соодветни за дадените геолошки и геотехнички услови.
3. Мала потреба од детални податоци
За нивна примена не се потребни детални геомеханички испитувања или комплексни економски анализи, што е особено значајно во почетните фази кога расположливите информации за лежиштето се ограничени.
4. Практична инженерска примена
Методологиите се развиени врз основа на практично рударско искуство и анализа на веќе применети откопни методи, поради што имаат добра практична вредност при донесување првични инженерски одлуки.
5. Основа за понатамошни анализи
Описните методологии најчесто се користат како прв чекор во процесот на избор, при што резултатите од нивната примена можат да се користат како основа за подетални геомеханички, нумерички или MCDM анализи.

4.2. Недостатоци на описните методологии

И покрај нивната практична вредност, описните методологии имаат одредени негативности:

1. Квалитативен карактер и субјективност

Најголемо ограничување е тоа што изборот се заснова на квалитативна проценка и инженерско искуство. Различни инженери можат различно да ги интерпретираат условите на лежиштето и да предложат различни решенија.

2. Ограничен број разгледувани критериуми

Поголемиот дел од описните методологии се базираат главно на геометриски и геолошки параметри, додека ограничено ги разгледуваат техничките, економските, безбедносните и еколошките аспекти.

3. Неможност за директно рангирање на повеќе алтернативи

Описните методологии најчесто овозможуваат идентификација на применливи методи, но не овозможуваат прецизно рангирање и избор на најдобра алтернатива кога повеќе методи се применливи.

4. Ограничена примена кај сложени рудни лежишта

Кај сложени лежишта со променливи геолошки услови, високи напрегања или специфични економски барања, овие методологии може да не обезбедат доволно точна основа за конечна одлука.

5. Недоволно вклучување на современи критериуми

Современото рударство бара истовремено разгледување на продуктивноста, трошоците, безбедноста, влијанието врз животната средина и одржливоста, што не е целосно опфатено со класичните описни пристапи.

Од анализата на предностите и недостатоците може да се заклучи дека описните методологии имаат значајна улога како алатка за рационален избор на рударски откопни методи, но нивната примена треба да биде дополнета со подетални анализи кога се донесува конечна одлука за избор на оптимална откопна метода.

5. ЗАКЛУЧОК

Изборот на соодветна рударска откопна метода претставува еден од најзначајните инженерски предизвици при проектирањето и експлоатацијата на подземните рудници. Поради сложеноста на условите во рудните лежишта, потребно е изборот на откопната метода да се заснова на систематска анализа на геолошките, геотехничките, техничките и економските фактори.

Во овој труд се анализирани класичните описни методологии за избор на рударски откопни методи, со посебен осврт на методологиите предложени од Boshkov и Wright, Hartman и Morrison. Овие методологии претставуваат едни од првите систематски пристапи за рационален избор на откопни методи и се засноваат на поврзување на карактеристиките на рудното лежиште и условите на карпестиот масив со применливоста на различни рударски методи.

Компаративната анализа покажа дека разгледуваните методологии имаат заедничка основа во користењето на геометриските и геолошките карактеристики на рудното тело, но се разликуваат во начинот на класификација и степенот на деталност. Методологијата на Boshkov и Wright овозможува едноставна почетна селекција на можни откопни методи, Hartman обезбедува посистематизиран процес преку дијаграмски пристап, додека Morrison посебно внимание посветува на стабилноста на карпестиот масив и потребата од подградување.

И покрај развојот на современи геомеханички, нумерички и методи за мултикритериумско одлучување, описните методологии и понатаму имаат значајна улога, особено во почетните фази на избор на откопна метода. Нивната едноставност, практичност и мала потреба од детални влезни податоци ги прават корисна алатка за прелиминарна проценка и намалување на бројот на можни алтернативи.

Сепак, поради нивниот квалитативен карактер и ограниченото вклучување на технички, економски и други современи критериуми, описните методологии не треба да се сметаат како единствена основа за донесување конечна одлука. Тие претставуваат почетен чекор во поширокиот процес на избор, кој во современото рударство се надополнува со геомеханички анализи, нумерички модели и методи за мултикритериумско одлучување.

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