

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** *Извештај о оцени докторске дисертације кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства*

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, број 1/14 од 24.01.2022. године донетој на седници одржаној 20.01.2022. године, именована је Комисија за оцену докторске дисертације кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства, под насловом:

*„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама“*

у саставу:

1. др Владимир Чебашек, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
2. др Небојша Гојковић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
3. др Радоје Пантовић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Након прегледа докторске дисертације Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Вељко Рупар, мастер инжењер рударства пријавио је 22.10.2020. године тему докторске дисертације на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, под насловом *„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама“*. Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду број 1/343 од 18.09.2020. године именована је Комисија у саставу: проф. др Владимир Чебашек, дипломирани инжењер рударства, проф. др Небојша Гојковић, дипломирани инжењер рударства са Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду и проф. др Радоје Пантовић, дипломирани инжењер рударства са Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства, под поменутим насловом.

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 22.10.2020. године је донело одлуку број 1/452 којом се усваја извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације Вељка Рупара, мастер инжењера рударства и одобрава израда докторске дисертације под насловом „*Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама*”, а за ментора именује проф. др Владимир Чебашек, ванредни професор.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 01.12.2020. године донело је одлуку број 1/509 од 14.12.2020. године којом се даје сагласност на предлог теме кандидата Вељка Рупара, под насловом „*Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама*” и потврђује менторство проф. др Владимиру Чебашеку.

Кандидат Вељко Рупар, мастер инжењер рударства је 28.12.2021. године поднео молбу број 1/498 за именовање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „*Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама*”. Катедра за механику стена упутила је допис број 1/499 од 29.12.2021. године Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду са предлогом Комисије за оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Владимир Чебашек, дипломирани инжењер рударства, проф. др Небојша Гојковић, дипломирани инжењер рударства са Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду и проф. др Радоје Пантовић, дипломирани инжењер рударства са Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 20.01.2022. године донело је одлуку број 1/14 од 24.01.2022. године којом се потврђује предлог матичне Катедре и именује Комисија за оцену докторске дисертације, чиме су испуњени услови за писање предметног Извештај о урађеној докторској дисертацији.

## **1.2. Научна област докторске дисертације**

Докторска дисертација „*Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама*” припада научној области „Рударско инжењерство”, односно ужој научној области „Механика стена” за коју је матичан Рударско-геолошки факултет, Универзитета у Београду.

Именован је ментор др Владимир Чебашек, ванредни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду за вођење кандидата при изради ове докторске дисертације, који је аутор великог броја научних радова из области механике стена и геомеханике објављених у референтним међународним и домаћим часописима, као и у зборницима међународних и националних саветовања, што говори о његовој компетентности за менторство на овој докторској дисертацији.

## **1.3. Биографски подаци о кандидату**

Вељко Рупар, мастер инжењер рударства је рођен 1991. године у Пожаревцу. Основну и средњу школу завршио је у Костолцу, након чега је 2009. године уписао Рударско – геолошки факултет, Универзитета у Београду, где је 2013. године дипломирао са просечном оценом 9.25 на завршном раду под насловом: „*Геомеханички услови формирања завршне косине и одлагалишта површинског копа кречњака 'Мутаљ' - ЛБФЦ Беочин*”. У периоду 2013 – 2014.

године је похађао мастер студије, студијски програм Рударско инжењерство, модул Површинска експлоатација лежишта минералних сировина на Рударско – геолошком факултету у Београду и завршио са просечном оценом 9.30 на мастер раду под насловом: *"Утицај избора критеријума лома стенског материјала на анализу стабилности косина"*. Докторске студије на Рударско – геолошком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Рударско инжењерство, уписао је 2014. године. Положио је све законом прописане испите са просечном оценом 10,00.

Од фебруара 2015. године је запослен на Рударско – геолошком факултету Универзитета у Београду у звању асистента, а од 2017. године је ангажован на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја број ТР 33029 под насловом *"Изучавање могућности валоризације преосталих резерви угља у циљу обезбеђења стабилности енергетског сектора Републике Србије"*.

Стручни испит из области рударства је положио 2018. године у Савезу инжењера и техничара Србије у Београду.

Члан је Српског друштва за механику стена и Међународног друштва за механику стена ISRM (International Society for Rock Mechanics), као и члан Савеза инжењера рударства и геологије Србије. Из области рударства објавио је осам научних радова као аутор или коаутор штампаних у целини у зборницима међународних и националних научних скупова и домаћим часописима, као и два рада у међународним часописима из категорије M23.

## **2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **2.1. Савременост, оригиналност и значај**

Докторска дисертација кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства под насловом *„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама“* је савремен и оригиналан истраживачки рад на процени параметара чврстоће хетерогеног стенског материјала за потребе пројектовања косина површинских копова, што представља суштински значај примењене механике стена и геомеханике у површинској експлоатацији лежишта минералних сировина.

Анализа стабилности и пројектовање косина је актуелна тема при изради сваког рударског пројекта. Основу за пројектовање стабилних косина представљају геомеханички модели који су формиран на основу картираних језгра из истражних бушотина, на којима је потребно утврдити физичко – механичка својства стенског материјала, сходно условима који владају у стенском масиву. Изучавање понашања стенског материјала у различитим условима представља основни задатак механике стена. Ово понашање дефинише се неким од познатих критеријума лома стенског материјала, који се одређују емпиријски и испитивањем троосне чврстоће на притисак. Испитивање троосне чврстоће на притисак има за циљ да опонаша услове у којима се стенски материјал налази под деловањем одређеног напонског стања, а што је приликом испитивања одређено кроз бочни притисак којем је пробно тело изложено.

Стога је потребно спровести детаљна теренска истраживања локације, као и свих литолошких чланова у оквиру којих ће бити изграђен рударски објекат. Иницијална истраживања су обухватитла испитивања узорака стенског материјала добијених из истражних бушотина, у циљу сагледавања распона вредности чврстоће. Поред одређивања специфичне запреминске тежине, запреминске тежине у природном стању, садржине воде и једноосне чврстоће на притисак на припремљеним пробним телима из блокова стенског материјала

изведен је већи обим испитивања троосне чврстоће на притисак у Ноек-овој троосној ћелији. На основу свега наведеног, најважнији задатак је да се изврши адекватна процена параметара чврстоће свих материјала који су коришћени у оквиру геомеханичких модела за анализу стабилности косина. Чврстоћа стенског материјала није одређена емпиријски, већ је одређена триаксијалним испитивањима, за одређене вредности бочног притиска. На основу резултата претходно наведених испитивања су одређени параметри неопходни за одређивање критеријума лома и чврстоће на смицање стенског материјала

Бројни рударски објекти, било да се ради о тунелима, косинама или подземним објектима, се углавном изводе у хетерогеним стенским материјалима, различитих механичких својстава. Хетерогени стенски материјали се одликују великом изотропношћу, што може да има утицај на резултате лабораторијских испитивања анализираних радних средина. Да би се дефинисао утицај степена хетерогености на механичка својства стенског материјала, израђени су композитни узорци различите процентуалне заступљености чврсте и слабе компоненте. Композитни узорци се састоје од дискова два стенска материјала и то: дацита (Д) који представља чвршћу компоненту и алтерисаног дацита (АД) који представља слабију компоненту. Лабораторијска испитивања композитних узорака стенског материјала имају за циљ да утврде како се чврстоћа стенског материјала мења при различитом односу чвршћег и слабијег стенског материјала. Испитивања су извођена на композитним узорцима са 10, 30, 50, 70 % процентуалног удела слабије компоненте. У зависности од величине опадања чврстоће могуће је дефинисати параметре чврстоће различитим функцијама (експоненцијална и линеарна) за сваки процентуални садржај (0-100 %) слабије компоненте у испитиваном узорку.

Значај ове докторске дисертације огледа се у утврђивању методологије специфичних лабораторијских испитивања на припремљеним композитним узорцима стенског материјала у циљу адекватног одабира улазних података за Ноек-Brown-овог критеријума лома потребних за прорачуне и анализе стабилности косина.

Истраживањима у оквиру ове докторске дисертације сагледани су актуелни приступи испитивањима физичко-механичких својстава стенског материјала за формирање геомеханичких модели за потребе утврђивања максималног угла нагиба завршне косине површинског копа.

На основу свега наведеног може се закључити да су испуњени критеријуми савремености и оригиналности докторске дисертације кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства под насловом *„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама”*.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма "iThenticate" којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације *„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама”*, кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства, констатујемо да је утврђено подударње текста које износи 3 %. Овај степен подударности последица је случајних подударања нумеричких података (нпр. децимални запис 0.00, и сл.), библиографских података о коришћеној литератури, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације), што је у складу са чланом 9. овог Правилника. Имајући у виду да је кандидат током писања докторске дисертације узео у обзир све академске норме у погледу навођења и цитирања литературних извора, Комисија сматра да докторска дисертација представља у потпуности резултат оригиналног научно-истраживачког рада кандидата.

## 2.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература која је коришћена при изради докторске дисертације обухвата 63 литературне јединице које се односе на: испитивања параметара чврстоће различитих хетерогених стенских материјала при различитим запреминским уделом појединих компонената стенског материјала у испитиваном узорку, примену најчешће коришћених критеријума лома за дефинисање параметара чврстоће стенског материјала, методу коначних елемената – која представља квалитетан приступ анализи стабилности косина везаних стенских материјала, минералошко–петрографске карактеристике стенског материјала као утицајне факторе на вредности чврстоће стенског материјала, примену GSI система класификације, препоручене међународне стандарде за одређивање физичко–механичких својстава стенског материјала, утицај пречника пробног тела на величину једноосне чврстоће на притисак, као и прописе и техничке нормативе за површинску експлоатацију лежишта минералних сировина.

Кандидат Вељко Рупар, мастер инжењера рударства је током свог истраживачког рада и израде докторске дисертације објавио више радова из предметне области на основу чега се може потврдити да је упознао и проучио значајан део релевантне литературе која се односи на истраживања из области, како саме докторске дисертације, тако и механике стена и геомеханике.

## 2.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Научне методе примењене у овој докторској дисертацији су адекватне проблематици која се истражује и анализира, као и постављеним циљевима у смислу одређивања механичких својстава хетерогеног стенског материјала, на основу лабораторијских испитивања припремљених композитних узорака, у једноосним и троосним условима напрезања, са крајњим циљем дефинисања параметара чврстоће свих литолошких чланова који израђују косину, као и прелазне зоне. Сходно томе у докторској дисертацији су примењене следеће методе:

- *Теоријска анализа* - односи се на проучавање досадашњих теоријских сазнања и нових резултата везаних за одређивање механичких својстава хетерогених стенских материјала. Методологија научног истраживања у оквиру дисертације је прилагођена проблему, програму и циљевима истраживања која обухватају анализу постојећих литературних извора из области лабораторијских испитивања хетерогених стенских материјала. На основу увида у претходна истраживања, дефинисан је правац даљих истраживања који има за циљ проналажења нових сазнања која до сада нису обрађивана, а која су проистекла из резултата и анализа разматрана овим испитивањима.
- *Прикупљање података* - ова фаза истраживања обухвата прикупљање, проучавање и испитивање неопходних узорака стенског материјала у циљу одређивања механичких својстава везаних за проблематику механике стена, односно анализу стабилности косина и њихово пројектовање, као и анализу и интерпретацију резултата ових испитивања.
- *Обрада и анализа података* - обухвата приказ и анализу резултата изведених лабораторијских испитивања у циљу дефинисања параметара чврстоће хетерогеног стенског материјала. Исход ове фазе истраживања су нова сазнања о механичким својствима стенског материјала, како дацита и алтерисаног дацита, тако и стенског материјала у прелазној зони. Механичка својства транзиционе (контактна) зоне биће дефинисана на основу лабораторијских испитивања композитних узорака различитог

процентуалног садржаја алтерисаног дацита (АД) у испитиваном узорку. На основу дефинисаних параметара чврстоће заступљених стенских материјала извршена је дводимензионална анализа стабилности косина коришћењем методе коначних елемената у циљу утврђивање максималних углова нагиба косина,.

Специфичност овог истраживачког рада се огледа у извођењу посебног програма лабораторијских испитивања који је обухватио монолитне узорке стенског материјала (100 % Д и 100 % АД) и композитне узорке који су се састојали од дискова оба заступљена стенска материјала (Д и АД). Формирани дискови стенског материјала коришћени су за формирање група композитних узорака који су садржали 10 , 30 , 50 и 70 % процентуалног удела слабијег материјала (АД). На основу лабораторијских испитивања утврђена је зависност промене једноосне и троосне чврстоће стенског материјала од процентуалног удела алтерисаног дацита, помоћу чега је могуће поуздано проценити параметре чврстоће за сваки процентуални удео алтерисаног дацита у испитиваном узорку.

#### **2.4. Оцена применљивости остварених резултата**

Резултати истраживачког рада у оквиру ове докторске дисертације могу се примењивати у научном смислу у области механике стена и геомеханике. Резултати овог истраживања могу имати практичну примену, како са аспекта безбедности људства и механизације, тако и са економског аспекта на површинским коповима где, у литолошком погледу, постоји више од два стенска материјала, а што је случај на већини површинских копова.

Анализа резултата спроведених лабораторијских испитивања омогућавају да се за сваки процентуални удео слабије компоненте (АД) у испитиваном узорку дефинишу параметри чврстоће стенског материјала. На тај начин је могуће уз утврђене функционалне зависности предвидети понашање прелазне (контактне) зоне између два стенска материјала (Д – АД) за сваки процентуални садржај слабије компоненте (АД).

#### **2.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад**

Кандидат Вељко Рупар, мастер инжењер рударства је током израде ове докторске дисертације показао да поседује потребне способности и вештине за самосталан научно-истраживачки рад. Утврђивање рачунских параметара чврстоће хетерогеног стенског материјала је комплексан процес који захтева наглашену аналитичност и систематичност при решавању проблема. На основу вишегодишњег рада у овој области кандидат је у потпуности спровео планирано истраживање од почетне идеје до реализације постављеног циља презентујући методологију и резултате истраживања у овој докторској дисертацији.

На основу резултата које је постигао у свом стручном и научном раду, без икакве резерве, може се закључити да Вељко Рупар у сваком погледу испуњава услове који га квалификују да се самостално бави научно-истраживачким радом.

### 3. ОПИС САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства под насловом: „Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама”, написана је на српском језику ћириличним писмом на 122 стране формата А4, садржи 135 слика, 21 табелу, 63 литературне јединице и седам прилога.

Структуру докторске дисертације чине 8 поглавља са више подпоглавља:

1. Увод
2. Шема геомеханичког пројектовања у рударству
3. Критеријуми лома стенског материјала
4. Дефинисање услова и параметара за потребе геомеханичког пројектовања
5. Избор рачунских параметара
6. Анализа стабилности косина на карактеристичном профилу
7. Закључак
8. Литература

Докторска дисертација садржи и Сажетак, Садржај, Списак слика, Списак табела, Биографију, Изјаву о ауторству, Изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу. На крају дисертације је дато седам прилога (1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7).

#### 3.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација је структурирана сходно предмету и циљевима истраживања и примењеној методологији истраживања.

У **уводу** докторске дисертације указује се на значај одређивања физичко – механичких својстава хетерогених стенских материјала у оквиру којих ће бити изграђен рударски објекат. Дат је литературни преглед досадашњих истраживања из области дефинисања параметара чврстоће хетерогених стенских материјала, као и полазне хипотезе, примењене методе истраживања и научни допринос докторске дисертације.

У **другом поглављу** докторске дисертације дат је суштински принцип самог одабира локације за експлоатацију, потребних активности које треба спровести при истраживању и испитивању да би се створили услови за пројектовање самог објекта, односно параметре које је потребно прикупити да би се створили услови за геомеханичко пројектовање.

У **трећем поглављу** докторске дисертације дата је теоријска анализа најчешће коришћених критеријума лома (Mohr-Coulomb-ов и Hoek-Brown-ов) којима се дефинише чврстоћа стенског материјала. Посебан осврт је дат на одређивање параметара чврстоће неопходних за одређивање Hoek-Brown-ов критеријум лома, а који је коришћен за даље анализе.

У **четвртном поглављу** докторске дисертације дат је приказ основних постулата о утицају хетерогености на чврстоћу стенског масива. У овом делу је представљена методологија одређивања механичких својстава хетерогеног стенског масива који изграђују дацит (Д), који

представља чвршћу компоненту и алтерисаног дацита (АД), који представља слабију компоненту. Детаљним анализама је утврђено да између поменуте две компоненте у стенском масиву постоји и зона постепеног преласка. Механичка својства стенског масива у тој зони утврђена су на основу лабораторијских испитивања једноосне и троосне чврстоће на притисак стенског материјала композитних узорака. Композитни узорци су се састојали од дискова стенског материјала, при чему је висина пробних тела састављена од дискова појединих компоненти која је дефинисала различити процентуални удео појединог стенског материјала, дацита (Д) и алтерисаног дацита (АД), у пробним телима. Функционална зависност промене параметара чврстоће стенског материјала (једноосне чврстоће на притисак, троосне чврстоће на притисак и материјалне константе) са повећањем учешћа слабије компоненте (АД) стенског материјала утврђена је на основу резултата испитивања једноосне и троосне чврстоће на притисак. Учешће алтерисаног дацита директно утиче на начин и механизам лома током испитивања. Утврђене вредности једноосне и троосне чврстоће на притисак непоремећеног стенског материјала опадају експоненцијално при вредностима процентуалног удела алтерисаног дацита од 0 до 30 %, док је за вредности процентуалног удела алтерисаног дацита од 30 до 100 % тренд опадања линеаран са тенденцијом благог опадања са повећањем процентуалног удела АД. Такође, испитивањем троосне чврстоће утврђене су функционалне зависности вредности материјалне константе  $m_i$  од различитог процентуалног удела алтерисаног дацита у испитиваном узорку. Поред резултата испитивања једноосне и троосне чврстоће на притисак, приказани су резултати испитивања специфичне тежине, запреминске тежине и садржине воде.

**Пето поглавље** докторске дисертације се надовезује на предходно поглавље и састоји у приказу методологије утврђивања рачунских параметара чврстоће. Овај део је значајан јер је параметре утврђене лабораторијским испитивањима неопходно превести на стенски масив, као и извршити квантификацију GSI класификационог система за све коришћене материјале за обезбеђивање улазних података за прорачуне и анализе стабилности косина.

**Шесто поглавље** докторске дисертације представља анализу стабилности косина за предходно утврђене параметре чврстоће хетерогеног стенског масива. Приказани су резултати анализе стабилности косина на карактеристичном профилу при различитим вредностима угла нагиба завршне косине који се кретао у распону 20-70° са кораком од по 10°. Такође, анализа стабилности косине је разматрана на различитим растојањима границе Д и АД од горње равни косине у распону од 0-140 m са кораком од 20 m, где је обухваћено два случаја: са и без коришћења транзиционе зоне. Транзициона зона је представљена интервалом у којем је дошло до постепених промена у стенском масиву (Д - АД) и дефинисана је од картираног доњег дела алтерисаног дацита до картираног горњег дела компактног дацита и износи око 25m. На тај начин је за граничну вредност фактора сигурности  $F_s = 1,3$  за сваки случај посебно, утврђен максимални угао нагиба завршне косине. На основу приказаних резултата утврђен је утицај транзиционе зоне на максимални угао нагиба завршне косине.

**Седмо поглавље** докторске дисертације се састоји од упоредне анализе резултата испитивања који су проистекли из ове дисертације, закључних разматрања и препорука за даља истраживања из ове тематике.

У **осмом поглављу** дат је списак литературе која је коришћена при изради ове докторске дисертације.



## 4. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Тема докторске дисертације је обухватила истраживање веома актуелне и значајне проблематике из области механике стена и анализе стабилности косина у сложеним условима радне средине. Посебна пажња је посвећена детаљном изучавању и анализи параметара чврстоће на смицање стенског масива који су одређени на основу испитивања троосне чврстоће на притисак, као и анализи утицаја дефинисаних параметара на реално стање израђених косина на површинском копу. Оваквим приступом ће се, поред постојећих емпиријских метода које се примењују за утврђивање параметара чврстоће на смицање, дефинисати методологија за утврђивање ових параметара у сложеним условима хетерогене радне средине на основу истраживања која су обухватила и програм лабораторијских геомеханичких испитивања.

На основу реализованих истраживања у оквиру дисертација остварен је научни доприноси који се огледа се кроз следеће:

- Проширена су постојећа достигнућа о испитивањима чврстоће на притисак са циљем да се утврде параметари критеријума лома и чврстоће на смицање стенског материјала.
- Укључивањем бочног притиска приликом испитивања троосне чврстоће на притисак симулирани су услови напонског стања који владају у стенском масиву и таквим приступом су, за одређену висину/дубину површинског копа, одређени параметри критеријума лома и чврстоће на смицање стенског материјала.
- Приказаном методологијом се приликом дефинисања параметара критеријума лома и чврстоће на смицање стенског материјала субјективни утицај своди на најмању могућу меру.
- Сазнања о механичким својствима контактне зоне дацита и алтерисаног дацита су врло успешно примењене приликом геомеханичког пројектовања косина па је приказану методологију могуће применити и у случајевима косина изграђених од материјала са сличним параметрима чврстоће, као и код материјала битно различитих механичких својстава. Такође, у зависности од положаја и величине заступљености појединих материјала у телу косине извршено је предвиђање механизам лома које се великој мери подудара са реалним стањем које је уочено на терену.

Овако конципиран научно-истраживачки рад има научну оправданост и може представљати значајан научни и инжењерски допринос. Резултати овог рада могу бити примењени за даљи развој и унапређење из домена механике стена и то: методологије лабораторијских испитивања механичких својстава и утврђивања рачунских параметара хетерогених стенских материјала, као и приступа анализи стабилности и пројектовању косина у хетерогеним стенским масивима.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу спроведеног истраживања овај рад је имао за циљ да представи методологију одређивања механичких својстава хетерогеног стенског масива који изграђују дацит (Д), који представља чвршћу компоненту и алтерисани дацит (АД), који представља слабију компоненту, где је уочена је зона постепеног преласка од дацита до алтерисаног дацита.

Резултати испитивања једноосне чврстоће на притисак -  $\sigma_{ci}^{UCS}$ , као и троосне чврстоће на притисак непоремећеног стенског материјала -  $\sigma_{ci}^{TX}$  су омогућили да се утврди зависност ових

параметара од процентуалног учешћа алтерисаног дацита (АД %), а утврђени резултати се могу поделити у две зоне. Прва зона укључује резултате испитивања узорака дацита (0 % АД) и композитних узорака са 10 и 30 % запреминског учешћа алтерисаног дацита, где вредности  $\sigma_{ci}^{UCS}$  и  $\sigma_{ci}^{TX}$  опадају експоненцијално са почетне вредности (100 %) на око 37 %. У другој зони композитни узорци са 30 % и више процентуалног учешћа алтерисаног дацита показују благо смањење  $\sigma_{ci}^{UCS}$  и  $\sigma_{ci}^{TX}$  и приближно су једнаки вредностима једноосне чврстоће на притисак -  $\sigma_{ci}^{UCS}$  и троосне чврстоћа на притисак непоремећеног стенског материјала -  $\sigma_{ci}^{TX}$  алтерисаног дацита. Имајући у виду наведене зависности, могуће је за свако процентуално учешће (0 – 100 % АД) алтерисаног дацита у испитиваном узорку, одредити троосну чврстоћу на притисак непоремећеног  $\sigma_{ci}^{TX}$  стенског материјала.

Вредности материјалне константе  $m_i$  се израчунавају на основу резултата троосних испитивања стенског материјала, а укупни интервал вредности материјалне константе  $m_i$  може се генерално изразити као  $m_i = 26 \pm 6$ . Свеукупни интервал вредности материјалне константе  $m_i$  односи се на дацит, алтерисани дацит и транзициону зону између ова два стенска материјала и може се поделити у два интервала. Наиме, за први интервал (0 – 30 % АД) могуће је дефинисати вредност константе  $m_i = 28 \pm 3$ , која се односи на дацит. Међутим, за други интервал (30 - 100 % АД), вредност материјалне константе је  $m_i = 23 \pm 3$ , што се односи на алтерисани дацит. Приказане вредности материјалне константе  $m_i$  показују да је детаљна процена степена алтерације стенског материјала неопходна при процени стварне вредности константе  $m_i$ .

Утврђене зависности троосне чврстоће на притисак непоремећеног стенског материјала  $\sigma_{ci}^{TX}$  и константе  $m_i$  дефинишу поузданије вредности параметара чврстоће стенског масива, које се, заједно са одговарајућим системима класификације стенског масива, могу користити као основа за процену параметара стенског масива. У оквиру овог рада је коришћена GSI класификација којом се врши редуковање чврстоће стенског масива на основу заступљених геолошких услова у стенском масиву. Стога, на основу свих израчунатих параметара чврстоће, а за различите процентуалне садржаје АД (0 – 100 %), могуће је прогнозировать параметре чврстоће хетерогеног стенског масива на прелазу између дацита (Д) и алтерисаног дацита (АД).

Прорачун стабилности косина на карактеристичном профилу спроведен је помоћу методе коначних елемената коришћењем Ноек-Вроун-овог критеријума лома. Анализа је извршена на карактеристичном профилу за висину косине  $H = 140$  m са променом угла нагиба завршне косине  $\alpha_z$  у распону 20 - 70° са кораком од по 10°, као и променом растојања границе Д и АД од горње равни косине у распону 0 - 140 m са кораком од по 20 m, у циљу утврђивања промена вредности фактора сигурности, где је гранична вредност фактора сигурности  $F_s \geq 1,30$ . На основу приказаних резултата утврђен је утицај транзиционе зоне на максимални угао нагиба завршне косине.

На основу прегледа докторске дисертације и увида у полазне хипотезе, постављене циљеве истраживања и коришћену релевантну литературу, као и сагледавања научних истраживања из области докторске дисертације, Комисија констатује да је кандидат у потпуности спровео планирано истраживање и реализовао постављене циљеве пријавом докторске дисертације. Добијени резултати су оригинални и применљиви у пракси.

Констатује се да би примена презентоване методологије одређивања механичких својстава хетерогеног стенског материјала у троосним условима у докторској дисертацији унапредила процес поузданог утврђивања параметара чврстоће хетерогеног стенског материјала. Наглашава се да је развијена методологија у потпуности флексибилна и адаптивна, и примењива на друге хетерогене стенске материјале.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос је верификован са радом из области истраживања спроведеног у оквиру ове докторске дисертације који је објављен у међународном часопису категорије M23 на коме је кандидат првопотписани аутор.

Током израде ове докторске дисертације кандидат је презентовао и објавио више радова из предметне области у Зборницима саветовања националног значаја и часопису Minerals, са чиме је проверио и верификовао своје научне ставове, примењену методологију и остварене резултате.

У наставку је дат приказ радова који верификују рад кандидата у области истраживања докторске дисертације:

#### Категорија M20

1. **Rupar, V.**; Ćebašek, V.; Milisavljević, V.; Stevanović, D.; Živanović, N. "Determination of Mechanical Properties of Altered Dacite by Laboratory Methods". Minerals 2021, 11, 813. <https://doi.org/10.3390/min11080813> (M23)
2. Ćebašek, V.; **Rupar, V.**; Đenadić, S.; Miletić, F. "Cutting Resistance Laboratory Testing Methodology for Underwater Coal Mining." Minerals 2021, 11, 564. <https://doi.org/10.3390/min11060564> (M23)

#### Категорија M30

1. Ćebašek Vladimir, Gojković Nebojša, Dimitrijević Bojan, **Rupar Veljko** "Geomехanical Aspects Of The Openpit Mutalj External Landfill Design", Proceedings of the 13th International Symposium Continuous surface mining ISCSM 2016, pp.33-44. Yugoslav Opencast Mining Committee Beograd 2016 (M33)
2. Dejan Stevanović, Mirjana Banković, **Veljko Rupar**, Vladimir Milisavljević, Aleksandar Cvjetić, Daniel Kržanović, "Waste Dump Design Optimization, Case Study Open Pit Drmno", 6 th International Symposium On Mining And Environmental Protection, pp 282-286. Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Vrdnik jun 2017 (M33)
3. Vladimir Ćebašek, Nebojša Gojković, Zvonimir Bošković, Bojan Dimitrijević, **Veljko Rupar**, "Assessment of the digging force for underwater coal mining", Proceedings of 7th Balkan Mining Congress BALKANMINE 2017, Book 1, pp 279-287, Prijedor Republic of Srpska, October 2017 (M33)
4. Чебашек В., **Рупар В.**, "Анализа могућности повећања нагиба завршне косине површинског копа "Подбраћан"", II Међународни симпозијум Рударство и геологија данас, Рударски институт Београд, децембар 2018, ISBN 978-86-82673-14-9 (M33)
5. V. Ćebašek, **V. Rupar**, V. Ivoš, V. Petković, "Stability analysis on slope pk dacite Ceramide", VIII International Geomechanics Conference Scientific and technical union of mining, Geology and metallurgy, Varna - Bugarska jul 2018 (M33)

#### Категорија M60

1. **Рупар Велјко**, Чебашек Владимир, Гојковић Небојша, "МОДЕЛСКА ГЕОМЕХАНИЧКА ИСПИТИВАЊА НА ЛОКАЦИЈИ "БАРУТАНА" КОД КАЛЕМЕГДАНА", Зборник радова са V научно - стручног скупа "Подземна експлоатација минералних сировина 2017", pp 1-5, Универзитет у Београду – Рударско – геолошки факултет, Београд децембар 2017. (M63)

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства, под насловом *„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама”* представља савремен, оригиналан и научно утемељен приступ из области механике стена и геомеханике. Докторском дисертацијом су доказане полазне хипотезе, развијена је методологија одређивања параметара чврстоће хетерогеног стенског материјала на композитним узорцима различитог процентуалног садржаја алтерисаног дацита у испитиваном узорку. На геомеханичким моделима извршена је анализа стабилности косине и приказан утицај транзиционе зоне на максимални угао нагиба завршне косине.

На основу прегледа докторске дисертације Комисија за оцену докторске дисертације закључује да докторска дисертација кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства, под насловом *„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама”* испуњава све законске услове за јавну одбрану. Комисија закључује да је докторска дисертација урађена према свим стандардима о научно-истраживачком раду и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, Статутом Рударско-геолошког факултета и критеријуме које је прописао Универзитета у Београду. Комисија констатује да докторска дисертација има значајну научну вредност са аспекта утврђивања параметара чврстоће хетерогених стенских материјала за потребе анализе стабилности косина. На основу представљених резултата испитивања параметара чврстоће, могуће је прогноzirати на који начин се мењају вредности чврстоће стенског материјала у зависности од процентуалног учешћа слабије компоненте (АД) у испитиваном узорку.

На основу горе наведеног Комисија за оцену докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом *„Дефинисање механичких својстава алтерисаног стенског материјала лабораторијским методама”* кандидата Вељка Рупара, мастер инжењера рударства, прихвати, изложи на увид јавности и даље у складу са процедуром упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду; након чега би се приступило јавној одбрани докторске дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду 01.02.2022.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

др Владимир Чебашек, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

---

др Небојша Гојковић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

---

др Радоје Пантовић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору