

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Оливере Ђокић, дипл. инж. геологије

Одлуком бр. 1/624 од 27.12.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Оливере Ђокић, дипл. инж. геологије, под насловом:

„Утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост агрегата базичних стена Србије“

После прегледа Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија подноси Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1 Хронологија одобравања и израде докторске дисертације

Оливера Ђокић, дипл. инж. геологије, уписала је школске 2010/2011. године докторске студије, студијски програм Геологија, на Универзитету у Београду - Рударско-геолошком факултету. На докторским студијама положила је све испите предвиђене планом и програмом.

Оливера Ђокић је у фебруару 2015. године предложила тему докторске дисертације под насловом „Утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост путног агрегата: пример на базичним стенама Србије“. На седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета од 19.03.2015. године (одлука бр. 1/99 од 23.03.2015. године) именована је Комисија за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене докторске дисертације. Комисија је закључила да кандидаткиња испуњава све услове да ради на предложеној теми, али је сматрала да наслов докторске дисертације треба кориговати у наслов који гласи: „Утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост агрегата базичних стена Србије“. Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду је на

седници одржаној 21.05.2015. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације. Одлуком 02 број: 61206-2513/2-15 ЛД од 08.06.2015. године (седница бр. 17) Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације.

С обзиром да је обим планираних истраживања захтевао обраду великог броја, података као и континуирано праћење истраживања од стране професора различитих специјалности, продужавањем статуса студента докторских студија на универзитетску 2016/2017. годину, финализована је дисертација. Наставно-научно веће Универзитета у Београду - Рударско-геолошког факултета је на седници одржаној 22.12.2016. године, одлуком број 1/624 од 27.12.2016. године, именовало Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.2 Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Гео-науке, ужој научној области Петрологија, за коју је матичан Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет. За ментора ове докторске дисертације именована је др Кристина Шарић, ванредни професор са Универзитета у Београду - Рударско-геолошког факултета, уже научне области: Петрологија. Према важећим критеријумима, др Кристина Шарић испуњава све услове на основу којих може да буде ментор: у последњих пет година објавила је три рада категорије М21, четири рада категорије М22, три рада категорије М23 и имала је неколико саопштења са домаћих и међународних скупова штампаних у изводу или целини. Осим тога, има искуство у менторству за завршне радове на основним и мастер академским студијама.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Оливера Ђокић (девојачко презиме Живадиновић) рођена је 20. октобра 1969. године у Тузли, Република Босна и Херцеговина. Основну и средњу школу завршила је у Београду. Дипломирала је 1996. године на Универзитету у Београду - Рударско-геолошком факултету, Геолошком одсеку - смер за петрологију и геохемију. Од 1996. године запослена је у Институту за путеве ад, Београд, у Заводу за грађевинске материјале, Лабораторији за камен и камене агрегате, где ради као главни инжењер за контролу квалитета грађевинских материјала. Значајно искуство и резултате постигла је у пројектовању и реализацији лабораторијских геолошких испитивања техничког грађевинског и архитектонског камена. Аутор је или коаутор преко 1300 стручних извештаја лабораторијских истраживања из ове области урађених за потребе Лабораторије за камен и камене агрегате Института за путеве ад, Београд. У оквиру лабораторије ради консултантске услуге које се тичу квалитета камена и агрегата за потребе грађевинске индустрије. Члан је међуресорне радне групе за

израду Предлога Уредбе о грађевинским производима. Оливера Ђокић води и учествује у међулабораторијским испитивањима и програмима за испитивање оспособљености – такозване ПТ шеме које су неопходне за акредитацију опита и лабораторије. Кандидаткиња одржава краћа предавања о Лабораторији за камен и опитима који се ту изводе ученицима средње Грађевинске школе у Београду на обавезној стручној пракси, студентима Високе грађевинско-геодетске школе, страним студентима који посећују Лабораторију за камен у оквиру *IAESTE* програма и новозапосленим инжењерима Института за путеве при упознавању са радом лабораторије. Школске 2010/2011. године уписала је докторске студије, студијски програм Геологија, на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду. На основу молбе за продужење статуса студента докторских студија, а у циљу финализације докторске тезе, уписана је у 2016/2017. годину. Кандидат Оливера Ђокић је до сада објавила рад у врхунском међународном часопису (M21) и рад у међународном часопису (M23) затим, пет радова у часописима од националног значаја (M52), једно саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33) једно саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34) и четири саопштења са домаћих скупова штампана у целини (M63).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација Оливере Ђокић, дипл. инж. геологије, под насловом „**Утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост агрегата базичних стена Србије**“ написана је на 197 страна. Текст Дисертације илустрован је са 100 слика и дијаграма и садржи 12 табела. Засебно је дато 24 прилога. У попису коришћене литературе кандидаткиња је навела 163 наслова.

На почетку тезе налазе се резимеи на српском и енглеском језику, а затим следе поглавља: *Увод* - са приказом постигнутих резултата са овом проблематиком у свету и уоченим недостајућим подацима, постављеним хипотезама и циљевима, *Општи део* где су приказани грађа и основне одлике коловозне конструкције, као и утицаји којима су агрегати у хабајућем слоју изложени, затим је разматрана отпорност на полирање различитих типова стена и изложена је тренутно важећа техничка регулатива; *Посебни део* који укључује приказе географских и геолошких одлика истраживаног подручја, примењених метода, резултате испитивања, статистичку обраду резултата и на крају следе *Дискусија* добијених резултата, *Закључци* у којима се наглашавају утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост агрегата, дају препоруке за даљи рад и примену постигнутих резултата и сумирају доприноси у науци и привреди. На крају следи списак коришћене *Литературе*. Уз саму дисертацију дати су прилози, биографија кандидата, изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о

коришћењу. По форми и садржају написана дисертација задовољава све стандарде Универзитета у Београду за израду докторске дисертације.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У **Уводу** (поглавље 1) се износе постулати и циљеви тезе. Прво се дефинише и објашњава параметар којим се мери полирност агрегата, такозвани коефицијент полирања камена (Polished Stone Value – PSV) и указује на његов значај, даје се кратак приказ резултата истраживања висококвалитетних агрегата за потребе путарстке индустрије и шта је до сада истражено у свету. Уочен је недостатак публикованих података за кохерентну колекцију одређених група стена, због чега су истраживања у овој дисертацији базирана на базичним магматским стенама прикупљеним у Србији. За планирање и реализацију предложених истраживања постављене су полазне хипотезе. Докторска дисертација Оливере Ђокић имала је за циљ не само да се потврде корелације које постоје између минералошко-петрографских и техничких карактеристика стена, већ и да се издвоје минералошко-петрографски фактори имају највећи утицај на микрохрапавост стена, чиме се отварају нове могућности и дају предлози за увођење додатних критеријума приликом одабира висококвалитетних агрегата у путарству. Посебан акценат је стављен на микрохрапавост агрегата у хабајућим слојевима путева, као својство које директно утиче на безбедност одвијања саобраћаја.

ОПШТИ ДЕО (поглавље 2) докторске дисертације Оливере Ђокић састоји се из четири потпоглавља (2.1 до 2.4):

- У потпоглављу (2.1) - **Коловозна конструкција**, објашњава се шта је коловозна конструкција, из којих се делова састоји и којим материјалима се гради (2.1.1). Анализирани су утицаји којима је камен агрегат у хабајућем слоју изложен и набројана најважнија техничка својства за камен (повољан минералошко-петрографски састав; висока чврстоћа на притисак; висока отпорност према хабању стругањем) и за агрегат (велика отпорност на дробљење, хабање, полирање; мало упијање воде; мали губитак масе услед дејства мрза) на која треба обратити пажњу при избору камена и од њега произведеног агрегата за дату намену (2.1.2).

- У другом потпоглављу (2.2), **Релације физичко-механичких својстава агрегата**, обрађена је литература везана за истраживања последњих деценија на пољу микрохрапавости агрегата за изградњу путева у свету. Уочена је јака повезаност између микрохрапавости агрегата и минералног састава, као и алтерација стена са једне стране и микрохрапавости агрегата и техничких својстава стена са друге стране.

- Потпоглавље 2.3, **Микрохрапавост агрегата**, садржи објашњења механизма полирања различитих врста стена, са освртом на феномен отпора према клизању по мокром коловозу (2.3.1). Приказани су савремени трендови вредновања квалитета агрегата (2.3.2) и дат осврт на развој метода за испитивање

полирности. Вршена су и поређења вредности полирности које су добијене различитим методама развијеним до сада у свету, у циљу фаворизовања методе којом може да се измери микрохрапавост агрегата у лабораторијским условима, а која је најприближнија стварном стању агрегата у коловозу (2.3.3).

- У наредном потпоглављу (2.4.), **Техничка регулатива**, представљена је техничка регулатива која је важећа у Европи (2.4.1) и код нас (2.4.2). Тежња ка хармонизацији стандарда и техничких услова је свеprisутна.

ПОСЕБНИ ДЕО (поглавље 3) докторске дисертације се састоји из четири потпоглавља (3.1 до 3.4):

- У потпоглављу (3.1) **Географске и геолошке одлике** најпре су приказане основне географске карактеристике испитиваног подручја, као што су географски положај, путна инфраструктура и клима (3.1.1). Затим је дата дефиниција појма офиолит, а онда и геотектонска припадност испитиваног подручја (3.1.2) и, на крају, и кратак приказ геолошке грађе сваког локалитета појединачно (3.1.3).

- У потпоглављу 3.2, **Узорци и методе**, дат је преглед узимања узорака и примењених метода. За потребе ове студије извршено је узорковање стенског материјала са десет одабраних локалитета (3.2.1). Дат је и план експерименталних истраживања према коме су урађена оптичка испитивања поларизационим микроскопом (3.2.2), *SEM-EDS* анализа хемијског састава минерала (3.2.3), *BSE* снимци целог сета узорака и модалне анализе (3.2.4). У делу о анализи *BSE* снимака (3.2.5), дато је објашњење употребе ових снимака за опсервацију микроодноса између минералних зрна. Лабораторијска испитивања (3.2.6) обухватила су испитивања камена и агрегата према методама сагласним са европским и српским стандардима. Физичко-механичка испитивања камена (3.2.6.1) су обухватила испитивања упијања воде (3.2.6.1.1), одређивање запреминских маса, порозности (3.2.6.1.2) као и отпорности на хабање камена (3.2.6.1.3). Физичко-механичка својства агрегата (3.2.6.2) обухватила су испитивања запреминских маса и упијања воде агрегата (3.2.6.2.1), коефицијента полирања камена (3.2.6.2.2), затим отпорности на хабање (3.2.6.2.3), дробљење (3.2.6.2.4) и постојаност на дејство мраза (3.2.6.2.5). Одређен је и облик зрна агрегата (3.2.6.2.6). На крају је дато објашњење статистичке обраде података који се тичу техничких карактеристика камена и агрегата (3.2.7).

- Потпоглавље 3.3, **Резултати**, састоји се од пет потпоглавља.

- У потпоглављу 3.3.1, **Класификација стена**, приказана је класификација стена које су на основу петрографских карактеристика подељене на групу долерита, групу габра и групу спилита. У оквиру група издвојени су варијетети који укупно чине колекцију од 19 узорака базичних стена Србије.
- У потпоглављу 3.3.2, **Минералошко-петрографске карактеристике**, приказани су резултати испитивања минералошко-петрографских карактеристика стена, којим су обухваћена теренска испитивања, карактеристике склопа, идентификација и хемизам минерала за издвојене

групе стена. Следи приказ сваке од издвојих група стена. Група долерита (3.3.2.1) је даље подељена на основу степена алтерације првобитних минерала и тектонске изломљености стенске масе на подгрупу албитских долерита (шест варијетета, 3.3.2.1.1), подгрупу безпироксенских долерита (четири варијетета, 3.3.2.1.2) и подгрупу долеритних бреча и/или јако тектонски изломљених долерита (два варијетета, 3.3.2.1.3). У групи габрова (3.3.2.2) издвојена је подгрупа габрова (три варијетета, 3.3.2.2.1) и метагаброва (два варијетета, 3.3.2.2.2). Спилити (3.3.2.3) су узорковани на два локалитета. Све три издвојене групе стена, долерити, габрови и спилити, имају релативно једноставан и униформан примарни минерални састав који је представљен плагиокласом и моноклиничним пироксеном. Споредни и акцесорни састојци су металични минерали, титанит (сфен) и апатит. Степен и врста секундарних алтерација је знатно хетерогенија, па се као продукти секундарних измена јављају хлорити, амфиболи, пренит, пумпелит, епидот, кварц, калцит, лимонит. У појединим узорцима алтерација примарних минерала је толико интензивна да су, на пример, пироксени потпуно замењени секундарним фазама: амфиболом, хлоритом, пренитом, епидотом и металичном фазом или су базични плагиокласи албитисани, пренитисани и епидотисани.

- У потпоглављу 3.3.3, **Површина минерала, шупљине и пукотине**, дат је приказ мреже тачака микромодалне анализе, затим резултати мерења површине зрна минерала, као и процена садржаја шупљина и пукотина одабраних узорака базичних стена који су добијени анализом снимака добијених повратно расутих електронима (*BSE - back scattered electron*). Приказ података за групу долерита (3.3.3.1) је посебно за сваки варијетет: од албитских долерита (3.3.3.1.1) и безпироксенских долерита (3.3.3.1.2) до долеритне брече (3.3.3.1.3). У групи габрова (3.3.3.2) издвојене су подгрупе габрова (3.3.3.2.1) и метагаброва (3.3.3.2.2). На крају су дате анализе снимака спилита (3.3.3.3).

- У потпоглављу, 3.3.4, **Физичко-механичка својства камена**, су дати резултати физичко-механичких својстава камена (запреминских маса, порозности, упијања воде, хабања) као и њихових основних параметара дескриптивне статистике. Утврђено је да су запреминске масе директно повезане са минералним саставом стене. Резултати специфичних маса камена показују мале варијације које се крећу од 2,79 до 3,04 Mg/m³, са средњом вредношћу од 2,91 Mg/m³. Привидне запреминске масе (са порама и шупљинама) такође благо варирају због ниског садржаја порног простора у испитиваним стенама. Резултати се крећу у распону од 2,72 до 3,00 Mg/m³ са средњом вредношћу од 2,86 Mg/m³. Апсолутна порозност варира од 0,4 до 7,1 % са средњом вредношћу од 1,93 %, а отворена порозност од 0,3 до 6,1 % са средњом вредности од 1,16 %. Испитиване стене показују ниске вредности упијања воде које се крећу у распону 0,10 – 2,20 % и са просечном вредношћу од 0,4 %. Вредности губитака запремине каменог материјала скинутог хабањем стругањем варирају 6-14 cm³/50cm², са средњом вредношћу од 9,63

$\text{cm}^3/50\text{cm}^2$, на основу чега се ови узорци камена могу сматрати врло тврдим до тврдим.

- У потпоглављу 3.3.5, **Физичко-механичка својства агрегата**, дати су резултати физичко-механичких својстава произведених агрегата (запреминских маса, упијања воде, коефицијента полирања, отпорности на дробљење, хабање, дејства мрза као и облика зрна агрегата. Вредност привидне запреминске масе агрегата варира у опсегу од 2,75 да 3,00 Mg/m^3 , са средњом аритметичком вредношћу од 2,86 Mg/m^3 ; стварне запреминске масе агрегата након сушења у сушници од 2,69 - 2,95 Mg/m^3 , док је стварна запреминска маса водозасићеног а површински сувог агрегата у опсегу 2,72 - 2,96 Mg/m^3 . Агрегати показују упијање воде од 0,5 до 2,7 %, са средњом вредношћу од 0,94 %. Коефицијент полирања *PSV* за испитиване агрегате креће се од 46 до 77 са средњом вредношћу од 58. Веће вредности овог коефицијента (65-77) добијене су на узорцима који показују екстремне алтерације (нпр. МО-1, ZD-КА). Отпорност на дробљење изражена је коефицијентом Лос Анђелес. Измерене вредности су у распону од 10 % до 48 %, са средњом вредности од 18 %. Што је нижа вредност овог коефицијента, отпорност на дробљење је већа и обрнуто. Отпорност на хабање изражена је микро-Девал коефицијентом. Генерално, узорци са најнижим вредностима имају већу отпорност на хабање. Посматране вредности у влажном стању су у распону 8-71, са средњом вредношћу од 19 %. Насупрот томе у сувом стању вредности су много мање варијабилне (2-6 %), са средњом вредношћу од 3 %. Резултати отпорности према дејству мрза методом магнезијум сулфата варирају од 4 до 81, са средњом вредношћу од 14 %. Индекс облика зрна варира у широком распону, од 4 % до 32 % (средња вредност је 15 %). Алтерисани узорци показују мање вредности (повољније својство) јер се лакше дробе и обликују, док тврд и компактан камен даје агрегате са већим процентом плочастих зрна неповољног облика.
- **Статистичка анализа** је приказана у истоименом потпоглављу 3.4. Дата је статистичка обрада података добијена модалном анализом, анализом *BSE* снимака и података физичко-механичких карактеристика камена и агрегата у функцији лабораторијски добијених *PSV* вредности. У првом делу приказана је линеарна корелација за описивање зависности *PSV* вредности од минералног састава (3.4.1). Најбоља линеарна корелација *PSV* вредности добијена је са површинама зрна амфибола ($R^2=0,423$). Додатно, иста корелација постигнута је и са средњим вредностима површина минерала у стенама у којима амфиболи чине 40-55 % vol. (Ждраљица, Буљански поток, $R^2=0,438$). Ниже вредности корелација *PSV*-а постигнуте су са садржајем пироксена (у узорцима у којима се јављају) ($R^2=0,180$). Други део се односи на податке физичко-механичких карактеристика камена и агрегата (3.4.2). Статистичка обрада података техничких карактеристика камена и агрегата обухватила је регресиону анализу (3.4.2.1) и валидацију предложених модела (3.4.2.2). Резултатима испитивања из ове студије, додате су већ објављене вредности техничких својстава базичних магматских стена широм света са циљем да се постигне обимнији статистички

узорак и повећа поузданост предложених модела регресије. Регресионој анализи предходила је корелациона матрица како би се изабрале најбоље зависности. Вредности Пирсоновог коефицијента показале су да су следећа својства у корелацији са *PSV*-ом: за камен - апсолутна и отворена порозност, упијање воде и за агрегат - запреминске масе, упијање воде, отпорност на хабање, дробљење и постојаност на дејство мраза. Вредности Пирсоновог коефицијента (r) су у опсегу од 0,490 до 0,772. У циљу утврђивања квантитативног утицаја поменутих особина на *PSV* (само параметара са веома значајним и значајним Пирсоновим коефицијентима корелације), одабране варијабле поново су анализирани коришћењем биваријатне линеарне регресије (метода најмањих квадрата). За *PSV* израчуната је линија која се најбоље уклапа и израчунати су коефицијенти детерминације (R^2) за десет предложених модела чије се вредности крећу у опсегу од 0,245-0,591. Валидација предложених модела урађена је преко дијаграма расипања измерених и процењених вредности (t-упарен тест). Дијаграми су показали расипање резултата у прихватљивом опсегу. Мала одступања тачака око линије 1:1 и њихова припадност у областима обухваћеног односима 1:2 и 2:1 указали су да су модели су разумни.

„Дискусија“ (поглавље 4) састоји се од два потпоглавља.

- Да би се сагледане зависности полирности агрегата од минералошко-петрографских и техничких својстава камена и агрегата, у првом потпоглављу (4.1) **Геолошки параметри и микрохрапавост агрегата** ауторка повезује резултате испитивања и даје интерпретацију података како односа минералошко-петрографских карактеристика издвојених група стена и микрохрапавости (4.1.1), тако и односа техничких својстава камена и агрегата и микрохрапавости (4.1.2). Осим тога, Оливера Ђокић наглашава да су за научна истраживања која имају за циљ утврђивање различитих корелационих односа, од изузетног значаја подаци комплетних лабораторијских испитивања техничких својстава не само свежих, већ и алтерисаних стена, како би могло да се изврши повезивање узајамног деловања техничких својстава, односно, како би се донео закључак о понашању групе магматских стена и изналажење нових лежишта материјала са повољним *PSV* вредностима. На крају су дате сугестије за брзу идентификацију висококвалитетног камена који би могао да олакша даља истраживања за потребе путарства.

- У другом потпоглављу (4.2), **Техничка регулатива и микрохрапавост агрегата**, разматрано је како се утиче на безбедност саобраћаја прописивањем различитих параметара у оквиру техничке регулативе (4.2.1). Разматрано је и како су се технички услови бивших југословенских република од деведесетих година на овамо мењали, у складу са преласком на европске стандарде и геолошку грађу свог подручја. Коментарисана је и најновија српска техничка регулатива. Ауторка је дала сугестију да је потребно што пре преиспитати наше геолошке резерве техничког грађевинског камена, односно сагледати могућност отварања нових лежишта сходно понуђеним новим техничким регулативама. У истом потпоглављу разматране су базичне магматске стене, као потенцијал за

производњу висококвалитетних путних агрегата са аспекта техничке регулативе (4.2.2). Истакнуто је да лежишта микрохрапавијих агрегата у свету треба тражити и отварати, а да границе употребљивости треба постављати када је реч о постојаности на дејство мраза, отпорности на дробљење и хабање, али да треба водити рачуна и о месту уградње агрегата, односно климатских услова у којима егзистира коловозна конструкција.

Потпоглавље 5, Закључци, се састоје из следећих потпоглавља:

- Потпоглавље (5.1) **Утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост стена** у које су изнети следеће закључци:

- Минерални састав и склоп стене контролишу микрохрапавост агрегата: минерални састав одређује тврдину стене, величина зрна и начин срастања структуре стене, а садржај шупљина и пукотина микротекстуру. Повезани у одређеном односу формирају микрохрапаву површину стене која се може изразити преко *PSV* вредности;
- Стена изграђена од минерала релативне тврдине веће од 5 (по Мосу), финозрнасте до финоофитске структуре, имаће ниску *PSV* вредност која ће се повећавати са порастом садржаја меких минерала мање релативне тврдине;
- Површинске алтерације повољно утичу на развој микрохрапаве топографије зрна агрегата као што је утврђено код површински алтерисаног узорка DI-2 (*PSV*=59) у односу на површински неалтерисан узорак DI-1 (*PSV*=57);
- Код стена порфирске структуре већи удео у формирању микрохрапавости агрегата има микролитска до финоофитска основна маса у односу на учешће фенокристала, дајући агрегате нижих *PSV* вредности (узорак RO и PR S/P, *PSV*=52);
- *PSV* вредност се повећава са повећањем садржаја минерала који показују знапредовали степен алтерације,
- Порфиرويدна структура долерита повољно утиче на развој микрохрапаве топографије зрна агрегата због присуства крупнијих зрна тврдих минерала који „штрче“ у хомогеној финоофитској до финозрнастој основи (порфиرويدни узорак DI-2: *PSV*=59 у односу на DI-1: *PSV*=57) и (порфиرويدни узорак CS-2: *PSV*=58 у односу на CS-1: *PSV*=57);
- Стене које су претрпеле интензивну тектонску активност, као и повећан садржај споредних минерала (титанита и металичних минерала) повољно утичу на микрохрапавост долерита; присуство жица различитог састава - хлорита, калцита, кварца, пирита, такође има повољан утицај на микрохрапавост;
- Присуство хомогено распоређених мандола које су запуњене секундарним минералима различите тврдине по Мосу (хлорит – 2,5, калцит - 3, кварц - 7) повољно утиче на повећање *PSV*-а (узорак MO-2: *PSV*=60);
- Одсуство клинопироксена, односно, обилно присуство амфибола, хлорита и калцита у стенама се, због широког распона *PSV* вредности који показују те стене, не могу користити као показатељ повећања микрохрапавости агрегата,

али су зато позитивне корелације постигнуте између PSV вредности и површина зрна амфибола ($R^2=0,423$);

- Крупноофитска структура и средњозрнаста структура (коју показују испитивани долерити и габрови) повољно утичу на формирање микрохрапаве површине зрна агрегата;
- Екстремно алтерисана стена крупноофитске структуре са бројним пукотинама и шупљинама, без обзира на велико учешће минерала са релативном тврдином > 5 , имаће храпаву микротопографију са највећим PSV вредностима. Посматрана макроскопски, због обиља прелина и шупљина ова стена неће имати сјај (узорак ZD-КА, PSV=77).

Минералашко-петрографске карактеристике стена утичу и на техничке карактеристике камена и агрегата, па се на основу њиховог познавања могу додатно извести следећи закључци:

- Постоје значајне позитивне линеарне корелације између PSV -а и вредности техничких својстава камена и агрегата као што су порозност (апсолутна: $R^2=0,446$; отворена: $R^2=0,584$), упијање воде (камена: $R^2=0,566$; агрегата: $R^2=0,245$), отпорност на хабање – микро-Девал (влажан: $R^2=0,591$, сув: $R^2=0,381$), дробљење – Лос Анђелес ($R^2=0,307$) и отпорност на дејство мраза ($R^2=0,519$); PSV агрегата је у инверзној корелацији са стварном запреминском масом водозасићеног ($R^2=0,372$) и површински сувог агрегата ($R^2=0,245$);
- Узорци са већом порозности и упијањем воде показују највеће вредности PSV-а; корелација између PSV -а и апсолутне и отворене порозности је јака, нарочито за узорке са отвореном порозности мањом од 3 %;
- Однос између упијања воде камена и PSV -а је најјачи; упијање воде агрегата утиче на PSV са нешто нижим коефицијентом корелације r , али је и даље висок и статистички значајан; корелација између упијања воде и PSV -а је позитивна;
- Упијање воде камена је најважније најјефтиније физичко својство за проспекцију висококвалитетних агрегата за израду хабајућих слојева путева, а упијање воде агрегата за моделе предвиђања карактеристика полирности агрегата; значајно је да се овај параметар одређује најјефтинијом методом;
- Запреминска маса камена не показује значајан утицај на PSV, иако су стварне запреминске масе агрегата у корелацији са PSV-ом са значајним коефицијентом корелације; регресиони коефицијент је виши за запреминске масе агрегата након сушења у сушници у односу на водозасићен а површински сув агрегат;
- Алтерисане базичне стене имају највеће PSV вредности које су често контролисане већом порозности и последично мањим запремински масама и већим упијањем воде (узорак ZD-КА: PSV=77, отворена порозност 6,1 %, привидна запреминска маса камена 2,74 Mg/m³; упијање воде 2,2 %);

- Отпорност на хабање камена не показије корелацију са отпорности на полирање агрегата. Ова два својства са својим одликама стоје једно насупрот другог, тако да везе између њих не могу да се успоставе;
 - Међу механичким особинама агрегата, LA (Лос Анђелес коефицијент) и M_{DE} (микро-Девал коефицијент у влажном стању) играју важну улогу у одређивању PSV-а агрегата; резултати регресионе анализе између PSV-а и особина хабања и дробљења указују да агрегати са високом отпорношћу на хабање и дробљење имају тенденцију да се полирају;
 - Са повећавањем губитка масе агрегата који се издриобио услед дејства мрза (већи MS коефицијент), повећава се и PSV коефицијент. Управо овај опит повлачи границу употребљивости агрегата у путарској индустрији;
 - Може се констатовати да базичне магматске стене које имају вредности отворене порозности до 3 %, упијање воде до 2%, а LA (Лос Анђелес коефицијент) губитак до 25 % и MS (магнезијум-сулфат коефицијент) губитак до 25 % дају агрегате са високим PSV-ом. Агрегати са карактеристикама које су близу поменутих максималних вредности су у ствари најпогоднији за израду хабајућих слојева путева;
 - Развијени регресиони модели (табела 11, страна 140 у дисертацији) 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 и 10 могу се користити за практичну процену PSV-а, док се модели 5 и 6 могу користити за грубу процену PSV-а. Предложени модели су лаки за употребу у лабораторијској пракси.
- Потпоглавље (5.2) **Препоруке за даљи рад и имплементацију** садржи препоруке за проналажења корелација које у овој студији нису пронађене, као и на проширење поља испитивања на алтерисане стене и друге литотипове природних агрегата. Ауторка сугерише да се поново преиспита могућност употребе слабије серпентинисаних перидотита у путарској индустрији, с обзиром на широку распрострањеност офиолита у нашој земљи и перидотита као делова офиолитске секвенце, а имајући у виду чињеницу да европски стандард за категоризацију агрегата не даје ограничења за врсту и порекло агрегата.
- У потпоглављу (5.3) **Доприноси** дат је закључак да је научни допринос приказане дисертације сазнање колико минерални састав, степен алтерације и структурно-текстурне карактеристике стена значајно и синхронизовано утичу на микрохрапавост агрегата, као и утврђивање чињенице да агрегати базичних магматских стена са повећаним упијањем воде од око 2 % представљају висококвалитетне путне агрегате за израду хабајућих слојева путева са одличном микрохрапавошћу. Допринос ове тезе привреди Србије огледао би се у предлогу да се што пре преиспитају наше геолошке резерве техничког грађевинског камена и коригује национални додатак техничких услова, у складу са категоријама квалитета агрегата у Европи.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост, оригиналност и значај

Савремени приступ истраживачком раду ауторке ове докторске дисертације, Оливере Ђокић, огледа се у коришћењу, са једне стране, савремених аналитичких техника и лабораторијских испитивања техничких својстава камена и камених агрегата према тренутно важећим европским стандардима, као и статистичких програма за обраду добијених података.

Оригиналност ове докторске дисертације огледа се у прикупљању и обради узорка и података који до сада нису постојали. Вештом комбинацијом примењених метода испитивања и обрадом, за оваква истраживања великог броја добијених података, донети су бројни закључци који превазилазе оквире саме тезе и задобијају општи карактер. Посебан значај дисертације произлази из чињенице да је кандидаткиња веома успешно интегрисала резултате класичних петролошких испитивања са резултатима лабораторијских испитивања техничких својстава стена. Прикупљена колекција од укупно деветнаест узорка базичних магматских стена са територије Србије, први пут је на овај начин испитана и обухваћена овим радом, што представља значајан подухват како за сазнања о карактеристикама српских офиолита тако и за остале стене офиолита у свету.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература (укупно 163 наведенене литературне јединице) коришћена у овој докторској дисертацији изабрана је тако да на прави начин приказује све релевантне референце које указују на најновија сазнања из области Примењене петрографије, али су дати и значајни историјски подаци. Коришћена литература у овој докторској дисертацији је избор публикованих радова, уџбеника и приручника који подржавају методологију, резултате и њихову интерпретацију. Цитирани су и референтни стандарди по којима су вршена лабораторијска испитивања камена и агрегата и техничка регулатива (европска и домаћа) за оцену квалитета камена и агрегата. Дат је и осврт на најновије европске пројекте који се тичу управљања индустријом агрегата и новим сазнањима и методама за мерења отпора према клизању коловоза. За обраду референци коришћена је *Mendeley Desktop* интернет библиотека, према препорукама Универзитетске библиотеке.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене методе за испитивање минералошко-петролошких карактеристика стена су савремене и користе одговарајућу, захтевну и осетљиву опрему, као што су поларизациони микроскоп за пропуштenu светлост и скенирајући

електронски микроскоп са енергетско-дисперзивним спектрометром и детектором за повратно расуте електроне. Лабораторијска испитивања камена (упијање воде, одређивање специфичних и привидних запреминских маса, укупне и отворене порозности као и отпорности на хабање стругањем по Бемеу) и агрегата (испитивања запреминских маса и упијања воде агрегата, одређивање коефицијента полирања камена, затим отпорности на хабање – микро-Девал, отпорност на дробљење – Лос Анђелес, постојаност на дејство мраза и индекс облика зрна агрегата) урађена су према тренутно важећим европским и српским стандардима, а испитивања су извршена у лабораторији која је акредитована. Статистичка обрада података коришћена у овом раду, такође је примерена захтевима савремених потреба за интерпретацију експерименталних резултата.

3.4 Применљивост остварених резултата

Посебан значај ове докторске дисертације лежи управо у томе што остварени резултати имају за циљ да се примене у будућим истраживањима и оцени камена и од њих произведених агрегата који би се користили за израду хабајућег слоја коловозних конструкција. Кроз експериментални део, али и теоријско разматрање тренутно важеће техничке регулативе, произашли су закључци и сугестије за озбиљно преиспитивање управо тих регулатива са циљем да се што рационалније искористе стене као стратешка и необновљива сировина. Ова теза даље, даје нов приступ како да вреднујемо базичне магматске стене Србије, и аналогно друге стене које постоје у Србији, за чим да трагамо и како да идемо у правцу отварања нових каменолома за производњу оних агрегата који ће допринети изградњи храпавијих хабајућих слојева путева, а самим тим повећати безбедност одвијања саобраћаја. На основу примењене методологије, добијених резултата и из њих проистеклих дискусије и изведених закључака, дисертација је научно утемељена, актуелна и значајна са научног становишта, а посебно са становишта практичне примене.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је током израде дисертације показала да је изузетно способна за самостално извођење експеримената и примену одговарајућих метода испитивања. Посебно треба истаћи ентузијазам, креативност кандидата и преданост целокупном раду: од осмишљавања теме и научног проблема, преко прикупљања и обраде литературих података, извођењу опита, до анализе и интерпретације добијених резултата. С обзиром на чињеницу да су неки од резултата већ објављени, а да су у припреми и нови радови и обрада и публикација података које је у међувремену кандидаткиња прикупила (резултати испитивања порозности узорака камена), може се закључити да је Оливера Ђокић већ формиран квалитетан истраживач.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Из Дисертације Оливере Ђокић, могу се издвојити следећи научни доприноси:

- компилација сазнања колико минерални састав, степен алтерације и структурно-текстурне карактеристике стена значајно и синхронизовано утичу на микрохрапавост агрегата;
- издвајање параметра упијања воде камена као најважнијег физичког својства за проспекцију висококвалитетних агрегата за израду хабајућих слојева путева и упијања воде агрегата за моделе предвиђања карактеристика полирности агрегата;
- утврђивање чињенице да базичне магматске стене које имају вредности отворене порозности до 3 %, упијање воде до 2%, а *LA* (Лос Анђелес коефицијент) губитак до 25 %, *MS* (магнезијум-сулфат коефицијент) губитак до 25 %, дају агрегате са високим *PSV*-ом, односно да су агрегати са карактеристикама које су близу поменутих максималних вредности у ствари најпогоднији за израду хабајућих слојева путева;
- развијени регресиони модели (табела 11, страна 140 у дисертацији) 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 и 10 могу да се користе за практичну процену *PSV*-а, док се модели 5 и 6 могу користити за грубу процену *PSV*-а. Предложени модели су погоднији за употребу у лабораторијској пракси;
- што се тиче других врста магматских стена, слично понашање микрохрапавих агрегата може се очекивати и код андезита и дацита, с обзиром да су ове стене су код нас широко распрострањене, али да се неке од њих, због тренутно важећих регулатива, рестриктивно користе јер показују повећано упијање воде;
- допринос је и да се треба осврнути и код нас испитати и друге групе стена као што су песковити кречњаци, пешчари и друге стене које су у свету окарактерисане као висококвалитетне, али и на савремене трендове који укључују поновну употребу и рециклажу старих асфалтних слојева и бетона, како би се што више сачували природни ресурси и заштитила животна средина;
- допринос је и да је за постављање јасних граница употребљивости базичних стена потребно поседовати комплетна техничка својства како камена тако и од њега произведеног агрегата широког распона техничких карактеристика. С обзиром да овако постављени захтеви поскупљују лабораторијска испитивања, дат је и предлог да једно од решења јефтиног прикупљања тражених података могу бити Извештаји међулабораторијских поређења и програми за испитивање оспособљености - такозване ПТ шеме, само са смисленом координацијом датих испитивања.

Осим научних доприноса, допринос ове тезе привреди Србије огледао би се у предлогу да се што пре преиспитају наше геолошке резерве техничког

грађевинског камена и коригује национални додатак техничких услова, у складу са категоријама квалитета агрегата у Европи. Ова теза даље, даје нов приступ како да вреднујемо стене офиолита, за чим да трагамо и како да идемо у правцу отварања нових каменолома за производњу оних агрегата који ће допринети изградњи храпавијих хабајућих слојева путева, а самим тим утицати на безбедност одвијања саобраћаја. Због тога је допринос овога рада не само научни већ и привредни и опште друштвени.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Докторска теза кандидаткиње Оливере Ђокић, урађена је на основу примене тренутно важећих методолошких поступака за квалитетну оцену камена и агрегата. Интерпретација великог броја података која обухвата резултате минералошко-петрографских испитивања и податке лабораторијских испитивања камена и агрегата, конвергирала је према закључцима који су у доброј сагласности са већ постојећим литературним подацима, али који додатно указују који су агрегати висококвалитетни, када се посматрају агрегати за употребу у хабајућем слоју коловозне конструкције.

Препоруке за даљи рад у овом пољу истраживања су у сагласности са сугестијама аутора тезе, а везане су за проналажења нових корелација, као и на проширење поља испитивања на алтерисане стене и друге литотипове природних агрегата. Осим тога, у будућем раду, при проширењу постојеће базе података техничких својстава базичних магматских стена, предложене регресионе моделе треба перманентно валидовати.

Формирање националног додатка техничких услова за квалитет агрегата, осим од геолошке подлоге, зависи и од климатских услова дате земље, па изнете границе квалитетног агрегата за израду хабајућег слоја путева, треба проверити у нашем климатском окружењу.

4.3 Верификација научног доприноса

До сада је део резултата испитивања из ове докторске дисертације објављен у врхунском међународном часопису са SCI листе (категорија M21). Осим тога, резултати су приказани како геолошкој тако и грађевинској заједници на домаћим и међународним скуповима и штампани у целини или изводу. У припреми за штампање су још два рада.

M21 – Рад објављен врхунском међународном часопису

? ОКИЋ, О., МАТОВИЋ, В., ЕРИЋ, С., ШАРИЋ, К. 2015. Influence of engineering properties on Polished Stone Value (PSV): A case study on basic igneous rocks from Serbia. *Construction and Building Materials* **101**, 1088–1096 (IF₂₀₁₅=**2.421**; IF_{петогодишњи}=**2.883**) (ISSN 0950-0618).

M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини

ЂОКИЋ, О. 2014. Микрохрапавост путног агрегата (од стена офиолита) у хабајућем слоју коловозне конструкције. *Зборник радова XVI Конгреса геолога Србије. Оптимални истраживање и одрживо коришћење геолошких ресурса*, pp. 297–300., Доњи Милановац: Српско геолошко друштво.

ЂОКИЋ, О., STEFANOVIĆ, S., MILIĆ, B. 2016. Klizavost habajućih slojeva puteva od krečnjačkog agregata. *Drugi srpski kongres o putevima*, pp. 784–789., Beograd: Српско друштво за путеве ‘Via - Vita’.

M34 – Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

ЂОКИЋ, О., ŠARIĆ, K., MATOVIĆ, V., ERIĆ, S., VUKOVIĆ, N., CVETKOVIĆ, V. 2015. The influence of petrographic characteristics on polished stone value for dolerite-gabbro aggregates from Serbia. *5. Hrvatski geološki kongres*, p. 66., Hrvatsko geološko društvo.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост агрегата базичних стена Србије“ кандидаткиње Оливере Ђокић, дипл. инж. геологије, Комисија закључује да дисертација представља оригинално научно дело. Методологија истраживања и резултати потврђују вишеструки и значајан научни допринос тезе у области Примењене петрографије. Ова дисертација представља прву студију у нашој земљи у којој су објављени резултати добијени компилацијом минералошко-петролошких података и резултата испитивања техничких својстава камена и агрегата за једну кохерентну групу стена (базичне стене). Примењен је завидан број савремених метода (укупно 11) које су изведене према важећим процедурама и стандардима. Посебан значај дисертације огледа се у указивању на бројне могућности за даљи рад и повезивање стручњака различитих професионалних оријентација.

Овим истраживањима пружене су, такође, смернице које врсте и варијетете базичних магматских стена при истраживању нових лежишта треба издвајати на терену као перспективне за добијање висококвалитетног агрегата у путарству, али су дати и предлози за примену постојећих метода и начина истраживања и за друге стене које су распрострањене у Србији и које се могу користити за израду хабајућег слоја коловозних конструкција. Осим тога, кандидаткиња предлаже и корекцију тренутно важећих техничких регулатива и стандарда који се тичу вредности за упијање воде камена и агрегата (за израду хабајућих слојеве путева свих гупа саобраћајног оптерећења) и коефицијента полирности камена (за путеве средњег саобраћајног оптерећења и рехабилитацију државних путева II реда) чиме би се користио камен бољег квалитета за дату намену и рационалније искористиле постојеће резерве камена као стратешког и

необновљивог ресурса. Урађена докторска дисертација написана је према свим стандардима у научноистраживачком раду, и испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Универзитета у Београду - Рударско-геолошког факултета.

Комисија има задовољство да нагласи и похвали кандидаткињу Оливеру Ђокић која је показала изузетну способност у планирању и реализацији истраживања, а посебно у синтези и тумачењу добијених података. Критички став и предлози које је кандидаткиња дала у својој тези дају посебан печат и тежину подацима који су приказани и потврђују да је кандидаткиња способна за самостално извођење истраживања и вођење пројеката.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Рударско-геолошког факултета да се докторска дисертација под називом: **„Утицај минералошко-петрографских карактеристика на микрохрапавост агрегата базичних стена Србије“** кандидаткиње **Оливере Ђокић**, дипл. инж. геологије, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 30.12.2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Проф. др Кристина Шарић
Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет

Проф. др Весна Матовић
Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет

Проф. др Сузана Ерић
Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет

Проф. др Владимир Симић
Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет

Проф. Горан Младеновић
Универзитет у Београду - Грађевински факултет

