

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO–GEOLOŠKI FAKULTET

Olivera M. Đokić

**UTICAJ MINERALOŠKO-
PETROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA NA
MIKROHRAPAVOST AGREGATA
BAZIČNIH STENA SRBIJE**

doktorska disertacija

Beograd, 2016

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Olivera M. Đokić

**INFLUENCE OF MINERALOGICAL AND
PETROGRAPHICAL CHARACTERISTICS
ON AGGREGATE MICROROUGHNESS
OF BASIC IGNEOUS ROCKS FROM
SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

Mentor: dr Kristina Šarić, vanredni profesor, uža naučna oblast – Petrologija,
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Članovi komisije:

Dr Vesna Matović, vanredni profesor, uža naučna oblast - Petrologija, Univerzitet u
Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Dr Suzana Erić, vanredni profesor, uža naučna oblast - Fundamentalna i primenjena
mineralogija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Dr Vladimir Simić, redovni profesor, uža naučna oblast - Ekonomska geologija,
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Dr Goran Mladenović, vanredni profesor, uža naučna oblast - Građenje i održavanje
puteva i aerodroma, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Datum odbrane: _____

Zahvalnost

Rešavanje nekog naučnog problema u savremenim uslovima vrši se primenom mnogobrojnih metoda istraživanja. Zbog toga je neophodno da se više institucija i timova uključi u istraživanje kako bi svako sa svoje strane stručnosti dao doprinos. I ovde je to bio slučaj.

Zahvalnost u ovom istraživanju pre svega dugujem Institutu za puteve ad, Beograd odnosno najvišem upravljačkom i rukovodećem kadru za vreme trajanja doktorskih studija - Milošu Nešiću, dipl. inž. građ., dr Slobodanu Cmiljaniću, dipl. inž. geol. i mr Bratislavu Miliću, dipl. inž. građ. Rukovodstvu Zavoda za građevinske materijale - mr Slobodanu Joksimoviću, dipl. inž. geol., Nevenki Vukelić, dipl. inž. građ., dr Miloradu Smiljaniću, dipl. inž. tehnol., dr Imreu Papu, dipl. inž. tehnol. i Branku Munjasu, dipl. inž. geol. zahvaljujem na ukazanom poverenju predložene teme, finansijskoj i tehničkoj pomoći. Mr Vladeta Vujanić, dipl. inž. geol. iz Zavoda za geotehniku zaslužan je za moje rano usmeravanje na polje geonauka, pa je i njegov doprinos ovome radu značajan. Posebnu zahvalnost dugujem mentoru, prof. dr Kristini Šarić što me je od samog početka razumela, podržala i pomogla mi da se izrazim najbolje što mogu. Uprkos tome što je njen metod rada, meni nekada delovao previše zahtevan, nikada nije sputavala kreativnost mojih ideja. Zahvalnost iskazujem i članovima komisije prof. dr Vesni Matović kao i prof. dr Suzani Erić koje su me brižljivo vodile i pomagale u oblikovanju rezultata ispitivanja i istraživanja, a dobronamerni saveti definitivno su vodili u pravom smeru zaključivanja. S obzirom da tema obuhvata granično područje geologije i građevine, zahvaljujem prof. dr Goranu Mladenoviću na izuzetnoj saradnji i pomoći u delu koji se odnosi na primenu agregata u habajućim slojevima kolovoznih konstrukcija. Njegovi komentari i sugestije, upućeni na samom kraju istraživanja, podstakli su me na nova razmišljanja i dali novu snagu za nastavak istraživanja. Prijatna mi je dužnost da se zahvalim prof. dr Vladimiru Simiću i prof. dr Vladići Cvetkoviću za kontinuirano praćenje procesa istraživanja.

Kolegama u Laboratoriji za kamen i kamene agregate Instituta za puteve ad, Beograd - Vladimiru Milićeviću, dipl. inž. geol. i Nenadu Matoviću, dipl. inž. geol., Miodragu Dančetoviću, građ. tehn. zahvaljujem na pomoći prilikom uzorkovanja stenskog materijala, zatim, na drobljenju stenskog materijala laborantu Nebojši Stojanoviću i kamenorescu Milanu Kandiću, a na pomoći pri ispitivanju fizičko-

mehaničkih svojstava kamena i od njega proizvedenih agregata, Branku Jevremoviću, građ. tehn. i Svetlani Ršumović, geol. tehn. Hvala dr Nikoli Vukoviću, dipl. inž. geologije, na pomoći prilikom izrade SEM-EDS analiza i dr Nicolasu Roduitu sa Departmana za geologiju i paleontologiju Univerziteta u Ženevi na ustupanju programa za obradu elektronskih snimaka.

Želim da zahvalim diplomiranim inženjerima geologije Miodragu i Ninoslavi Jovović, Radomiru Milićeviću, Zoranu Pavloviću, Bori Iliću, diplomiranim inženjerima rudarstva Draganu Ivanoviću, Saši Stojiću, Milanu Triviću, Ljubiši Gajiću, Dejanu Jovanoviću i ostalim kolegama različitih struka koji su bilo svojim dokumentacionim materijalima, terenskim radovima ili svojim razmišljanjima o agregatima doprineli realizaciji ove doktorske disertacije. Uvek su mi izlazile u susret kolege Uroš Tatić, dipl. inž. građ. i Đuro Petrušić, inž. građ. čije su mi sugestije pomogle u razumevanju vrsta i procesa proizvodnje asfaltnih mešavina. Borivoje Banić, dipl. inž. građ. uvek je imao strpljenja da me sasluša ne samo kada smo razgovarali o kolovoznim konstrukcijama, već i da mi ukaže na moguća jednostavna rešenja za moje „geološke probleme“. Draga koleginica Suzana Stefanović, dipl. inž. građ. pomogla mi je da svoje znanje o proučavanju agregata u laboratorijskim uslovima prenesem na njihovu primenu i ponašanje u kolovoznoj konstrukciji.

Porodici iz koje sam potekla - roditeljima i bratu, kao i svojoj porodici - suprugu i deci, dugujem najveću zahvalnost. Život sa njima vremenom je izoštrio moja čula koja su bila pokretač ovih ispitivanja. Na kraju, zahvaljujem se svima koji su me bodrili a koje nisam pomenula, jer su svi bili podjednako važni u stvaranju kreativnog naučnog dela.

Posveta

Mojoj deci, Bojani i Vukoti

UTICAJ MINERALOŠKO-PETROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA NA MIKROHRAPAVOST AGREGATA BAZIČNIH STENA SRBIJE

REZIME

Koeficijent poliranja kamena (*Polished Stone Value* - PSV) jedan je od glavnih faktora u proceni kvaliteta agregata koji se koristi za izradu habajućeg sloja na putevima. Ovaj koeficijent odražava mikrohrapavost agregata koja utiče na ukupnu otpornost prema klizanju puta i bezbedost vožnje. Prethodne studije pokazale su da postoje veze između petrografije, polirnosti i drugih tehničkih svojstava kamena i agregata, ali njihovi međusobni odnosi unutar homogene grupe stena do sada nisu ispitivani. Cilj ove disertacije bio je da se uspostavi jasna veza između mineralnog sastava, mikrosklopa, alteracionih produkata izabranih bazičnih magmatskih stena i PSV-a sa jedne strane, i posledično PSV-a i drugih tehničkih svojstava kamena i agregata, sa druge strane. Mineraloško-petrografska analiza ispitivanih bazičnih magmatskih stena pokazala je da njihove karakteristike poput mineralnog sastava, stepena alteracije i strukture *značajno i sinhronizovano* utiču na mikrohrapavost. Tako, najniže PSV vrednosti imaju bazične stene sa finoornastom do finoofitskom strukturom u kojima su prisutni samo minerali sa relativnom tvrđinom većom od 5. Mikrohrapavost se povećava ukoliko stena: a) ima porfirsku strukturu, b) sadrži mineralne vrste koje pokazuju uznapredovali stepen alteracije, c) ima elemente porfiroidne strukture, d) ima povećan sadržaj određenih sporednih minerala, e) sadrži homogeno raspoređene mandole zapunjene sekundarnim mineralima različite tvrđine, f) ima krupnoofitsku, odnosno krupnozrniju strukturu, g) sadrži više od 15% minerala sa niskom relativnom tvrđinom, h) sadrži mineralne vrste koje imaju mrežu mikroporslina i šupljina. Posledično, najviše PSV vrednosti imaju bazične stene sa krupnoofitskom strukturom, značajnim stepenom alteracije primarnih minerala i gustom mrežom mikropukotina i šupljina pojedinih minerala (na primer plagioklasa i/ili klinopiroksena). Pojedinačne mineraloško-petrografske karakteristike utiču, ali ne daju značajnu zavisnost u odnosu na PSV vrednosti. Najviši stepen

pozitivne linearne korelacije PSV vrednosti pokazuju sa površinama zrna amfibola ($R^2=0,423$), odnosno sa srednjim vrednostima površina svih minerala u stenama sa amfibolima, ali je ova zavisnost limitirana samo na bazične stene koje sadrže više od 40 % i manje od 55 % ovog minerala. Na istim uzorcima utvrđena je zavisnost između PSV-a i drugih tehničkih svojstava kamena (zapreminskih masa, poroznosti, upijanja vode, otpornosti na habanje) i agregata (zapreminskih masa, upijanja vode, otpornosti na habanje i drobljenje, otpornosti na mraz, oblika zrna). Utvrđeno je da su ispitivane stene guste i teške sa relativno niskom vrednosti poroznosti i upijanja vode, sa visokom otpornošću na habanje i drobljenje, kao i na dejstvo mraza, ali sa širokim spektrom PSV-a (46-77). Regresiona analiza pokazala je jake korelacije između PSV-a i poroznosti i upijanja vode kamena, kao i između PSV-a i zapreminskih masa, drobljenja, habanja i otpornosti na mraz agregata. Predloženi modeli mogu da se koriste u inženjerskoj praksi za predviđanja polirnosti bazičnih stena (PSV) na osnovu drugih raspoloživih tehničkih svojstava stena. Preporučena ograničenja za primenu modela za otvorenu poroznost i upijanje vode su do 3 %, odnosno 2 %, a za otpornost na drobljenje i mraz 25 %. Prepoznato je da su baš varijeteti agregata sa povećanim upijanjem vode, koja se kreće oko granice od 2 %, visokokvalitetni putni agregati sa odličnom mikrohrapavošću. Predloženi modeli se mogu koristiti kako za procenu kvaliteta kamena/agregata prilikom prospekcije u cilju otvaranja novih ležišta agregata za izradu habajućih slojeva puteva, tako i za preispitivanje kvaliteta postojećih.

Ključne reči: mineralni sastav, sklop, polirnost, kameni agregat, tehničke karakteristike, putarstvo i mikrohrapavost

NAUČNA OBLAST: Geo-nauke

UŽA NAUČNA OBLAST: Petrologija

UDK:

549:552.122: 656.11(497.11)(043.3)

550.85:549(043.3)

INFLUENCE OF MINERALOGICAL AND PETROGRAPHICAL CHARACTERISTICS ON AGGREGATE MICROROUGHNESS OF BASIC IGNEOUS ROCKS FROM SERBIA

SUMMARY

Polished Stone Value (PSV) is one of the main factor in estimating the quality of aggregates used for wearing courses. This coefficient reflects the aggregate microroughness, which is important for skid resistance and safe driving. Previous studies have shown that there are relationships between petrography, Polished Stone Value and other technical characteristics of stone and aggregates, but their relationships within the homogeneous groups of rocks have not been investigated. The objective of this dissertation was to establish a clear link between mineral composition, microfabric, alteration products of basic rocks and PSV at one side, and consequently PSV and other technical characteristics of stone and aggregates, at the other. Mineralogical and petrographic analysis of examined basic igneous rocks showed that their characteristics such as mineral composition, degree of alteration and fabric have significant and synchronized influence on microroughness. Thus, the lowest PSV value have basic rocks with fine-grained to fine-ophitic texture that have minerals with relative hardness higher than 5. Microroughness successively increases if stone: a) has porphyry texture, b) contains minerals that show advanced degree of alteration, c) has elements of porphyric texture, d) has a higher content of minor minerals, e) contains homogeneously distributed mandola filled with a different hardness secondary minerals, f) has a largeophitic, or coarse grained structure, g) contains more than 15% of minerals with low relative hardness, h) contains minerals which have a network of microcracks and voids. Consequently, the highest PSV values have basic rocks with coarseophitic texture, a significant degree of alteration of primary minerals and with a network of microcracks and voids on certain minerals (such as plagioclase and/or clinopyroxene). Single mineralogical and petrographic characteristics influence, but does not give a

significant dependence with PSV values. The highest degree of positive linear correlation PSV values show with the areas of amphibole grain ($R^2 = 0.423$) and with the mean values of minerals surface in rocks with amphibole, but this dependence is limited only to basic rocks containing more than 40 % and less than 55 % of that minerals. On the same samples, the relationship between PSV and other engineering properties of stone (density, porosity, water absorption, abrasion resistance) and aggregates (particle density, water absorption, resistance to wear and fragmentation, resistance to frost, shape index) were elaborated. The studied rocks are dense and hard with relatively low porosity and water absorption and with high resistance to wear abrasion and fragmentation as well as to frost action but, with wide range of PSV (46-77). Regression analysis shown strong correlations between PSV and porosity and water absorption of stone, as well as between PSV and density, resistance to fragmentation, wear and frost action. The proposal models could be also used in engineering practice for predictions of Polished Stone Value of basic rocks (PSV) on the basis of other available technical characteristics. Recommended limits for the model application for open porosity and water absorption are up to 3 % and 2 % respectively, and for the resistant to fragmentation and frost action up to 25 %. It is recognized that varieties with increased water absorption about the limit of 2 %, actually represent a high-quality road aggregates with excellent microroughness. These models can be used for evaluating new deposits of road aggregates for highway wearing courses, as well as for reviewing of the quality of existing ones.

Key words: mineral composition, fabric, polishing, stone aggregate, specifications, road engineering and microroughness

SCIENTIFIC FIELD: Geo-sciences

FIELD OF ACADEMIC EXPERTISE: Petrology

UDC:

549:552.122: 656.11(497.11)(043.3)

550.85:549(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPŠTI DEO	6
2.1 KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA	6
2.1.1 TIPOVI SAVREMENE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE	6
2.1.2 AGREGAT U HABAJUĆEM SLOJU KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE	9
2.2 RELACIJE FIZIČKO-MEHANIČKIH SVOJSTAVA AGREGATA	12
2.3 MIKROHRAPAVOST AGREGATA	18
2.3.1 OTPORNOST NA POLIRANJE RAZLIČITIH VRSTA STENA	18
2.3.2 SAVREMENI TRENDОВI VREDNOVANJA KVALITETA AGREGATA	23
2.3.3 OSVRT NA RAZVOJ METODA ZA ISPITIVANJE POLIRNOSTI	24
2.4 TEHNIČKA REGULATIVA	28
2.4.1 EVROPSKI STANDARDI I TEHNIČKI USLOVI	28
2.4.2 NACIONALNI STANDARDI I TEHNIČKI USLOVI	31
3. POSEBNI DEO	34
3.1 GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE ODLIKE	34
3.1.1 GEOGRAFSKE ODLIKE	34
3.1.2 DEFINICIJA OFIOLITA I GEOTEKTONSKA PRIPADNOST ISPITIVANOG PODRUČJA	36
3.1.3 GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE UŽEG PODRUČJA LEŽIŠTA I NALAZIŠTA	38
3.2 UZORCI I METODE	44
3.2.1 TERENSKA ISPITIVANJA	45
3.2.2 OPTIČKA ISPITIVANJA	46
3.2.3 SEM-EDS ANALIZA	46
3.2.4 MODALNE ANALIZE	47
3.2.5 ANALIZE BSE SNIMAKA	48
3.2.6 LABORATORIJSKA ISPITIVANJA	49
3.2.6.1 Metode ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika kamena	51
3.2.6.1.1 Upijanje vode	51
3.2.6.1.2 Specifična i prividna zapreminska masa, ukupna i otvorena poroznost	51
3.2.6.1.3 Otpornost na habanje struganjem (Beme)	53
3.2.6.2 Metode ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika agregata	54
3.2.6.2.1 Zapreminske mase agregata i upijanje vode	54
3.2.6.2.2 Koeficijent poliranja kamena	55
3.2.6.2.3 Otpornost na habanje (mikro-Deval)	57
3.2.6.2.4 Otpornost na drobljenje (Los Angeles)	58
3.2.6.2.5 Postojanost na dejstvo mraza	59

3.2.6.2.6 Indeks oblika zrna	60
3.2.7 STATISTIČKA OBRADA TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA KAMENA I AGREGATA	60
3.3 REZULTATI	65
3.3.1 KLASIFIKACIJA STENA	65
3.3.2 MINERALOŠKO-PETROGRAFSKE KARAKTERISTIKE	67
3.3.2.1 Doleriti	68
3.3.2.1.1 Albitski doleriti	68
3.3.2.1.2 Bezpiroksenski doleriti	77
3.3.2.1.3 Doleritne breče	83
3.3.2.2 Gabrovi	87
3.3.2.2.1 Gabrovi	87
3.3.2.2.2 Metagabrovi	93
3.3.2.3 Spiliti	96
3.3.3 POVRŠINA MINERALA, ŠUPLJINE I PUKOTINE	100
3.3.3.1 Doleriti	100
3.3.3.1.1 Albitski doleriti	100
3.3.3.1.2 Bezpiroksenski doleriti	101
3.3.3.1.3 Doleritne breče	102
3.3.3.2 Gabrovi	102
3.3.3.2.1 Gabrovi	102
3.3.3.2.2 Metagabrovi	103
3.3.3.3 Spiliti	103
3.3.4 FIZIČKO-MEHANIČKA SVOJSTVA KAMENA	124
3.3.5 FIZIČKO-MEHANIČKIH SVOJSTAVA AGREGATA	129
3.4 STATISTIČKA ANALIZA	135
3.4.1 UTICAJ MINERALNOG SASTAVA ISPITIVANIH BAZIČNIH STENA NA PSV VREDNOSTI	135
3.4.2 STATISTIČKA OBRADA PODATAKA TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA KAMENA I AGREGATA	138
3.4.2.1 Regresiona analiza	138
3.4.2.2 Validacija regresionih modela	144
4. DISKUSIJA	146
4.1. GEOLOŠKI PARAMETRI I MIKROHRAPAVOST AGREGATA	147
4.1.1 ODNOS MINERALOŠKO-PETROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA IZDVOJENIH GRUPA STENA I MIKROHRAPAVOSTI	147
4.1.2 ODNOS TEHNIČKIH SVOJSTAVA KAMENA I AGREGATA I MIKROHRAPAVOSTI	155
4.2 TEHNIČKA REGULATIVA I MIKROHRAPAVOST AGREGATA	165
4.2.1 BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA I TEHNIČKA REGULATIVA	165
4.2.2 BAZIČNE MAGMATSKЕ STENE I TEHNIČKA REGULATIVA	174

5. ZAKLJUČCI -----178

**5.1 UTICAJ MINERALOŠKO-PETROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA NA
MIKROHRAPAVOST STENA 178**

5.2 PREPORUKE ZA DALJI RAD I IMPLEMENTACIJU 180

5.3 DOPRINOSI 181

LITERATURA -----183

PRILOZI

BIOGRAFIJA AUTORA

1. UVOD

Današnji intenzitet saobraćaja i stalna tendencija za udobnijom i bezbednijom vožnjom diktiraju visoke zahteve koji se odnose na kvalitet habajućeg sloja fleksibilnih kolovoznih konstrukcija. Zbog toga inženjeri moraju da isprojektuju bezbednu, izdrživu i ekonomičnu kolovoznu površinu koja zadovoljava neophodnu otpornost prema klizanju i trenje između površine puta i guma točkova tokom vožnje. Izbor odgovarajućeg agregata, koji čini 93-95% mase ugrađene asfaltne mešavine u habajućem sloju, takođe nije ništa manje odgovoran posao.

Parametar koji pokazuje kolika je otpornost agregata protiv polirajućeg dejstva pneumatika predstavljen je koeficijentom poliranja kamena (*Polished Stone Value* - PSV). Smatra se jednim od najvažnijih koeficijenata kada je reč o agregatima za izgradnju habajućih slojeva puteva. Određuje se širom sveta za agregate kako iz aktivnih kamenoloma tako i za sve potencijalne agregate pri istraživanju novih ležišta tehničkog građevinskog kamena. Što je veća vrednost ovog koeficijenta, to je i mikrohrapavost agregata veća. S druge strane, povećanje polirnosti obično prate promene u drugim tehničkim karakteristikama, kao što su smanjenje otpornosti na drobljenje, habanje ili postojanosti na mraz. Zbog toga se odabir adekvatnog agregata za habajući sloj kolovoza mora izvršiti pažljivo, sagledavajući ravnotežu između PSV-a i drugih tehničkih (fizičkih i mehaničkih) svojstava agregata.

Tokom poslednjih decenija brojni istraživači uočili su jaku povezanost između mineralnog sastava, mikroskopa i alteracija stene s jedne strane i mikrohrapavosti i različitih parametara čvrstoće agregata s druge strane. Drugi su istraživali odnose između različitih tehničkih svojstava agregata u cilju uspostavljanja njihovih međusobnih korelacija. Vršena su i poređenja vrednosti polirnosti ispitane po različitim metodama. Britanski test za određivanje PSV-a, koji ima višedecenijsku tradiciju i popularnost, samo je jedna od ponuđenih metoda na međunarodnoj sceni.

Savremeni koncept visokokvalitetnih putnih agregata koji su pogodni za upotrebu u površinskim obradama kolovoznih konstrukcija u Velikoj Britaniji na primer, obuhvata prirodne i veštačke agregate (dimenzije zrna $\geq 3\text{mm}$) koji poseduju polirnost (PSV) ≥ 58), otpornost na habanje (*Aggregate Abrasion Value* - AAV ≤ 16), otpornost na drobljenje (*Los Angeles* - LA ≤ 30) i koji su otporni na mraz (*Magnesium sulfate test* - MS ≤ 25), (Thompson et al., 2004). U svetu se paralelno sa prirodnim agregatima koji

podrazumevaju drobljeni agregat i šljunak, koriste i razne vrste industrijskih nusproizvoda i šljaka, dok je kod nas tehnička regulativa za veštačke agregate u fazi razvoja. Za ispitivanja tehničkih svojstava koriste se različiti svetski priznati standardi na osnovu kojih je svaka zemlja ponaosob propisala nacionalne tehničke kriterijume. Većina pomenutih istraživanja obuhvatila su genetski različite vrste stena i obezbedila rezultate mikrohrapavosti i nekoliko drugih tehničkih svojstava agregata često na ograničenim kolekcijama uzoraka, zbog čega su pojedine bitne zavisnosti ostale neistražene. Detaljno je, na primer objašnjen mehanizam poliranja klastičnih sedimentnih stena (Hawkes & Hosking, 1972), dok mehanizam poliranja magmatskih i metamorfnih stena nije tako detaljno rasčlanjen (Smith & Collis, 1993; Ontario Geological Survey, 1996; Woodward et al., 2005; Rigopoulos et al., 2010, 2013). Ova činjenica bila je povod za detaljnija istraživanja mikrohrapavih karakteristika bazičnih magmatskih stena. Generalno posmatrano, bazične magmatske stene imaju malo upijanje vode, otporne su na dejstvo mraza, habanje i drobljenje. Na terenu se, međutim, često pojavljuju u vidu materijala koji je u različitom stepenu pretrpeo sekundarne izmene koje se odražavaju i na promenu primarnog mineralnog sastava, sadržaja šupljina i pukotina. Sve ovo uzrokuje da se ove stene poliraju u različitom stepenu.

Opit poliranja agregata, kao i drugi opiti vezani za tehnička svojstva kamena i agregata vrše se u skladu sa određenim standardima. U ovoj disertaciji ispitivanja su vršena po evropskim standardima (osim za otpornost na drobljenje), a ocena kvaliteta sagledavana je u odnosu na regulativu propisanu u razvijenijim evropskim zemljama, našu postojeću regulativu i regulative u bivšim jugoslovenskim republikama. Za planiranje i realizaciju predloženih istraživanja postavljene su sledeće polazne hipoteze:

1. Generalna hipoteza, koja predstavlja polaznu osnovu u ovom radu, je da postoji jaka zavisnost između mineraloško-petrografskih odlika stena i njihovih tehničkih karakteristika (pre svega polirnosti, pa onda i ostalih svojstava). Određivanje petrografskih faktora koji imaju najveći uticaj na mikrohrapavost stena, odnosno na mehanizam poliranja magmatskih stena, pomoglo bi u lakšem pronalaženju visokokvalitetnih sirovina za proizvodnju kamenih agregata za primenu u putogradnji.

2. Pojedini članovi bazičnih magmatskih stena pokazuju povećan sadržaj pukotina i šupljina, a njihovo prisustvo povećava mikrohrapavost stena. U sistemu pukotina i šupljina zadržava se određena količina vode koja, utvrđena u laboratorijskim uslovima

treba da bude polazni opit za rano detektovanje mikrohrapavih agregata. Ako se u toku rada potvrdi hipoteza o važnosti upijanja vode, ostaje da se osmisli kako da se ovo saznanje praktično primeni.

3. Bazične magmatske stene (u ovoj studiji uzorkovane iz ofiolitskih kompleksa Srbije koji predstavljaju relikte okeanske litosfere) su u toku svoje kompleksne evolucije, od nastanka do smeštaja u alohtoni položaj, pretrpele različiti stepen metamorfizma, alteracija i mehaničke prerade (proces prirodnog drobljenja). U toku ovih procesa dolazi do promene sastava i strukture primarnih minerala i formiranja novih (sekundarnih) mineralnih faza. Na primer, pirokseni prelaze u amfibole sa širom rešetkom, pri čemu stena širi svoju zapreminu i puca, zrna lako ispadaju i tako ostvaruju obnovljivo hrapavu površinu ili se alterišu u hlorit drastično različite tvrdoće, što takođe doprinosi stvaranju hrapavije površine agregata. Sve ove mineraloško-petrografske karakteristike moraju se ogledati i u polirnosti i drugim fizičko-mehaničkim svojstvima agregata.

Kao što je već pomenuto, ima dosta geoloških parametara koji utiču na PSV, ali njihovi međusobni odnosi unutar homogene grupe bazičnih magmatskih stena do sada nisu ispitivani. Dalje, još uvek nije utvrđeno koje mineraloško-petrografske varijable daju najveći doprinos poliranju i kako se ovo posledično odražava na fizičko-mehaničke karakteristike agregata. Za tu svrhu obezbeđen je statistički dovoljan broj uzoraka, kako bi se omogućila značajna osnova za poređenje dobijenih rezultata sa bazičnim magmatskim stenama iz drugih provincija sveta. Vodio se računa da se uzorkuju što raznovrsnije stene na terenu od kojih mogu da se pripreme opitna tela i urade svi zahtevni laboratorijski opiti. Dakle, uzorkovane su stene koje reprezentuju realnu situaciju u kamenolomu ili na izdanku, bez ikakvog odbacivanja uzoraka koji imaju neko specifično svojstvo (na primer, manji stepen svežine, veća ispuicalost i slično). Zbog toga i ekstremi, u okviru statističke obrade podataka, nisu bili izbačeni. Posle optičkih ispitivanja i određivanja hemijskog sastava mineralnih faza, urađene su modalne analize mineralnog sastava, izmerena je površina zrna minerala i određen sadržaj šupljina i pukotina. Na toj osnovi, izdvojeni su parametri sa jakom zavisnosti sa PSV-om. Predstavljene su i zavisnosti PSV-a i pratećih tehničkih svojstava kamena i kamenih agregata: zapreminskih masa, poroznosti, upijanja vode, otpornosti na drobljenje, habanje, mraz kao i oblika zrna. Na kraju, uspostavljeni su empirijski modeli

za predviđanje PSV-a na osnovu poznatih tehničkih svojstava kamena i agregata. Ovi empirijski modeli ne mogu da zamene prave laboratorijske testove, ali se mogu koristiti za grubu procenu novih nalazišta agregata.

Istraživanja su bazirana na kolekciji bazičnih magmatskih stena prikupljenih u Srbiji. Ove stene čine članove stena ofiolitskih pojaseva različite geotektonske pripadnosti i starosti. Ofioliti pokrivaju više od 6.500 km² naše teritorije, a ujedno predstavljaju i jednu od najvećih geoloških formacija u Srbiji. S obzirom da blizina glavnih puteva čini njihovu eksploataciju i transport ekonomski održivom, ofioliti predstavljaju značajan izvor agregata za izgradnju i rehabilitaciju habajućih slojeva kolovoznih konstrukcija u Srbiji. Ipak, treba istaći da kod nas praktičnu primenu u putogradnji imaju samo agregati proizvedeni od bazičnih članova ofiolita - gabrova i dolerita, dok se ultrabazični predstavnici, peridotiti, ne koriste kao tehnički građevinski kamen.

Istraživanjima iz ove studije potvrđena je jaka korelacija koja postoji između mineraloško-petrografskih i tehničkih karakteristika stena. Rezultati o tome koji mineraloško-petrografski faktori imaju najveći uticaj na mikrohrapavost stena, otvaraju nove mogućnosti i daju predloge za uvođenje dodatnih kriterijuma prilikom odabira visokokvalitetnih agregata u putarstvu. Poseban akcenat je stavljen na mikrohrapavost agregata u habajućim slojevima puteva, kao svojstvo koje direktno utiče na bezbednost odvijanja saobraćaja.

Da bi se sagledale veze koje postoje između mineraloško-petrografskih odlika agregata i PSV-a uključujući i ostala tehnička svojstva, kao i njihovu relaciju sa zahtevima za izradu habajućih slojeva iz važećih standarda i tehničkih specifikacija iz oblasti putogradnje, a u cilju povećanja bezbednosti odvijanja saobraćaja, strukturu ove studije čine: *Opšti deo* gde je prikazana građa i osnovne odlike kolovozne konstrukcije kao i uticaji kojima su agregati u habajućem sloju izloženi, zatim je razmatrana otpornost na poliranje različitih vrsta stena i izložena je trenutno važeća tehnička regulativa; *Posebni deo* koji uključuje prikaze geografskih i geoloških odlika istraživanog područja, primenjenih metoda, rezultate ispitivanja, statističku obradu rezultata i na kraju sledi *Diskusija dobijenih rezultata*. *Zaključci* izvedeni iz ove studije naglašavaju uticaj mineraloško-petrografskih karakteristika na mikrohrapavost agregata,

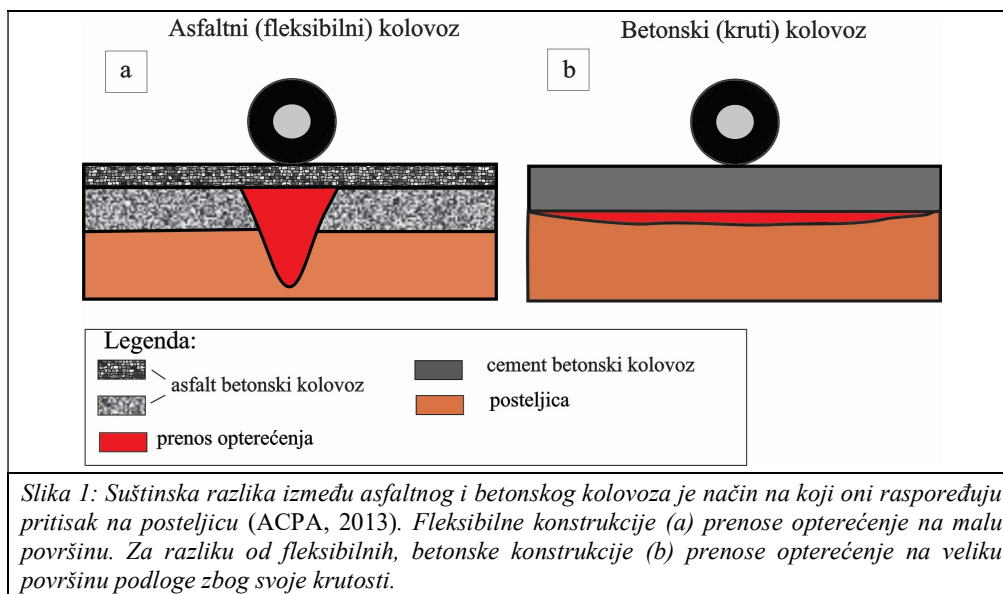
daju preporuke za dalji rad i implementaciju postignutih rezultata i sumiraju doprinose u nauci i privredi.

2. OPŠTI DEO

2.1 KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA

2.1.1 Tipovi savremene kolovozne konstrukcije

Kolovozna konstrukcija je višeslojna građevinska konstrukcija koja omogućava da se po njoj neometano odvija saobraćaj. Osnovna podela savremenih kolovoznih konstrukcija je na fleksibilne (materijali vezani bitumenom) i krute (materijali vezani portland-cementom). Oba tipa kolovoznih konstrukcija sastoje se od posteljice na koju su položeni noseći slojevi i zastor (habajući sloj). Kod fleksibilnih kolovoznih konstrukcija habajući i gornji noseći sloj su od asfaltne mešavine, dok kod krutih habajući sloj čini betonska ploča (Subotić, 1997; Cvetanović i Banić, 2007). Fleksibilne kolovozne konstrukcije su elastičnije i deformabilnije u odnosu na krute (slika 1a). S druge strane, krute kolovozne konstrukcije prenose opterećenje na veću površinu posteljice čime se smanjuje opterećenje na pritisak i deformacije (slika 1b).



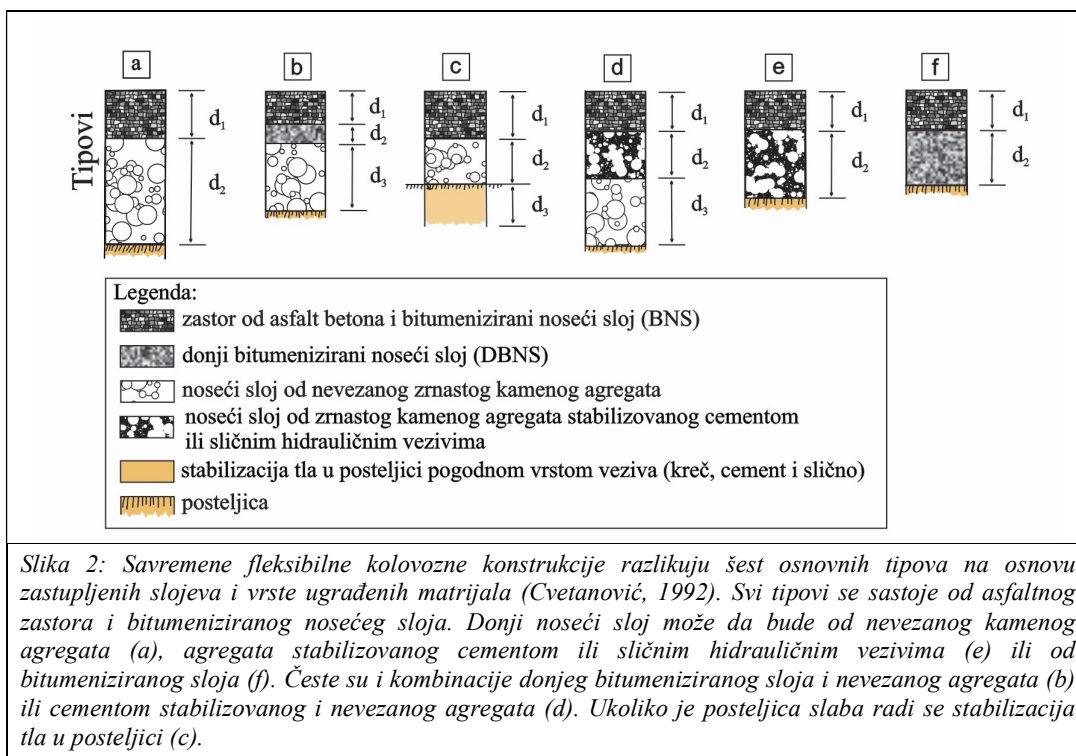
U ovom radu akcenat je stavljen na fleksibilne kolovozne konstrukcije, s obzirom da se brzo grade, da su jeftinije u odnosu na krute, jednostavno se održavaju i pružaju veću udobnost prilikom vožnje. Njihova zastupljenost gradnje u odnosu na krute kolovozne konstrukcije kod nas je evidentna, ako se na primer, sagleda činjenica da državnih puteva I reda (IA reda, auto-putevi i IB reda) u našoj zemlji ukupno ima 5.372 km i da na njima nema betonskih kolovoza, a da puteva II reda (II A reda i II B reda) ima 9.552 km od kojih putevi sa betonskim zastorom čine 0,45 % ove mreže (JP Putevi

Srbije, 2010). U našoj zemlji nije primenjivan betonski kolovoz u većoj meri zato što, sa jedne strane izgradnja betonskog kolovoza iziskuje veće početne troškove i zahtevniju proceduru izgradnje, a sa druge strane mali je broj izvođača koji poseduje adekvatnu mehanizaciju za izvođenje ovakvog tipa kolovoznog zastora. Dodatni važan razlog za malo učešće betonskog kolovoza kod nas je i relativno malo saobraćajno opterećenje na najvećem delu putne mreže, a betonski kolovozi su pogodni i ekonomski opravdani za veliko saobraćajno opterećenje.

Posteljica je temelj kolovozne konstrukcije. Ona prima uticaje dejstva saobraćajnog opterećenja koji se prenose preko ostalih slojeva kolovozne konstrukcije. Najčešće je izgrađena od prirodnog neporemećenog tla ako je put u useku, odnosno od transportovanog tla iz useka ili pozajmišta ako je put u nasipu (Subotić, 1997). Noseći slojevi mogu biti donji i gornji. Izgrađuju se od nevezanog, vezanog kamenog agregata ili njihove kombinacije. Donji noseći sloj sastoji se od jednog ili više slojeva prirodnog (šljunak, drobljeni kameni agregat) ili veštačkog materijala (zgura visokih peći) koji je mehanički ili hemijski (pomoću cementa, kreča, bitumena) stabilizovan. Osnovna uloga donjeg nosećeg sloja je da pruži ujednačenu nosivost sloja, poveća nosivost cele konstrukcije, smanji negativne uticaje promene zapremine u posteljici i smanji ili spreči dejstvo mraza. Debljina donjeg nosećeg sloja zavisi od saobraćajnog opterećenja i kreće se od 15 cm do 50 cm. Gornji noseći sloj leži između donjeg nosećeg sloja i zastora. Izrađuje se od drobljenog agregata, cementne stabilizacije agregata ili mešavine kamenog agregata vezanog bitumenom (bitumenizirani noseći sloj - BNS). Ovaj sloj je kvalitetniji što se tiče agregata u odnosu na donji noseći sloj. Uloga gornjeg nosećeg sloja je da poveća nosivost cele konstrukcije, poboljša odvodnjavanje vode i spreči dejstvo mraza. Debljina sloja je 10-20 cm (Subotić, 1997). Zastor kolovozne konstrukcije čine vezni sloj i habajuć sloj ili samo habajuć sloj (slika 2).

Vezni sloj povezuje gornju podlogu i habajuć sloj. Ako se projektovanjem ovaj sloj izostavlja, njegova debljina nadoknađuje se u gornjem nosećem sloju. Habajuć sloj ima poseban značaj u kolovoznoj konstrukciji zato što je direktno izložen saobraćajnom opterećenju. On prima direktne uticaje saobraćajnog opterećenja (tangencijalno i vertikalno dejstvo pneumatika, habanje), ali i uticaje sredine (dejstvo temperature, sunčevih zraka, vode, mraza i drugo). Habajuć sloj osim pomenutog, treba da zaštiti ostali deo kolovozne konstrukcije i obezbedi udobnost u vožnji, da ima ravnu površinu,

ispravne padove (poprečni i podužni) radi dobrog odvodnjavanja i da ima potrebnu hrapavost koja obezbeđuje dobru adheziju sa pneumatikom. Debljina habajućeg sloja je 2-8 cm. Agregat koji se ugrađuje u habajući sloj, pored ostalih karakteristika koje se zahtevaju tehničkim uslovima, mora biti otporan na habanje. Habajući sloj fleksibilne kolovozne konstrukcije izgrađen je od asfalt betona (*Asphalt Concrete - AC*), skeletnog mastiks asfalta (*Stone Mastic Asphalt - SMA*) ili neke druge asfaltne mešavine.



Asfalt beton je kod nas najčešće korišćena asfaltna mešavina. Predstavlja mešavinu kamenog agregata (93-95 % ukupne mase) i bitumena gde je granulometrijski sastav kamene smese projektovan po principu najgušće složenog kamenog skeleta (Subotić, 1997). Za razliku od asfalt-betona, skeletni mastiks asfalt ima diskontinuiranu mešavinu zrna izražene kamen-o-kamen skeletne strukture i uključuje vlakna kao stabilizirajući aditiv da pokupi višak bitumena (Specification 49, 2009). Asfaltne mešavine se proizvode u asfaltnim postrojenjima, u takozvanim asfaltnim bazama. Osim asfaltnih mešavina, vrlo značajan tip zastora kolovozne konstrukcije su površinski tretmani koji se u svetu primenjuju između ostalog i kada treba povećati mikro- i makrohrapavost zastora zbog bezbednosti. U površinske tretmane spadaju različite površinske obrade,

mikroasfalti i bitumenski mulj (Slurry Seal). Upravo kod njih mikrohrapave karakteristike agregata dolaze do izražaja.

2.1.2 Agregat u habajućem sloju kolovozne konstrukcije

Agregati koji se koriste za izradu asfaltnih mešavina, površinskih tretmana puteva i aerodromskih pista generalno se mogu podeliti u tri grupe. Prvu grupu čine prirodni agregati (šljunak i pesak poreklom iz reka i mora) i agregati proizvedeni drobljenjem stenskog materijala. Druga grupa obuhvata veštačke agregate - industrijske nusproizvode (razne vrste šljaka, pepela) ili specijalno napravljene agregate koji treba da zadovolje velike zahteve hrapavosti površine (kalcinirani boksit). Treća grupa obuhvata reciklirane agregate, dobijene recikliranjem površinskog i (često) delom zahvaćenog bitumeniziranog nosećeg sloja kolovoza, čija primena ima rastući trend u mnogim zemljama sveta i u novije vreme predstavlja glavni izvor snabdevanja agregata (Woodward, 2000). Koriste se i mešavine svih ovih agregata. Pre izrade asfaltnih mešavina agregati se separišu na određen broj frakcija, koje se kasnije u određenom procentu mešaju. U ovom radu ispitivani su isključivo prirodni drobljeni agregati proizvedeni u laboratorijskim uslovima.

Kameni agregati ugrađeni u habajući sloj puta, tokom vremena bivaju izloženi raznim spoljašnjim uticajima - u prvom redu mehaničkim, zatim atmosferskim (koji obuhvata dejstvo prirodnih agenasa) i u izvesnim slučajevima dodatno hemijskim, usled posipanja puteva solju u zimskom periodu. Mehanički uticaji izazvani su dejstvom pneumatika motornih vozila koja vrše pritiskajuća, smičuća i savijajuća naprezanja statičke i dinamičke prirode. Habanje trenjem i poliranje kamenog agregata preumatikom odvija se u uslovima vlažnog i suvog stanja usled čega dolazi do uglačavanja kamena, pa kolovozni zastor postaje klizav (Bilbija i Matović, 2009).

Atmosferski uticaji su fizičko-hemijske prirode, a ogledaju se u dejstvu vode/kiše, leda i temperaturnih promena. Dejstvo vode može biti višestruko: na niskim temperaturama, usled prelaska vode u čvrsto agregatno dolazi do ekspanzije zapremine leda u porama i prslinama kamenog materijala, i u slučaju nedovoljne otpornosti vrši se mehaničko razaranje kamena. Uticaj temperature manifestuje se u dnevnim temperaturnim promenama, ali i promenama temperature u zavisnosti od režima smene godišnjih doba (u našim uslovima kamen trpi godišnje kolebanje temperature oko 60 °C). U fazi proizvodnje i ugradnje asfaltne mešavine, kameni agregat je dodatno

izložen kratkotrajnom delovanju visokih temperatura od 150 °C do 160 °C. Usled naizmeničnog širenja i skupljanja kamenog agregata, tokom vremena slabi veza između mineralnih sastojaka, odnosno kameni agregat postaje manje otporan na delovanje ostalih faktora razaranja. Voda deluje oksidaciono na minerale, odnosno na sve što može iz nižeg oksidacionog stanja da prevede u viševalentno stanje. Za agregate je u slučaju prisustva sulfida (na primer pirita) fero-feri proces najznačajniji, zato što se oksidacionim procesima stvaraju oksidi i hidroksidi gvožđa i sumporna kiselina koji dodatno razaraju agregat. Ovi uticaji naročito su izraženi kod stena koje su već zahvaćene procesom alterisanja. Dodatni hemijski uticaji vode vezani su i za posipanje habajućih slojeva puteva u zimskom periodu mešavinom soli i rizle pri čemu se kameni agregat izlaže direktnom delovanju hlorida i drugih soli (Bilbija, 1976; Bilbija i Matović 2009).

Analizirajući uticaje kojima je kameni agregat u habajućem sloju izložen, dolazi se do zaključka da u habajući sloj kolovoza treba da bude ugrađen visokokvalitetni kameni agregat. Prema trenutno važećoj tehničkoj regulativi kod nas, najvažnija tehnička svojstva na koja treba obratiti pažnju pri izboru kamena i od njega proizvedenog agregata su sledeća:

- Za kamen:
 - povoljan mineraloško-petrografski sastav (MPS);
 - visoka čvrstoća na pritisak;
 - visoka otpornost prema habanju struganjem, odnosno što manji gubitak zapremine kamena;
- Za agregat:
 - velika otpornost na drobljenje, odnosno što manji LA koeficijent (*Los Angeles coefficient*);
 - velika otpornost na habanje, odnosno što manji M_{DE} koeficijent (*Micro-Deval coefficient*);
 - velika otpornost na poliranje, odnosno što veći PSV koeficijent;
 - malo upijanje vode;
 - mali gubitak mase usled dejstva mraza.

Nisu sve vrste stena pogodne za proizvodnju agregata za izradu habajućih slojeva kolovozne konstrukcije. Neke stene mogu da imaju malu otpornost na drobljenje, kada

su sklone da se izdrobe još za vreme izgradnje same konstrukcije ili pri eksploataciji kolovoza pod uticajem saobraćajnog opterećenja. Druge stene, pak, mogu da imaju različitu otpornost prema poliranju, odnosno ili da se uglaćaju ili da ostaju obnovljivo hrapave. Kada se u procenu kvaliteta agregata uključi i tehnologija proizvodnje, lista najvažnijih tehničkih svojstava agregata koji se koriste u izgradnji puteva (Brennan & O'Flaherty, 2002) obuhvata:

- čistoća agregata;
- veličina zrna i granulometrija;
- oblik zrna agregata i površinska tekstura;
- tvrdoća i žilavost;
- trajnost;
- zapreminske mase (prividna - ρ_a , stvarna nakon sušenja u sušnici - ρ_{rd} , stvarna vodozasićenog i površinski suvog uzorka - ρ_{ssd}).

Prva dva nabrojana svojstva su u vezi sa tehnologijom proizvodnje agregata; oblik zrna agregata zavisi od vrste stene i od tehnologije proizvodnje, a ostala svojstva zavise samo od vrste stene. Ovo je samo jedan aspekt koji se tiče kvaliteta agregata za habajuće slojeve puta. Selekcija agregata je kompleksan posao zato što agregati, osim povoljnih tehničkih svojstava, treba da su dostupni na tržištu, treba da izdrže klimatske promene u zemlji gde se ugrađuju, da zadovolje nacionalne tehničke uslove i izbor tipa asfaltne mešavine za koju će biti korišćeni (Woodward, 2000). Zato se izboru agregata u svetu pristupa vrlo sistematično.

2.2 RELACIJE FIZIČKO-MEHANIČKIH SVOJSTAVA AGREGATA

Da bi moglo da se isprati ovo istraživanje neophodno je da se prethodno sagleda šta se sve istraživalo poslednjih decenija na polju mikrohrapavosti agregata za izgradnju puteva. Uočena je jaka povezanost između mikrohrapavosti agregata i mineralnog sastava i alteracija stena sa jedne strane i mikrohrapavosti agregata i tehničkih svojstava stena sa druge strane. Vršena su i poređenja vrednosti polirnosti koje su dobijene različitim metodama razvijenim do sada u svetu. Ispitivanja su vršena u cilju favorizovanja metode kojom može da se izmeri mikrohrapavost agregata u laboratorijskim uslovima, a koja je najpribližnija stvarnom stanju agregata u kolovozu.

Klasifikacija agregata koji su pogodni za građevinsku industriju predstavlja problem ne samo sa naučne, već i sa praktične i komercijalne strane. Unutar tri genetske grupe stena (magmatske, sedimentne i metamorfne) geolozi su identifikovali stotine različitih vrsta i varijeteta (Folk, 1959; Folk, 1962; Dunham, 1962; Dott, 1964; Embry & Klován, 1971; Streckeisen, 1973; Streckeisen, 1976; Tomkeieff, 1983; James, 1984; Le Maitre et al., 2002; Fettes & Desmons, 2007). Međutim, male razlike među njima ne utiču na kvalitet izgradnje puteva. Koristeći tu činjenicu, eksperti u Velikoj Britaniji su, prema sličnim petrološkim karakteristikama, formirali 12 trgovačkih grupa stena u koje mora da se svrsta svaki uzorak koji se analizira za potrebe putogradnje (O'Flaherty, 1974). U tabeli 1 prikazana je osnovna podela na grupe stena sa glavnim članovima i njihovim predstavnicima, strukturom, njihovom rasprostranjenosti u Velikoj Britaniji i ocenom koliko se koriste u putarskoj industriji. Na kraju je dodat i prikaz rasprostranjenosti članova grupa stena u Srbiji i ocena koliko se koriste kod nas.

Hartley (1974) je utvrdio da tehnička svojstva stena zavise od njihovog mineralnog sastava, sklopa (strukture i tekture), vrste i stepena alteracija, kao i strukturnih deformacija, usled čega su im fizičko-mehaničke karakteristike različite, a površine zrna manje ili više mikrohrapave. Uticaj petrografskih odlika stena na njihova mehanička svojstva jeste značajan, ali je kompleksna priroda minerala i njihovo zajedničko povezivanje takvo da se samo na osnovu ispitivanja petrografskih karakteristika ne može dati procena agregata za izgradnju puteva.

U novije vreme, harmonizacijom standarda zemalja Evropske unije, definisana je terminologija za pojednostavljeni petrografski opis (SRPS EN 932-3:2008), koja omogućava da se inženjeri različitih struka, a koji su vezani za građevinsku industriju

(od istraživanja, eksploatacije do ugradnje agregata u građevinske objekte niskogradnje i visokogradnje), lakše sporazumeju.

Tabela 1. Klasifikacija agregata za izgradnju puteva na trgovinske grupe stena u Velikoj Britaniji (O'Flaherty, 1974) sa prikazom zastupljenosti i opisom upotrebe u putarstvu u Srbiji.

Grupe putnih agregata	Članovi grupe	Poreklo	Veličina zrna	Zastupljenost / upotreba u putarstvu	
				u Velikoj Britaniji	u Srbiji
Bazalt	bazalt , dolerit, bazični porfirit i andezit	magmatsko, ređe metamorfno	srednjo- i fino-zrnaste	široko rasprostranjene / mnogo se koriste	<i>rasprostranjene / mnogo se koriste (osim bazalta)</i>
Gabro	gabro , bazični diorit, bazični gnajs	magmatsko, ređe metamorfno	krupnozrnaste	malo rasprostranjene / mnogo se koriste kad ih ima	<i>rasprostranjene / koriste se</i>
Granit	granit , kvarc-diorit, sijenit, gnajs	magmatsko, ređe metamorfno	krupnozrnaste	široko rasprostranjene / mnogo se koriste	<i>rasprostranjene / malo se koriste</i>
Porfir	porfiri , granofiri, mikrograniti, rioliti	magmatsko	sitnozrnaste	široko rasprostranjene / mnogo se koriste	<i>široko rasprostranjene / mnogo se koriste</i>
Rožnac	flint i rožnac	sedimentno	sitnozrnaste	široko rasprostranjene kao šljunak / lokalni materijal	<i>malo rasprostranjene / ne koriste se</i>
Peščar	peščari , tufovi, grauvske	sedimentno	srednjo- i krupnozrnaste	široko rasprostranjene / mnogo se koriste	<i>rasprostranjene / ne koriste se</i>
Krečnjak	krečnjak , dolomit, mermer	sedimentno, ređe metamorfno	srednjo- i fino-zrnaste	široko rasprostranjene / najviše se koriste	<i>široko rasprostranjene / najviše se koriste</i>
Hornfels	hornfels (termalno metamorfne stene izuzev mermera i kvarcita)	metamorfno	fino- do srednjozrnaste	malo rasprostranjene / mnogo se koriste kad ih ima	<i>rasprostranjene / ne koriste se</i>
Kvarcit	kvarcit , metapeščar	metamorfno ili sedimentno	srednjo- i fino-zrnaste	široko rasprostranjene kao čvrste stene i kao šljunak / mnogo se koriste	<i>rasprostranjene / izuzetno u upotrebi kao sastojci šljunka</i>
Škriljac	škriljac , filit, argilošist	metamorfno	fino-zrnaste	rasprostranjene / retko se koriste	<i>široko rasprostranjene / malo se koriste</i>
Veštački agregati	šljaka iz visoke peći	veštačko	sitnozrnaste	koriste se iz tekuće proizvodnje	<i>rasprostranjene / vrlo malo se koriste</i>
	paljeni škriljci	veštačko	sitnozrnaste	koriste se iz tekuće proizvodnje	<i>ne koriste se</i>

Najvažnija istraživanja na polju razumevanja svojstava agregata vršila je *Transport Research Laboratory* (TRL) iz Velike Britanije kasnih 60-ih i tokom 70-ih godina kada su postavljeni standardi za otpor prema poliranju i identifikovani agregati koji zadovoljavaju postavljene granice (Woodward, 2000).

Pored toga što su bazične magmatske stene predmet proučavanja ove teze, značajna su istraživanja i drugih vrsta stena zbog poređenja svojstava i mogućnosti primene agregata različitog porekla u putarskoj industriji. Zbog toga su se u svetu ispitivale karakteristike polirnosti različitih vrsta stena prirodnog i veštačkog porekla. Značajno je na primer, istraživanje britanskih peskovitih stena za habajuće slojeve puta koji su otporni na klizanje. Istraživanja su pokazala da postoji značajna korelacija između mehaničkih svojstava izraženih preko poliranja (PSV), habanja (AAV) i udara (*Aggregate Impact Value* - AIV) agregata sa brzinom prostiranja ultrazvučnih talasa i sadržajem minerala koji izgrađuju pešcare, a petrografske studije su pokazale da je stepen vezanosti peskovitih stena važniji nego njihov sastav i veličina zrna (Hawkes & Hosking, 1972). Gutt & Nixon (1972) su prikazali rezultate ispitivanja tekstura prirodnih i sintetičkih materijala pomoću analize snimaka dobijenih na skenirajućem elektronskom mikroskopu. Na nepoliranim uzorcima uočili su dve vrste mikrotekstura - primarnu i sekundarnu koja se razvija naknadnim temperaturnim tretmanom agregata. Naime, agregatima koji imaju inicijalno nizak PSV može temperaturnim tretmanom da se poboljša PSV, ali ne i agregatima koji inicijalno imaju visok PSV. Hreinn (1984) je utvrdio da postoji bliska veza između petrografskih karakteristika i svojstva agregata, kao i da poroznost bazalta ima veliki uticaj na habanje agregata, a da se čvrstoća, trajnost i druga svojstva rapidno pogoršavaju sa povećanjem alteracija.

Jones (1984) je, predstavljajući albitizirane olivin-dolerite iz kamenoloma Criggion (jedan od agregata visokog PSV-a koji se kao standard koristi za proveru gumice klatna za ispitivanje trenja), ukazao da su ove stene pretrpele alteracije. Kod magmatskih stena utvrđeno je da se mineraloške, strukturne i teksturne razlike između masivnih i ispucalih bazalta reflektuju na njihovo različito geotehničko ponašanje (Gomes & Rodrigues, 2007).

Rigopoulos et al. (2010) ispituju uticaj petrografskih karakteristika i alteracija na tehnička svojstva dolerita i ultrabazičnih stena. Predložili su dva nova indeksa koja se računaju iz modalnih analiza, a preko kojih bi se vršila tehnička procena kvaliteta

dolerita. Prvi je mikropetrografski indeks čvrstoće, a drugi indeks zamene. Odnosi ova dva indeksa ukazuju da alteracije prouzrokovane metamorfizmom okeanskog dna generalno stvaraju mehanički slabije stene. Izuzetak je otpor prema klizanju koji je pozitivno korelisan sa prisustvom malih količina mekih minerala. Uticaj petrografskih karakteristika na inicijaciju i razvoj mikropukotina, pri merenju čvrstoće na pritisak ultrabazičnih i drugih ofiolitskih stena, ogleda se u tome da se intragranularne pukotine transformišu u transgranularne, prouzrokujući pucanje stene (Rigopoulos et al., 2011, 2012). Petrografske i mikropukotinske analize mogu da pomognu pri selekciji prihvatljivih vrsta stena za različite primene u konstrukcijama. Faktorska analiza, korišćena pri određivanju povezanosti između tehničkih parametara agregata ofiolitskog kompleksa Grčke, pokazala je da su mafitske i sveže ultramafitske stene najprikladnije za proizvodnju agregata, za razliku od jako serpentinisanih i tektoniziranih harsburgita. Uzorci trahita pokazali su se problematičnim, zbog male otpornosti na raspadanje i povećanog sadržaja minerala glina (Rigopoulos et al., 2013).

Shabani et al. (2013) su razvili različite modele za procenu PSV u zavisnosti od petrografskih svojstava ili kombinacije određenih fizičkih i mehaničkih parametara. Za magmatsku grupu stena/agregata, polirnost se može proceniti u zavisnosti od relativne tvrdoće stene, njene specifične težine, teksture i stepena kristalizacije. Ipak, nije pronađena značajnija veza između PSV-a i LA. Unutar homogene grupe stena, uloga teksture i mineralnog sastava u iznosu PSV-a je veća nego od relativne tvrdoće stene.

Uticaj različitih mineraloško-petrografskih faktora na tehnička svojstva stena okupirao je godinama unazad mnoge istraživače. Tako je Brattli (1992), na osnovu zavisnosti parametara čvrstoće od veličine zrna, veličine zrna i mikropukotina, sadržaja primarnih minerala amfibola i piroksena u bazičnim magmatskim stenama, zamene prvobitne magmatske strukture metamorfnom, zaključila da se parametri čvrstoće povećavaju sa smanjenjem veličine zrna (manjim od 1 mm), kao i da sa povećanjem veličine zrna odnos širine/dužine mikropukotina raste, te one postaju penetrativne. Što se tiče mineralnog sastava, sa povećanjem sadržaja amfibola u steni parametri čvrstoće se smanjuju. Rogers et al. (2002) zaključuju da je hrapavost agregata određena njegovim mineralnim sastavom i poroznošću, a manje i veličinom zrna. Vrednost hrapavosti može se utvrditi na primer laboratorijskim testom poliranja (PSV) i habanja (AAV), čemu se može dodati i ispitivanje hrapavosti samog kolovoza. Tako je na

primer, u susednim trakama autoputa jedne opitne deonice u Kanadi ugrađen agregat od sitnog i krupnog dijabaza. Razlike u hrapavosti između traka kolovoza nakon deset godina upotrebe nisu bile značajne, pa je zaključeno da veličina zrna ne pokazuje značajniji uticaj (Rogers et al., 2002).

Razmatrana je i zavisnost polirnosti od drugih svojstava agregata kao što su otpornost na drobljenje metodom Los Angeles (LA), otpornost na habanje metodom mikro-Deval (M_{DE}), otpornost na udar (SZ), trajnost (sagledana preko upijanja vode - WA_{24}) i postojanosti na mraz metodama sa rastvorom magnezijum-sulfata (MS) ili klasičnog zamrzavanja i odmrzavanja (F), zapreminskih masa (ρ) (Daskalova, 1984; Woodward et al., 2005; Bulevičius et al., 2010). Predložen je i novi parametar za procenu gubitka mikroteksture (Lancieri et al., 2005), koji predstavlja gubitak sile trenja pri malim brzinama. Računa se kao odnos između razlike u varijaciji rezultata pre i posle poliranja prema rezultatima pre poliranja. Ovaj parametar se dalje koreliše sa mehaničkim karakteristikama agregata sa kojima je utvrđena dobra linearna povezanost.

Monitoring polirnosti agregata inicijalno merenih u laboratoriji i ugrađenih u jednu gradsku saobraćajnicu vršio je Stewart (1984). Polirnost izmerena na terenu može se (a ne mora) razlikovati od vrednosti dobijenih u laboratorijskim uslovima, što može biti povezano sa petrografskim karakteristikama stena. Što je agregat manje trajan, tim je veća razlika vrednosti za polirnost izmerenih u laboratoriji i na terenu. Utvrđeno je dalje, da veličina frakcije agregata utiče na vrednost PSV. Sitnije frakcije imaju veće vrednosti PSV-a u odnosu na krupnije frakcije istog agregata što se objašnjava prisustvom oštijih i hrapavijih zrna u sitnijoj frakciji (Erichsen, 2009). Međutim, pokušaj da se nađe zavisnost PSV i „in situ” trenja merenog različitim metodama (Britansko klatno i Norsemeter Roar oprema za ispitivanje trenja) nije doveo do jasnih zaključaka.

Wang et al. (2013) su istraživali uticaje različitih faktora (upotreba različitog polirajućeg sredstva sa ili bez vode) na razvijanje otpora prema klizanju habajućeg sloja puta. Zapazili su da agregati sa istim početnim vrednostima PSV-a, mogu da razviju različite vrednosti koeficijenta otpora prema klizanju kada se poliraju različitim polirajućim sredstvima. Sa druge strane, utvrdili su da materijal uzorkovan sa puta, prema granulometrijskom i hemijskom sastavu približno odgovara kvarcnom pesku, pa bi uticaj ovako formiranog polirajućeg sredstva dao dobru procenu stvarnog otpora

prema klizanju puta. Dalje, Wang et al. (2014a) ukazuju da se uticaj dejstva mraza ogleda na gubitku veze između mineralnih zrna i dalju dezintegraciju agregata, pri čemu se mikrotekstura površine zrna menja u zavisnosti od vrste i veličine zrna agregata. S obzirom da standardna PSV metoda samo delom reflektuje stvarno ponašanje agregata ugrađenog u kolovoznim konstrukcijama, preporučeno je da se kombinaciji uticaja saobraćaja i klimatskih uslova, pridoda uticaj zamrzavanja i odmrzavanja.

Korelacija između vrednosti polirnosti i habanja (PSV – AAV) deli aggregate na dve grupe sa kontrastnim svojstvima: grupu sa visokim PSV i niskim AAV vrednostima kao što su neki krečnjaci i šljake i, na grupu agregata koji pokazuju visoki PSV i visoki AAV kao što su peščari i mafitske vulkanske stene. Stene mogu pripadati nekada jednoj, a nekada drugoj grupi, kao što je, na primer, slučaj sa peridotitima koji mogu pripadati obema grupama zavisno od količine minerala niske tvrđine koju sadrže (Xirouchakis, 2013).

Paralelno sa ispitivanjima tehničkih svojstava, razvijale su se nove ili su kritički razmatrane postojeće laboratorijske metode za ocenu kvaliteta tehničkih svojstava agregata (Rogers, 1998; Woodside & Woodward, 1998). Dat je i prikaz laboratorijskih metoda koje se danas koriste u Evropskoj uniji, zatim presek potrebnih svojstava koja agregati za površinska presvlačenja treba da poseduju, sa osvrtom na uticaj petrografije na tehnička svojstva agregata (Smith & Collis, 1993).

Na osnovu svih navedenih istraživanja još jednom se potvrđuje složenost istraživanja date problematike, kao i nedostatak publikovanih podataka za koherentnu kolekciju određenih stena (na primer, istraživanja koja se odnose na adekvatan broj uzoraka jedne grupe stena, ali i širok dijapazon svežine uzoraka unutar date grupe stena).

2.3 MIKROHRAPAVOST AGREGATA

2.3.1 Otpornost na poliranje različitih vrsta stena

Ispitivanja polirnosti vršena su na prirodnim i veštačkim agregatima, pri čemu su se istraživači trudili da proniknu u mehanizme poliranja stena. Savremeni trendovi vrednovanja kvalitetnog agregata u Evropi prikazani su u sledećem poglavlju.

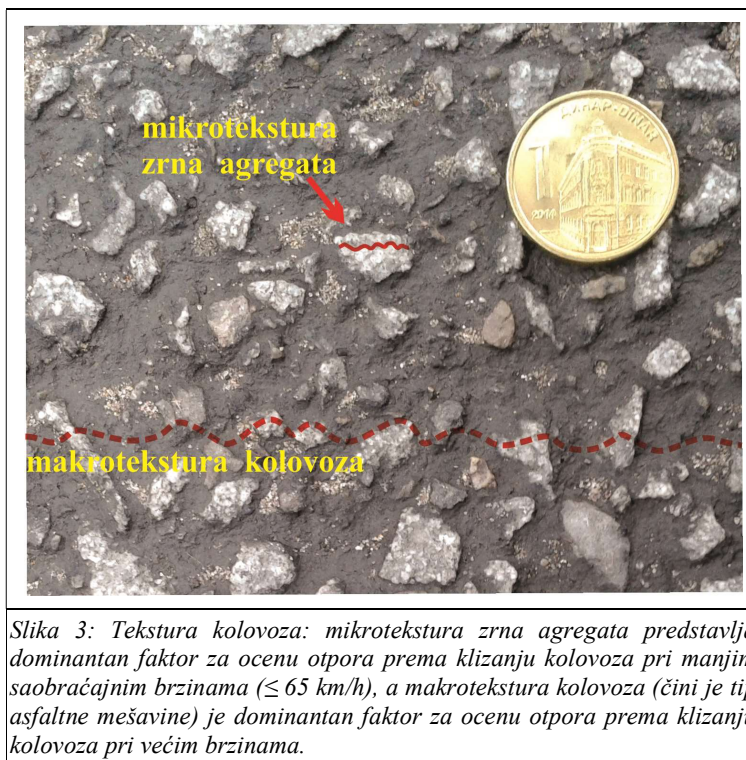
Mikrohrapavost agregata u habajućem sloju kolovozne konstrukcije sagledava se preko njegove otpornosti prema polirajućem delovanju pneumatika, koja je izražena preko koeficijenta poliranja kamena - PSV-a (SRPS EN 1097-8:2010). Što je veća vrednost koeficijenta poliranja, veći je njegov otpor prema poliranju, odnosno veća je mikrohrapavost površine zrna agregata. Stene koje sadrže minerale dovoljno različite tvrdoće ili se sastoje od zrna koja su slabo vezana imaju visoku vrednost PSV-a. Pod dejstvom saobraćajnog opterećenja dolazi do gubitka mineralnih zrna agregata, a novootvorene površine podležu daljem habanju. Ovaj mehanizam kao rezultat daje obnovljivu mikroteksturu, pa stoga i veću vrednost otpora prema klizanju agregata merenu u mokrom stanju (Smith & Collis, 1993). Prednost ove obnovljivo hrapave teksture međutim, povezana je sa opadanjem ostalih tehničkih svojstava agregata, naročito otpornosti na habanje i drobljenje, pa se pri izboru kvalitetnog agregata mora postići balans između važnih tehničkih svojstava. Na primer, agregat u kolovoznoj konstrukciji ne sme da se pohaba suviše brzo, niti sme da bude suviše tvrd pa da se u međuvremenu ispolira. Sa druge strane, ispitivanja su pokazala da većina litotipova tvrdih agregata tj. onih koji su otporni na drobljenje, pokazuje visok stepen poliranja, bez obzira da li su fino-, srednjo- ili krupnozrni. Geološki posmatrano, ovi agregati su izgrađeni od minerala slične tvrdoće, zbog čega nema razlike između habanja minerala koja bi vodila ka formiranju hrapave mikroteksture (Woodside & Woodward, 2002).

U konstrukcijama autoputeva i aerodromskih pista, stanje poliranja puta rezultat je suprotnih efekata - saobraćaja koji sa jedne strane teži da poveća stanje poliranja i sa druge strane hrapavljenja kolovoza usled dejstva mraza, vlaženja/sušenja, temperaturnih promena, koji teže da smanje stanje poliranja (Smith & Collis, 1993).

Fenomen otpora prema klizanju po mokrom kolovozu predstavlja kombinaciju više faktora od kojih se izdvajaju megatekstura površine puta, makrotekstura i mikrotekstura (mikrohrapava površina zrna samog agregata) (slika 3). Megatekstura puta utiče na

njegovu sposobnost da ukloni vodu sa puta, naročito na kolotrazima, kao i na apsorpciju buke (Woodside & Woodward, 2002).

Makroteksturu puta formiraju zrna agregata iz asfaltne mešavine postavljene u habajućem sloju kolovozne konstrukcije (slika 3). Na kontaktu pneumatika i puta u uslovima mokrog kolovoza, ovaj tip tekture i/ili šare na gumi vozila obezbeđuje prostor za odvod vode čime se štiti površina puta od stvaranja tečnih filmova. Dobar kontakt između pneumatika i kolovoza može se postići samo ako je agregat dovoljno mikrohrapav (mikrotekstura) na kome guma pneumatika ostvaruje pritiske za uspostavljanje suvog kontakta sa putom (Design Manual for Roads and Bridges - DMRB, 2006). Makrotekstura puta najviše zavisi od primenjenog tipa asfaltne mešavine i važna je pri većim brzinama (> 65 km/h), dok je mikrotekstura dominantan faktor za otpor prema klizanju pri manjim brzinama.



Za merenje makrotekture koristi se opit zapreminske ispune peska (pesak poznate zapremine razastire se u obliku kruga na površinu puta i meri se prečnik formiranog kruga, preko koga se izračunava dubina makrotekture puta), a razvijene su i laserske metode za snimanje makrotekture. Jedna od metoda za merenje mikrohrapavosti površine puta je test ispitivanja otpornosti prema klizanju sa SRT klatnom (Skid

Resistance Tester - SRT), a mikrohrapavosti zrna agregata u laboratorijskim uslovima je PSV metoda.

Zbog velikog uticaja mikrotekture zrna agregata na otpor prema klizanju kolovoza, na tržištu putnih agregata, na primer u Velikoj Britaniji, naročito su cenjeni agregati koji (između ostalih svojstava) imaju obnovljivu mikrohrapavu površinu u toku trajanja kolovoza (Smith & Collis, 1993). Ispitivanja su pokazala da agregati od peskovitih stena pokazuju najveću otpornost prema klizanju kada je reč o prirodnim agregatima (O'Flaherty, 1974).

Studija Van de Wall-a (1993) pokazala je da PSV dosta zavisi od sadržaja minerala glina u steni, stepena raspadanja stene (sadržaja sekundarnih minerala, fragmentacije), tvrdoće minerala i strukture stene. Shodno tome, predložene su empirijske formule za procenu PSV vrednosti agregata, za čiju validaciju je potrebno više podataka. Takođe, u studiji nije utvrđena korelacija između polirnosti sa mikro-Deval vrednosti habanja, verovatno zbog toga što kod ovog drugog testa ne postoji direktni pokazatelj karakteristika površinske teksture.

Potrebe putarske industrije za visokokvalitetnim agregatima za površinska presvlačenja uslovile su detaljna ispitivanja karakteristika otpora prema klizanju i prirodnih (magmatskih, sedimentnih i metamorfnih) i veštačkih agregata.

Magmatske i metamorfne stene, koje pokazuju srednji stepen alteracija, daju veću vrednost koeficijenta poliranja nego sveže nealterisane stene. Glavni uzrok ove pojave jeste alteracija primarnih minerala veće tvrdoće (feldspati, pirokseni, amfiboli i drugi) u sekundarne minerale manje tvrdoće (kaolinit, hlorit, serpentin, sericit; Smith & Collis, 1993). Izuzetak je epidotizacija, zato što je tvrdoća epidota približno ista kao i primarnih minerala na čiji račun se formira epidot (plagioklasi, amfiboli i drugi). Metalčni minerali, koji se iako u maloj količini (najčešće do oko 1 vol.%) redovno pojavljuju u stenama, zbog svoje različite tvrdoće, takođe vode ka povećanju otpora prema poliranju bilo da su fino dispergovani u stenskoj masi ili su dispergovani u vidu zrna srednje do velike krupnoće. Veličina zrna u steni, generalno posmatrajući, vodi ka malom povećanju vrednosti polirnosti (Smith & Collis, 1993).

Za procenu ponašanja agregata koji će se koristiti za građenje puteva, detaljne petrografske informacije su od suštinskog značaja. Korišćenje elektronskog mikroskopa je u tu svrhu veoma korisno. Rigopoulos et al. (2010) su na primeru dolerita sa Pindosa,

na osnovu SEM snimaka površine zrna agregata, dokumentovali veliku razliku u mikrohrapavosti. Ova hrapavost je posledica kombinovanog prisustva mekih hlorita (tvrdoće 2,5 po Mosu) koji formiraju glatku površinu i tvrdih aktinolita i klinopiroksena (tvrdoće 5,5 po Mosu), koji formiraju grubohrapavu površinu. Zatim, prisustvo fenokristala klinopiroksena i plagioklasa u sitnozrnijoj subofitskoj osnovnoj masi daje grubohrapavu mikrotopografiju na svežim prelomima. Ove osobine pozitivno utiču na osobine trenja, a takođe igraju važnu ulogu na samom habajućem sloju puta, zato što omogućavaju adheziju između pneumatika i površine puta. Dalje, ponašanje agregata u kolovoznoj konstrukciji u eksploataciji različito je za agregate koji imaju sekundarne minerale različite tvrdoće, od onih sa mineralima slične tvrdoće. Ipak, zamenjivanje klinopiroksena hloritom i/ili aktinolitom glavni je faktor za očuvanje mikrohrapavosti zrna agregata (Rigopoulos et al., 2010). Hlorit povećava otpor prema poliranju zato što je njegova tvrdoća dovoljno različita od drugih minerala. Sa druge strane, aktinolit ima skoro istu tvrdoću kao primarni pirokseni, ali je kruti te održava površinsku hrapavost agregata. Autori pretpostavljaju da je njegova savršena cepljivost u kombinaciji sa fibroznim prorastanjima (većeg zapreminskog volumena) na prizmatičnim kristalima klinopiroksena (manjeg zapreminskog volumena) glavni razlog krtog ponašanja. Ovo vodi ka slabljenju čvrstine veze između novoformiranih minerala, zbog čega zrna ili njihovi fragmenti lako ispadaju. Kontinuirano se obnavlja deo stene sa hrapavom površinom, ali sa druge strane dolazi do slabljenja mehaničkih svojstava agregata. Sa druge strane, zaključili su da veličina zrna generalno ima mali efekat na otpor prema poliranju, pri čemu krupnija zrna vode ka malom povećanju koeficijenta poliranja (Rigopoulos et al., 2010).

Otpor prema poliranju zavisi od sistema šupljina, njihove veličine i distribucije kao i od relativne tvrdine minerala njihove ispune. Od metamorfnih stena jedino gnajsevi, hornfels stene (korniti) i metakvarciti se generalno mogu razmatrati kao podobni agregati za izradu habajućih slojeva puta. Ortognajsevi se ponašaju isto kao i magmatske stene. Korniti i metakvarciti pokazuju tendenciju da se uglašavaju zato što generalno imaju sitnozrnu (granoblastičnu i blastopsamitsku) strukturu, a sastavljeni su ili od monomineralnih zrna ili od različitih minerala uniformne tvrdoće, i to tvrdoće veće od 5 po Mosovoj skali (Smith & Collis, 1993).

Peščari različitog mineralnog sastava i izvesni kvarciti teže da budu otporni na poliranje. Zadržavanje grubo hrapave teksture kod ovih stena prvenstveno potiče od uklanjanja slabo cementovanih zrna pre nego postignu stanje visokog poliranja. Sa druge strane dobro cementovani peščari imaju nizak koeficijent poliranja. Kriptokristalasti peščari, rožnaci i opalski šljunkovi visoko se poliraju, zbog niske poroznosti i uniformne tvrdoće minerala (Smith & Collis, 1993). Krečnjaci značajno poboljšavaju otpornost prema poliranju ako imaju određenu količinu nečistoća (uglavnom kvarc, liskune, gline). Utvrđeno je da je još povoljnije ako su nečistoće ograničene na zrna kvarca veća od 0,5 mm. Generalno, liske liskuna, veličine zrna peska (od 2 mm do 0,05 mm), vode ka većoj otpornosti na poliranje. Različita rastvorljivost sastojaka (npr. fosili izgrađeni od kriptokristalastog kalcita i stena od krupnokristalastog kalcita) takođe su pokazala da imaju značajan efekat na poliranje karbonatnih stena, bilo da su podvrgnuti ciklusima neizmeničnog vlaženja i sušenja u laboratoriji ili prirodnim ciklusima raspadanja u kolovoznoj konstrukciji (Smith & Collis, 1993). Utvrđeno je da ovi ciklusi raspadanja u odsustvu saobraćaja, konvertuju stanje visokog poliranja u stanje hrapavosti, povećavajući vrednost otpornosti prema klizanju (SRT) sa 45 pre površinskog raspadanja na 75 posle raspadanja (Smith & Collis, 1993). Kada su u habajućem sloju ugrađeni karbonatni agregati slabije otpornosti na poliranje, ukupna otpornost na klizanje kolovoza je manja (Rogers et al., 2002).

Veštački agregati, kao vrsta građevinskih materijala, u novije vreme sve više dobijaju na značaju. Obuhvataju različite industrijske nusprodukte, jalovinske materijale i pojedine veštačke produkte proizvedene u cilju zadovoljenja zahteva tržišta za visokim vrednostima otpora prema poliranju. Industrijski nusprodukti su šljake koje nastaju pri preradi ruda metala. Čelične šljake imaju niži PSV od šljaka iz visokih peći. Superiornost ovih drugih je zbog veće šupljikavosti koja u procesu drobljenja stvara zrna koja su neravnih površina i koje imaju drenažne kanale za olakšavanje unutrašnjih pritisaka (Smith & Collis, 1993). Čelične šljake imaju raspon vrednosti poliranja od 48 do 54, dok šljake iz visoke peći imaju vrednosti od 59 do 64. Zbog toga se čelične šljake smatraju pogodnim za manje teška saobraćajna opterećenja. Probne deonice koje su rađene sa bitumeniziranim habajućim slojem koji uključuje agregat od olovno-cinkane jalovine dale su, na primer, dobra svojstva kolovoza, ali sa umerenim otporom na poliranje. Glavni razlozi za razvoj specijalnih vrsta veštačkih agregata su da se postigne

odlična otpornost na poliranje rizičnih deonica (na primer kalcinirani boksit u epoksi smoli za površinske tretmane) ili da se naglase na primer bankine autoputeva (kalcinirani kremen), da se proizvedu materijali za obeležavanje puteva (balotini) ili za neke druge namene (Smith & Collis, 1993).

2.3.2 Savremeni trendovi vrednovanja kvaliteta agregata

Pojedini istraživači dali su kritički osvrt na Britanski pristup koji otpor prema klizanju vrednuje kao najvažnije svojstvo agregata (Woodside et al. 1998; Woodward, 2000; Woodward et al., 2005), ukazujući na potrebu postavljanja prihvatljivih i realističnih granica baziranih na dostupnim vrstama agregata. Mediteranske zemlje, na primer, imaju široku rasprostranjenost krečnjaka slabije čvrstoće i otpora prema klizanju. Težak saobraćaj i topla klima s jedne strane, i guste asfaltne mešavine od krečnjačkog agregata s druge strane, daju habajuće slojeve koji su ekstremno opasni kada su mokri. Skandinavske zemlje pak, široko koriste veoma čvrste magmatske i metamorfne stene zbog kombinacije hladnih zima, upotrebe lanaca i teškog saobraćajnog opterećenja.

Koji je savremeni pristup vrednovanja kvalitetnog agregata? U Velikoj Britaniji se, na primer, kao agregati sa visokim koeficijentom poliranja smatraju oni sa PSV većim od 50. Većina asfaltnih zastora u ovoj zemlji koristi ovakav materijal. Kamenoloma sa agregatima koji imaju vrlo visoki PSV (> 68), kao što su grauvake, ima jako malo. Ova ležišta su mala i dostupna jedino kopnenim putevima, pa njihova primena mora da uključi visoke troškove transporta i posledično veliku potrošnju energije. Ostale evropske zemlje koriste agregate sa nižim vrednostima polirnosti, pre svega zbog široke dostupnosti agregata sa PSV-om 50-60 i malo drugačijom stopom saobraćajnih nezgoda usled proklizavanja po mokrim kolovozima (Jacobs Engineering, 2009).

Današnje shvatanje (nije deo specifikacija) visokokvalitetnog putnog agregata - HSA (*High Specification Aggregates*) u Velikoj Britaniji obuhvata „prirodne i veštačke krupnozrne agregate (≥ 3 mm) koji zadovoljavaju kriterijume poliranja ($PSV \geq 58$), habanja ($AAV \leq 16$), drobljenja ($LA \leq 30$) postojanosti na mraz ($MS \leq 25$) i koji su pogodni za upotrebu u habajućem sloju (uključujući površinske obrade) na putevima sa teškim i vrlo teškim saobraćajnim opterećenjima, gde se zahteva visok nivo otpora prema klizanju i trajnosti agregata” (Thompson et al. 2004; Thompson 2008). Autori su razmatrali i uticaj litologije na svojstva HSA. Klastične sedimentne stene su naročito

važne zbog prisustva veziva i zrna različite tvrdoće i individualnih zrna koja lako mogu da budu odvojena od agregata koji se haba, održavajući tako peskovito hrapavu mikroteksturu - vitalnu komponentu otpora prema klizanju. Magmatske i metamorfne stene su generalno manje sposobne da obezbede obnovljivu mikrohrapavu površinu zrna uprkos varijacijama u tvrdoći minerala koji ih izgrađuju. Razlog su strukture ovih stena kod kojih zrna minerala često zalaze jedna u druga, pa se zrna mnogo teže odvajaju od agregata, odnosno ovi agregati se lakše poliraju nego klastične sedimentne stene. Različiti faktori utiču na buduće trendove u potražnji visokokvalitetnih putnih agregata, od kojih prognoza rasta saobraćaja i dizajn vozila ukazuju na (verovatno) rastući trend njihove upotrebe (Thompson et al., 2004).

Uprkos skoro stogodišnjem iskustvu u ispitivanju otpora prema klizanju (kako agregata tako i kolovoza) u zemljama kao što je Velika Britanija i u zemljama koje imaju manje iskustva u tome, postoji značajan prostor za istraživanja i razvoj ovog fenomena. Fundamentalno razumevanje mehanizama koji su u njega uključeni, razvoj novih tehnika predviđanja i pronalaženje novih materijala za habajuće slojeve koji će kao krajnji rezultat dati bezbednije puteve u budućnosti, jeste od suštinske važnosti (Woodside & Woodward, 2002).

2.3.3 Osvrt na razvoj metoda za ispitivanje polirnosti

Metode pomoću kojih se meri otpornost prema poliranju u mokrom stanju se razlikuju u zavisnosti od toga da li se merenja obavljaju na terenu, na samoj površini puta ili u laboratoriji. Najpre je 50-ih godina prošlog veka razvijena metoda za merenje mikrohrapavosti agregata ugrađenog u habajući sloj kolovozne konstrukcije (*Skid Resistance Tester* - SRT). Tokom 60-ih godina prošlog veka je razvijena metoda pogodna za laboratorijske uslove (*Polished stone value* - PSV). Britanski PSV test (poznatiji kao „točak/klatno“) jedna je od najšire korišćenih metoda za merenje otpornosti prema poliranju agregata u svetu (Woodside & Woodward 2002). Razlika između gore pomenutih metoda je u tome što se kod prve klatno direktno postavlja na kolovoznu površinu, a kod druge metode zakrivljene epruvete agregata se, pre merenja trenja, podvrgavaju ubrzanom poliranju u mašini sa vertikalnim točkom i to pomoću gumenog točka, abraziva i vode. Nakon toga, meri se trenje koje se javlja kada se gumeni klizač na klatnu prevuče preko mokre površine ubrzanog ispoliranog agregata.

Kritički osvrt na metodu ukazao je da se procedura testa razlikuje od zemlje do zemlje, čak i među Upravama za puteve pojedinih država u Sjedinjenim Američkim Državama. Standardi ASTM E303 i ASTM D3319 dokumentuju ove metode ispitivanja i nude dve različite specifikacije - jednu za proceduru poliranja, a drugu za korišćenje britanskog klatna za merenje trenja. Procedura u Teksasu za ovaj opit je opisana u dokumentu Tex-438-A, gde se koraci prilikom ispitivanja materijala razlikuju u nekim detaljima, kao što su mašina za poliranje i vreme poliranja (Masad et al., 2006).

U novije vreme sve više u svetu je prihvaćena metoda za ispitivanje otpornosti na poliranje agregata pomoću Wehner-Schulze mašine (W/S). Zasniva se na principu ubrzanog poliranja ravnih kalupa agregata ili asfaltne mešavine pomoću kontakta gumenih točkova i abraziva (suspenzija kvarca i vode). Metoda je razvijena krajem 60-tih od strane Vernera i Šulca sa Tehničkog univerziteta u Berlinu i danas je široko prihvaćena u Nemačkoj. Koeficijent trenja W/S meri se nakon 90.000 prolazaka gumenih točkova pri brzini od 60 km/h (Dunford, 2008b).

Za ispitivanje otpornosti prema poliranju bez kontakta koristi se i takozvani sistem skeniranja kamerom gde se putni agregati slikaju pre i posle poliranja, zatim se pomoću softvera analizira promena teksture na slikama (Dunford, 2008a). Koristeći ovu mašinu, različiti radovi doprineli su boljem razumevanju razvoja mikroteksture površine puta pod dejstvom saobraćajnog opterećenja (Do et al., 2009; Kane et al., 2010) i njegove povezanosti sa mineralnim sastavom agregata (Kane et al., 2013).

Sumirani rezultati pregleda opita koji se odnose na karakteristike poliranja putnih agregata dati su u radu australijskog istraživača (Neaylon, 2009). Prikazani su rezultati različitih laboratorijskih metoda - vrednost poliranja kamena razvijene pomoću mašine sa vertikalnim polirajućim točkom na zakrivljenim epruvetama (PSV) i australijska vrednost poliranja agregata razvijena pomoću mašine sa horizontalnim točkom sa ravnim epruvetama (PAFV), a zatim se odnos PAFV/PSV poredio sa vrednostima poliranja dobijenim na putu pod dejstvom saobraćajnog opterećenja i klimatskih promena.

Na Univerzitetu u Ahenu u Nemačkoj razvijena je takozvana Ahen mašina za poliranje (*Aachen Polished Machine* - APM) čija je upotreba, po mišljenju konstruktora, jednostavnija od Wehner-Schulze mašine (Wang et al., 2014b). Na osnovu ispitivanja granitnih ploča ovom mašinom, autori su zaključili da mikrohrapava tekstura i promene

otpota prema klizanju zavise od primarne teksture stene, upotrebljenog sredstva za poliranje (kvarcni pesak ili kvarcna prašina) i mineralnog sastava stene. Na bazi spektralne analize poprečnog profila i 3D merenja mikrotopografije stene, identifikovani su indeksi talasanja (w) i linearizovane gustine profila ($LPSD_{q=1}$), a regresionom analizom povezani sa parametrom „British pendulum number“ (BPN) koji je rezultat primene SRT-a. Autori preporučuju da se merenja polirnosti agregata pomoću metoda PSV i W/S dopune analizama ploča. Ukoliko bi bilo dovoljno studija na različitim agregatima, razumeo bi se proces poliranja i promena mikrotekture usled mineralogije stene.

Masad et al. (2006) dali su doprinos merenju otpornosti na habanje, poliranje i drobljenje agregata razvijanjem metode za klasifikaciju agregata pomoću AIMS (*Aggregate Image Measurement System*) merenja teksture agregata i rezultata otpornosti na mraz pomoću magnezijum-sulfata. Novi metod je razvijen za merenje otpornosti na habanje agregata na osnovu primene AIMS-a pre i posle habanja metodom mikro-Devala. Rezultati sa PSV testom pokazali su da je većina rezultata u malom opsegu, što otežava njihovo jasno razlikovanje. Metoda koja objedinjuje otpornost na habanje, poliranje i drobljenje putnog agregata, korišćenjem softvera za analizu slika agregata, takozvanog Aggregate Image System-a (AIMS2) i habanja mikro-Deval, bazirana na praćenju promene teksture agregata u funkciji od habanja, predložena je od Mahmoud-a (2005) i Ortiz & Mahmoud-a (2014).

Khasawneh (2008) je razvio novi uređaj za ubrzano poliranje u laboratorijskim uslovima koji je u stanju da oponaša poliranje površine uzoraka asfaltne mešavine po vrućem postupku. Predložena metoda pokazala je stanje poliranja asfaltne mešavine zavisi od vrste upotrebljenog agregata, tipa i vrste bitumena i drugih dodataka tokom očekivanog trajanja kolovozne površine. Za ova istraživanja korišćeni su agregati od krečnjaka i šljunka.

Nedavno je završen projekat ROSANNE (FP7/2013-2016) koji je imao za cilj razvijanje i/ili usklađivanje metoda merenja otpora prema klizanju, emisiji buke i otpora prema kotrljanju na putevima, a uključio je preporuke već završenih prethodnih projekata (kao što su TYROSAFE, HERMES, SILVIA, SILENCE i MIRIAM) (Bird, 2016).

Pregledom metoda za merenje mikrohrapavosti agregata koje su standardizovane u svetu, kao i novopredloženih metoda, može se zaključiti da se tehnike metoda međusobno razlikuju, ali je njihov cilj zajednički - brza i sigurna procena stanja površine agregata i habajućeg dela kolovozne površine. Za određivanje mikrohrapavosti zrna agregata u Srbiji se koristi PSV metoda, a SRT klatno za određivanje makrohrapavosti površine kolovoza. Nacionalni tehnički uslovi regulišu minimalo dozvoljene vrednosti ovih koeficijenata. Sa promenom režima saobraćaja i tehničko-tehnološkim razvojem menjaju se i tehnički uslovi. U narednim poglavljima je predstavljena tehnička regulativa koja je važeća u Evropi i kod nas. Težnja ka harmonizaciji standarda i tehničkih uslova je sveprisutna.

2.4 TEHNIČKA REGULATIVA

2.4.1 Evropski standardi i tehnički uslovi

U ovom poglavlju dat je prikaz tehničkih uslova koji su na snazi u nekim razvijenim zemljama Evropske unije. Preduslov formiranja nacionalnih tehničkih uslova jesu podaci o tehničkim svojstvima agregata, u ovom slučaju u skladu sa harmonizovanim evropskim standardima. Ispitivanje agregata u Evropi je pod okriljem internih pravila Evropskog komiteta za standardizaciju (the European Committee for Standardization - CEN) i Evropskog komiteta za standardizaciju u oblasti elektrotehnike (the European Committee for Electrotechnical Standardization - CENELEC). U ovim CEN/CENELEC dokumentima definisani su uslovi pod kojima harmonizovani evropski standardi bez izmena stižu status nacionalnih standarda. Na bazi rezultata laboratorijskih ispitivanja vrši se kategorizacija agregata, na osnovu kojih proizvođači agregata stavljaju znak usaglašenosti na proizvod (Conformité européenne - CE), odnosno, daju izjavu o usaglašenosti proizvoda sa datim evropskim standardom. Fabrička kontrola proizvodnje, kao i učestalost ispitivanja, propisane su evropskim standardima koji se tiču kategorizacije agregata (SRPS EN 16236:2014). U zemljama Evropske unije standard EN 13043 (kod nas SRPS EN 13043:2007; u Velikoj Britaniji BS EN 13043:2013) čini polaznu osnovu za kategorizaciju agregata za puteve, ali geološki resursi, klimatski faktori i ekonomski uslovi predstavljaju primarne faktore pri definisanju lokalnih (nacionalnih) kriterijuma tj. nacionalnog dodatka koji se u svakoj zemlji ponaosob propisuje. Evropska asocijacija za agregat (Union Européenne des Producteurs de Granulats - UEPG) prati ključna dokumenta nacionalnih tehničkih specifikacija (UEPG, 2005), kao i godišnju proizvodnju (UEPG Annual Review 2014-2015, zatim UEPG Annual Review 2016-2017) zemalja članica Evropske unije, ali i zemalja kandidata. Osim tehničke dokumentacije, proizvođači agregata moraju i da ispoštuju procedure prilikom stavljanja agregata kao građevinskog proizvoda na tržište Evropske unije (EU Office, 2011).

U Prilogu 1 dat je pregled tehničkih uslova za kvalitet agregata koji su propisani u nekim razvijenim evropskim zemljama, kao što su Velika Britanija (Design Manual for Roads and Bridges - DMRB, 2006; MCHW1, 2008; MCHW2, 2009; Specification 49, 2009; Interim Advice Note 156/YY, 2012), Austrija (Önorm B 3130:2009; RVS 08.97.05:2010), Francuska (Sétra, 2008) i Nemačka (FGSV 613 E:2007), a tiču se

kvaliteta agregata za izradu habajućih i nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija. Tehnički uslovi se propisuju u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine (na primer, asfalt beton, skeletni mastiks asfalt i druge asfaltne mešavine), kategorije puta i saobraćajnog opterećenja (prilog 1). Pregledom graničnih vrednosti odabranih tehničkih svojstava agregata generalno se mogu izdvojiti dva različita pristupa kada je reč o vrednovanju kvalitetnog agregata za izgradnju puteva. Jedan pristup na prvom mestu favorizuje bezbednost vožnje, pa samim tim akcenat stavlja na karakteristike polirnosti agregata kao što je slučaj u Velikoj Britaniji, dok drugi pristup vrednuje karakteristike trajnosti agregata (da se što manje drobi, haba, upija vodu i slično) kao što je slučaj u Austriji, Francuskoj ili Nemačkoj.

Tehnički uslovi u Velikoj Britaniji na primer, propisuju da agregati za habajuće slojeve autoputeva moraju da budu dovoljno čvrsti, hemijski inertni i čisti, relativno nepropusni i postojani prema mrazu, da imaju pogodnu površinsku strukturu i granulometrijski sastav, kao i da su ekonomični za proizvodnju i transport (MCHW1, 2008). Zbog toga termin „trajnost“, primenjen na ove agregate, podrazumeva otpornost na poliranje, habanje, površinsko raspadanje, odnosno otpornost na bilo koji faktor koji može da umanjuje njegovu trajnost u habajućem sloju puta. Minimalne PSV vrednosti za agregate za površinske obrade, sa propisanim različitim kategorijama polirnosti za habajući sloj, u zavisnosti od kategorije puta i saobraćajnog opterećenja date su u prilogu 2. Zahtevi za noseće slojeve koji se postavljaju ispod habajućih slojeva su blaži i ovde su dati samo okvirno da bi se stekla opšta slika kako se vrednosti ovih koeficijenata snižavaju. Prilog 2 je uređen prema Uputstvu za projektovanje puteva i mostova (Interim Advice Note 156/YY, 2012) koji predstavlja reviziju Tehničkih specifikacija materijala za površinske slojeve opisanih u dokumentu HD36/06 (Design Manual for Roads and Bridges - DMRB, 2006). Vrednosti kategorija materijala s obzirom na vrednosti PSV-a kreću se od PSV₅₀ do PSV₆₈₊, a obuhvataju i veštački agregat - kalcinirani boksit koji se koristi za pripremu specijalizovanih površina sa visokim trenjem (*High friction surfacing* - HFS). Na autoputevima, sa uglavnom slobodnim saobraćajnim tokom po relativno pravoj liniji, propisana je minimalna vrednost od PSV₅₀. Sa povećanjem saobraćajnog opterećenja ovaj koeficijent raste do vrednosti PSV₆₅. Na prilazu pešačkim prelazima, kružnim tokovima i drugim situacijama visokog rizika gde su zastupljena kočenja i skretanja, zahtevi za

minimalnim vrednostima koeficijenta se povećavaju - PSV₆₅ do PSV₆₈₊ i HFS_{>70}. Na prilazima opasnim mestima kao što su kružni tokovi, krivine i druge opasnosti koje zahtevaju kombinovano kočenje i skretanje, minimalna dužina tretmana površinom visokog trenja mora biti 50 m.

U Francuskoj su na snazi blaži zahtevi u pogledu kategorija polirnosti u odnosu na Veliku Britaniju i variraju od PSV₅₀ do PSV₅₆; u Austriji još blaži - PSV₄₄ do PSV₅₀ ili PSV_{propisano} (projektom propisana vrednost), a u Nemačkoj od PSV₄₂ do PSV₅₁. Kada je reč o otpornosti na drobljenje, situacija je obrnuta: najniži su zahtevi u Velikoj Britaniji za habajući sloj od LA₃₀ do LA₃₅, strožiji u Francuskoj - LA₂₀ do LA₃₀, a najstrožiji u Austriji gde se zahteva LA₁₅ do LA₂₅. Kriterijum $LA \leq 30$ za visokokvalitetan agregat (Thompson et al., 2004) za sada objektivno nije prihvatljiv za naše uslove, što je potvrđeno nižim kategorijama drobljivosti u drugim zemljama.

Formiranje nacionalnog dodatka tehničkih uslova za kvalitet agregata, osim od geološke podloge, zavisi i od klimatskih uslova date zemlje. Znatan deo zapadnoevropske teritorije otvoren je ka Atlanskom okeanu koji je pod uticajem tople Golfske struje i zapadnih vetrova, što uslovljava okeanski tip umerene klime sa blagim zimama (wikipedia, 2016), svežim letima i umerenom količinom padavina ravnomerno raspoređenom tokom godine. Ovaj tip klime u kombinaciji sa geološkom podlogom (Thompson et al., 2004; Asch, 2007) u kojoj prevladavaju peščari, peskoviti krečnjaci, doleriti ili graniti, omogućava Velikoj Britaniji postavljanje najstrožijih kriterijuma za vrednost polirnosti odnosno najslabijih za vrednost drobljivosti agregata. Francuska, osim okeanske klime, na jugu zemlje ima sredozemnu klimu (sa vrućim, sušnim letima i dugim kišovitim zimama), a umereno kontinentalnu klimu (sa oštrijim zimama) u središnjem delu zemlje. U geološkom smislu, Francuska osim peščara ima obilno zastupljene krečnjake i vulkanite (Asch, 2007) slabijih vrednosti polirnosti. Sve ovo se odražava na nacionalne tehničke uslove u pravcu propisivanja nižih kategorija polirnosti i viših zahteva drobljivosti agregata. Austrija i Nemačka imaju umereno kontinentalnu klimu (sa vrućim letima, oštrijim zimama i manjom količinom padavina). Mrazevi prisutni u zimskom periodu u ovim zemljama diktiraju postavljanje strogih kategorija otpornosti na mraz i malog upijanja vode agregata (F_1 , WA_{24} 1, odnosno F_1 , W_{cm} 0,5, prilog 1). Posledično ovakvi agregati imaju niske vrednosti polirnosti i visoku otpornost na drobljenje. Geološka podloga obe zemlje obiluje krečnjacima, ali i svežim i

jedrim vulkanitima, granitima, granulitima, bazaltima, dijabazima u Austriji (Kuttelwascher & Zuzic, 2011) ili pešćarima (na primer grauvaka), granitima, gnajsevima, dijabazima i drugim vrstama stena u Nemačkoj (Asch, 2007; FGSV 613 E:2007), pa se postavljeni strogi kriterijumi u pogledu trajnosti agregata mogu i zadovoljiti.

Standard za agregate za asfaltne mešavine (SRPS EN 13043:2007) predviđa dve kategorije krupnog agregata prema upijanju vode (WA_{241} i WA_{242}). Ako upijanje vode prelazi predviđene granice, krupan agregat mora da se ispita sa rastvorom magnezijum-sulfata u cilju potvrde postojanosti prema mrazu. Upijanje vode koristi se samo kao pokazatelj postojanosti na mraz, ali ne i kao obavezan tehnički uslov. Novina u evropskom standardu iz 2013. godine (EN 13043:2013) je da se može ispitivati postojanosti na mraz agregata upotrebom 1 % rastvora natrijum-hlorida pri čemu se agregat kategoriše u zavisnosti od gubitka mase nakon tretiranja. Ova metoda je predviđena da se koristi za procenu otpornosti agregata prema mrazu u uslovima gde se ciklusi zamrzavanja/odmrzavanja ponavljaju uz dodatni uticaj aerosola morske vode (na primer na putevima duž obala mora) ili gde se ulice tretiraju solju za posipanje puteva u zimskom periodu. Smatra se da visoke vrednosti upijanja vode (WA) prouzrokuju manju otpornost agregata na dejstvo mraza. U tehničkim uslovima određeno je i da agregat treba da ima vrednost otpornosti na mraz (pomoću rastvora magnezijum-sulfata) manju od 25 % (MS). Međutim, korelaciona istraživanja između upijanja vode agregata i otpornosti na mraz pokazuju da se upijanje vode od WA 2 % odnosi na otpornost na dejstvo mraza od 18 % (MS_{18}) (Woodward, 2000). Iz napred iznetog se može zaključiti da upijanje vode može da bude i veće od 2 % pod uslovom da je $MS < 25$.

2.4.2 Nacionalni standardi i tehnički uslovi

Srbija ispituje kamen i kamene agregate prema nacionalnim (SRPS, bivšim JUS) standardima koji su integralni deo nacionalnih tehničkih uslova za kvalitet materijala u putogradnji. Desetak godina unazad usvojen je veliki broj evropskih normi (SRPS EN). Trenutno u oblasti agregata važe i stari i novi standardi, odnosno koriste se i jedni i drugi. Kvalitet kamenih agregata koji se ugrađuju u kolovoznu konstrukciju se, posmatrajući od donjeg nosećeg sloja ka vrhu povećava, pri čemu se za habajućeg sloj koriste kameni agregati najboljih tehničkih svojstava. Za izradu habajućeg sloja za autoput i vrlo teško saobraćajno opterećenje koriste se magmatske stene (podjednako:

daciti, andeziti, trahiti i dijabazi); do srednjeg saobraćajnog opterećenja upotrebljavaju se sedimentne stene (najviše krečnjaci, manje dolomiti i drobljeni šljunak) i metamorfne stene (dolomitski mermer), dok se prirodni agregat – šljunak koristi samo za vrlo lako saobraćajno opterećenje, pešačke i biciklističke staze (Djokic & Milicevic, 2013).

U Prilogu 3 prikazani su Tehnički uslovi kvaliteta agregata za izradu habajućih i nosećih slojeva puta (odabrana svojstva) koji se primenjuju u Srbiji (SRPS U.E4.014:1990; JP Putevi Srbije, 2009a; JP Putevi Srbije, 2009b; JP Putevi Srbije, 2012a; JP Putevi Srbije, 2012b; Joint Venture Nievelt – CPL, 2015) i zemljama bivših jugoslovenskih republika (primer Hrvatske - IGH, 2001; IGH, 2015; i Bosne i Hercegovine - JP Direkcija cesta Federacije BiH i JP Putevi RS, 2005). Kod nas je još uvek na snazi Naredba o obaveznom atestiranju iz 1987. godine, po kojoj se ispituju kvalitet kamena, kao sirovine za proizvodnju agregata i svojstva samog agregata. Opšti i posebni Tehnički uslovi za Koridore 10 i 11 naslanjaju se na pomenuta dokumenta. Tehnički uslovi dosta su zahtevni i slični su nemačkom pristupu gde se od kamena i agregata očekuje da budu čvrsti (čvrstoća na pritisak: 160-120 MPa), otporni na drobljenje (LA: 16-30 %), habanje (Beme: 12-35 cm³/50cm²), da imaju malo upijanje vode (kamena: 0,75-1 %; agregata: 1,2-1,6 %) i da budu postojani na dejstvo mraza (gubitak mase u NaSO₄: 3-5 %). *Vrednost polirnosti kamena* (VPK, naša skraćenica za PSV) izražena prema srpskom standardu jednaka je vrednosti koeficijenta poliranja kamena prema evropskom standardu (PSV), s obzirom da se procedure dobijanja podataka između standarda ne razlikuju bitno (VPK = PSV). Kod silikatnih stena zahtevana vrednost polirnosti je VPK_{48s}, a kod karbonatnih VPK_{30k}.

S obzirom na sve veću primenu evropskih standarda u zemljama u okruženju, u Srbiji je od strane Instituta za puteve ad, Beograd više godina unazad ukazivana potreba za ispitivanjima tehničkih svojstava stena iz aktivnih kamenoloma prema EN standardima u cilju formiranja nacionalnih tehničkih uslova usklađenih sa kvalitetom naših geoloških rezervi. Namenskog istraživanja, međutim, do danas nije bilo. Iskorak prema upotrebi evropskih standarda i postavljanju granica bez uključivanja potencijala geoloških resursa, urađen je propisivanjem Tehničkih uslova za građenje puteva u RS (JP Putevi Srbije, 2012b), po kojima su se izdvojile tri kategorije za habajući sloj (Z1, Z2, Z3) i tri kategorije za noseći sloj (Z4, Z5, Z6), sve prikazane u Prilogu 3. Ovi uslovi nalažu da se za izgradnju habajućeg sloja kolovozne konstrukcije koriste agregati koji

imaju propisan minimum vrednosti polirnosti u zavisnosti od klase mešavina zrna (Z1 i Z2 PSV₅₀; Z3 PSV₃₀). Međutim, kao što je već istaknuto u ranijim poglavljima, povećanje koeficijenta poliranja kamena, odnosno mikrohrapavosti zrna agregata, povezano je sa opadanjem drugih tehničkih svojstava kao što je na primer čvrstoća na pritisak, otpornost na habanje ili postojanost na dejstvo mraza. Zbog toga prednost obnovljivo hrapave površine mora biti balansirana sa drugim tehničkim svojstvima agregata kao što je na primer otpornost na habanje, postojanost na mraz i drugo. Agregat ne sme da se pohaba suviše brzo niti da se ispolira, a da pri tome ostane postojan na dejstvo mraza (Woodside & Woodward, 2002). U odnosu na važeće tehničke uslove za izradu asfalt betona date u standardu SRPS U.E4.014, otpornost na drobljenje ublažena je upotrebom kategorija LA_{20,25,30}. Međutim, strožiji kriterijum postavljen je za upijanje vode - WA₂₄ 1. Agregati iz naših aktivnih kamenoloma imaju vrednosti upijanja vode u dozvoljenom opsegu (krečnjak 0,003-2,5 %, srednja vrednost 0,4 %; dacit i andezit 0,1-2,3 %, srednja vrednost 0,8 %; dijabaz 0,2-0,8 %, srednja vrednost 0,4 %, Djokic & Milicevic, 2013). Međutim, česta su i odstupanja od postavljenog kriterijuma, zbog čega je potrebno ovaj kriterijum preispitati.

Novija regulativa u Srbiji bazirana na SRPS EN standardima predstavljena je Tehničkim specifikacijama koje predstavljaju plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija (PKK) prema kojima se vrši rehabilitacija putne mreže, a u okviru njih i tekuća ispitivanja kontrole kvaliteta materijala (Joint Venture Nievelt – CPL, 2015). Zahtevi kategorija agregata za autoput su sledeće: PSV₅₀, LA₂₀, M_{DE20}, WA₂₄ 1,6. Za puteve sa srednjim saobraćajnim oprećenjem uslovi za polirnost se ne propisuju (PSV_{NR}) već se samo prilažu rezultati ispitivanja (Prilog 3).

Hrvatska i Bosna i Hercegovina imaju svoje nacionalne tehničke uslove (Prilog 3) koji predstavljaju mešavinu zahteva iz standarda JUS U.E4.014 (za habajući sloj od asfalt betona) i evropskih standarda. Hrvatska ima strožije uslove kada je reč o polirnosti agregata u odnosu na bivše jugoslovenske standarde; zahtevane polirnosti u variraju u opsegu od VPK₅₆₋₄₄. Generalno, u Bosni i Hercegovini su na snazi slični zahtevi za polirnost agregata (PSV₅₀₋₃₀) sa našim zahtevima. Otpornost na drobljenje je propisana prema istim kriterijumima - u Hrvatskoj je u opsegu od LA₁₆₋₃₀, a u Bosni i Hercegovini od LA_{16s-35k}.

3. POSEBNI DEO

3.1 GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE ODLIKE

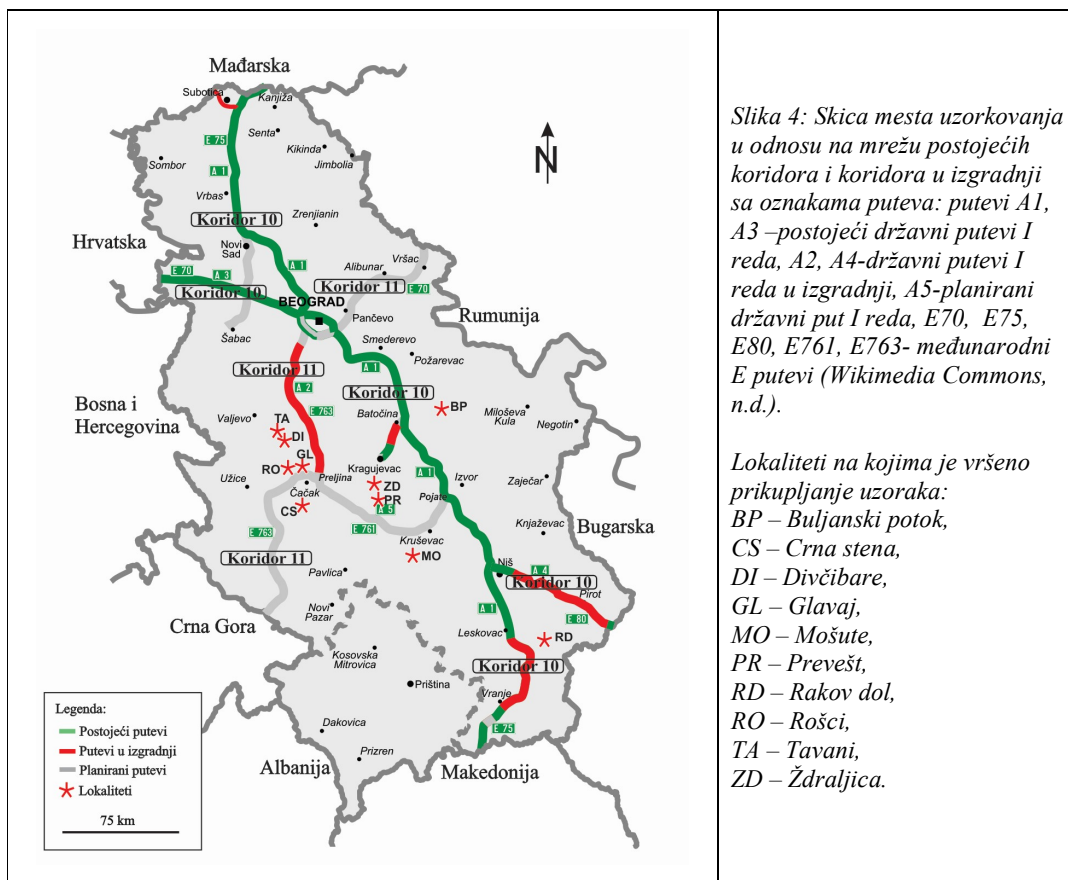
U ovom poglavlju će najpre biti prikazane osnovne geografske karakteristike ispitivanog područja, kao što su geografski položaj, putna infrastruktura i klima. Zatim će biti data definicija pojma ofiolit, a onda i geotektonska pripadnost ispitivanog područja i, na kraju, i kratak prikaz geološke građe svakog lokaliteta pojedinačno.

3.1.1 Geografske odlike

Za potrebe ove studije izvršeno je uzorkovanje bazičnih magmatskih stena u širem regionu Srbije na deset lokaliteta koji su smešteni unutar zapadnih, centralnih i istočnih delova Srbije između 42°55' i 44°12' severne geografske širine i 19°53' i 22°26' istočne geografske dužine. Lokaliteti na kojima je vršeno uzorkovanje su: Buljanski potok (BP), Crna stena (CS), Divčibare (DI), Glavaj (GL), Mošute (MO), Prevešt (PR), Rakov dol (RD), Rošci (RO), Tavani (TA) i Ždraljica (ZD). Najudaljeniji lokaliteti koji markiraju istražno područje su Tavani, Buljanski potok i Rakov dol. Svi se nalaze južno od Beograda i u blizini su glavnih putnih pravaca - Koridora 10 i 11 i putnog pravca Pojate - Preljina (E-761) koji ova dva Koridora povezuju (slika 4).

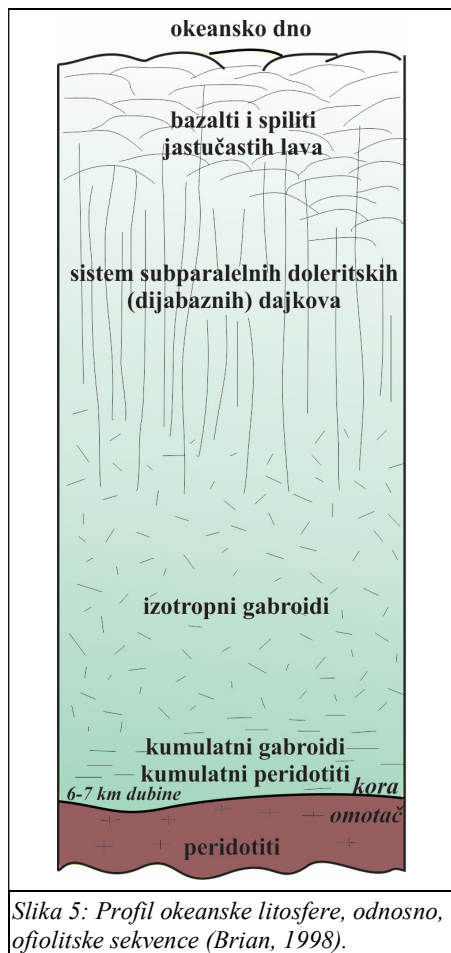
Koridor 10 jedan je od najvažnijih panevropskih saobraćajnih koridora između Austrije, Mađarske, Slovenije, Hrvatske, Srbije, Bugarske, Makedonije i Grčke. Delom je izgrađen, a delom su pojedine deonice u izgradnji. Prolazeći kroz Srbiju, Koridor 10 prati pravac doline reke Morave, koji se kod Niša razdvaja na dva kraka: glavni prati Južnu Moravu i dolinu Vardara do Soluna, a drugi - krak C, reku Nišavu prema Sofiji i Istanbulu.

S druge strane, auto-put Beograd - Južni Jadran, takozvani Koridor 11 (u izgradnji), predstavlja vezu između Srbije i Crne Gore, odnosno Beograda i Južnog Jadrana, i u širem smislu povezuje Rumuniju, Srbiju, Crnu Goru i Italiju. Izgradnjom ovih koridora transportni sistem Republike Srbije postaje kompatibilan sa transportnim sistemom Evropske unije, pa se očekuje ubrzanje tranzitnog saobraćaja, unapređenje nivoa usluga, olakšanje međunarodnih trgovinskih tokova i transporta putnika. Sve ovo doprinosi regionalnom razvoju i koheziji šireg područja Balkana (Koridori Srbije, 2016).



Srbija ima umereno kontinentalnu klimu. Prosečna godišnja temperatura vazduha u periodu od 1961. do 1990. godine za područja sa nadmorskom visinom do 300 m iznosila je 10,9 °C, za područja sa nadmorskom visinom od 300 do 500 m iznosila je 10 °C, a preko 1.000 m nadmorske visine oko 6 °C. Apsolutni zabeleženi maksimum iznosio je +42,3 °C u nižim predelima, a minimum -35,6 °C u planinskim područjima. Godišnje sume padavina u proseku rastu sa nadmorskom visinom. Godišnja visina padavina najmanja je u nižim predelima sa intervalom od 540 do 820 mm, u višim predelima (> 1.000 m) od 700 do 1.000 mm, a neki planinski vrhovi primaju godišnje do 1.500 mm padavina. U Srbiji je broj sunčanih sati godišnje u intervalu od 1.500 do 2.200 (RHMZ Srbije, 2016).

3.1.2 Definicija ofiolita i geotektonska pripadnost ispitivanog područja



Slika 5: Profil okeanske litosfere, odnosno, ofiolitske sekvence (Brian, 1998).

Ofioliti predstavljaju relikte okeanske litosfere ili kore koji se nalaze u alohtonom (tektonskom) položaju u odnosu na geološku sredinu u kojoj se formiraju (Coleman, 1977). Naime, tipična okeanska kora formira se na srednjookeanskim grebenima na kojima se vrši razmicanje okeanskih ploča. U fazi kada počinje zatvaranje okeanskog područja, okeanska ploča počinje da tone (subdukuje se) pod kontinentalnu ili drugu okeansku ploču. U tom stadijumu, međutim, jedan deo okeanske ploče neće potonuti, već će se obdukovati („najahati”) na kontinentalnu ili drugu okeansku ploču i taj obdukovani segment je zapravo ofiolit.

Građa okeanske ploče, odnosno, ofiolitskog kompleksa, obično se prikazuje kao profil ofiolitske sekvence (slika 5) koji je u najdubljim delovima predstavljen peridotitima omotača i kumulatnim peridotitima. Idući ka pličim

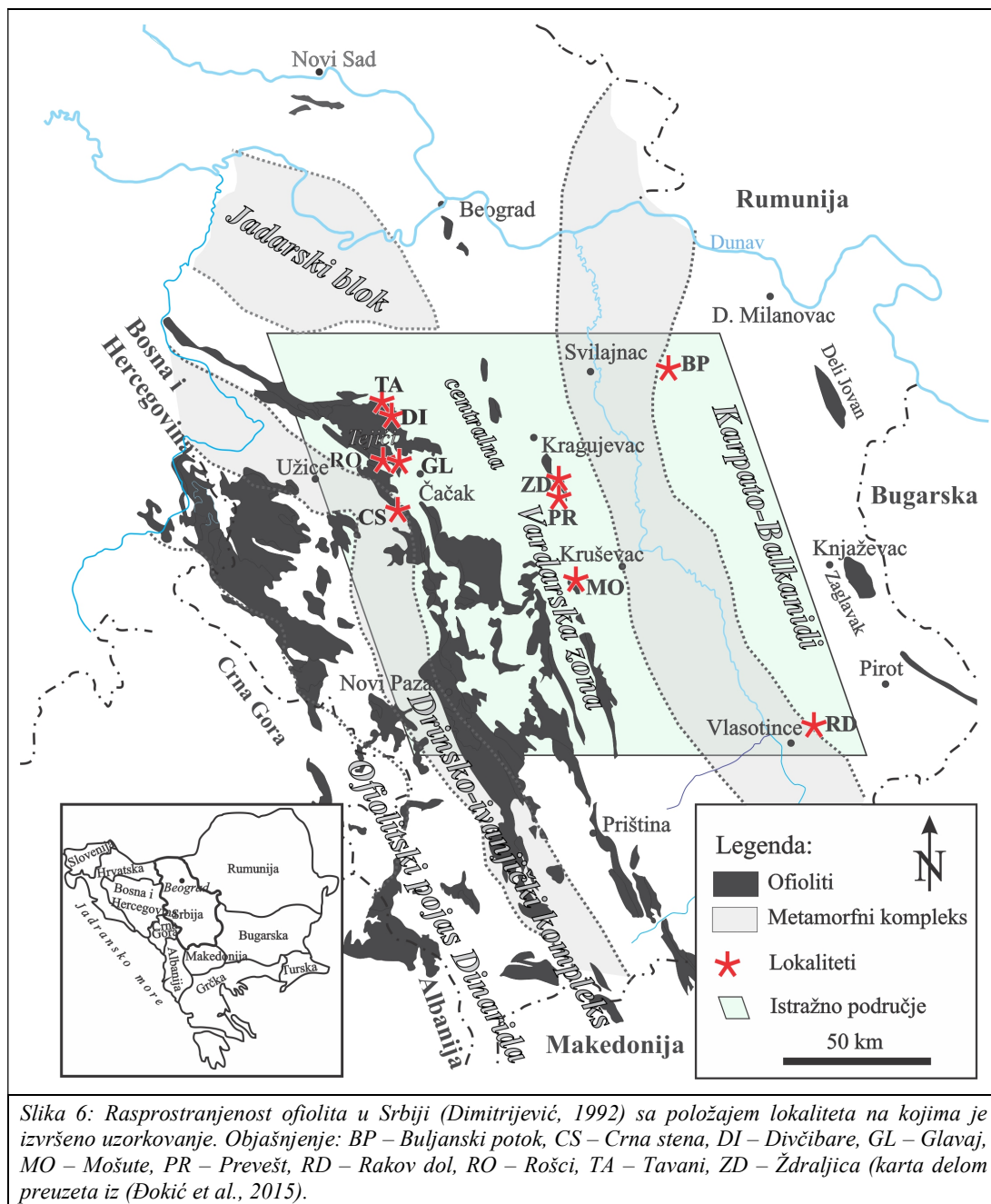
nivoima, slede bazične magmatske stene, i to najpre kumulatni gabroidi, zatim masivni gabroidi, pa zona u kojoj su razvijeni sistemi subparalelnih doleritskih (dijabaznih) dajkova. Iznad ove zone leže spiliti i i bazalti koji se javljaju kao jastučaste (pillow) lave, lavični slivovi ili hijaloklastiti, a njih prekrivaju dubokovodni sedimenti okeanskog dna. Ovo je prikaz idealno razvijene ofiolitske sekvence. Na terenu se, međutim, najčešće ne mogu naći svi njeni članovi bilo zbog toga što nisu formirani na srednjookeanskom grebenu ili zato što je jedan deo konzumiran tokom subdukcije.

U ovom radu polje istraživanja ograničeno je na članove gornje ofiolitske sekvence - gabrove, dolerite i spilite (slika 5). Peridotiti, iako široko rasprostranjeni u Srbiji, izuzeti su iz istraživanja zato što se peridotiti kod nas ne koriste kao tehnički građevinski kamen.

Ofioliti predstavljaju jednu od glavnih magmatskih formacija u Srbiji (slika 6). Pokrivaju više od 6.500 km² i predstavljaju veoma važan izvor kamenih agregata za izradu habajućih slojeva kolovoznih konstrukcija. U geotektonskom smislu, razlikujemo ofiolitske pojaseve Vardarske zone i Dinarida koji su mezozojske starosti i paleozojske ofiolite unutar Karpato-Balkanida istočne Srbije (Karamata & Krstić 1996; Karamata et al. 1997; Karamata et al. 2000; Resimić-Šarić et al. 2000; Karamata, 2006). Ovi ofiolitski pojasevi međusobno su razdvojeni metamorfnim kompleksima.

Mezozojski ofioliti su ostaci tetiske okeanske litosfere koja je uglavnom obdukovana u gornjoj juri (Robertson & Karamata 1994; Bortolotti et al. 2002; Karamata 2006; Schmid et al. 2008; Šarić et al. 2009 i drugi). Unutar Vardarske zone naši autori (na primer, Karamata et al. 2000; Resimić-Šarić et al. 2000; Karamata 2006) razlikuju istočni deo koji se sastoji pretežno od izotropnih (masivnih) gabrova, doleritskih (u literaturi poznatiji kao dijabazni) dajkova i jastučastih (pillow) lava sa hijaloklastitima, dok su peridotiti veoma retki. Zapadni deo Vardarske zone se karakteriše prisustvom serpentinisanih peridotita i gabrova, dijabaza i bazalta. Ofiolitski pojas Dinarida predstavljen je peridotitskim masivima, dok se gabrovi i dijabazi javljaju samo podređeno.

Paleozojski ofioliti predstavljeni su karpato-balkanskim ofiolitskim kompleksima Deli Jovana i Zaglavka i brojnim malim blokovima koji se, zbog veličine tela, ne mogu prikazati na kartama sitne razmere, ali koji se koriste kao sirovine za proizvodnju agregata u putnoj privredi. Ove pojave uglavnom se sastoje od peridotita, kumulatnih („slojevitih“) i izotropnih gabrova i dijabaza (Kalenić i dr. 1976; Krstić i dr. 1976; Krautner & Krstić 2004; Zakariadze et al., 2012 i drugi).



3.1.3 Geološke karakteristike užeg područja ležišta i nalazišta

U ovom poglavlju prikazane su geološke karakteristike užeg područja istraživanih ležišta i nalazišta. Podaci su mahom preuzeti sa Osnovnih geoloških karata (OGK) 1:100.000, iz odgovarajućih tumača za OGK, Geološkog atlasa Srbije 1:2.000.000 i Elaborata iz otvorenih kamenoloma. U prikazu je zadržan termin dijabaz za izlivnu i žičnu stenu gabro grupe (najčešće ofitske strukture), koji je u novijoj literaturi zamenjen

nazivom dolerit (više detalja u poglavlju o klasifikaciji stena). Nije dat grafički prikaz u vidu geoloških karata koje su citirane dalje u tekstu, a položaj ležišta u odnosu na osnovne geotektonske jedinice dat je na slici 6.

Divčibare

Ležište dijabaza Divčibare nalazi se na putnom pravcu Valjevo - Kosjerić, koje se na listu Valjevo OGK 1:100.000 (Mojsilović i dr., 1975a) nalazi na jugoistočnom delu. Samo ležište pripada Vardarskoj zoni koja se u ovom području pruža SZ-JI. Ova zona uklještena je između Drinsko-ivanjičkog elementa na zapadu i Jaderskog bloka na severu. U širem smislu ležište pripada izduženoj zoni koja je izgrađena od mezozojskih sedimentnih stena, zatim bazita, ultrabazita i sedimentno-vulkanogenih tvorevina dijabaz-rožnačke formacije (Mojsilović i dr., 1975b). Dijabazi i spiliti uglavnom su submarinski izlivi sinhroni sa sedimentima u koje su se izlili, debljine i do nekoliko stotina metara. Redi su manji proboji i žice u dijabaz-rožnačkoj formaciji (Mojsilović i dr., 1975b). U geološkoj građi šireg područja ležišta zastupljeni su dijabazi, gabrovi i serpentinisani harcбургiti. Kontakti među članovima ofiolita uglavnom su tektonski. Od sedimentnih članova dijabaz-rožnačke formacije na severu zastupljeni su glinci, peščari, rožnaci, konglomerati i breče (Mojsilović i dr., 1975a).

Tavani

Ležište dijabaza Tavani nalazi se na polovini putnog pravca Valjevo - Kosjerić, odnosno na jugoistočnom delu lista Valjevo OGK 1:100.000 (Mojsilović i dr., 1975a), na koti 50 m višoj od ležišta Divčibari. Genetski su ova dva ležišta povezana. Šire posmatrano, ležište pripada izduženoj zoni izgrađenoj od mezozojskih sedimentnih stena, bazita, ultrabazita i sedimentno-vulkanogenih tvorevina dijabaz-rožnačke formacije (Mojsilović i dr., 1975b). Ova zona uklještena je između Drinsko-ivanjičkog elementa i Jaderskog bloka u okviru Vardarske zone, sa pružanjem SZ-JI. Najveće mase dijabaza otkrivene su u zoni Tejića i na Bukovima, gde se javljaju kao izlivi i proboji u dijabaz-rožnačkoj formaciji (Mojsilović i dr., 1975b). U geološkoj građi šireg područja ležišta zastupljeni su dijabazi, gabrovi i serpentinisani harcбургiti. Kontakti među članovima ofiolita uglavnom su tektonski. Od sedimentnih članova dijabaz-rožnačke formacije zastupljeni su glinci, peščari, rožnaci, konglomerati i breče (Mojsilović i dr., 1975a).

Prevešt

Ležište Prevešt nalazi se kod istoimenog sela, nedaleko od Rekovca. Pregledom OGK 1:100.000 pozicionirano je na jugozapadnom delu lista Paraćin (Dolić i dr., 1981a) u sklopu Gledićkih planina. Geotektonski pripada Vardarskoj zoni. Dijabaz-rožnačka formacija izgrađena je pretežno od dijabaza, spilita, rožnaca, glinaca, peščara i kvarcita. Na prostoru šire okoline ležišta, između dijabaz-rožnačke formacije i krednih sedimenata nalaze se gabro-diorit-granitske asocijacije čiji se postanak vezuje za period između jure i krede. Sedimentni članovi krede imaju znatno rasprostranjenje zapadno od ležišta i sa njim su u tektonskom kontaktu (Dolić i dr., 1981b). Ležište je takođe u tektonskom kontaktu sa sedimentima donjeg i srednjeg miocena (Dolić i dr., 1981a). Generalno posmatrano, dijabazi sa leve strane čela kamenoloma imaju bolja tehnička svojstva u odnosu na dijabaze sa desne strane. Stenska masa je tektonski izlomljena što olakšava njenu eksploataciju. Procesi prenitizacije, hloritizacije, sericitizacije, lokalno i limonitizacije jače su izraženi kod dijabaza sa desne strane čela kamenoloma u odnosu na dijabaze sa leve strane (Munjas, 1997).

Ždraljica

U blizini Kragujevca, u oblasti Gledićkih planina, nalazi se nalazište dolerita Ždraljica. Na geološkoj karti OGK 1:100.000 nalazi se na severoistočnom delu lista Kraljevo (Marković i dr., 1968a). Geotektonski pripada Vardarskoj zoni. Gabrovske i dijabazne stene kao i njihovi prelazni tipovi otkriveni su jugoistočno od Kragujevca, a vezani su za stvaranje sedimenata dijabaz-rožnačke formacije. Šira okolina nalazišta Ždraljica izgrađena je od dijabaza, garbo-dijabaza i gabrova koji su zapadno navučeni na kontinuiranu formaciju fliša donje krede. Mestimično su pokriveni sedimentima miocena i pliocena (Marković et al., 1968a). U tektonskom su kontaktu sa Levačkom jedinicom na istoku (Dolić i dr., 1981). Područje Gledićkih planina je intenzivno ubrano, i u krajnjim fazama razlomljeno (Marković i dr., 1968b). Generalno pružanje grebena Gledićkih planina je SSZ-JJI.

Crna stena

Ležište dijabaza Crna stena nalazi se u blizini Čačka na planini Jelica. Na OGK 1:100.000, list Čačak, (Brković i dr., 1978a) kartirani su na jugoistočnom delu u blizini tektonskog graničnog pojasa Dinarida i Vardarske zone. Dijabazni izliv Crna stena

pripada Vardarskoj zoni. Šira okolina ležišta izgrađena je od paleozojskih metamorfita, ultramafita, stena mezozojskog kompleksa, sedimenata neogena i manjoj količini vulkanita. Deo melanža na Jelici izgrađen je od dijabaznih breča bez učešća sedimenata (Brković i dr., 1978b). Ležište odgovara pločastoj intruziji sa dva vrha od kojih je viši na koti 926 m. Generalnog je pružanja SZ-JI. Zahvaljujući pukotinama lučenja, koje se mogu lepo osmatrati na samom vrhu, dobija se utisak subparalelnog pločastog izliva sa debljinom ploča od 0,2-0,6 m i padom ka severoistoku. Na području izliva izdvojene su kartirane jedinice: dijabazi, dijabazne mikrobreče, gabro, amfiboliti i serpentiniti, pri čemu su dijabazi najzastupljeniji (Jovović, 2005a). Izlivi dijabaza leže ispod serpentina i serpentinisanih peridotita sa kojima su u tektonskom kontaktu. U okviru dijabaza izdvojeni su alteracioni produkti karbonatizacije, hloritizacije, silifikacije. Od mineralnih sirovina, pored dijabaza kao tehničkog građevinskog kamena, konstatovani su hromit i titanomagnetit (Jovović, 2005a). Primarna gabroidna (bazaltoidna) magma dala je različite diferencijate zavisno od nivoa očvršćavanja. Najveće mase izlile su se submarinski ili su se utisnule i očvrsle u veoma plitkom nivou. Tako su nastale velike količine dijabaza, manje spilita, a znatno manje gabrova i gabropegmatita, kao intermedijarnih i kiselih diferencijata (Jovović, 2005a).

Glavaj

Ležište Glavaj se nalazi blizu Čačka. Na geološkoj karti markiran je na severnom delu lista Čačak OGK 1:100.000. Pripada Vardarskoj zoni. Gabrovske stene su konstatovane duž doline reke Kamenice koje predstavljaju obodne delove peridotitskog masiva Maljena (Brković i dr., 1978b). U geološkoj građi šireg područja ležišta zastupljeni su serpentiniti, gabrovi, plagiograniti, dijabazi, sedimenti srednje i gornje jure, te srednjomiocenski sedimenti (Brković i dr., 1978a). Istraživanja su 2005. godine vršena za potrebe pronalaženja tehničkog građevinskog kamena. U odnosu na okontureno ležište, dijabaz je konstatovan u severoistočnom delu počevši od kote 400 m pa naviše, dok je gabro u nižem južnom i jugozapadnom delu. Prema jugu stenska masa je prekinuta koritom reke Kamenice, te je u tom smeru ležište limitirano. Što se tiče gabrova razlikuje se ofit-gabro, krupnozrni gabro, a u širim zonama kontakta sa dijabazom i gabrobreče. Konstatovana su i dekameterska izdvajanja u vidu gabropegmatita i kvarc-gabra. Kontakt i prelaz između dijabaza i gabra je u vidu rasedne zone regionalnog karaktera približnog pružanja SZ-JI (Jovović, 2005b).

Rakov dol

Ležište Rakov dol nalazi se u istoimenom selu kod mesta Vlasotince. Prema geološkom atlasu Srbije, ležište pripada ofiolitskom pojasu Karpato-Balkanida istočne Srbije. Kartirano je na području lista Vlasotince OGK 1:100.000 (Petrović i dr., 1973). Ova oblast se u geološkom pogledu može podeliti na područje kristalastih škriljaca Vlasinskog kompleksa, paleozojsko-mezozojskih flišnih sedimenata i sedimenata dijabaz-spilitske asocijacije, kao i tercijarnih dacito-andezita i sedimenata (Petrović i dr., 1973). Metagabrovi, metadijabazi i metaspiliti otkriveni su u zoni navlake Tumbe, za koju se smatra da je najverovatnije ordovicijske starosti. Uže područje ležišta gabra Rakov dol izgrađeno je od varijeteta gabra, gabra dijabaza i metadijabaza, koji leže preko serije ordovicijskih metamorfita izgrađenih od filita, metaargilita i sericitskih škriljaca. U povlati okonturenog ležišta izdvojena je pretaložena serija grusificiranog gabra sa žutim peskovitim glinama, verovatno neogene starosti. U gornjem delu izdvojeni su krupnozrni i srednjozrni gabrovi, koji naniže prelaze ka sitnozrnijim varijetetima. Jedan deo bazičnih sitnozrnijih stena (dijabazi i spiliti), tokom višefaznih metamorfnih procesa delimično je metamorfisan (metadijabazi), pri čemu je u potpunosti sačuvan prvobitni mineralni sastav i relikti strukture protolita. Ovi dijabazi nalaze se u blizini granice sa podinskim škriljcima (Milićević i Pavlović, 2011).

Buljanski potok

Ležište Buljanski potok nalazi se u blizini Svilajнца, a kartirano je na listu Lapovo OGK 1:100.000 (Vujisić i dr., 1981a). Ležište sa širom okolinom u geotektonskom pogledu pripada Lužničkoj zoni koja odgovara čeonom delu moravske navlake. U odnosu na pomenutu zonu, na karti je izdvojeno kristalasto jezgro Srpsko-makedonske mase sa leve strane i gornjačko-suvoplaninska zona Karpato-Balkanida sa desne strane. Prekriveni su sedimentima neogena i kvartara. U sastav Lužničke zone ulaze metamorfiti starijeg paleozoika i nemetamorfisani sedimenti gornjeg karbona i perma, delom i donjeg trijasa (Vujisić i dr., 1981b). Ležište se sa svojom širom okolinom odlikuje relativno jednostavnim strukturno-geološkim sklopom. Među stenama staropaleozojske starosti izdvojena je grupa sličnih varijeteta nazvana komagmatska asocijacija gabroidnih stena koju čine: piroksenski srednjozrni mikrogabrovi, albitisani dijabazi, olivinski gabrovi, anortoziti, gabra-porfiriti, kao i metamorfisani gabra-amfiboliti i pravi amfiboliti (Ilić, 2005a).

Mošute

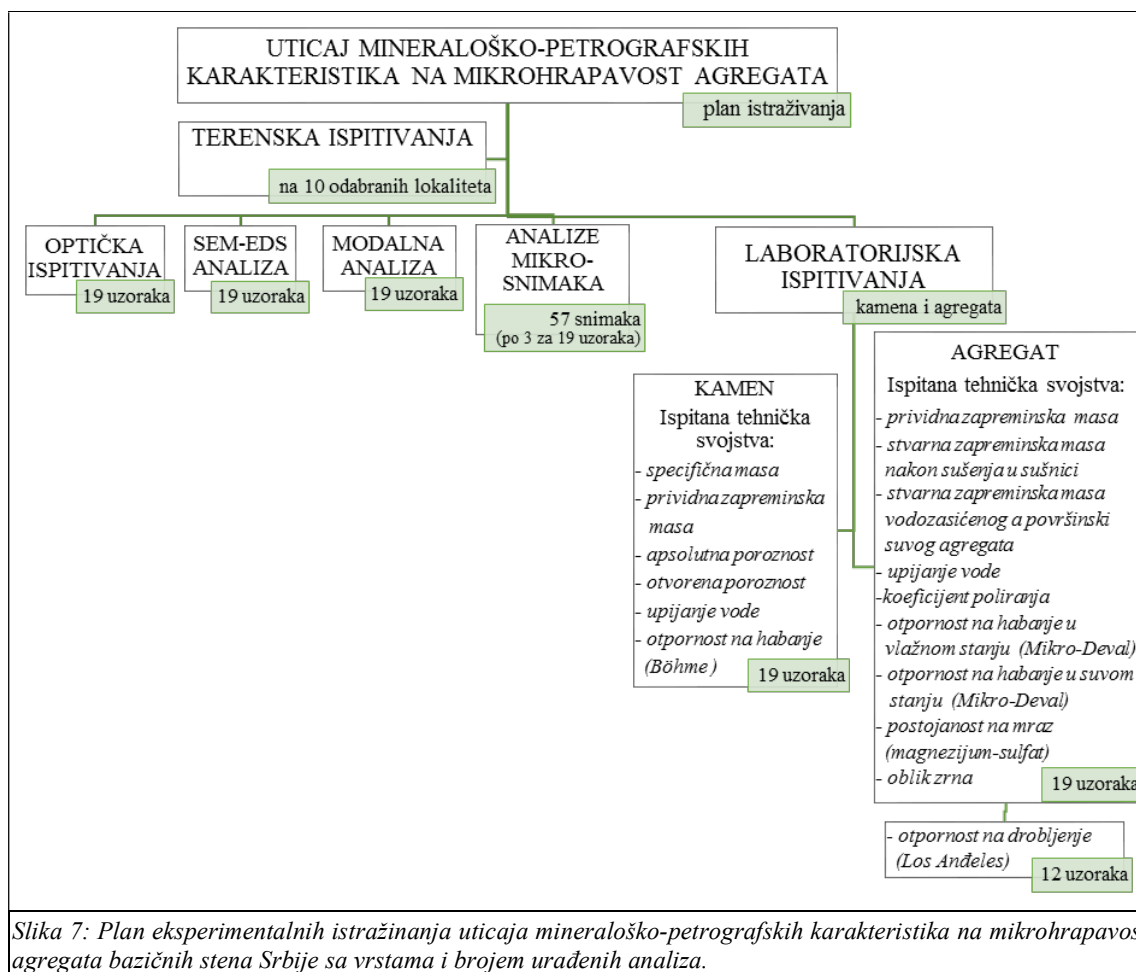
Nalazište gabra, dijabaza i spilita Mošute nalazi se na obroncima Kopaonika između jezera Zlatari i Brusa. Na OGK 1:100.000 lista Kruševac markirano je na jugozapadnom delu (Rakić i dr., 1976a). Najstarije stene jurske starosti predstavljene su serpentinisanim dunitima i harzburgitima koji se javljaju u uzanoj zoni između Razbojne i Veluća. U obliku manjih proboja u seprentinitima javljaju se gabrovi i plagiograniti (Rakić i dr., 1976b). Dijabaz-rožnačka formacija predstavljena je pojavama pilow-lava, debelim slivovima dijabaza i slabijim pojavama glinaca i rožnaca u nižim, i gruboklastičnim facijama u višim delovima. U okviru osnovnih geoloških istraživanja pri izradi OGK 1:100.000, list Kruševac (Rakić i dr., 1976a) na području sela Mošute i u njegojvoj široj okolini markirane su pojave dijabaza, od kojih su neke delimično istražene (Ilić, 2005b). Posmatrano na geološkoj karti, istočno od Mošuta izdvojene su tvorevine Srpsko-makedonske mase predstavljene gnajsevima i škriljcima sa sočivima mermera, amfibolita, kvarcita, i krednim flišnim sedimentima probijenim paleogenim granodioritima. Preko obe jedinice sačuvani su neogeni sedimenti.

Rošci

Nalazište dijabaza (spilita) Rošci nalazi se na samoj krivini prema istoimenom selu Rošci. Kartirani su i prikazani na severnom delu lista Čačak OGK 1:100.000 (Brković i dr., 1978a). Izgrađuju ga paleozojski metamorfiti, ultramafiti, stene mezozojskog kompleksa, sedimenti neogena i vulkaniti. Dijabazi se javljaju kao mase različitih dimenzija u asocijaciji sa sedimentnim članovima dijabaz-rožnačke formacije sa kojima su u tektonskom kontaktu. Veće rasprostranjenje imaju u području slivova Malog i Velikog Rzava, područja sela Kamenice na obodu gabroidnog masiva (Brković i dr., 1978b).

3.2 UZORCI I METODE

Za potrebe ove studije izvršeno je uzorkovanje stenskog materijala sa deset odabranih lokaliteta. Vodio se računa da se prikupe što raznovrsnije stene u pogledu mineralnog sastava, karakteristika sklopa, kao i vrste i stepena alteracija. Ispitivanjima su obuhvaćena tri kamenoloma koja su trenutno u eksploataciji (Divčibare, Prevešt i Rakov dol), jedan kamenolom koji je povremeno u eksploataciji (Tavani), zatim četiri ležišta koja su istražena, ali nisu u eksploataciji (Gavaj, Crna stena, Mošute, Buljanski potok), jedan napušten kamenolom (Ždraljica) i jedno nalazište koje još uvek nije detaljno ispitano (Rošci). Plan eksperimentalnih istraživanja uticaja mineraloško-petrografskih karakteristika na mikrohrapavost agregata sa odabranih lokaliteta prikazan je na slici 7.



Slika 7: Plan eksperimentalnih istraživanja uticaja mineraloško-petrografskih karakteristika na mikrohrapavost agregata bazičnih stena Srbije sa vrstama i brojem urađenih analiza.

3.2.1 Terenska ispitivanja

Terenska ispitivanja obuhvatila su obilazak odabranih lokaliteta i uzorkovanje stena za laboratorijska ispitivanja. Ova ispitivanja morala su da budu izvedena u identičnim uslovima da bi njihovim međusobnim poređenjem mogli da se izvedu jasni zaključci. Tehnička svojstva dvostruko (ili/višestruko) drobljenih agregata iz aktivnih kamenoloma i jednostruko drobljenih agregata u laboratorijskim uslovima teško su uporediva. Da bi se ovo izbeglo, uzorkovano je između 50 i 100 kg isključivo lomljenog kamena na svim lokalitetima, koji su predrobljeni u laboratorijskim uslovima.

U tabeli 2 dati su osnovni podaci o lokalitetima gde su uzeti uzorci, kao i oznake uzoraka. Odabir uzoraka vršen je na osnovu mineralnog sastava i petrografske heterogenosti: različitog stepena i prirode alteracija, raznolikosti u veličini zrna, tvrdini minerala, kao i sadržaju šupljina i pukotina. Izdvojeni su sitnozrni, krupnozrni i porfiroidni doleriti, gabrovi, spiliti, doleritne mikrobeče, (površinski) alterisani i ekstremno alterisani doleriti.

Tabela 2: Lista ispitivanih lokaliteta sa osnovnim GPS podacima i oznakama uzoraka.

No	Ležište/nalazište	Oznaka uzoraka	Gaus Krigerove kordinate (x,y)	Visina h (m)	List OGK 1:100.000
1.	Buljanski potok	BP-1, BP-2	4 894 654 7 528 006	202	Lapovo
2.	Crna stena 1	CS-1	4 849 702 7 449 252	912	Čačak
3.	Crna stena 2	CS-2	4 849 858 7 449 100	937	Čačak
4.	Divčibare	DI-1, DI-2	4 885 259 7 412 616	797	Valjevo
5.	Glavaj	GL	4 867 901 7 435 360	361	Čačak
6.	Mošute 1	MO-1	4 800 001 7 509 844	300	Kruševac
7.	Mošute 2	MO-2	4 798 227 7 509 874	505	Kruševac
8.	Prevešt	PR-S/P, PR-K	4 846 000 7 503 000	400	Paraćin
9.	Rakov Dol	RD-G, RD-D	4 753 734 7 616 881	700	Vlasotince
10.	Rošci	RO	4 866 123 7 436 943	409	Čačak
11.	Tavani	TA-K, TA-S	4 885 280 7 412 323	850	Valjevo
12.	Ždraljica	ZD-S, ZD-K, ZD-KA	4 860 459 7 498 818	439	Kraljevo

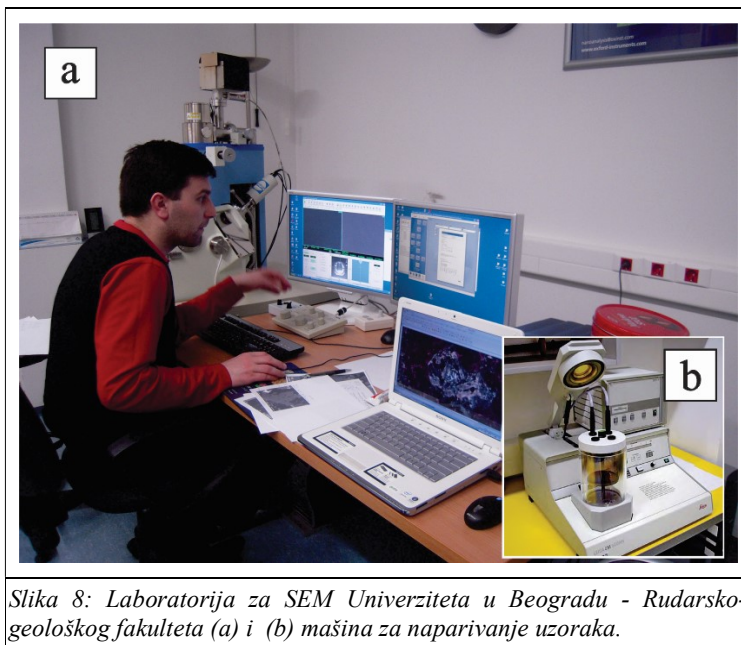
Prikupljena je kolekcija od ukupno devetnaest uzoraka (prema oznaci uzoraka u tabeli 2). Terenska ispitivanja i uzorkovanje obavljani su u periodu od maja 2012. godine do februara 2013. godine.

3.2.2 Optička ispitivanja

Mineraloško-petrografska ispitivanja kamena vršena su analizom petrografskih preparata pomoću polarizacionog mikroskopa za propuštenu svetlost tipa Leica DMLSP koji je povezan digitalnom kamerom Leica DFC 290HD. Korišćena je standardna procedura za optička petrografska ispitivanja koja je podrazumevala izradu tankih izbrusaka stena debljine oko 0,03 mm zalepljenih kanada-balzamom na staklenu pločicu (SRPS EN 12407:2008). Na osnovu optičkih ispitivanja određeni su vrste i varijeteti stene, struktura i tekstura, mineralni sastav, a konstatovane su i alteracije na primarnim mineralima, prisustvo šupljina, prslina ili žica.

3.2.3 SEM-EDS analiza

SEM-EDS (*scanning electron microscopy-energy dispersive spectrometer*) merenja su izvršena u Laboratoriji za SEM Univerziteta u Beogradu - Rudarsko-geološkog fakulteta, na Departmanu za mineralogiju, kristalografiju, petrologiju i geochemiju (slika 8).



Slika 8: Laboratorija za SEM Univerziteta u Beogradu - Rudarsko-geološkog fakulteta (a) i (b) mašina za naparivanje uzoraka.

Morfološka i hemijska analiza uzoraka rađena je na poliranim preparatima posebno izrađenim za potrebe primene SEM-EDS analize. Preparati su pre analiziranja bili prekriveni ugljenikom na naporivaču BALTEC-SCD-005 radi postizanja elektroprovodljivosti analiziranog materijala. Uslovi merenja na mikroskopu tipa JEOL JSM-6610LV, uz upotrebu detektora za energo-disperzivnu spektrometriju (EDS) (model: X-Max Large Area Analytical Silicon Drift connected with INCA Energy 350 Microanalysis System) bili su sledeći: kao izvor elektrona korišćeno je volframsko vlakno, a napon pod kojim je instrument radio iznosio je 20 kV. Za izradu kvantitativnih hemijskih analiza minerala korišćeni su spoljašnji standardi, pri čemu se vodilo računa da se za određeni hemijski element koristi onaj standard koji ima približno isti sadržaj tog elementa (tabela 3).

Tabela 3 : Spoljašnji standardi korišćeni za hemijske analize sastava minerala

Hemijski element	Standard	Hemijski element	Standard
Al	albit, almandin, ortoklas	Mn	granat spesartin, rodonit
Ca	apatit, diopsid, kalcit, volastonit	Na	albit
Cl	kalijum hlorid	O	feri-oksidi
Cr	hrom oksid	P	apatit
Cu	bakar	S	anhidrit
F	apatit, kalcijum fluorid	Si	albit, diopsid, kijanit, ortoklas
Fe	almandin, feri-oksidi	Ti	benitoit, titanium monoksidi
K	ortoklas	V	vanadijum
Mg	diopsid, olivin	Zr	cirkon

Hemijske analize prikazane su kao sume sadržaja oksida glavnih elemenata (masenih % - mas.%) i nisu normalizovane na 100 %. Granica detekcije je oko 0,1 mas.%. Za ceo set uzoraka urađeni su i snimci povratno rasutih elektrona (*back scattered electron* - BSE).

3.2.4 Modalne analize

Modalne analize za dobijanje zapreminskog sadržaja minerala u svih 19 uzoraka urađene su pomoću poluautomatskog brojača (Point Counter-a) povezanog sa polarizacionim mikroskopom za propuštenu svetlost. Za svaki ispitivani uzorak pregledano je od dva do pet petrografskih preparata. Metoda se zasniva na brojanju svake mineralne faze pomeranjem duž niza paralelnih linija preko celog preparata. Da

bi se dobio statistički validan podatak, kao i da bi se što preciznije definisali prisutni minerali, obrađeno je oko 2.000 pojedinačnih tačaka po uzorku na Point Counter-u kojima je pridodata i modalna analiza urađena na BSE snimcima. U slučaju ispitivanih stena nije bilo pojave orijentisanih zrna jednog ili više minerala i ukupna površina uzorka je bila dovoljno veća od maksimalnog prečnika zrna prisutnih minerala, tako da su nedostaci ove metode svedeni na minimum.

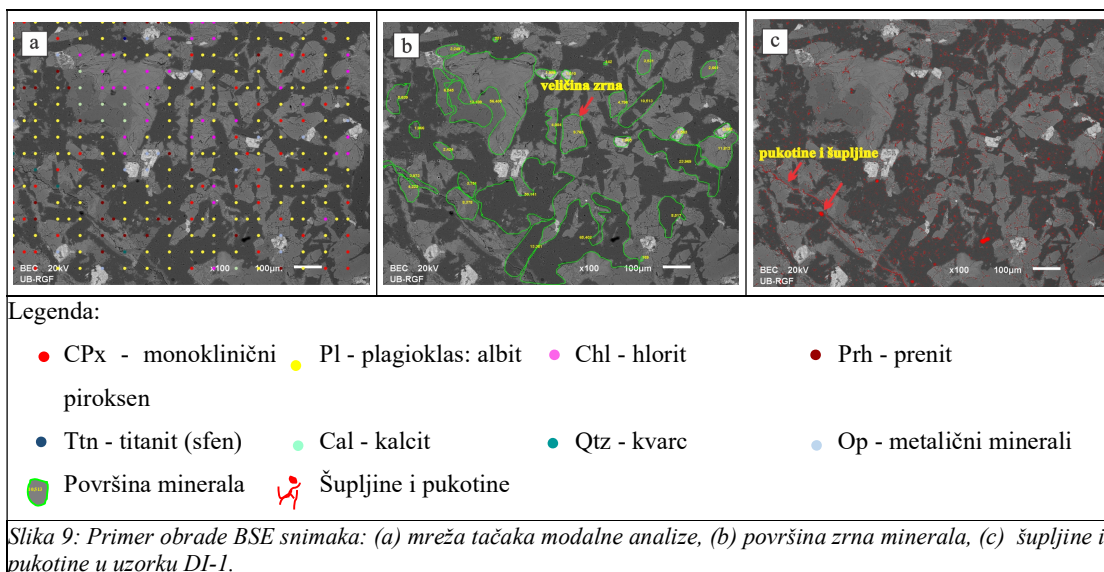
3.2.5 Analize BSE snimaka

Analiza BSE snimaka omogućila je odredbu modalnog sastava stena, kao i opservaciju mikroodnosa između mineralnih zrna, uočavanje razlike u površini prisutnih mineralnih faza, ali i utvrđivanje rasporeda i veličine mikrošupljina i pukotina. Za ispitivane uzorke stena snimljeni su BSE snimci na uvećanjima 100x, 200x i 300x kako bi se odabrali snimci onog uvećanja koji su reprezentativni za planirane analize (odredbu modalnog sastava, mikroodnosa između mineralnih zrna, markiranje sadržaja šupljina i mikropukotina). Na primer, šupljikavost stene bolje se vidi na većem uvećanju, ali se veličina zrna gabrova može meriti samo na manjem uvećanju. Nakon velikog broja pokušaja, odabrano je uvećanje od 100x kao optimalno rešenje. Za svaki uzorak obrađena su po tri reprezentativna snimka sa uvećanjem 100x, odnosno obrađeno je ukupno 57 snimaka pomoću JMicro Vision 1.2.7. programa (Nicolas, 2002). Modalne analize prisutnih faza na izabranim površinama rađene su po kvadratnoj mreži (ukupno 300 pravilno raspoređenih tačkastih analiza) (slika 9a).

Na istim BSE snimcima učinjen je pokušaj da se odredi površina zrna (izražena u μm^2) minerala u steni (slika 9b). Da bi se obezbedila reprezentativnost analiziranih površina, s obzirom na malu veličinu vidnog polja, analize su vršene na po tri BSE snimka. Okontureno je po nekoliko zrna svakog minerala, a njihova srednja vrednost prikazana je u tabelama ispod svakog BSE snimka (slike 60-78d-f). Izračunata je i ukupna srednja vrednost površine zrna svih minerala u steni. Ovaj postupak, međutim, zahteva dodatne provere i razradu kako na većem broju snimaka i za veći broj zrna, tako i za različite vrste stena, pa se podaci korise samo za grubu procenu krupnoće stena i njihovo međusobno poređenje.

Na slici 9c markirana je veličina šupljina i pukotina u ispitivanim stenama i izražena u procentima. Različite nijanse sive na ovim snimcima rezultat su različitog hemijskog sastava prisutnih mineralnih faza. Minerali koji u svom hemijskom sastavu

sadrže elemente sa većim rednim, a ujedno i većim masenim brojem su svetlije sive, a minerali sa „lakšim” hemijskim elementima su tamniji.



Podešavanjem kontrasta i osvetljenja u toku izrade BSE snimaka bilo je moguće uočiti i najsitnije razlike u hemijskom sastavu. Potpuno crne oblasti predstavljaju šupljine i pukotine.

3.2.6 Laboratorijska ispitivanja

Laboratorijska ispitivanja obuhvatila su ispitivanja kamena i agregata. Njima je prethodila priprema materijala za dalja ispitivanja koja su podrazumevala sledećih nekoliko radnji. Uzorci lomljenog kamena, dopremljeni su sa terena u obeleženim vrećama. Najpre su u laboratoriji razvrstani na varijetete prema makroskopskim mineraloško-petrografskim svojstvima. Zatim su od svakog varijeteta izabrani reprezentativni uzorci za ispitivanja tehničkih karakteristika kamena koji su obuhvatili i izbor pogodnih uzoraka za pripremu opitnih tela. S obzirom da opiti za ispitivanje agregata propisuju korišćenje različitih frakcija drobljenog agregata, uzorkovani materijal je pre izvođenja svih opita morao da se predrobi. Komadi lomljenog kamena i ostaci od rezanja kamena pojedinačno su za svaki varijetet predrobljeni u laboratorijskoj drobilici.

Drobljenje je izvršeno u Laboratoriji za kamen i kamene agregate Instituta za puteve ad, Beograd na udarnom granulatoru UG-2 sa čekićima. Od formiranih agregata izdvajali su se opitni uzorci za ispitivanja tehničkih karakteristika agregata. Bitno je da

su svi uzorci pripremani u istom režimu: jednostruko su izdrobljeni, oprani, osušeni, prosejavani (slika 10) i odmeravani za predviđena laboratorijska ispitivanja.



Posle pripreme uzoraka, primenjene su različite metode ispitivanja kamena i agregata koje su date u tabeli 4.

Tabela 4: Metode ispitivanja i uzorci na kojima je izvršeno ispitivanje.

	Metode	Ispitivani uzorci
Kamen	Specifična masa, prividna zapreminska masa, apsolutna i otvorena poroznost (SRPS EN 1936)	svi
	Upijanje vode kamena (SRPS EN 13755)	svi
	Otpornost na habanje - Beme (SRPS B.B8.015)	svi
Agregat	Prividna zapreminska masa agregata, stvarna zapreminska masa nakon sušenja u sušnici, stvarna zapreminska masa vodozasićenog a površinski suvog i upijanje vode (SRPS EN 1097-6)	svi
	Koeficijent poliranja kamena (SRPS EN 1097-8)	svi
	Otpornost na habanje u vlažnom i suvom stanju - Mikro-Deval (SRPS EN 1097-1)	svi
	Otpornost na drobljenje - Los Angeles (SRPS B.B8.045)	CS-1, DI-2, MO-2, PR-K, PR-S/P, RD-D, RD-G, TA-K, TA-S, ZD-K, ZD-KA, ZD-S
	Otpornost na mraz (SRPS EN 1367-2)	svi
	Oblik zrna (SRPS EN 933-4)	svi

Opiti su izvedeni na svim uzorcima, osim opita otpornosti na drobljenje koji zahteva veću količinu posebno pripremljenog materijala, a koji nije bilo moguće pripremiti za sve uzorke.

3.2.6.1 Metode ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika kamena

Fizičko-mehanička ispitivanja kamena vršena su u Laboratoriji za kamen i kamene agregate Instituta za puteve ad, Beograd prema metodama saglasnim sa evropskim i srpskim standardima. Ova ispitivanja su obuhvatila ispitivanja upijanja vode, određivanje zapreminskih masa, poroznosti kao i otpornosti na habanje kamena.

3.2.6.1.1 Upijanje vode

Upijanje vode utvrđeno je prema proceduri iz standarda (SRPS EN 13755:2009), s razlikom što je za ispitivanje umesto opitnih tela oblika cilindra, kocke ili prizme dimenzija 70 ili 50 mm, izdvojeno po pet uzoraka nepravilnog oblika veličine između 150 g i 350 g. Razlog ove korekcije je taj što se od izabrane količine lomljenog kamena za sve varijetete na terenu nije moglo iseći dovoljno opitnih tela pravilnog geometrijskog oblika. Princip metode za određivanje upijanja vode zasniva se na tome da se uzorci potapaju u vodu na 20 °C do 1/2 njihove visine (t_0). Nakon sat vremena (t_0+60 min) dodaje se voda do 3/4 visine uzoraka, a posle dva sata (t_0+120 min) tela se potpuno potapaju u vodu. Ostaju u vodi do dva dana (t_0+48 h), nakon čega se prvi put vade iz vode, prosuše lanenom krpom i mere se mase. Ponovo se potapaju u vodu i svakih narednih 24 h mere. Merenja se ponavljaju sve dok se ne postigne konstantna masa, odnosno kada razlika između dva uzastopna merenja ne prelazi 0,1% mase prvog merenja. Rezultat ispitivanja izražava se formulom:

$$Ab = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \quad [1]$$

gde je Ab - upijanje vode kamena izražena u (mas. %); u ovoj studiji obeleženo kao WAs; m_s – masa kamena u vodozasićenom, a površinski suvom stanju (g), m_d – masa kamena u suvom stanju (g).

3.2.6.1.2 Specifična i prividna zapreminska masa, ukupna i otvorena poroznost

Od svih devetnaest uzoraka kamena izdvojeno je po pet epruveta/opitnih tela, na kojima su ispitane zapreminske mase, i izračunate su njihove srednje aritmetičke

vrednosti. Uzorci kamena su nakon zasićenja vodom, mereni i na hidrostatičkoj vagi. Rezultati su obračunati po formuli (SRPS EN 1936:2009):

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} \quad [2]$$

gde je ρ_b - prividna zapreminska masa (u ovoj studiji izražena u Mg/m^3 , da bi dobijene vrednosti mogle da se porede sa zapreminskim masama agregata, m_d – masa kamena u suvom stanju (g), m_s – masa kamena u vodozasićenom a površinski suvom stanju (g), m_h – masa kamena uronjenog u vodu (g), ρ_{rh} – gustina vode na 20 °C.

Kamen koji je imao zapreminsku masu najbližu srednjoj vrednosti iz grupe od po pet uzoraka svakog varijeteta izdvojen je za dalja ispitivanja. Od njega je odvojen komad, sprашen i ispitana je specifična masa *Le Chatelier*-ovom metodom i piknometarskom metodom paralelno. Oko 10 g uzorka sprашenog i prosejanog na situ 0,063 mm sipano je u piknometar zapremine od 50 ml. U prvom slučaju biretom je dosipana destilovana voda do crte (50 ml) i zabeležena količina vode koja je zaostala u bireti. Isti piknometar je (kada se voda izbistрила) izmeren je suv, zatim sa uzorkom i vodom, i samo sa vodom. Korišćene su dole prikazane formule za dobijanja rezultata, ali su samo oni uzorci kod kojih su obe metode dale isti rezultat, ušle u dalja razmatranja.

Vrednost specifične mase određene primenom *Le Chatelier*-ove metode izračunata je po formuli:

$$\rho_r = \frac{m_e}{V_s} \times \rho_{rh} \quad [3]$$

gde je ρ_r - specifična masa izražena u Mg/m^3 , m_e – masa kamena u suvom stanju (g), V_s – zapremina vode u bireti (cm^3), ρ_{rh} – gustina vode na 20 °C.

Vrednost specifične mase određene primenom metode piknometra računa se po formuli:

$$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} \times \rho_{rh} \quad [4]$$

gde je ρ_r - specifična masa kamena izražena u Mg/m^3 (u istim jedinicama kao i za specifične mase agregata), m_e – masa kamena u suvom stanju (g), m_1 – masa piknometra, vode i uzorka (g), m_2 – masa piknometra i vode (g), ρ_{rh} – gustina vode na 20 °C.

Na osnovu podataka zapreminskih i specifičnih masa izračunata je apsolutna i otvorena poroznost po formulama:

$$p_t = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) \times 100 \quad [5]$$

gde je ρ_t – apsolutna ili totalna poroznost izražena u (%), ρ_b - zapreminska masa (Mg/m^3), ρ_r - specifična masa (Mg/m^3); a otvorena poroznost prema formuli:

$$p_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad [6]$$

gde je ρ_o – otvorena poroznost izražena u (%), m_s – masa kamena u vodozasićenom, a površinski suvom stanju (g), m_d – masa kamena u suvom stanju (g), m_h – masa kamena uronjenog u vodu (g).

3.2.6.1.3 Otpornost na habanje struganjem (Beme)

Iz krupnijih komada lomljenog kamena isečena su opitna tela oblika kocke za ispitivanje otpornosti prema habanju po Beme-u (SRPS B.B8.015:1984). Postupak ispitivanja podrazumeva da se kamena kocka dužine ivice 7,1 cm (površina osnove 50 cm^2) pritisne tegom od 300 N i haba referentnim brusnim prahom. Habanje se izvodi na horizontalnoj ploči koja rotira i koja se svakih 22 obrtaja posipa novom količinom (20 g) brusnog praha od elektrokorunda (slika 11).



Pre i nakon 440 obrtaja opitnog tela po kružnoj ploči meri se masa kamene kocke.

Rezultat se prikazuje kao gubitak zapremine epruvete po formuli:

$$Hb = \frac{m}{\rho} \times \frac{P}{50} \quad [7]$$

gde je Hb - otpornost na habanje izražena kao gubitak zapremine materijala skinutog habanjem ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$), m – gubitak mase (g), ρ_b – prividna zapreminska masa kamena (cm^3), P – površina stranice koja se haba (cm^2).

3.2.6.2 Metode ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika agregata

Fizičko-mehanička svojstva agregata utvrđena su prema metodama propisanim evropskim standardima, osim otpornosti na drobljenje koja je rađena po srpskom standardu (kompatibilan sa američkim). Sva ispitivanja vršena su u akreditovanoj Laboratoriji za kamen i kamene agregate Instituta za puteve ad, Beograd, a obuhvatila su ispitivanja zapreminskih masa i upijanja vode agregata, polirnost, zatim otpornosti na habanje, drobljenje i mraz. Određen je i oblik zrna agregata.

3.2.6.2.1 Zapreminske mase agregata i upijanje vode

Zapreminske mase su određene piknometarskom metodom (SRPS EN 1097-6:2007; SRPS EN 1097-6 A1:2009). Pripremljeni uzorci agregata u frakciji 10/14 mm potapani su u piknometre sa vodom temperature oko 22 °C u periodu od 24 h. Nakon perioda kvašenja i pažljivog protresanja piknometara u cilju oslobađanja zaostalog vazduha, piknometri su dopunjavani vodom i merena je masa piknometra, uzorka i vode. Zatim se svaki uzorak pažljivo vadio iz piknometra, prosušio lanenom krpom i izmerila masa vodom zasićenog, a površinski suvog uzorka. Treće merenje obuhvatilo je merenje mase piknometra i vode. Pomoću sledećih formula računale su se zapreminske mase agregata:

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \times \rho_w \quad [8]$$

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \times \rho_w \quad [9]$$

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \times \rho_w \quad [10]$$

gde je ρ_a – prividna zapreminska masa agregata (Mg/m^3), ρ_{rd} – stvarna zapreminska masa agregata nakon sušenja u sušnici (Mg/m^3), ρ_{ssd} – stvarna zapreminska masa agregata vodozasićenog a površinski suvog (Mg/m^3), M_1 – masa vodozasićenog a površinski suvog agregata (g), M_2 – masa piknometra, uzorka i vode (g), M_3 – masa piknometra i vode (g), M_4 – masa suvog uzorka (g), ρ_w – zapreminska masa vode na ispitnoj temperaturi.

Upijanje vode obračunato je na istim uzorcima i merenjima masa kao u gore opisanom postupku po formuli:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4} \quad [11]$$

gde je WA_{24} – upijanje vode agregata nakon jednodnevnog potapanja (mas.%), u ovoj studiji obeleženo kao WA_a .

3.2.6.2.2 Koeficijent poliranja kamena

Koeficijent poliranja kamena ispitivan je u laboratorijskim uslovima prema metodologiji opisanoj u standardu SRPS EN 1097-8:2010. Poliranje agregata vršeno je u mašini za ubrzano poliranje, a zatim je meren otpor prema klizanju pomoću britanskog klatna. Mašina za poliranje sastoji se od vertikalnog metalnog točka na koji se ređaju epruvete sa zrnima agregata i epruvete sa zrnima kontrolnog kamena. Epruvete čine 35-50 zrna agregata, granulacije 7/10 mm, uronjena u epoksi smolu. Zrna su za svaki varijetet ručno izdvajana, ređana pincetom u metalne kalupe, prekrivana peskom i zalivana smolom (slika 12a, 12b). U ovom laboratorijskom opitu koriste se dve vrste referentnih agregata. Prvi je kontrolni kamen, sa srednjom vrednošću PSV u opsegu od 50 do 60. Epruvete sa ovim agregatom uvek se pripremaju zajedno sa ostalim epruvetama i služe za kontrolu aparata za ubrzano poliranje. Pročitane vrednosti polirnosti agregata koriguju se vrednostima kontrolnog agregata prema dole navedenoj formuli [12]. Drugi referentni materijal je kamen iz Criggion kamenoloma za kontrolu gumice klatna za ispitivanje trenja, sa srednjom vrednošću PSV u opsegu od 60 do 65. Pripremljene epruvete se ređaju na točak za ubrzano poliranje (po dve epruvete za svaki agregat, odnosno 12 epruveta sa ispitnim agregatima i dve epruvete sa PSV kontrolnim kamenom).



Pri postavljanju laboratorijskog opita od strane Transport Research Laboratory (TRL) laboratorije, pošlo se od zahteva da mikrohrapave karakteristike agregata polirane u laboratorijskim uslovima treba da budu usaglašene sa stanjem agregata u habajućem sloju puta nakon izvesnog vremena eksploatacije pod saobraćajnim opterećenjem. Ispitivanja su pokazala da je šest sati poliranja optimalan vremenski period (Design Manual for Roads and Bridges - DMRB, 2006). Nakon poliranja epruvete se vade iz mašine za ubrzano poliranje i potapaju 2 h u vodu zajedno sa prethodno pripremljenom epruvetom sa referentnim kamenom za proveru aparata za ispitivanje trenja. Epruvete se po određenom redosledu stavljaju na klatno za ispitivanje trenja (slika 13).

Opit podrazumeva da se ređaju dva točka na mašinu za ubrzano poliranje po istoj proceduri. Očitane vrednosti polirnosti iz dva točka za jedan agregat sabiraju se i predstavljaju kao srednja

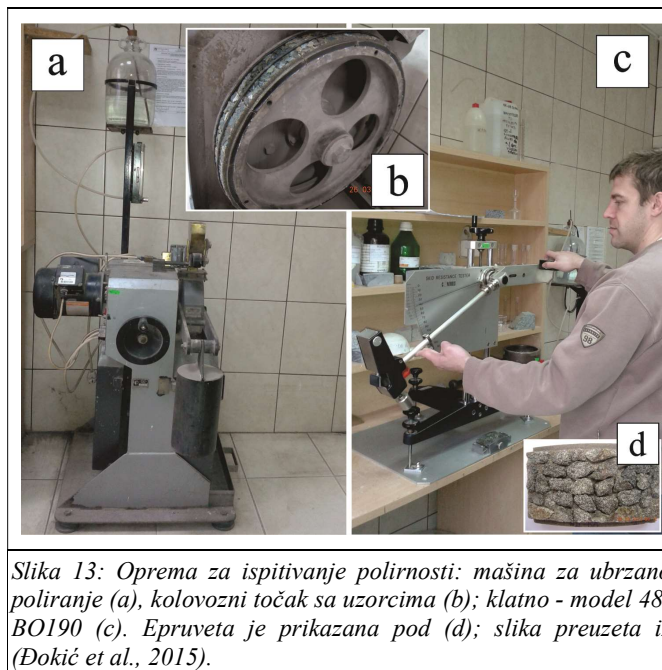
vrednost. Unakrsni rezultati ispitivanja ne smeju da se razlikuju više od 5 jedinica.

Rezultat se izračunava po formuli :

$$PSV = S + (52,5) - C \quad [12]$$

gde je PSV – koeficijent poliranja kamena, S – srednja vrednost trenja agregata, C - srednja vrednost trenja kontrolnog kamena.

U ovoj studiji agregati za izradu epruveta dobijeni su drobljenjem lomljenog lamena u laboratorijskim uslovima. Ovako dobijeni rezultati generalno su viši nego ako se koriste agregati koji su pretrpeli barem dvostruko drobljenje i separisanje u kamenolomima. Ovo je stoga što su u slučaju višestrukog drobljenja inicijalne površine zrna



Slika 13: Oprema za ispitivanje polirnosti: mašina za ubrzano poliranje (a), kolovozni točak sa uzorcima (b); klatno - model 48-BO190 (c). Epruveta je prikazana pod (d); slika preuzeta iz (Đokić et al., 2015).

agregata manje hrapave, a rezultati polirnosti unutar samog opita ujednačeniji. Bez obzira na napred izneto, agregati su proizvedeni u jednom režimu, a rezultati se mogu međusobno porediti što je za ovu studiju svrsishodnije.

3.2.6.2.3 Otpornost na habanje (mikro-Deval)

Otpornost na habanje agregata određena je pomoću mikro-Deval koeficijenta. Ovaj koeficijent predstavlja procenat gubitka mase prvobitnog uzorka koji je usitnjen habanjem u specijalizovanoj mašini i prosejan na situ 1,6 mm (slika 14a). Habanje je ispitivano u vlažnom (M_{DE}) i suvom (M_{DS}) stanju na referentnoj frakciji 10/14 mm (SRPS EN 1097-1:2013). Princip metode se zasniva na tome da se 500 g pripremljenog uzorka stavi u bubanj zajedno sa 5 kg čeličnih kuglica, prečnika 10 mm i doda 2,5 l vode (referentna metoda) kod ispitivanja u vlažnom stanju (slika 14b, 14c) ili se radi na suvo (slika 14d, 14e). Četiri bubnja sa uzorcima se polože na dve osovine koje rotiraju oko horizontalne ose. Nakon 12.000 obrtaja materijal sa kuglicama se izvadi iz bubnja, magnetom se odvoje čelične kuglice. Preostali materijal se osuši, proseje se na situ 1,6 mm i izmeri se masa nakon habanja. Istovremeno na mašini može da se haba četiri uzorka. Rezultat se obračunava kao srednja vrednost dva opitna uzorka po formuli:

$$M_{DE,DS} = \frac{500 - m}{5} \quad [13]$$

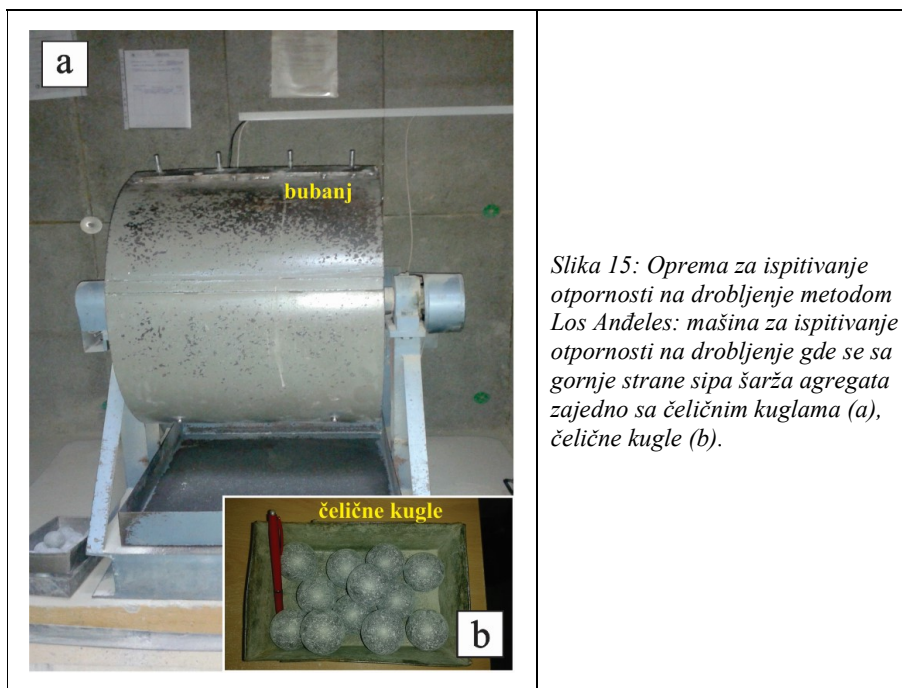
gde je M_{DE} – mikro-Deval koeficijent (%) u vlažnom stanju, M_{DS} – mikro-Deval koeficijent (%) u suvom stanju, m – masa ostatka agregata na situ 1,6 mm.



Kod ispitivanja u suvom stanju postupak je isti kao i za vlažno stanje, samo što se voda ne dodaje u bubanj. Formula za obračun rezultata je ista.

3.2.6.2.4 Otpornost na drobljenje (Los Angeles)

Otpornost na drobljenje po metodi Los Angeles utvrđena je po standardu SRPS B.B8.045:1978 za gradaciju A, B i retko C. Navedenim gradacijama se označava granulometrijski sastav formiranog opitnog uzorka. Metoda je kompatibilna sa američkim standardima ASTM C 131–64 T i AASHTO T 96–65. Los Angeles nije bilo moguće uraditi po EN standardu zbog teškoće izdvajanja opitnog uzorka (5 kg referentne frakcije 10/14 mm, uskog granulometrijskog sastava, nije bilo moguće izdvojiti iz 50-100 kg drobljenog kamena u laboratorijskim uslovima za sve uzorke). U najvećem broju uzoraka formirana je gradacija B agregata (DI-2, PR-S/P, RD-G, RD-D, ZD-S, ZD-KA, ZD-KA), gde se test uzorak sastoji od zrna veličine od 10 mm do 20 mm; manje gradacija A agregata (TA-K, TA-S, CS-1, MO-2, PR-K) sa veličinom zrna agregata od 10 mm do 40 mm, a samo je u jednom uzorku (ZD-S) formirana gradacija C agregata veličine zrna od 5 mm do 10 mm. Metoda se sastoji u stavljanju pripremljenog uzorka u bubanj (slika 15a) zajedno sa 8-12 čeličnih kugli (u zavisnosti od gradacije) prečnika oko 5 cm (slika 15b).



Bubanj se 500 puta okrene oko svoje horizontalne ose. Nakon toga materijal se izvadi iz mašine, odvoji od kugli, opere se, osuši i proseje na situ 1,6 mm. Izmeri se ostatak na situ i rezultat izračuna po formuli :

$$LA = \frac{m_o - m}{m_o} \times 100 \quad [14]$$

gde je LA - koeficijent Los Angeles (%), m_o – masa uzorka pre ispitivanja (g), m – masa ostatka na situ 1,6 mm (g).

3.2.6.2.5 Postojanost na dejstvo mraza

Postojanost na dejstvo mraza utvrđena je tretiranjem uzorka agregata pomoću rastvora magnezijum-sulfata (SRPS EN 1367-2:2010). Princip metode zasniva se na postupku po kome se po dva uzorka frakcije 10/14 mm operu, osuše, izmere i potope u rastvor $MgSO_4$ u periodu od 17 h. Zatim se uzorci vade iz rastvora, cede 2 h, suše 24 h i na kraju hlade 5 h. Nakon petog ciklusa (svaki ciklus traje 48 h) frakcije se dobro isperu od rastvora, osuše, proseju na situ 10 mm i izmere. Gubitak mase izražava se kao koeficijent prema formuli:

$$MS = \frac{100 \times (M_1 - M_2)}{M_1} \quad [15]$$

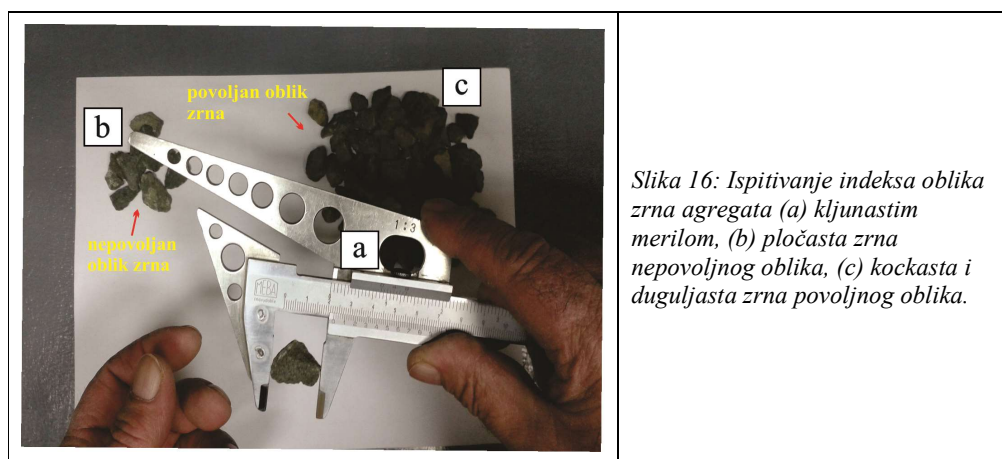
gde je MS – postojanost na mraz agregata nakon 5 ciklusa tretmana (mas.%), M_1 - početna masa uzorka (g), M_2 - finalna masa agregata zadržanog na situ od 10 mm (g).

3.2.6.2.6 Indeks oblika zrna

Oblik zrna agregata 3:1 određen je na frakciji 10/14 mm. Prema standardizovanoj metodi (SRPS EN 933-4:2010), zrna u uzorku agregata deklarirala su se na osnovu odnosa njihove dužine L i debljine E, koristeći kljunasto merilo (slika 16). Indeks oblika računao se merenjem mase zrna sa odnosom mera L/E većim od 3, a rezultat izrazio kao procenat ukupne mase ispitanih zrna u suvom stanju po formuli:

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad [16]$$

gde je SI – indeks oblika, M_1 – masa ispitnog uzorka (g), M_2 – masa pločastih zrna (g).



3.2.7 Statistička obrada tehničkih karakteristika kamena i agregata

Deskriptivna statistička analiza i linearna regresiona bivarijantna analiza rađena je korišćenjem StatSoft i SPSS paketa, u cilju utvrđivanja korelacije između PSV-a i svih ostalih laboratorijski izmerenih tehničkih svojstava. Deskriptivne analize uključile su obračun osnovnih statističkih parametara - srednju vrednost, medijanu, minimalnu i maksimalnu vrednost, prvu i drugu kvartilu, opseg, varijansu, standardnu devijaciju, standardnu grešku, asimetriju i spljoštenost unutar populacije od devetnaest uzoraka bazičnih stena Srbije, i to za svako tehničko svojstvo ponaosob. Formule za obračun parametara prikazane su u tabelama 5 i 6. Rezultati deskriptivne statističke analize

prikazani su u sklopu rezultata fizičko-mehaničkih svojstava kamena (poglavlje 3.3.4) i agregata (poglavlje 3.3.5).

Tabela 5: Statistički parametri deskriptivne statističke analize i ocena normalnosti analiza odabranih tehničkih svojstava stena

Parametar	Oznaka	Formula za izračunavanje
Broj merenja	n	-
Aritmetička srednja vrednost	$\bar{x}$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
Medijana	Md	50 % merenja
Minimalna vrednost	V _{min}	najniža vrednost merenja
Maksimalna vrednost	V _{max}	najviša vrednost merenja
Prva kvartila	Q ₁	25 % merenja
Druga kvartila	Q ₂	75 % merenja
Opseg (razlika max. i min.vrednosti)	Ra	Ra=V _{max} -V _{min}
Varijansa	s^2	$s^2 = \frac{\sum \left(x_i - \bar{x} \right)^2}{n - 1}$
Standardna devijacija	s	$s = \sqrt{\frac{\sum \left(x_i - \bar{x} \right)^2}{n - 1}}$
Standardna greška	SE	$SE = \frac{s}{\sqrt{n}}$
Koeficijent asimetričnosti (skewness)	A _s	$A_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \bar{x} \right)^3}{(n - 1)s^3}$
Koeficijent spljoštenosti (kurtosis)	K _t	$K_t = \frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \bar{x} \right)^4}{(n - 1)s^4}$
Kolmogorov-Smirnov test	KS D _{max}	$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) \right)$ F-teoretska kumulativna distribucija, uslov prihvatanja Ho hipoteze je Dmax < Dcr

Kratko objašnjenje nekih, u tabeli 5 navedenih parametara je sledeće:

- Varijansa je mera rasipanja kvadrata standardne devijacije slučajne promenljive oko matematički očekivane vrednosti (prava vrednost);

- Standardna devijacija (s) je mera rasipanja vrednosti slučajno promenljive oko matematički očekivane vrednosti. Ukoliko je distribucija podataka normalna, oko 95% vrednosti obuhvaćene su sa $\pm 2s$, a 99,7% sa $\pm 3s$;

- Normalna (simetrična) distribucija je tip distribucije kod koje se vrh distribucije poklapa sa aritmetičkom sredinom, a asimetrična distribucija je ona distribucija kod koje ovih poklapanja nema. Koeficijent asimetričnosti pokazuje da li je distribucija negativna (veća učestalost iznad prosečnih vrijednosti) ili pozitivna (kada veća učestalost ispod prosečnih vrednosti). Ako je vrednost koeficijenta asimetričnosti manja od 1, smatra se da distribucija nije asimetrična i obrnuto.

- Spljoštenost je mera koncentrisanosti vrednosti oko aritmetičke sredine.

Normalnost distribucija ima veoma važnu ulogu u statistici zato što se veliki broj statističkih testova bazira na pretpostavci da su vrednosti podataka normalno distribuirane. Ovo je ujedno i preduslov za primenu regresione analize. Fizičko-mehanička svojstva kamena i agregata su kontinualno promenljive, pa se pošlo od pretpostavke da im vrednosti prate normalnu ili lognormalnu teorijsku raspodelu.

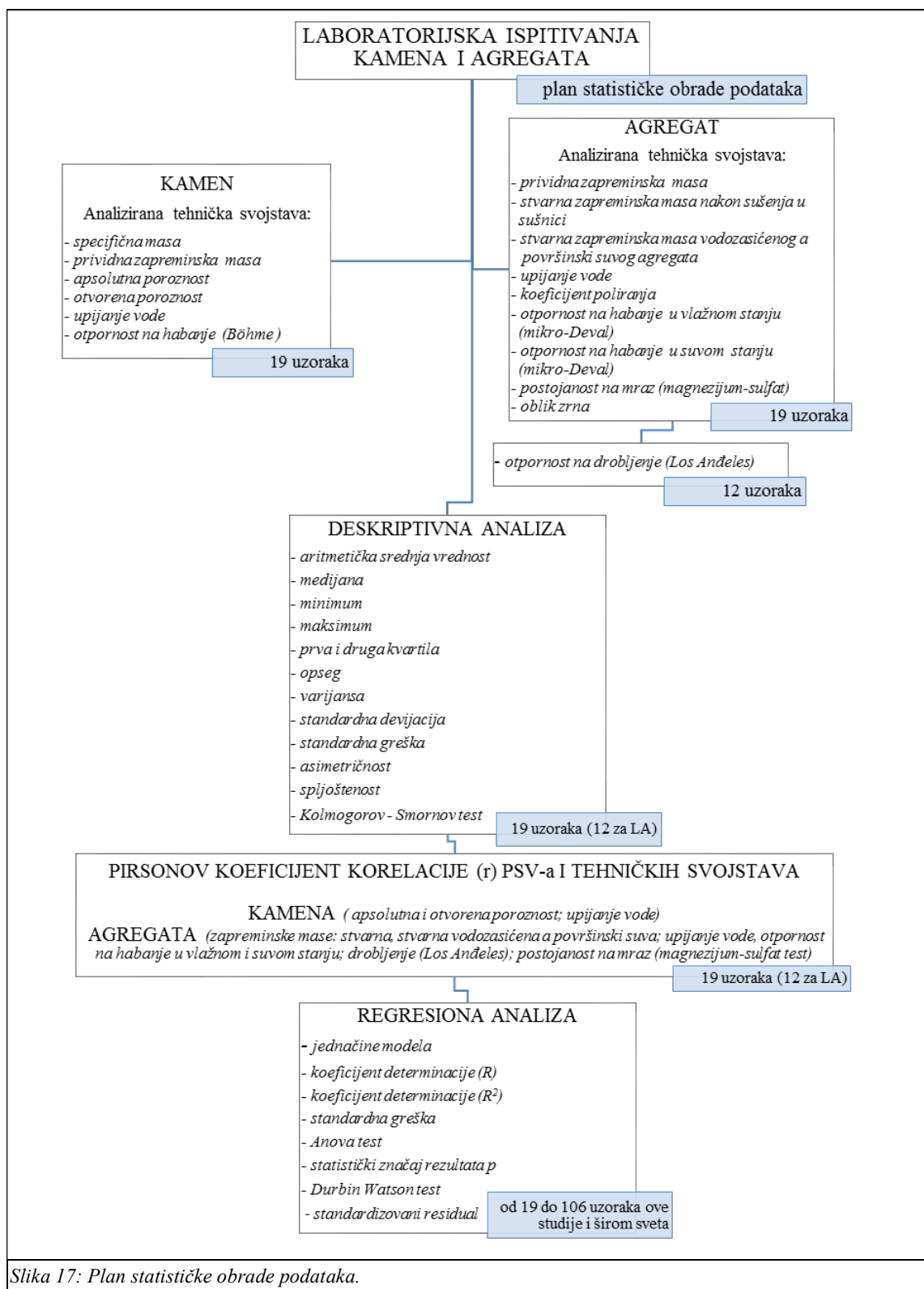
Normalnosti posmatrane distribucije podataka proverene su pomoću Kolmogorov-Smirnov testa koji ispituje funkciju kumulativne distribucije podataka i računa najveće udaljenosti (D_{max}) između empirijske i teorijske normalne raspodele. Kritična vrednost testa (D_{cv}) za 19 uzoraka je 0,237 pri najvećoj vrednosti intervala poverenja $\alpha=0,20$. Odnos D_{max} i D_{cv} je uzet kao kriterijum za ocenu distribucije. U slučaju kada je $D_{max} > D_{cv}$ vrši se odbacivanje nulte hipoteze da empirijska raspodela podataka prati teorijski normalnu distribuciju. Na osnovu korelacione matrice između svih parametara (tabela 10), varijable sa visokim Pirsonovim koeficijentom izabrane su za dalju bivariantnu regresiju. Linearna regresiona analiza ($y=b_0+b_1x$) omogućila je kvantifikovanje odnosa između PSV-a kao zavisne variable (y) i odabranih tehničkih svojstava kao nezavisnih varijabli (x), tabela 11. F -test i t -test primenjeni su za validaciji predloženih modela. Značaj vrednosti koeficijenta determinacije R^2 određen je F -testom (testiranje razlike varijansi) sa nultom hipotezom: regresioni koeficijenti su

jednaki nuli. Ako je izračunata F-vrednost veća od tabelarne vrednosti (za određene stepene slobode), nulta hipoteza je odbačena sa 95% nivoom poverenja.

Tabela 6: Statistički parametri ocene analiza odabranih tehničkih svojstava kamena i agregata

Parametar	Oznaka	Formula za izračunavanje i/ili objašnjenje parametara
Modeli linearne regresione jednačine	M	$y=b_0+b_1x$
Pirsonov koeficijent	r	$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}}$ (x i y - variable, n – broj ispitivanja)
Koeficijent determinacije	R ²	$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_{yy}} \quad SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad SS_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ SSE – suma kvadrata reziduala (greške) regresionog modela; SS _{yy} – varijacija vrednosti y oko njene srednje vrednosti
ANOVA test (F vrednost)	F	$F = \frac{MS_B}{MS_W} = \frac{ns^2_{\bar{x}}}{s^2}$ n-broj ispitivanja, $s^2_{\bar{x}}$ - varijansa srednjih vrednosti, s^2 - srednja vrednost varijansi
Durbin Watson test	DW	$\frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}$ e - reziduali metode najmanjih kvadrata
„t - test” korišćeni za validaciju modela (paired sample t test)	t	$t = \frac{\bar{x}_d}{s_d} \sqrt{n}$ $\bar{x}_d$ - srednja vrednost razlike, s_d - stand. devijacija razlike

T-test (testiranje razlike aritmetičkih sredina) korišćen je u cilju provere regresionih koeficijenata dobijenih u linearnoj regresiji. Drugim rečima, nagib linije regresije testiran je sa nultom hipotezom kada je nestandardizovani koeficijent jednak nuli ($H_0: b_1 = 0$). U slučajevima kada je obračunata t vrednost veća od tabelarne t -vrednosti, nulta hipoteza je odbačena. Procenjene vrednosti PSV poređene su u odnosu na izmerene vrednosti pomoću t -testa validacije (paired sample t test) i predstavljene dijagramima predviđenih, u odnosu na izmerene vrednosti (1:1). Greška procenjenih vrednosti predstavljena je broјčano pomoću udaljenosti između tačaka podataka i 1:1 dijagonalnih linija. Tačke podataka na liniji ili na samoj liniji ukazuju da je procena tačna. U tabeli 11 date su i vrednosti Durbin-Watson statistike koja se koristi za otkrivanje prisustva autokorelacije u rezidualima iz regresione analize. Plan statističke obrade podataka laboratorijskih ispitivanja kamena i agregata prikazan je na slici 17.



Slika 17: Plan statističke obrade podataka.

3.3 REZULTATI

Poglavlje o rezultatima ispitivanja sastoji se od pet potpoglavlja. U prvom je prikazana klasifikacija stena, drugo prikazuje rezultate ispitivanja mineraloško-petrografskih karakteristika stena kojim su obuhvaćena terenska ispitivanja, karakteristike sklopa, identifikacija i hemizam minerala. Treće potpoglavljje sadrži rezultate modalnih analiza sadržaja minerala, sadržaja šupljina i pukotina, kao i merenja površine zrna minerala. U četvrtom potpoglavljju su dati rezultati fizičko-mehaničkih svojstava kamena, a u petom rezultati fizičko-mehaničkih svojstava proizvedenih agregata.

3.3.1 Klasifikacija stena

Na osnovu petrografskih karakteristika stene su podeljene na grupu dolerita, grupu gabra i grupu spilita. U okviru grupa izdvojeni su sledeći varijeteti:

a) Doleriti

- Divčibare: dolerit (DI-1) i površinski alterisani dolerit (DI-2);
- Tavani: sitnozrni (TA-S) i srednjozrni dolerit (TA-K);
- Prevešt: sitnozrni/porfirski (PR-S/P) i srednjozrni dolerit (PR-K);
- Ždraljica: sitnozrni (ZD-S), srednjozrni (ZD-K) i srednjozrni ekstremno alterisani dolerit (ZD-KA);
- Rakov dol: dolerit (RD-D);
- Crna stena: doleritne breče (CS-1), (CS-2);

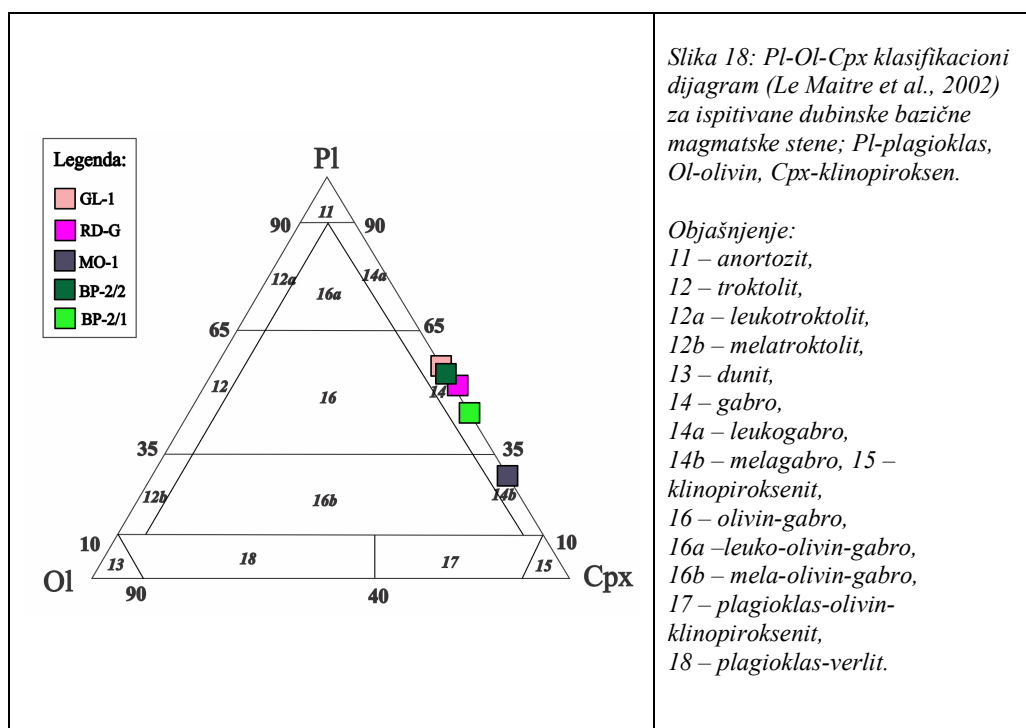
b) Gabrovi

- Glavaj - gabra (GL-1);
- Rakov dol – gabra (RD-G);
- Mošute – gabra (MO-1);
- Buljanski potok: sitnozrniji (BP-2/2) i krupnozrniji metagabro (BP-2/1).

c) Spiliti

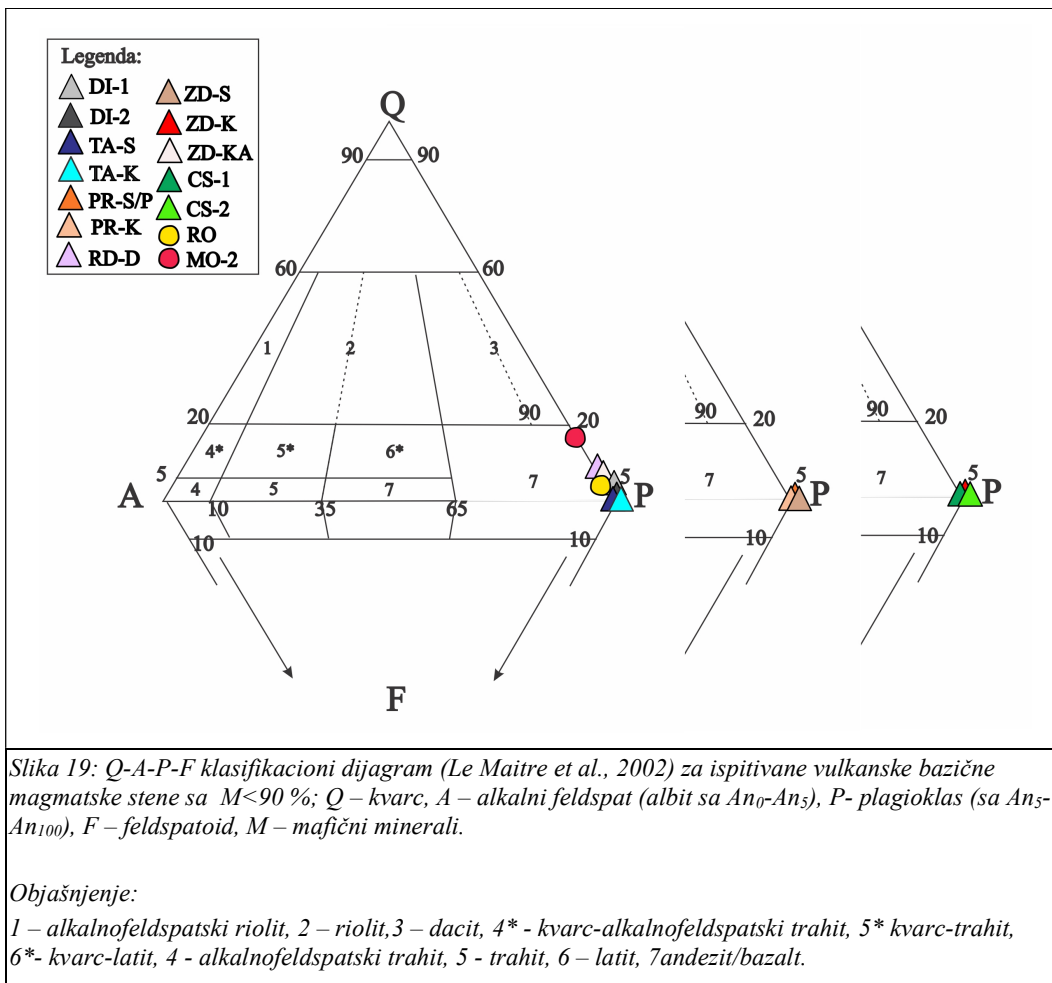
- Rošci - spilit (RO);
- Mošute - spilit (MO-2).

Klasifikacija izabranih bazičnih magmatskih stena izvršena je na osnovu modalnog mineralnog sastava stena, a prema preporukama IUGS (*International Union of Geological Science*) klasifikacionog sistema (Le Maitre et al., 2002). Obzirom da je sadržaj mafičnih minerala u ispitivanim stenama (M - pirokseni, amfiboli, metalični minerali, apatit, titanit, epidot, liskuni) manji od 90 %, klasifikacija je izvršena na osnovu relativne zastupljenosti minerala korišćenjem Pl-Ol-Cpx klasifikacionog dijagrama (Le Maitre et al., 2002) za bazične i ultrabazične plutonske (dubinske) magmatske stene (slika 18) i Q-A-P-F klasifikacionog dijagrama (Le Maitre et al., 2002) za vulkanske stene (slika 19).



Na osnovu sadržaja plagioklasa, olivina i klinopiroksena, a prema kriterijumima za klasifikaciju (Le Maitre et al., 2002) uzorci GL-1, RD-G, BP-2/2 i BP-2/1 su određeni kao gabrovi, a uzorak MO-1 kao melagabro.

Klasifikacioni dijagram za vulkanske stene prikazan je na slici 19. Na osnovu sadržaja kvarca, alkalnog feldspata (albit sa An_0 - An_5), plagioklasa (An_5 - An_{100}) i feldspatoida, prema klasifikacionom dijagramu (Le Maitre et al., 2002) za vulkanske magmatske stene, ispitivane stene padaju u polje andezit/bazalta.



3.3.2 Mineraloško-petrografske karakteristike

Rezultati klasične modalne analize prikazani su tabelarno (prilog 4). Osim sadržaja pojedinačnih mineralnih faza prikazana je i suma takozvanih „tvrdih“ minerala, odnosno minerala čija je relativna tvrđina veća od 5, kao i suma relativno mekih minerala. Ovom metodom nije bilo moguće definisati vrstu plagioklasa ili razdvajati vrstu amfibola, odnosno njihova klasifikacija je izvršena tek posle obrade hemijskih analiza. Ispitivana kolekcija uzoraka sastoji se od sličnih i petrogenetski srodnih stena,

ali koje pokazuju vidljive heterogenosti u sklopu i produktima sekundarnih alteracija. Sve tri izdvojene grupe stena, doleriti, gabrovi i spiliti, imaju relativno jednostvan i uniforman primarni mineralni sastav koji je predstavljen plagioklasom i monokliničnim piroksenom. Sporedni i akcesorni sastojci su metalični minerali, titanit (sfen) i apatit. Step en i vrsta sekundarnih alteracija je znatno heterogenija, pa se kao produkti sekundarnih izmena javljaju hloriti, amfiboli, prenit, pumpelit, epidot, kvarc, kalcit, limonit. U pojedinim uzorcima alteracija primarnih minerala je toliko intenzivna da su, na primer, pirokseni potpuno zamenjeni sekundarnim fazama: amfibolom, hloritom, prenitom, epidotom i metaličnom fazom ili su bazični plagioklasi albitisani, prenitisani i epidotisani. Sumiran prikaz mineraloško-petrografskih odlika analiziranih uzoraka prikazan je u tabeli 7.

3.3.2.1 Doleriti

Ovo je najveća grupa ispitivanih stena. Obuhvata dolerite iz ležišta Divčibare, Tavani, Prevešt, Ždraljica, zatim dolerite iz Rakovog dola i Crne stene. Grupa je dalje podeljena na osnovu stepena alteracije prvobitnih minerala i tektonske izlomljenosti stenske mase na podgrupu albitskih dolerita (šest varijeteta), podgrupu bezpiroksenskih dolerita (četiri varijeteta) i podgrupu doleritnih breča i/ili jako tektonski izlomljenih dolerita (dva varijeteta).

3.3.2.1.1 Albitski doleriti

Albitski doleriti potiču iz ležišta Divčibare (DI-1, DI-2), Tavani (TA-S, TA-K) i Prevešt (PR-S/P, PR-K). Ležište **Divčibare** nalazi se u severozapadnom delu istražnog područja (slika 7) na obodima planine Maljen. Na ležištu je otvoren kamenolom Mrčići koji je aktivan. Do samog kamenoloma vodi lokalni put koji se odvaja sa državnog puta I B reda broj 21, deonica Valjevo – Kosjerić. Na slici 20a prikazano je čelo aktivnog kamenoloma, a na slici 20b makroskopski izgled uzorka. Lučenje stenske mase je stubasto, paralelno rasedu označenom u desnom delu slike. Ležište je homogenog petrografskog sastava. Stenska masa je tamnozelene boje, mestimično ispucala, sa blago izraženijim raspadanjem po površini usled dejstva atmosferilija. Ispresecana je kalcitskim i/ili prenitiskim žicama. Na kamenolomu je otvoreno nekoliko etaža.

Uticaj mineraloško-petrografskih karakteristika na mikrohrapavost agregata bazičnih stena Srbije

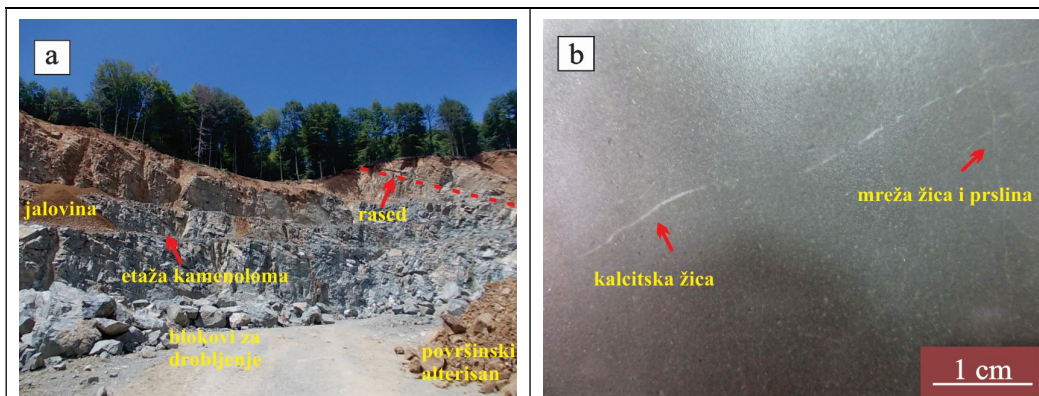
Olivera Đokić

Tabela 7. Mineraloško-petrografske karakteristike ispitivanih bazičnih stena.

Uzorci	Vrsta stene	Struktura	Mineralni sastav	Stepen alteracije minerala, prisustvo pukotina i žica
DI-1	albitski dolerit	finoofitska do intergranularna, finozmasta, lokalno porfiroidna	CPx; Pl-ab; Chl; Prh; Ttn; Cal; Qtz; Op	CPx svež, ispucao; Pl zamučen, pritkast; kalcitske i prenitke žice
DI-2	albitski dolerit (alterisaniji)	finoofitska do intergranularna, finozmasta, lokalno porfiroidna	CPx; Pl _I , Pl _{II} -ab; Chl; Prh; Ttn; Qtz; Op (Lm/mt)	CPx svež, ispucao; Pl _{I,II} zamučen, pritkast; žice od kalcita, prenit i kvarca, pukotine markirane limonitom
TA-S	albitski dolerit	ofitska do subofitska	CPx; Pl-ab; Chl; Prh; Ttn; Op	CPx svež, delimično hloritisan, ispucao; Pl zamučen
TA-K	albitski dolerit	krupnoofitska do subofitska	CPx; Pl-ab; Chl; Am; Prh; Ttn; Op	CPx svež, delimično hloritisan, ispucao; Pl zamučen
PR-S/P	albitski dolerit	porfirska, finozmasta do finoofitska, glomeroporfirska	CPx; Pl _I , Pl _{II} -ab; Prh; Chl; Ep; Op	CPx svež, ispucao, delimično hloritisan; Pl _I zamučen; Pl _{II} bistar do zamučen; kalcitske, hloritske, epidotske žice
PR-K	albitski dolerit	krupnoofitska do subofitska	CPx; Pl-ab; Prh; Chl; Hbl; Ep; Op; Ap	CPx svež, ispucao, delimično hloritisan; Pl bistar do zamučen; kalcitske, hloritske, epidotske žice
RD-D	bezpiroksenski dolerit	krupnoofitska	Pl-ab; Chl; Cal; Qtz; Ap; Ser; Op	uralit, asocijacija Pl-Chl-Cal, kalcitske žice, bez CPx
ZD-S	bezpiroksenski dolerit	finozmasta, intergranularna do finoofitska	Pl _I ab,ol,and,lab, Pl _{II} ol; Am-Hbl, Act; Chl; Prh; Ttn; Op	Pl _I zrnast, pritkast, zamučen, Pl _{II} igličast, bistar; Am-ljuspast, bez CPx
ZD-K	bezpiroksenski dolerit	krupnoofitska, subofitska	Pl-ab,ol, lab,bit, an; Am-Hbl; Chl; Ep;Ttn; Op	Pl izdužen, štapičast, zamučen; Am-izduženi; bez CPx
ZD-KA	bezpiroksenski dolerit (ekstremno alterisani)	krupnoofitska, subofitska	Pl-ol,lab; Am-Hbl, Act; Chl; Ttn; Qtz; Op	Pl zamučen, ekstremno porozan; Am ispucao, delimično hloritisan; mreža pukotina; bez CPx
CS-1	doleritna breča	finoofitska do intergranularna, finozmasta	CPx; (Pl _I ab,and lab + Chl); Pl _{II} ol; Chl, Ttn; Cal; Op	CPx svež, ispucao; Pl _I zamučen, pritkast; Pl _{II} svež, igličast; Chl u mandolama; Cal, Py, pukotine markirane limonitom
CS-2	dolerit (tektonski izlomljen)	finoofitska do intergranularna, finozmasta, porfiroidna	CPx; (Pl _I ab,and,lab + Chl); Pl _{II} ol; Chl, Ttn; Cal; Op	CPx svež, ispucao; Pl _I zamučen, pritkast; Pl _{II} svež, igličast; Chl, Qtz, Cal u mandolama; kalcitske, kvarcne, piritske žice
GL-1	gabro	sitnozmasta do srednjozmasta, poikilitiska	CPx; Pl _I bit, (Pl _{II} ab,ol) Chl; Am-Hbl,Act; Cal; Ttn; Qtz; Op	Act i CPx delimično hloritisan; Pl _I pritkast, tabličast, zamučen; Pl _{II} bistar, sitan; hloritske žice
RD-G	gabro	srednjozmasta, poikilitiska	CPx; Pl-ab; Ep; Chl;Ttn; Act; Op; Ap	Cpx- svež, ispucao; Pl-tabličast, sa Ep i Chl; pukotine markirane limonitom
MO-1	gabro	srednjozmasta	CPx; (Pl-ab+Pmp); Chl; Ttn; Qtz; Op	CPx svež, ispucao, Pl tabličast, zamučen, kalcitske žice
BP-2/2	metagabro	finozmasta, blastozmasta do nematoblastična	(Pl _I ab+Pmp); Pl _{II} lab; Hbl; Prh; Qtz; Op; Chl	Am ispucao; Pl _I -tabličast; Pl _{II} štapičast; žice od prenit, pumpelita, kvarca, plagioklasa; bez CPx
BP-2/1	metagabro	srednjozmasta, blastozmasta do nematoblastična	(Pl _I ab+Pmp), Pl _{II} lab; Hbl; Pmp; Prh; Qtz; Op; Chl	Am ispucao; Pl _I -tabličast; Pl _{II} štapičast; žice od prenit, pumpelita, kvarca, plagioklasa; bez CPx
RO	spilit	porfirska, sa elementima glomeroporfirske i variolitske	CPx; Pl _I ab,ol,and,lab,bit, Pl _{II} ab; Chl; Prh; Ttn; Cal; Qtz; Op	Pl _I zamučen; Pl _{II} mikroliti bistri do zamučeni; Chl, Qtz u mandolama; zametci sitnih CPx; vulkansko staklo
MO-2	spilit	finoofitska	Pl-ab; Chl; Ep; Qtz; Cal; Op	bez CPx; Pl-pritkast, bistar do zamučen, Chl, Cal, Qtz u mandolama; kalcitske, hloritske, epidotske žice

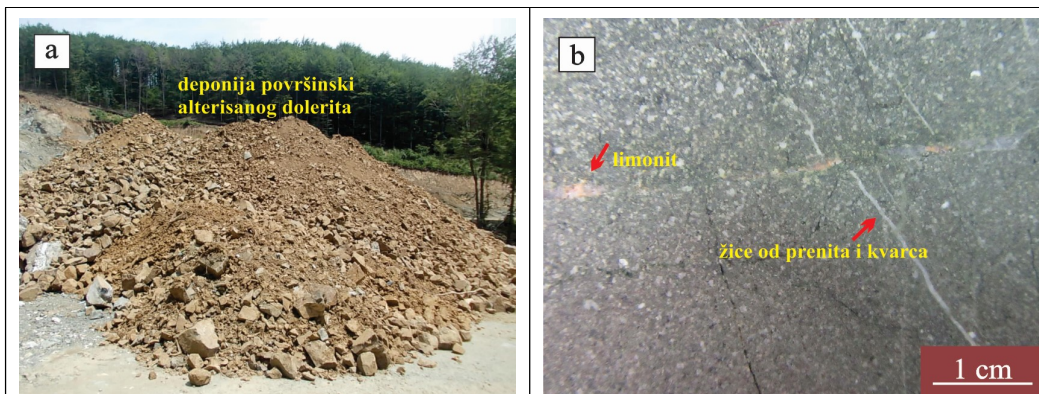
Objašnjenje: Act - aktinolit, Am - amfibol, Cal - kalcit, Chl - hlorit, Cpx - klinopiroksen, Ep - epidot, Hbl - hornblenda, Lm - limonit, Op - metalni minerali, Pl -plagioklas, Pl_I -plagioklas I generacije, Pl_{II} - plagioklas II generacije, ab - albit, ol - oligoklas, and - andezin, lab - labrador, bit - bitovnit, Prh - prenit, Pmp - pumpelita, Py - pirit, Qtz - kvarc, Ser-sericit, Tm - titanit (sfen).

U levom i centralnom delu slike 20a vide se odminirani blokovi koji se transportuju na dalju preradu u drobilično-separaciono postrojenje koje je montirano neposredno ispred kamenoloma. U samom ležištu eksploatiše se varijetet DI-1 čiji je makroskopski izgled prikazan na slici 20b.



Slika 20: Ležište Divčibare: (a) izgled čela aktivnog kamenoloma. Na kamenolomu je otvoreno nekoliko etaža. U levom donjem uglu i centralnom delu slike vide se odminirani blokovi koji se voze na dalju preradu u drobilično-separaciono postrojenje u blizini kamenoloma. U desnom delu slike nalazi se površinski alterisan materijal koji se uklanja; (b) makroskopski izgled uzorka dolerita DI-1.

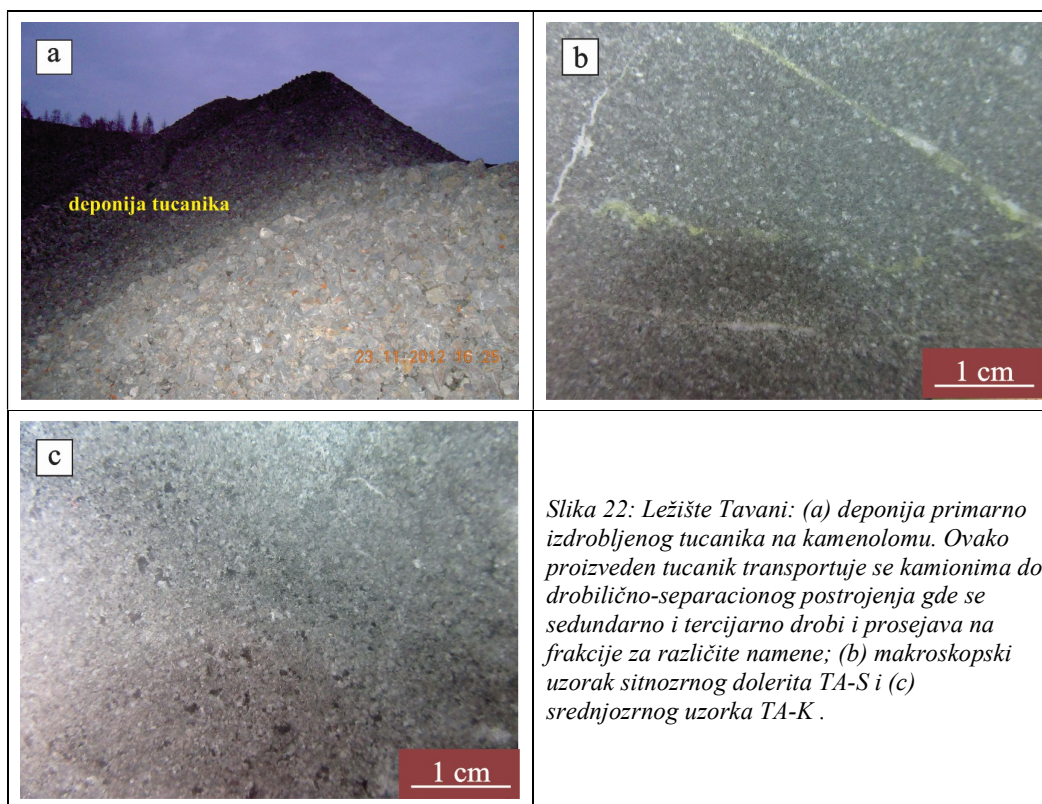
Površinski alterisan dolerit DI-2 javlja se u tankom pokrovnom sloju. Ovaj dolerit je namenski uzorkovan u cilju sagledavanja uticaja površinske zone raspadanja na mikrohrapavost agregata bez obzira što se u kamenolomu tretira kao jalovinski materijal i uklanja pri napredovanju eksploatacije mineralne sirovine. Može da se koristi za nasipanje seoskih puteva ili se u zavisnosti od upotrebe može dodatno usitnjavati (slika 21a). Zbog toga se deponija ovog dolerita ostavlja po strani i naknadno odvozi sa ležišta.



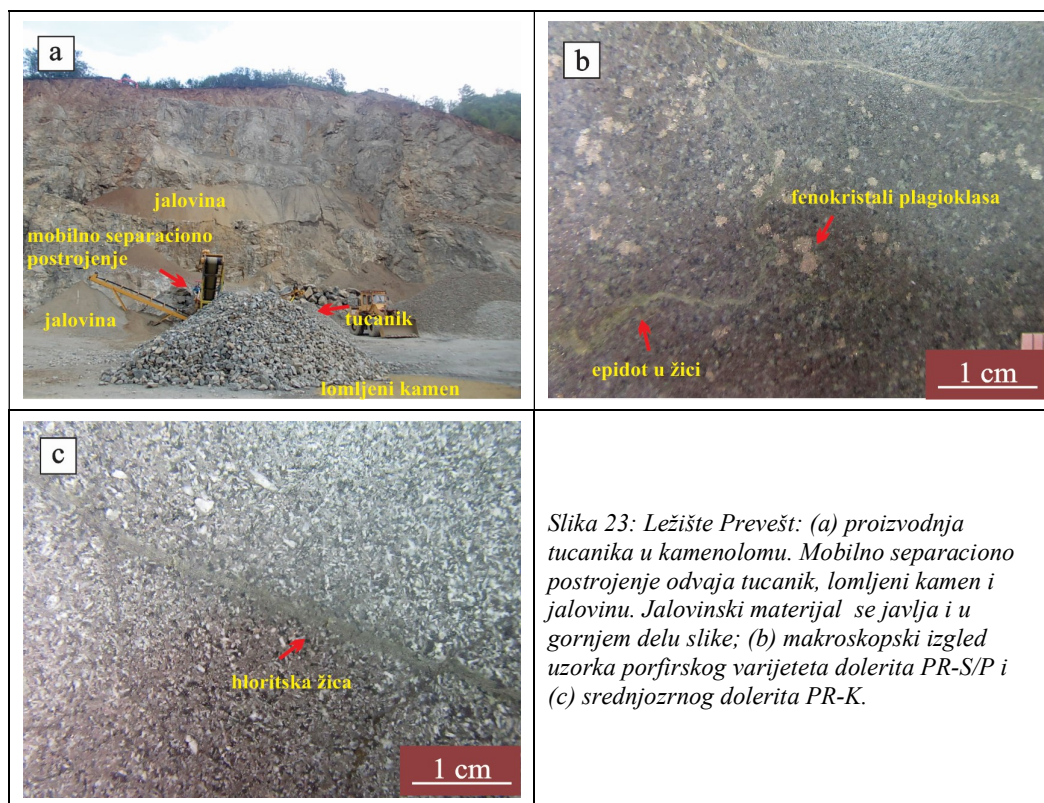
Slika 21: Ležište Divčibare: (a) Deponija površinski alterisanog dolerita oker boje koji se može upotrebiti za nasipanje seoskih puteva; (b) makroskopski izgled uzorka DI-2 sa subparalelnim žicama od prenitita i kvarca i nagomilanjima limonita.

Makroskopski posmatrano uzorak je mrkozelene do tamnozelene boje. Limonitske skrame oblažu površinu stene kada ona zadobija oker nijansu. Teksture je masivne. Ispresecan je žicama debljine oko 0,5 mm do 2 mm bele boje koje reaguju na 5%-tnu hlorovodoničnu kiselinu čime je potvrđeno da je to kalcit, zatim žicama od prenit i kvarca, prslinama markiranim limonitskim pigmentom ili samo prslinama (slika 21b). Makroskopski se zapažaju krupnija zrna plagioklasa bele boje pa uzorak deluje da je krupnozrniji u odnosu na DI-1. Prelom stene je ravan sa finohrapavom prelomnom površinom i ostrim ivicama loma.

Ležište dolerita **Tavani** (slika 22a) nalazi se u neposrednoj blizini ležišta Divčibari, na samom vrhu ovog dela planinskog područja. Lučenje stenske mase je takođe stubasto. Genetski ova dva ležišta su povezana. U samom ležištu izdvaja se sitnozrni varijetet TA-S (slika 22b) i srednjozrni varijetet TA-K (slika 22c) tamnozelene boje. Ležište je povremeno u eksploataciji. Kada je aktivno, stenska masa se minira, primarno drobi i kao takva kamionima transportuje na dalju preradu. Za ova ispitivanja uzorkovana su oba varijeteta koja su kasnije predrobljena u laboratorijskim uslovima.



Ležište **Prevešt** nalazi se kod istoimenog sela, nedaleko od Rekovca. Na ležištu je otvoren istoimeni kamenolom Prevešt koji je aktivan (slika 23a). Stenska masa je tamnozelene do maslinastozelene boje. Dosta je tektonski izlomljena što olakšava njenu eksploataciju. Generalno posmatrano, doleriti sa leve strane čela kamenoloma su manje tektonski izlomljeni u odnosu na iste stene sa desne strane. U ležištu je uzorkovan porfirski varijetet PR-S/P (slika 23b) i srednjozrni PR-K (slika 23c) ofitski dolerit iz centralne zone kamenoloma. Stenska masa je ispresecana hloritskim, kalcitskim i epidotskim žicama. Na kamenolomu je pri uzorkovanju u toku bila proizvodnja tucanika za potrebe železnice kao i lomljenog kamena koji se vozio na dalju preradu, odnosno predobljavanje za potrebe izgradnje Koridora 11.



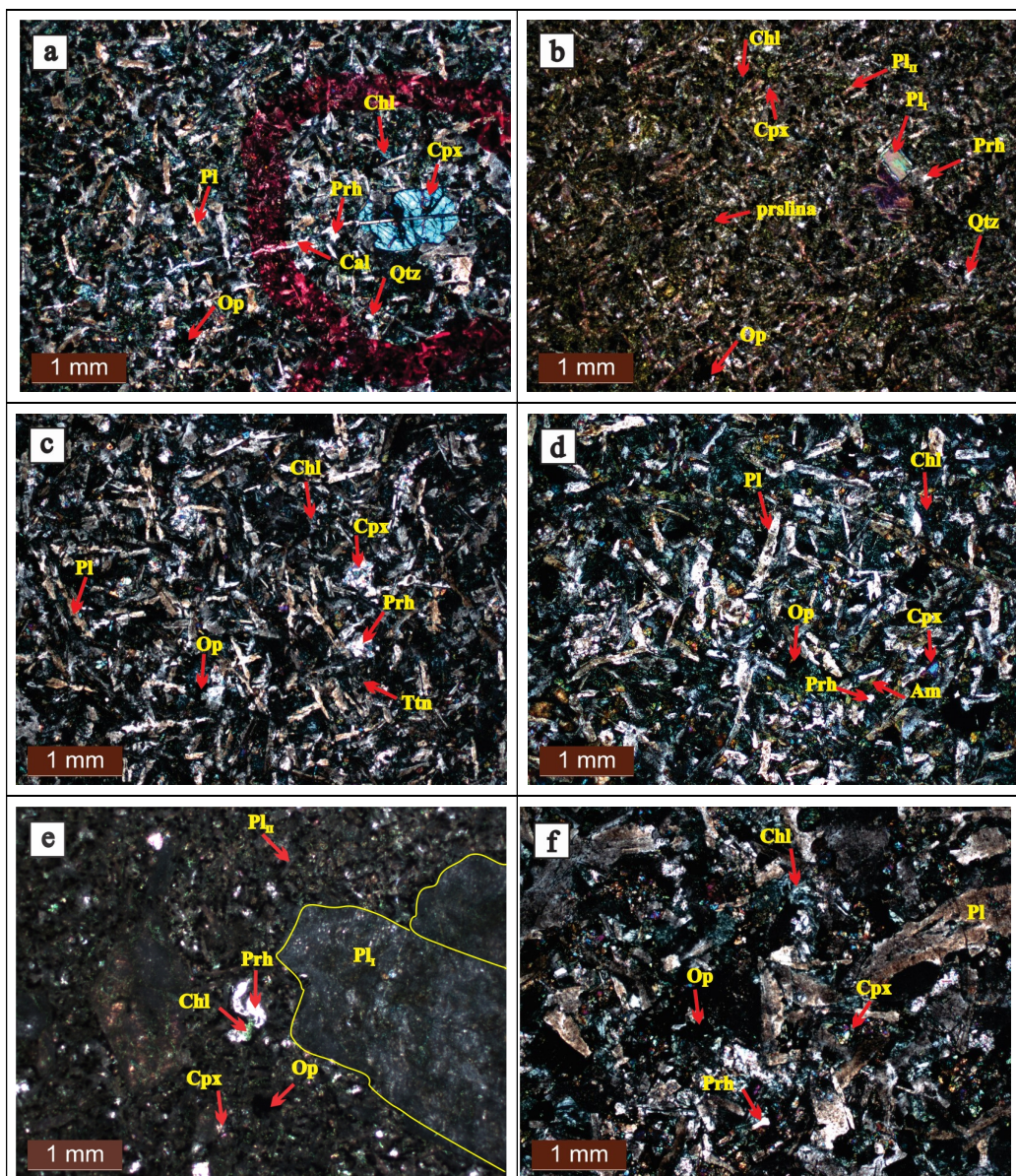
Slika 23: Ležište Prevešt: (a) proizvodnja tucanika u kamenolomu. Mobilno separaciono postrojenje odvaja tucanik, lomljeni kamen i jalovinu. Jalovinski materijal se javlja i u gornjem delu slike; (b) makroskopski izgled uzorka porfirskog varijeteta dolerita PR-S/P i (c) srednjoznog dolerita PR-K.

Albitski doleriti iz ove grupe su tamnozelene, sivozelene do zelenobeke boje. Imaju masivnu, homogenu teksturu. Mestimično su ispresecani žicama bele boje, od kojih neke reaguju sa 5%-tnom hlorovodoničnom kiselinom (DI-1, DI-2), a neke ne (TA-K, TA-S). U uzorcima PR-S/P i TA-S konstatovane su žice bele i zelene boje, a zapažene su i nezapunjene prsline. Sitnozrni varijeteti su ravnog preloma sa finohrapavom (DI-1, DI-2, TA-S) do školjkastom (PR-S/P) prelomnom površinom i oštrim ivicama loma.

Srednjozrni varijeteti (TA-K, PR-K) imaju grubohrapavu prelomnu površinu. Njihove ivice loma su oštre do umereno oštre.

Mikroskopskim ispitivanjima (slika 24a-f) utvrđeno je da kod sitnozrnijih varijeteta strukture variraju od intergranularne do finoznaste (kojih je prečnik zrna manji od 0,1 mm), zatim finoofitske (dužina zrna manja od 0,5 mm) kao kod DI-1 i DI-2, zatim ofitske do subofitske (dužina zrna između 0,5 mm i 1 mm) kao kod DI-1, TA-S, porfirske (PR-S/P) i lokalno porfiroidne (DI-1, DI-2). Kod srednjozrnih dolerita strukture su krupnoofitske i subofitske sa preovlađujućom dužinom zrna plagioklasa od oko 1 mm (TA-K) i između 1 mm i 3 mm (PR-K). Sastoje se od plagioklasa i klinopiroksena kao glavnih sastojaka, sa malim količinama sporednih metaličnih minerala - metaličnih minerala, titanita (sfen) i apatita, kao i obiljem sekundarnih faza: hlorit, prenit, kvarc, kalcit. Minerali su homogeno raspoređeni, osim kod porfirskog varijeteta (PR-S/P) kod koga se fenokristali često grupišu definišući glomeroporfirsku strukturu.

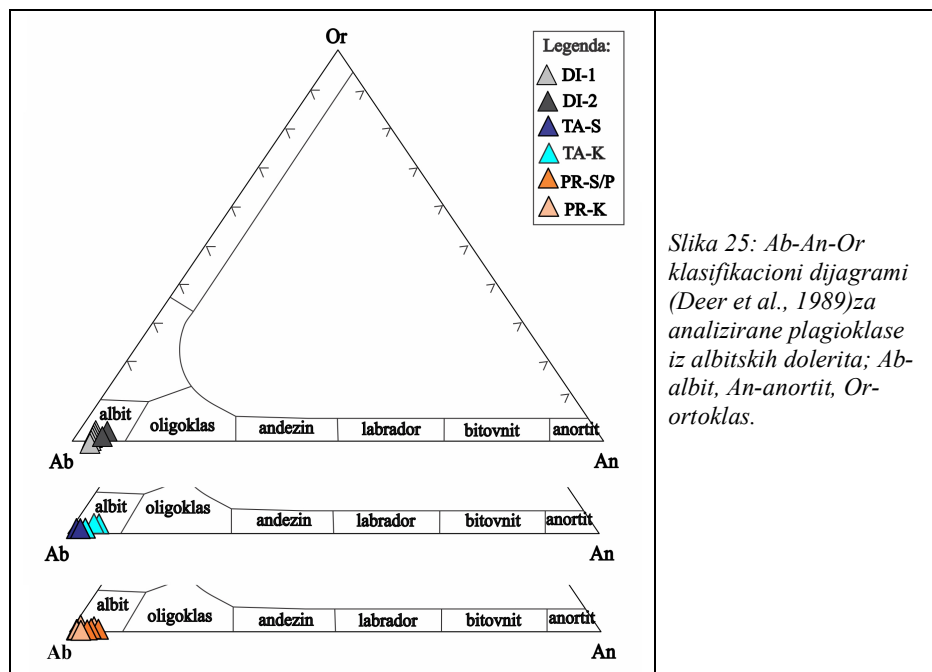
Plagioklasi su u albitskim doleritima idiomorfni do hipidiomorfni. Dominantna veličina plagioklasa za sitnozrnije predstavnike (DI-1, DI-2, TA-S) je oko 0,5 x 1 mm, a dužina iglica kod igličastih plagioklasa iznosi oko 0,7 mm. Kod porfirskog uzorka PR-S/P zapažene su dve generacije plagioklasa: prvu generaciju čine krupniji, tabličasti do štapićasti fenokristali dimenzija oko 2 x 2,5 mm do oko 3 x 6 mm koji pokazuju izvesnu zamućenost (Pl_I), a drugu generaciju predstavljaju sitna igličasta i bistra zrna (Pl_{II}) dužine ispod 0,5 mm. Kod krupnozrnijih predstavnika (TA-K) plagioklasi su za nijansu krupniji (slika 23d), a najkrupniji su u uzorku PR-K, gde im dimenzije variraju od oko 1 x 1,5 mm, ređe oko 1 x 3,5 mm (slika 23f). Sadržaj plagioklasa varira od 40 vol.% (PR-S/P) do 55 vol.% (DI-2, TA-S). Prvobitni bazični plagioklasi su potpuno albitisan, sa sačuvanim kristalnim formama prvobitnog bazičnog plagioklasa. Hemijskim analizama obuhvaćeno je 20 zrna plagioklasa iz šest uzoraka albitskih dolerita. Sadržaj albitske komponente varira od 94,3% do 98,8% (prilog 5). Prema Ab-An-Or klasifikacionom dijagramu (Deer et al., 1989) analizirani plagioklasi (slika 25) odgovaraju albitima.



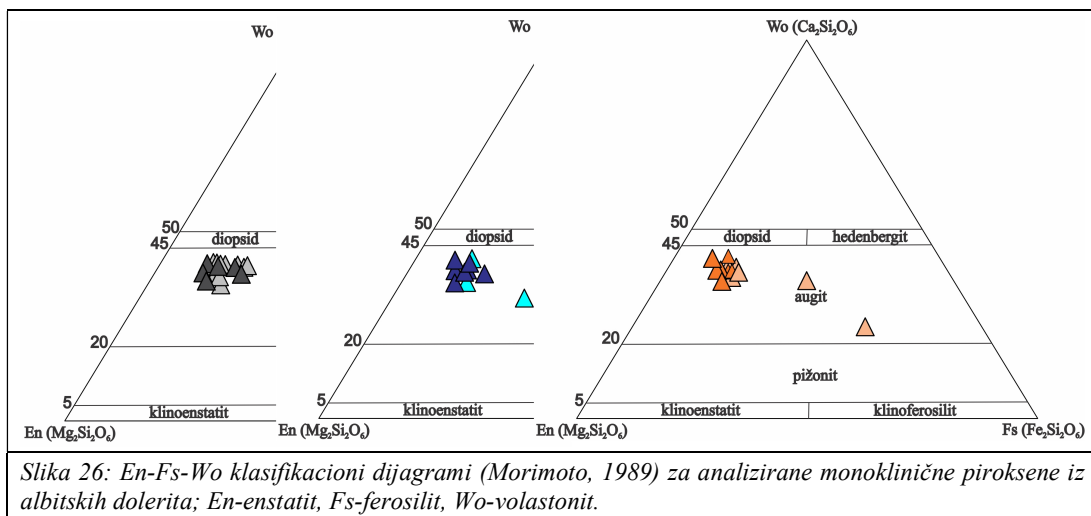
Slika 24: Mikroskopski izgled albitskih dolerita: (a) uzorak **DI-1** finoofitske do intergranularne strukture koji preseca kalcitska žica; uzorak je lokalno porfiroidne strukture koju definišu porfirokristali klinopiroksena, (b) uzorak **DI-2** je sitnozrniji u odnosu na DI-1, lokalno porfiroidne strukture koja je predstavljena porfirokristalima plagioklasa, (c) uzorak **TA-S** ofitske do subofitske strukture (d) uzorak **TA-K** je krupnozrniji u odnosu na TA-S (e) uzorak **PR-S/P** porfirske strukture sa fenokristalima plagioklasa i mikroofitskom osnovnom masom, (f) uzorak **PR-K** krupnoofitske strukture; ukršteni nikoli (xpl).

Objašnjenje:

Am-amfibol, Cal-kalcit, Chl-hlorit, Cpx-klinopiroksen, Op-opaki (metalni) minerali, Pl₁- fenokristal plagioklasa, Pl_{II}- igličasti plagioklas, Pl-plagioklas, Prh-prenit, Qtz-kvarc, Ttn-titanit (sfen).

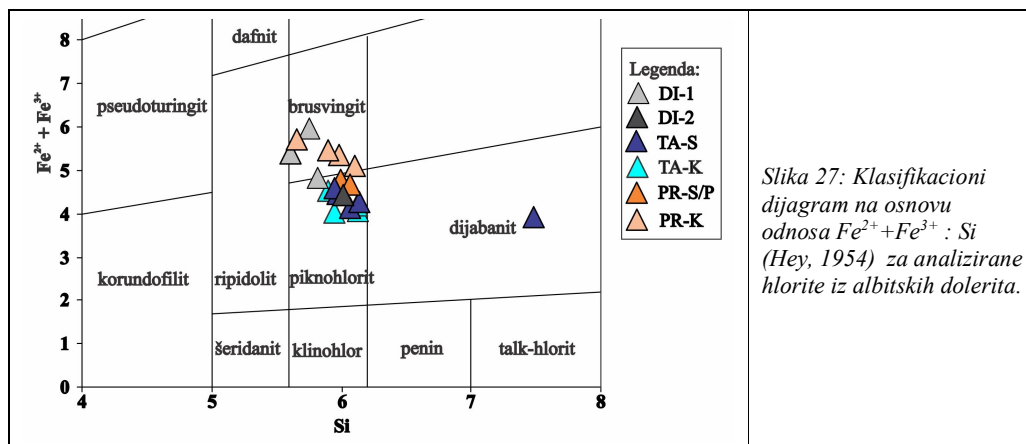


Monoklinični pirokseni su hipidiomorfni do alotriomorfni. Dimenzije im variraju od sitnih kristala (oko 0,1 mm do 0,7 mm u prečniku), pa sve do tabličastih zrna veličine oko 0,7 x 1,7 mm (DI-1, PR-K). Predstavljeni su augima (Morimoto, 1989, slika 26). Uglavnom su sveži, sitni i redovno ispucali (DI-1, DI-2) ili su delimično hloritisani i/ili amfibolisani. Njihov sadržaj u steni varira oko 15-20 vol.%, osim u uzorku PR-K gde je sadržaj klinopiroksena oko 10 vol.%. Hemijskim analizama obuhvaćeno je 39 zrna monokliničnih piroksena (prilog 6).



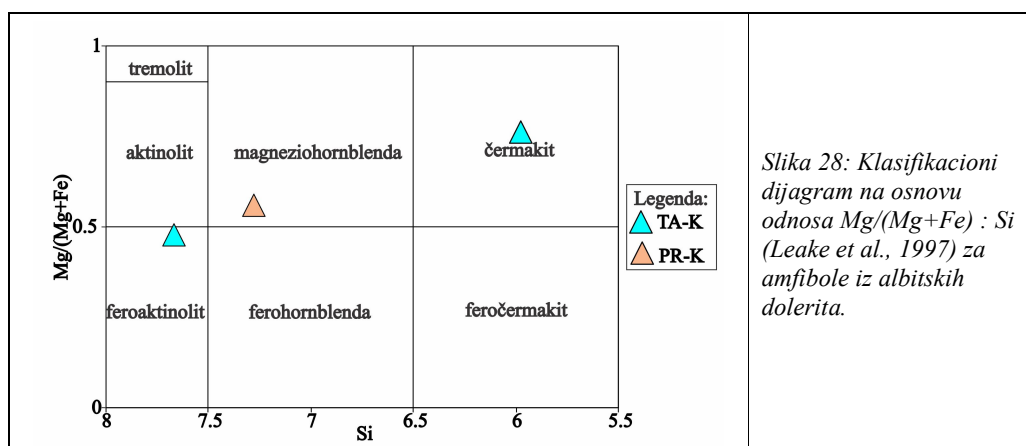
Hloriti su, pored albitisanih plagioklasa, sekundarni minerali koji su takođe zastupljeni u svim ispitivanim uzorcima albitskih dolerita. Ispunjavaju nepravilne

prostore između bitnih minerala ili su razvijeni unutar zrna klinopiroksena. Takođe zapunjavaju žice koje presecaju stensku masu. Sadržaj hlorita od oko 15 vol.% je manji u sitnozrnim predstavnicima (DI-2, PR-S/P) albitskih dolerita, u odnosu na srednjozrne uzorke (TA-K, PR-K) kod kojih sadržaj hlorita dostiže 25 vol.%. Na osnovu hemijskih analiza 19 zrna (prilog 7) i klasifikacije hlorita prema odnosu $Fe^{2+}+Fe^{3+} : Si$ (Hey, 1954) utvrđeno je da su hloriti predstavljeni piknohloritom i brusvingitom i prelazima između njih (slika 27).



Slika 27: Klasifikacioni dijagram na osnovu odnosa $Fe^{2+}+Fe^{3+} : Si$ (Hey, 1954) za analizirane hlorite iz albitskih dolerita.

Amfiboli - feroaktinolit i čermakit su konstatovani u uzorku TA-K. Javljaju se u maloj količini i to kao iglice unutar ljuspica hlorita. Osim ovih amfibola u uzorku PR-K konstatovana je magneziohornblenda. Rezultati hemijskih analiza tri zrna amfibola prikazani su u prilogu 8, a klasifikacioni dijagram na osnovu odnosa $Mg/(Mg+Fe) : Si$ (Leake et al., 1997) na slici 28.



Slika 28: Klasifikacioni dijagram na osnovu odnosa $Mg/(Mg+Fe) : Si$ (Leake et al., 1997) za amfibole iz albitskih dolerita.

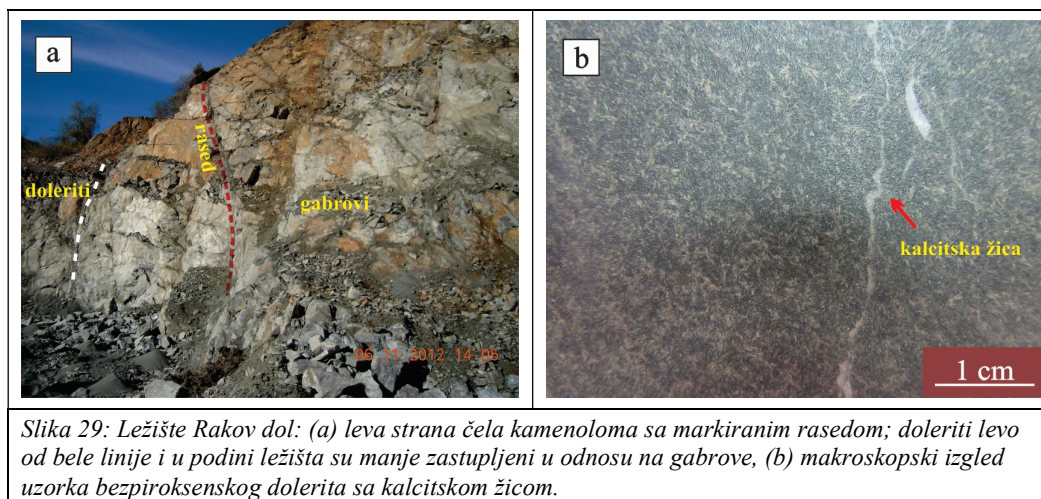
Sporedni sastojci se javljaju u količini ispod 1 vol.% i predstavljeni su *apatitom* i *metaličnim mineralima*.

Prenit je kao sekundaran mineral zastupljen u svim primercima albitskih dolerita. Sadržaj prenitita varira od 2,5 vol.% (TA-K) do 20 vol.% (PR-S/P). Javlja se u vidu nepravilnih, gnezdastih nagomilanja prečnika oko 0,4 mm (slika 24a-e). *Kalcit* zapunjava žice u doleritima Divčibara (slika 23a) i Prevešta, a *epidot* je obilan u žicama Prevešta. Sekundarni *metalični minerali* su prisutni u steni kao praškasti i finožrni agregati. Sadržaj metalinih minerala (primarnih i sekundarnih) je oko 5 vol.%. Hemijskim analizama (nije prikazano u prilogima) utvrđen je magnetit u uzorku DI-2, titanomagnetit u uzorku PR-S/P, pirit u uzorcima DI-1, TA-S i PR-S/P, a ilmenit u uzorku PR-K. Sekundarni *kvarc*, zajedno sa prenitom, kalcitom, hloritom i metalinim mineralima ispunjavaju žice (debljine 0,3 mm do 0,5 mm) i šupljine. Mikroprslina su mestimično zapunjene kalcitom i kvarcom (DI-1). U uzorku DI-2 obilno je zastupljen i žućkasti limonit koji markira pukotine zjapa oko 1 do 2 mm i prslina koje presecaju stenu, a konstatovan je i u osnovi stenske mase. Obilje žica i pukotina čini između 1 i 3 vol. % dolerita.

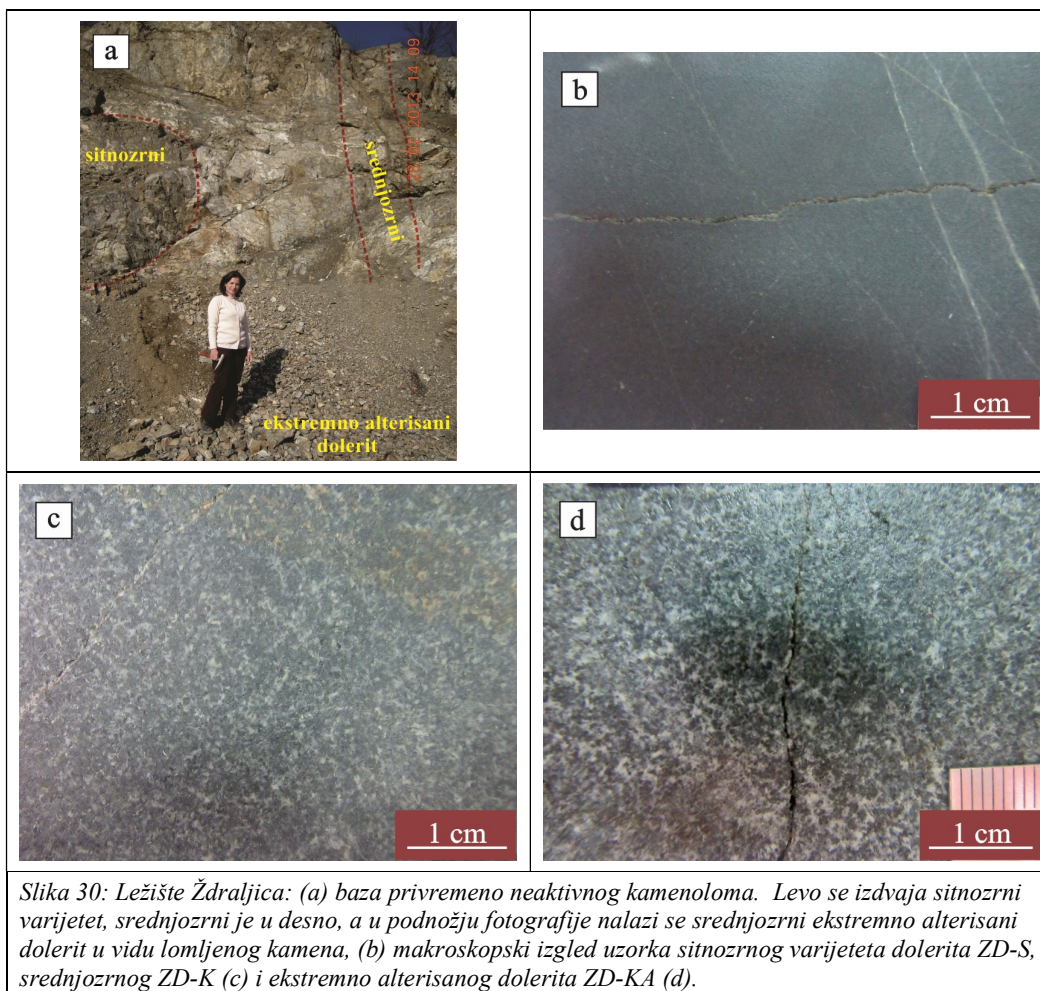
3.3.2.1.2 *Bezpiroksenski doleriti*

U ovoj grupi dolerita izdvojen je dolerit iz ležišta Rakov dol (RD-D) i tri alterisana dolerita sa nalazišta Ždraljica (ZD-S, ZD-K, ZD-KA). Doleriti su alterisani tako da pirokseni nisu prisutni u ovim uzorcima, odnosno potpuno su zamenjeni sekundarnim mineralima.

Ležište **Rakov dol** nalazi se u istoimenom selu kod mesta Vlasotince. Iako je na ovom ležištu otvoren kamenolom gabra koji je aktivan (slika 29a desno od raseda, detaljan opis u poglavlju 3.3.2.2), u levom i podinskom delu otvorene etaže kamenoloma nalaze se i doleriti i oni su opisani ovde zajedno sa ostalim bezpiroksenskim doleritima. Ovi doleriti su tamnosivozelene boje (slika 29b). Ispresecani su belim žicama kalcita debljine oko 0,3 mm do oko 7 mm. Po površini su konstatovane limonitske skrame. Prelom stene je ravan sa finohrapavom prelomnom površinom i ostrim ivicama loma.

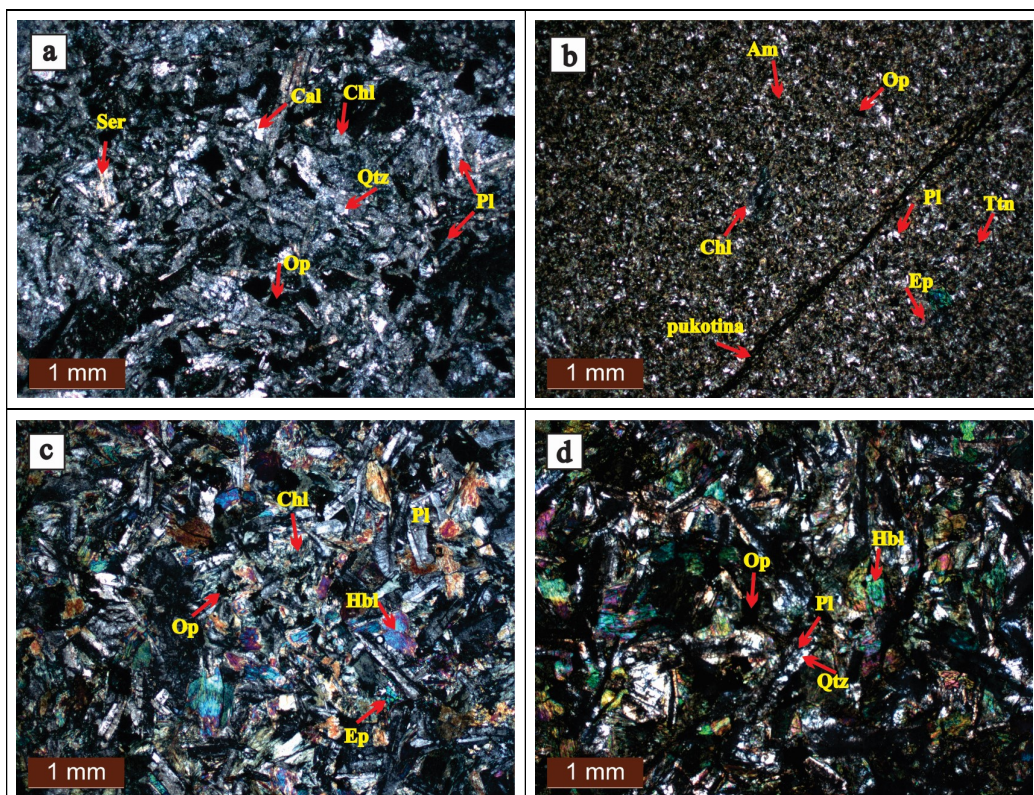


Sledeće nalazište podgrupe bezpiroksenskih dolerita jeste nalazište **Ždraljica** blizu Kragujevca, u oblasti Gledićkih planina (slika 30a). Nalazište gde su prikupljeni uzorci predstavlja napušteni kamenolom u kome se stene odlikuju heterogenim petrografskim odlikama. Na rastojanju od oko 5 m izdvojeni su varijeteti sitnozrnog afanatičnog varijeteta (slika 30b), srednjozrnog (slika 30c) i srednjozrnog ekstremno alterisanog dolerita (slika 30d). Stenska masa je tektonski dosta izlomljena. Doleriti ove grupe su tamnozelene do tamnosive (ZD-S), sivozelene do zelenobeke (ZD-K) boje. Imaju masivnu, homogenu teksturu. Ispresecani su mrežom žica bele i zelene boje i sistemima subparalelnih pukotina i prslina. Ekstremno alterisan dolerit (ZD-KA) je svetlozelene boje, takođe masivne teksture. Međutim, ovaj uzorak je laganiji u odnosu na ostale varijetete i stena nema sjaj. Pod rukom se opipava njegova jako hrapava površina. Zapažaju se i brojne prsline i pukotine, žilice bele boje, kao i površinske limonitske skrame. Ovaj ekstremno alterisani dolerit leži u podnožju kamenoloma u obliku lomljenog kamena. Pojedini uzorci se mogu rukom lako dodatno usitniti. Kod srednjozrnih uzoraka ZD-K i ZD-KA prelom stene je neravan sa grubohrapavom prelomnom površinom i umereno oštrim ivicama loma. Kod sitnozrnog varijeteta prelomna površina je gotovo glatka i ZD-S uzorak ima izuzetno oštre ivice loma.



Slika 30: Ležište Ždraljica: (a) baza privremeno neaktivnog kamenoloma. Levo se izdvaja sitnozrni varijetet, srednjozrni je u desno, a u podnožju fotografije nalazi se srednjozrni ekstremno alterisani dolerit u vidu lomljenog kamena, (b) makroskopski izgled uzorka sitnozrnog varijeteta dolerita ZD-S, srednjozrnog ZD-K (c) i ekstremno alterisanog dolerita ZD-KA (d).

Mikroskopskim ispitivanjima (slika 31a-d) utvrđeno je da kod sitnozrnog varijeteta ZD-S (slika 31b) strukture variraju od finoznaste, intergranularne (kojih je prečnik zrna manja od 0,1 mm) do finoofitske (dužina zrna manja od 0,5 mm). Kod srednjozrnih varijeteta bezpiroksenskih dolerita strukture su krupnoofitske i subofitske sa preovlađujućom dužinom zrna plagioklasa oko 1 mm (RD-D, slika 31a) i između 1 mm i 3 mm dužine plagioklasa za ostale varijetete (ZD-K, ZD-KA, slika 31c-d). Mineralni sastav ovih dolerita je sledeći: plagioklas, kao primarni sastojak, je zastupljen kod svih varijeteta. Sporedni sastojci su metalni minerali, titanit (sfen) i apatit. Sekundarni minerali su predstavljeni sekundarnim amfibolima i/ili hloritima koji su nastali na račun piroksena, kao i epidotom, prenitom, kvarcom i limonitom.

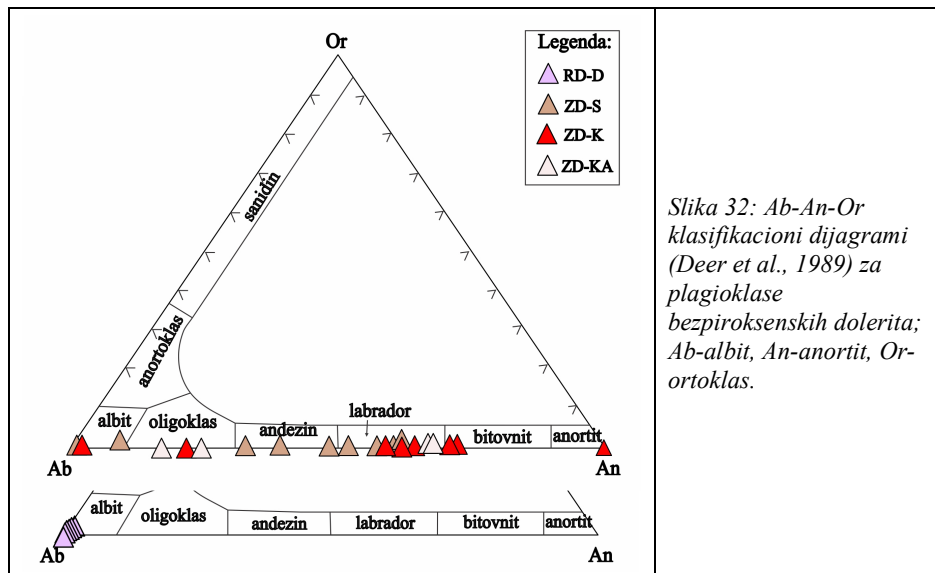


Slika 31: Mikroskopski izgled bezpiroksenskih dolerita: (a) uzorak **RD-D** je krupnoofitske strukture sa dominantnim učešćem plagioklasa, hlorita i kalcita, (b) uzorak je **ZD-S** je fino-zrnaste strukture; stensku masu preseca pukotina markirana limonitom, (c) uzorak **ZD-K** je krupnoofitske do subofitske strukture, (d) ekstremno alterisani uzorak **ZD-KA** je iste strukture kao ZD-K ali sa krupnijim i više alterisanim zrnima; ukršteni nikoli (xpl).

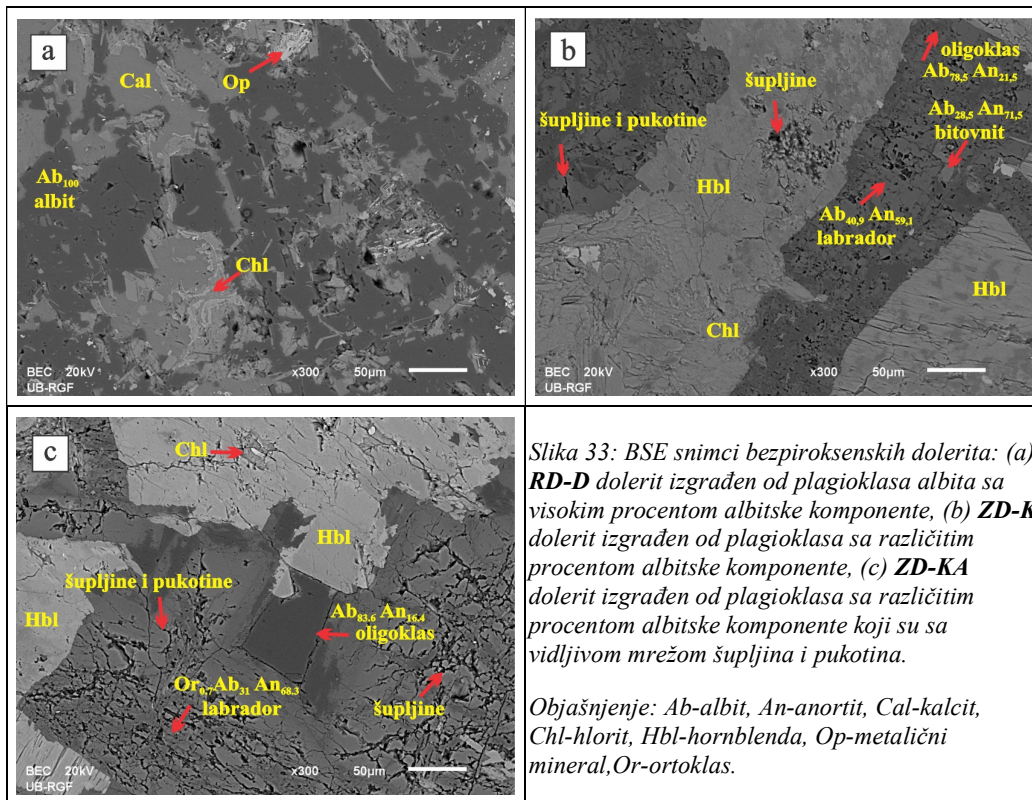
Objašnjenje: Am-amfibol, Cal-kalcit, Chl-hlorit, Ep-epidot, Hbl-hornblenda, Op-metalni minerali. Pl-plagioklas, Qtz-kvarc, Ser-sericit, Ttn-titanit (sfen).

Plagioklasi su obično idiomorfni do hipidiomorfni. U uzorku RD-D plagioklasi su štapićastih formi, potpuno zamućeni i šupljikavi, dimenzija 0,3 x 0,8 mm. U ležištu Ždraljica plagioklasi imaju veliki raspon krupnoće zrna: u uzorku ZD-S prečnik zrna je manji od 0,1 mm, a u uzorcima ZD-K i ZD-KA širina i dužina zrna variraju od oko 0,5 x 0,7 mm do oko 1,7 x 2 mm. Sadržaj plagioklasa u bezpiroksenskim doleritima je oko 40 vol.%. Hemijskim analizama obuhvaćeno je 27 zrna plagioklasa (prilog 9). Sadržaj albitske komponente varira. U bezpiroksenskim doleritima Rakovog dola plagioklasi su potpuno albitisani sa sadržajem albitske komponente u uskom opsegu od 95,5% do 100% (prilog 9) što je potvrđeno klasifikacionim dijagramom (Deer et al., 1989) na slici 32. U uzorcima ZD-S, ZD-K i ZD-KA plagioklasi su predstavljeni intenzivno nehomogenim zrnima kod kojih unutar individualnih zrna sastav varira od albита do anortita (slika 32). Procentualni sadržaj albitske komponente ovih plagioklasa

varira od 37,7 % do 99,3 % u uzorku ZD-S, zatim 0,0 % do 97,2 % za uzorak ZD-K, dok je najmanji opseg variranja u uzorku ZD-KA od 31 % do 83,6 %. U pojedinim zrnima plagioklasa izdvojen je prenit u vidu gnezdastih nagomilanja nepravilnog oblika.

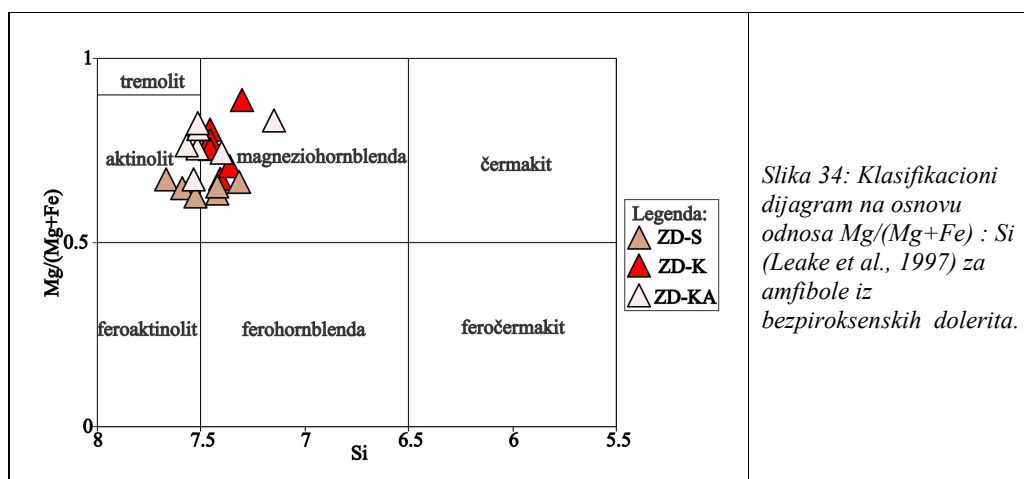


Na slici 33a prikazan je BSE snimak uzorka dolerita RD-D sa plagioklasima koji odgovaraju albitima. Na istoj slici 33b prikazani je snimak plagioklasa uzorka ZD-K.

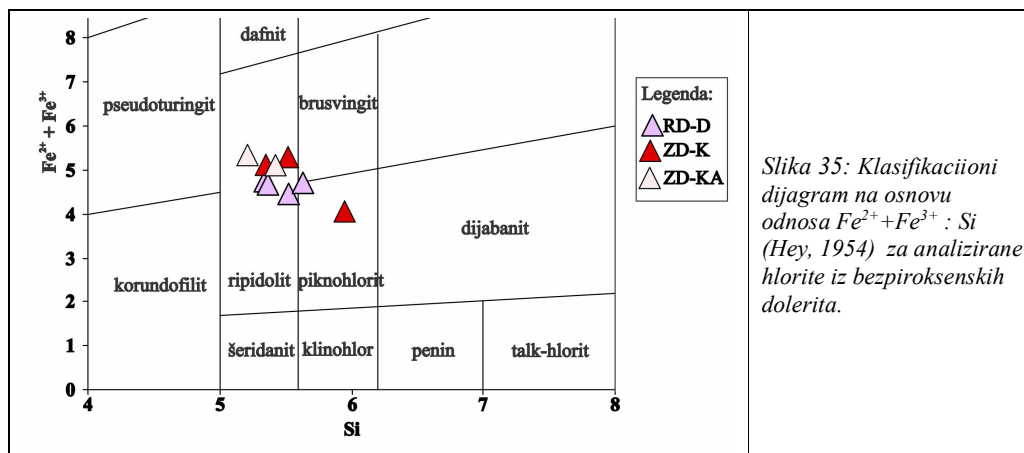


Plagioklasi ovog uzorka variraju od oligoklasa, preko labradora i bitovnita, sve do anortita. U uzorku ZD-KA pukotine su najzastupljenije u odnosu na sve ispitane uzorke ove studije (slika 33c). Ima ih po zrnima plagioklasa i amfibola, sa razlikom što su plagioklasi u ovom uzorku dodatno ispucali i šupljikavi.

Amfiboli su obilno prisutni u uzorcima dolerita Ždraljce. Javljaju se u vidu sitnih zrna prečnika do oko 0,5 mm (ZD-S) preko pritkastih formi dimenzija oko 0,5 x 0,7 mm (ZD-K) i štapićastih aktinolita u uzorku ZD-KA dimenzija oko 0,7 x 1,2 mm. Čine oko 50 vol.% stene. Na osnovu hemijskog sastava 19 zrna amfibola (prilog 10), a prema klasifikacionom dijagramu odnosa $Mg/(Mg+Fe) : Si$ (Leake et al., 1997), utvrđeno je da amfiboli u uzorcima ZD-S i ZD-KA odgovaraju aktinolitu i magneziohornblendi, a u uzorku ZD-K magneziohornblendu (slika 34).



Hloriti su kao sekundarni minerali obilno zastupljeni u uzorku dolerita RD-D (oko 30 vol.%), dok su u ležištu Ždraljica vrlo malo zastupljeni (do 5 vol.%). Ispunjavaju prostore između bitnih minerala, ili se javljaju unutar zrna amfibola, kao na primer u uzorcima dolerita Ždraljice (slika 33b, c). Hemijskim analizama obuhvaćeno je devet liski hlorita, čiji je hemijski sastav prikazan u prilogu 11, a klasifikacija na osnovu odnosa $Fe^{2+}+Fe^{3+} : Si$ prema Hey-u (1954) prikazana na slici 35. U uzorku ZD-KA konstatovan je ripidolit. U uzorku ZD-K konstatovani su i ripidolit i piknihlorit. Uzorak RD-D osim pomenutih hlorita, pokazuje i prelaz ka brusvingitu.



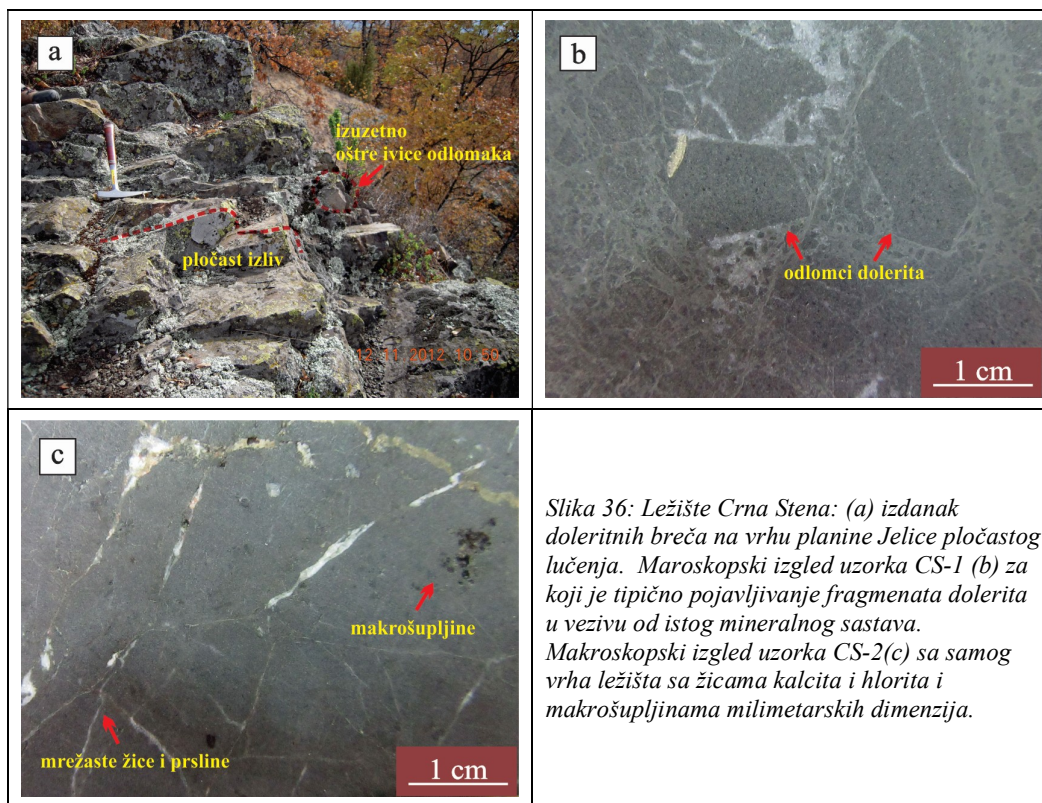
Slika 35: Klasifikacioni dijagram na osnovu odnosa $Fe^{2+}+Fe^{3+} : Si$ (Hey, 1954) za analizirane hlorite iz bezpiroksenskih dolerita.

Titanit je konstatovan u uzorcima Ždraljice u količini do 5 vol% i apatit do 2 vol.%. Metalni minerali se javljaju kao primarni sastojci u vidu pojedinačnih zrna dimenzija od oko 0,2 mm do oko 0,5 mm u prečniku ili kao sekundarni praškasti i fino-zrni agregati. Hemijskim analizama utvrđen je magnetit u uzorku RD-D, a ilmenit u uzorcima ZD-S, ZD-K i ZD-KA (nije prikazano u prilogima). Njihov sadržaj ne prelazi 5 vol.% stene.

Sekundarni kvarc, zajedno sa prenitom, ispunjava žice i nepravilne šupljine u uzorku ZD-S (slika 31b), ili se pojavljuje samostalno u vidu nepravilnih nagomilanja u uzorku RD-D (slika 31a). Kvarc se javlja i unutar zrna plagioklasa u uzorku ZD-KA (slika 31d). Kalcit je obilnije zastupljen u uzorku RD-D (oko 15 vol.%). U istom uzorku konstatovane su i liske sericita (oko 5 vol.%). Limonitske skrame su konstatovane po površini uzorka ekstremno alterisanog dolerita (ZD-KA). Mreža pukotina u ovom uzorku čini do 10 % vol. stene.

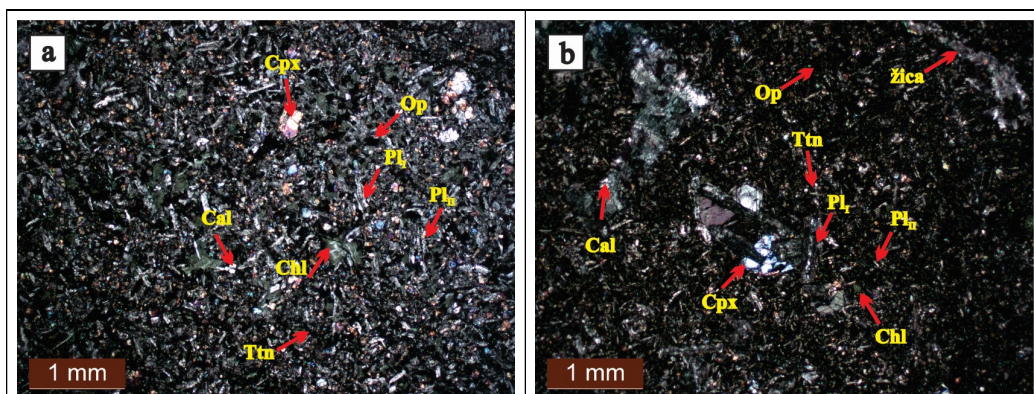
3.3.2.1.3 Doleritne breče

Ležište doleritnih breča Crna stena nalazi se u blizini Čačka na vrhu planine Jelice, na koti od 937 m. Prikupljeni su uzorci sa oznakama CS-1 i CS-2. Stenska masa je tamnosive do crne boje sa plavičastim odsjajem. Na izdanku se zapaža pločasto lučenje u najvišim delovima profila. Pukotine lučenja se jasno uočavaju (slika 36), pa se dobija utisak subparalelnog pločastog izliva. Debljina ploča je od oko 20 cm do 60 cm sa padom ka severoistoku.



Uzorak CS-1 ima brečastu teksturu koju čine odlomci dolerita dimenzija od 0,8 cm do 1,2 cm povezanih vezivom istog mineralnog sastava. Konstatovan je i uzorak CS-2 sa masivnom do mandolastom teksturom koji je tektonski intenzivno izlomljen i ispresecan mrežom žica bele boje, od kojih su neke kalcitskog sastava, dok se sastav drugih belih žilica ne može makroskopski preciznije determinisati. Konstatovane su i žice tamnozelene boje. Gnezdasta nagomilanja bele boje su prečnika oko 0,7 mm, odnosno sočivasta nagomilanja dužine do oko 3 mm. Prsline su često markirane limonitskim pigmentom i delimično praškastim metalničnim mineralima. Zbog jake tektonske aktivnosti uzorci CS-1 i CS-2 su opisani zajedno u podgrupi doleritnih breča. Njihov prelom je ravan (CS-2) do neravan (CS-1) sa fino hrpavom prelomnom površinom i izuzetno ostrim ivicama loma. Zajedničko za ova dva uzorka jeste i pojava procesa hloritizacije, kalcitizacije, silifikacije, kao i povećanog sadržaja metalčnih minerala.

Mikroskopskim ispitivanjem (slika 37a-b) utvrđeno je da su im strukture finoofitske do intergranularne i fino zrnaste (dužina zrna manja od 0,5 mm), kao i porfiroidne (CS-2, slika 37b).

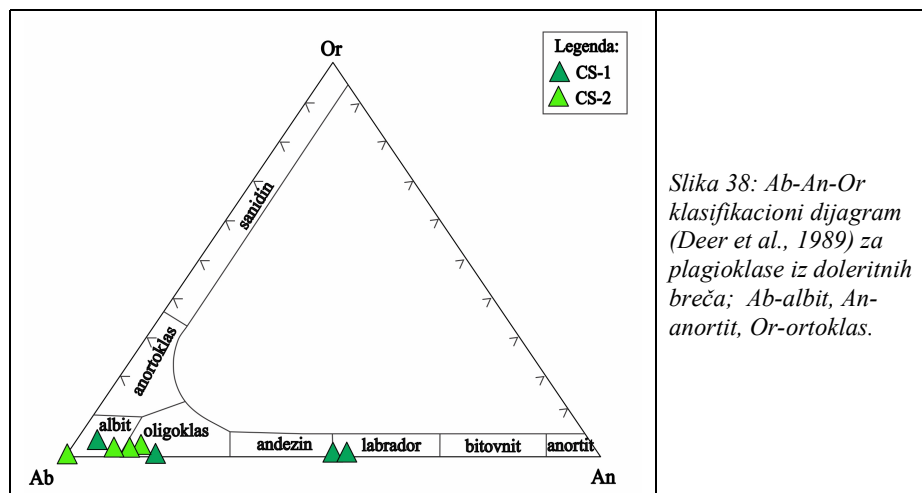


Slika 37: Mikroskopski izgled: (a) uzorak **CS-1** doleritne breče finoofitske do intergranularne strukture sa hloritom u mandolama (b) uzorak **CS-2** tektonski izlomljenog dolerita je porfiroidne strukture i sitnozrniji je u odnosu na uzorak CS-1; u gornjem desnom uglu vidljiva žica od hlorita i kvarca; ukršteni nikoli (xpl).

Objašnjenje: Cal-kalcit, Chl-hlorit, CPx-klinopiroksen, Op-metalični minerali, Pl_I-fenokristal plagioklasa, Pl_{II}-igličasti plagioklas, Ttn-titanit (sfen).

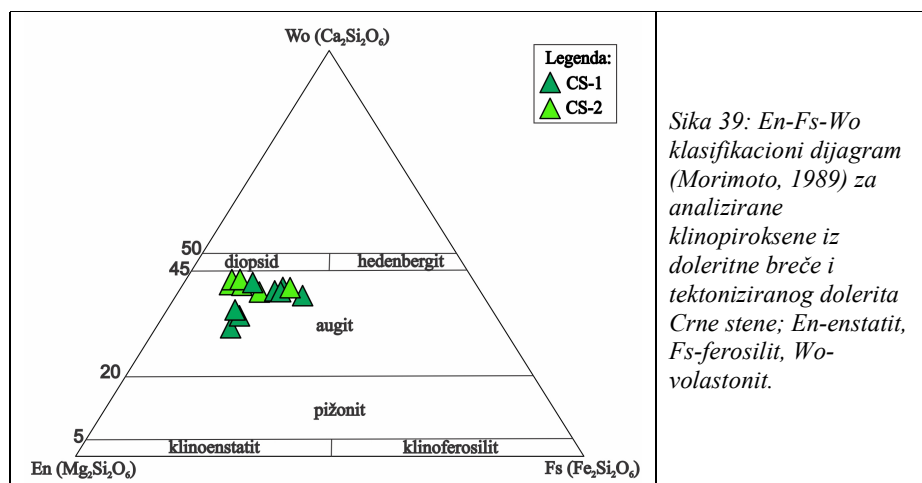
Stene iz ove grupe su izgrađene od pritkastih i igličastih plagioklasa i sitnih monokliničnih piroksena kao bitnih faza, zatim sporednih metaličnih minerala i titanita, i sekundarnih minerala: hlorita, kalcita i kvarca.

Plagioklasi se pojavljuju dvojako: prva generacija (Pl_I) se javlja u vidu pritkastih formi, dimenzija oko 0,4 x 0,6 mm (CS-1) ili nešto krupnijih fenokristala, dimenzija oko 0,4 x 1,2 mm (CS-2), dok se druga generacija (Pl_{II}) sreće u obliku igličastih mikrolita, dužine do 0,6 mm. Čine oko 50 vol.% stene. Na osnovu hemijskog sastava osam zrna plagioklasa, a prema korišćenim principima klasifikacije za feldspate (Deer et al., 1989), (prilog 12, slika 38) utvrđeno je da su plagioklasi u doleritnoj breči uzorka CS-1 heterogenog sastava koji varira od albita, oligoklasa, andezina i labradora sa sadržajem ablitske komponente od 47,4% do 94,5%. U uzorku dolerita CS-2 koji je tektonski dosta izlomljen, plagioklasi su homogeniji u sastavu i variraju od albita do oligoklasa, pri čemu sadržaj ablitske komponente varira od 86,6 % do 100 %.



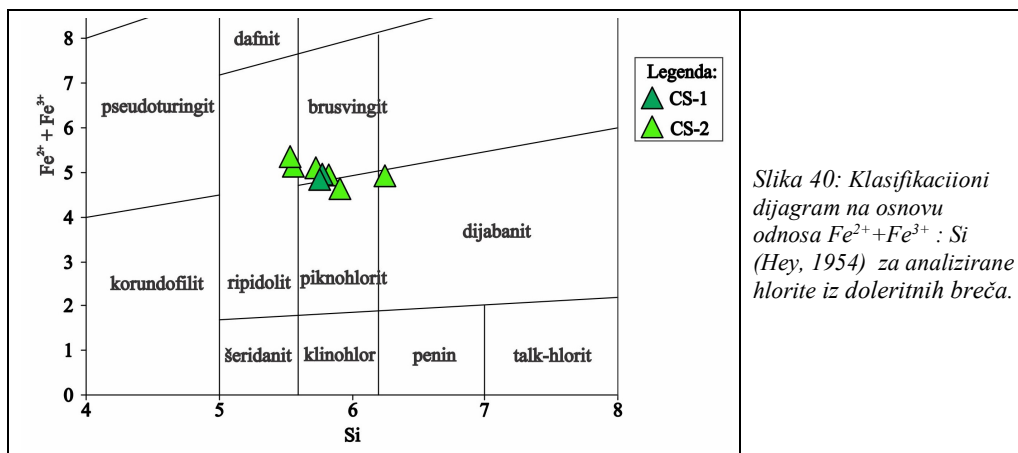
Slika 38: Ab-An-Or klasifikacioni dijagram (Deer et al., 1989) za plagioklase iz doleritnih breča; Ab-albit, An-anortit, Or-ortoklas.

Klinopirokseni se javljaju u vidu izometričnih, svežih, ispucalih kristala dimenzija oko 0,2 x 0,4 mm. U oba analizirana uzorka izgrađuju oko 25 vol.% stene. Na osnovu hemijskog sastava 14 zrna piroksena koji je prikazan u prilogu 13, a prema klasifikacionom dijagramu En-Fs-Wo (Morimoto, 1989), ovi klinopirokseni odgovaraju augitima (slika 39).



Slika 39: En-Fs-Wo klasifikacioni dijagram (Morimoto, 1989) za analizirane klinopiroksene iz doleritne breče i tektoniziranog dolerita Crne stene; En-enstatit, Fs-ferosilit, Wo-volastonit.

Procesi hloritizacije najviše su izraženi u ovim uzorcima. Liske *hlorita*, zajedno sa kvarcom i kalcitom, ispunjavaju mandole u steni (slika 37a-b). Hloriti su, osim u mandolama, prisutni i unutar zrna šupljikavih plagioklasa ili zapunjavaju prsline u steni. Hloritizacija je često praćena kalcitizacijom i silifikacijom. Prema dijagramu odnosa $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} : \text{Si}$ (Hey, 1954) osam zrna hlorita je predstavljeno brusvingitom i piknohloritom za uzorak CS-1, a ripidolitom, brusvingitom, piknohloritom, brusvingitom i dijabanitom za uzorak CS-2 (slika 40, prilog 14). Manje ih ima u uzorku CS-2 (10 vol.%) u odnosu na uzorak CS-1 (15 vol.%).



Slika 40: Klasifikacioni dijagram na osnovu odnosa $Fe^{2+}+Fe^{3+} : Si$ (Hey, 1954) za analizirane hlorite iz doleritnih breča.

Titanit čini oko 5 vol.% stene. Prisutan je u vidu sitnih neizduženih zrna prečnika oko 0,2 mm do 0,3 mm. Metalni menarali su takođe obilno prisutni (od 5-7,5 vol.%). Javljaju se u vidu pojedinačnih zrna prečnika oko 0,1 mm do 0,2 mm i praškastih agregata. Hemijskim analizama (nije dato u prilogu) utvrđeno je da se radi o sitnim zrnima magnetita. Stena je ispresecana žicama kalcita, kvarca i pirita.

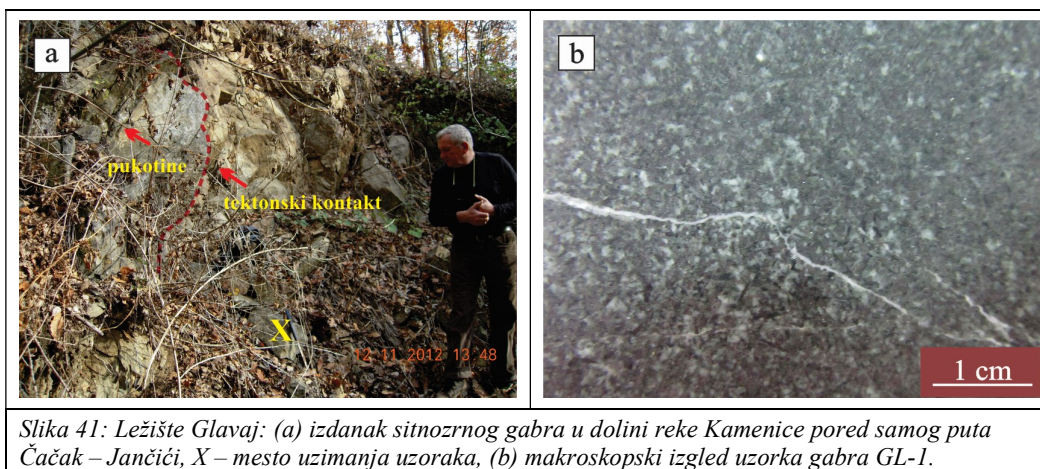
3.3.2.2 Gabrovi

U grupi gabrova izdvojena je podgrupa gabrova (GL-1, RD-G, MO-1) i metagabrova (BP-2/1, BP-2/2).

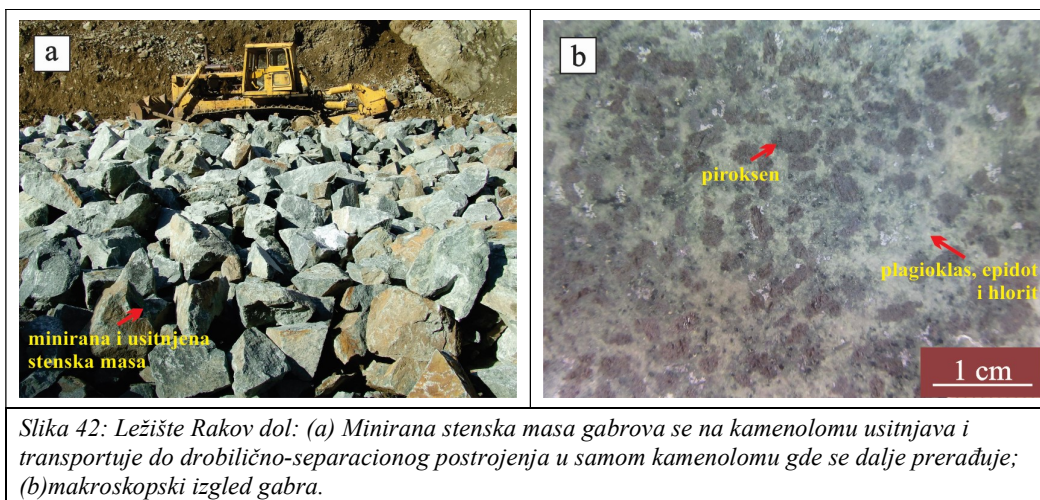
3.3.2.2.1 Gabrovi

Gabrovi su izdvojeni na ležištu Glavaj, Rakovom dolu i nalazištu Mošute.

Ležište **Glavaj** se nalazi blizu Čačka. U morfološkom pogledu ležište je brdskog karaktera. Zahvata jugozapadne padine brda Svinčine. Gabrovske stene lepo su otkrivene sa desne strane puta Čačak – Jančići, duž doline reke Kamenice. Stenska masa je delimično pokrivena vegetacijom. Gabrovi su tamnozelene do tamnosive boje sa uočljivim plagioklasima mlečnobeke boje, dužine zrna do 1mm. Gabrovi su masivne i homogene teksture. Ispresecani su kalcitskim žicama i žilicama bele boje. Prelom stene je neravan, sa grubohrapavom prelomnom površinom i ostrim ivicama loma. Uzorak za ispitivanje GL-1 uzet je u podnožju izdanka prikazanog na slici 41.



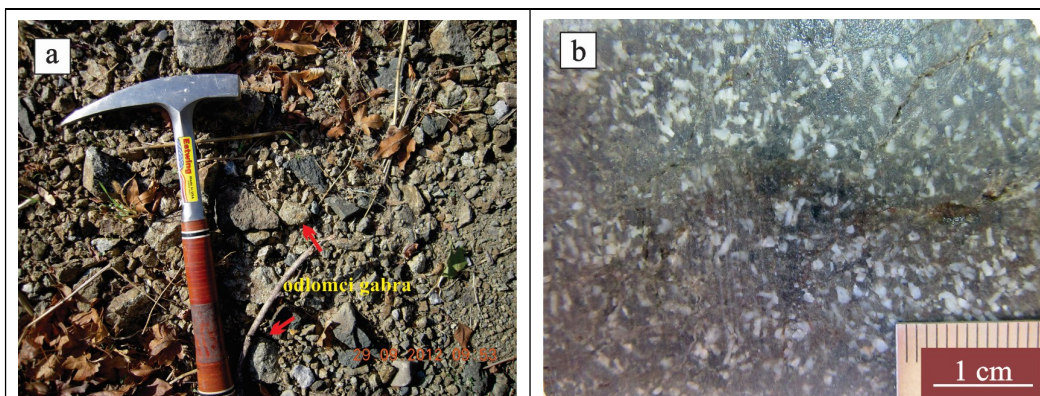
Ležište **Rakov dol** nalazi se u istoimenom selu kod mesta Vlasotince. U ležištu je otvoren kamenolom koji je aktivan. Uže područje ležišta Rakov dol izgrađeno je od varijeteta gabra i znatno manje dolerita. U gornjem delu otvorenog čela kamenoloma izdvojeni su krupnozrniji i srednjozrniji gabrovi, koji ka podini prelaze ka sitnozrnijim varijetetima. U ležištu se pojavljuje i mala količina dolerita koja je prikazana u poglavlju o bezpiroksenskim doleritima (potpoglavljje 3.3.2.1.2). Stenska masa gabrova se u kamenolomu minira, usitnjava (slika 42a) i kamionima transportuje do drobilično-separacionog postrojenja koje je postavljeno u neposrednoj blizini kamenoloma gde se dalje predrobljava. Makroskopski izgled gabra prikazan je na slici 42b.



Gabrovi Rakovog dola su maslinastozelene do svetlozelene boje. Vidljivi su minerali tamne boje dužine zrna do 7 mm između kojih su plagioklasi, epidoti i hloriti svetlozelene do tirkiznozelene boje (slika 42b). Masivne i homogene su tekture.

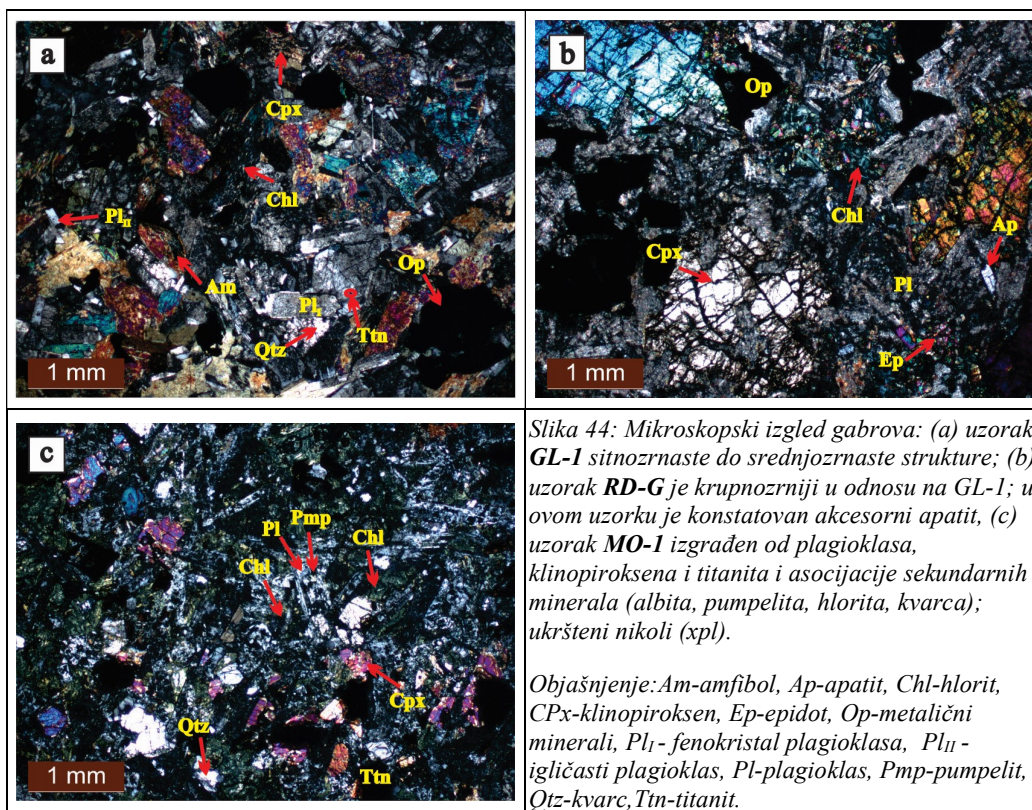
Ispresecani su žicama i žilicama bele i zelene boje. Prsline su markirane limonitskim pigmentom.

Nalazište gabra **Mošute** nalazi se na obroncima Kopaonika između jezera Zlatari i Brusa. Nalazište gde su uzeti uzorci je malo i lokalnog je karaktera. Gabrovi se javljaju u vidu većih ili manjih odlomaka pored seoskog puta koji izlazi na oštru krivinu puta Mošute - Brus, neposredno posle sela Mošute. Ugrađeni su i u seoski put. Prospekcija šireg područja nalazišta nije vršena. Ovi gabrovi su nehomogene tamnozelene boje, srednjozrne strukture, sa mineralima prečnika od oko 2 mm do oko 3 mm. Imaju izrazito hrapavu prelomnu površinu koja se pod prstima može osetiti. Pojedini uzorci su trošni i mogu se rukom lomiti na sitnije delove. Gabrovi se pojavljuju slično kao i ekstremno alterisani dolerit ZD-KA i to u vidu nagomilanja lomljenog kamena lokalnog karaktera. Razlika je što su ovi gabrovi pomešani sa izdrobljenim materijalom istog sastava i sa zemljanim materijalom (slika 43). Pojedini delovi nalazišta su zarasli gustom vegetacijom. Odabir ovakvog uzorka vršen je namenski, da bi se sagledao uticaj alterisanih i površinski hrapavijih gabrova na karakteristike mikrohrapavosti agregata.

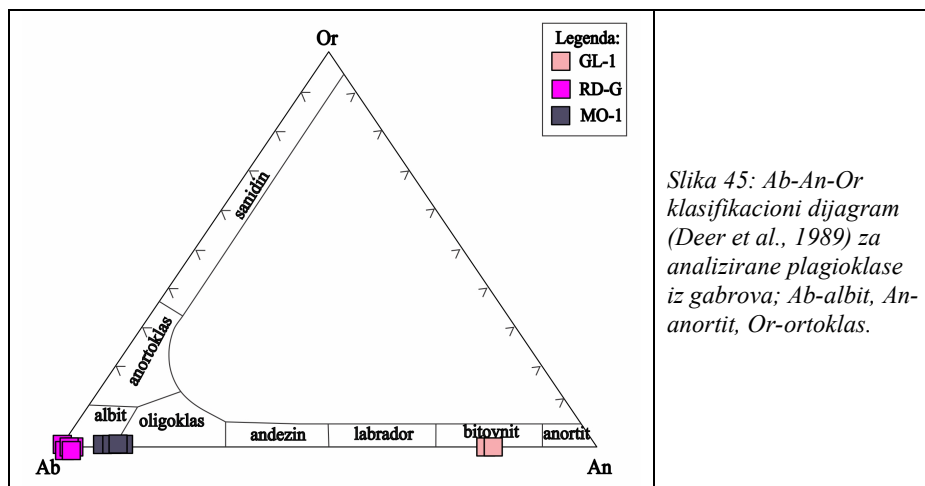


Slika 43: Nalazište Mošute: (a) U blizini magistralnog puta Mošute – Brus nedaleko od oštre krivine, vidljivi su odlomci gabra MO-1. Makroskopski izgled stene prikazanje na slici pod (b).

Gabrovi imaju masivnu teksturu, sitno- do srednjozrnastu (GL-1), srednjozrnastu (RD-G; MO-1), lokalno poikilitsku (GL-1, RD-G) i moguće intersertalnu (MO-1) strukturu. Slično kao i doleriti, sastoje se od plagioklasa i monokliničnih piroksena kao primarnih faza, sporednih sastojaka kao što su metalni minerali, titanit (sfen) i apatit i različitih sekundarnih minerala (slika 44a-c).

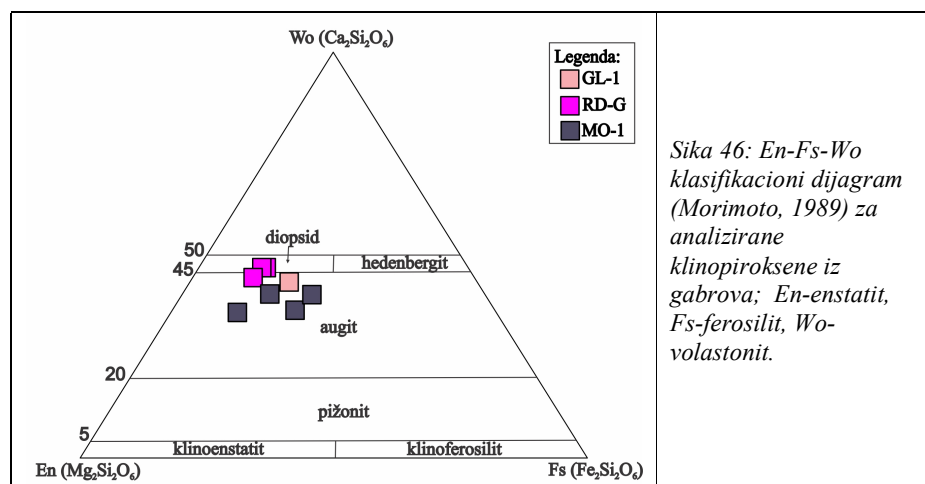


Plagioklasi su hipidiomorfni do alotriomorfni. Kod sitnozrnog gabra (GL-1) zapažene su dve generacije plagioklasa koje zajedno čine oko 40 vol.% stene. Prvu čine tabličasta zrna dimenzija od oko 0,3 x 0,7 mm do oko 0,5 x 1,2 mm koja su delimično do potpuno zamućena, dok je druga generacija predstavljena sitnim bistrim zrnima dimenzija oko 0,1 x 0,3 mm. U gabru MO-1 zastupljeni su samo zamućeni tabličasti plagioklasi dimenzija oko 0,5 x 1,2 mm. Ovi plagioklasi izgrađuju 60 vol.% stene. Krupniji plagioklasi se javljaju u gabru RD-G u sadržaju od oko 50 vol.% stene. Plagioklasi su unutar zrna u različitom stepenu (uzorci GL-1, MO-1, slika 44a-c) ili potpuno (uzorak RD-G, slika 44b) albitisani. Zapažena su i zrna albita u asocijaciji sa pumpelitom (uzorak MO-1) ili epidotom i hloritom (uzorak RD-G). Na osnovu hemijskog sastava 11 zrna plagioklasa (prilog 15), plagioklasi su određeni kao bitovniti u uzorku GL-1, oligoklasi i albiti u uzorku MO-1, albiti u uzorku RD-G (Deer et al., 1989, slika 45).



Slika 45: Ab-An-Or klasifikacioni dijagram (Deer et al., 1989) za analizirane plagioklase iz gabrova; Ab-albit, An-anortit, Or-ortoklas.

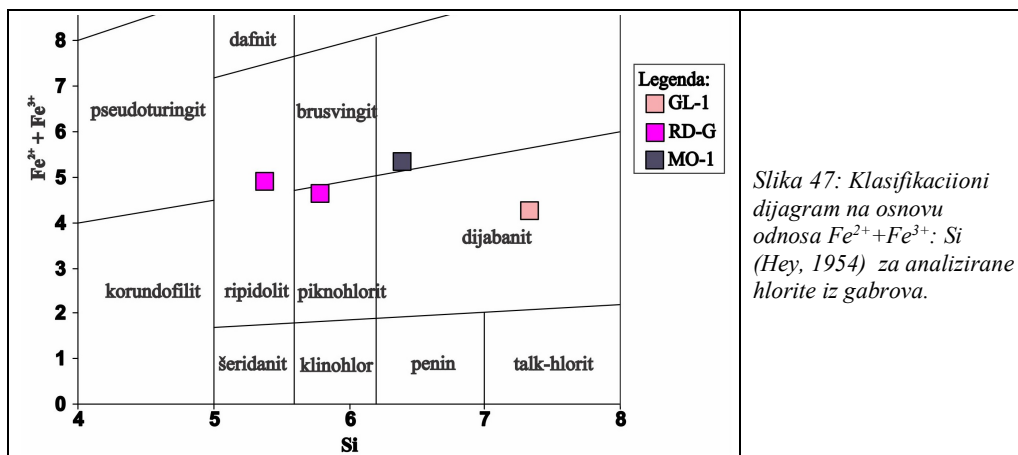
Monoklinični pirokseni formiraju tabličaste do blago prizmatične kristale koji se razlikuju u veličini zrna od sitnih prečnika oko 0,5 mm (GL-1), preko srednje krupnih 0,5 x 0,8 mm (MO-1) ili 0,8 x 1,5 mm (RD-G) do krupnih 1,7 x 4,7 mm (RD-G). Obično se javljaju kao sveži i ispucali ili su delimično hloritisani i amfibolitisani (uzorak GL-1). Izgrađuju oko 10 vol.% srednjozrnih gabrova RD-G i MO-1, dok su kod sitnozrnijeg GL-1 zastupljeni do 25 vol.% stene. Hemijskim analizama obuhvaćeno je osam zrna piroksena, a rezultati hemijskih analiza prikazani su u prilogu 16. Na osnovu kriterijuma za klasifikaciju (Morimoto, 1989), analizirani pirokseni u uzorcima GL-1 i MO-1 predstavljeni su augitima, a u uzorku RD-G to su diopsidi i augiti (slika 46). Delimično su hloritisani. Proces hloritizacije najviše su izraženi u uzorku gabra RD-G, ali su u manjem obimu utvrđeni i u druga dva gabra.



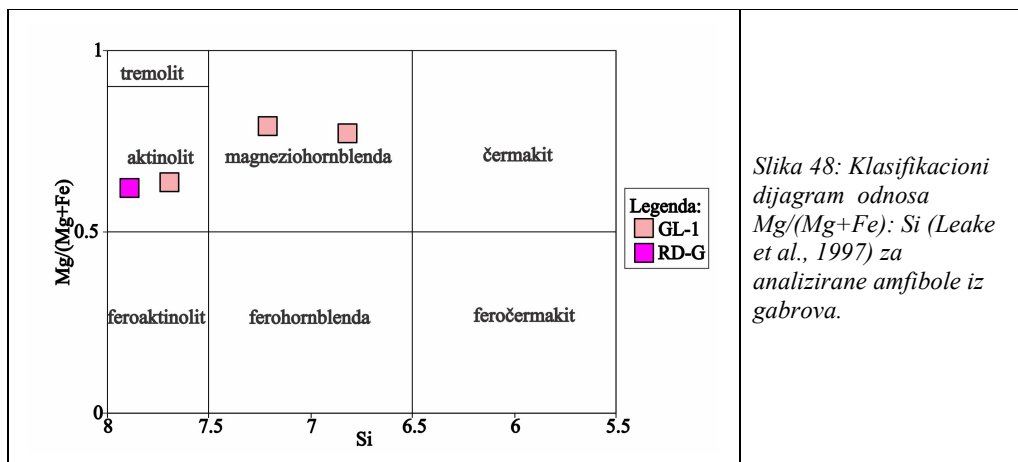
Slika 46: En-Fs-Wo klasifikacioni dijagram (Morimoto, 1989) za analizirane klinopiroksene iz gabrova; En-enstatit, Fs-ferosilit, Wo-volastonit.

Hloriti su značajni sekundarni sastojci. Zastupljeni su sa oko 20 vol.% u uzorcima gabrova. Hemijskim analizama obuhvaćeno je pet zrna hlorita. Prema odnosu $Fe^{2+}+Fe^{3+} : Si$

(Hey, 1954) predstavljeni su piknohloritom i dijabanitom u uzorku GL-1, ripidolitom i piknohloritom u uzorku RD-G, dok u uzorku MO-1 hlorit pokazuje prelaz između polja brusvingita i dijabanita (slika 47, prilog 17). Hloriti takođe ispunjavaju žice u uzorku GL-1.



Amfiboli su konstatovani u uzorcima gabrova Glavaja (GL-1) u vidu sitnih štapićastih do stubastih, delimično hloritisanih zrna dužine do 0,5 mm koji čine oko 7,5 vol.% stene. Na osnovu odnosa $Mg/(Mg+Fe)$: Si (Leake et al., 1997) četiri analizirana zrna (prilog 18) amfibola odgovaraju aktinolit i magneziohornblendi, dok amfiboli u gabrovima Rakovog dola (RD-G) padaju u grupu aktinolita (slika 48).

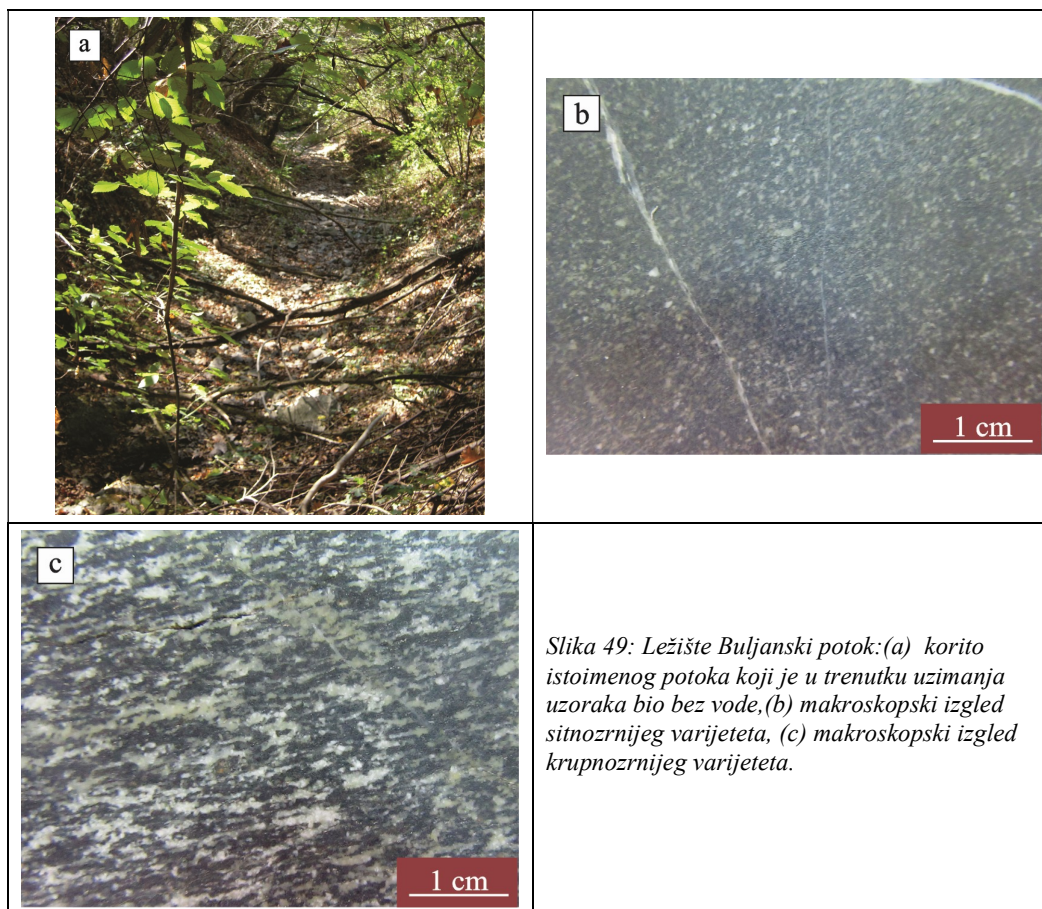


Metalični minerali (magnetit) su u obliku i pojedinačnih zrna dimenzija oko 0,5 x 0,7 mm do oko 0,7 x 1,2 mm i praškastih agregata. Titanit je prisutan u uzorku MO-1 u obliku krupnijih zrna (10 vol.%) i uzorku RD-G u vidu sitnih zrna (do 2 vol.%). Apatit je akcesoran u uzorku gabra RD-G. Javlja se u obliku izduženih zrna dimenzija 0,2 mm do 0,5 mm. Njegov sadržaj je ispod 1 vol.% stene.

Pumpelit je konstatovan u uzorku gabra MO-1. Javlja se unutar zrna prvobitno bazičnog plagioklasa u asocijaciji sa albitom. *Epidot*, nastao alteracijom plagioklasa, konstatovan je u gabrovima Rakovog dola (RD-G) u količini od oko 20 vol.%. Javlja se zajedno sa hloritom. Gradi nagomilanja sitnog zrna ili je u vidu krupnijih pojedinačnih zrna. *Kvarc* je čest sekundaran mineral. Zapunjava prostore između novoformiranih minerala pa su nagomilanja ovog minerala, dimenzija oko 0,3 mm, nepravilnog oblika. Prisutan je u gotovo svim uzorcima u maloj količini (do 1 vol.%). Javlja se u asocijaciji sa sfenom i hloritom u uzorku GL-1. *Kalcit* zapunjava žice u gabrovima Mošuta. *Limonit* u uzorku RD-G markira prsline i pukotine. U uzorku MO-1 konstatovane su šupljine markirane limonitom.

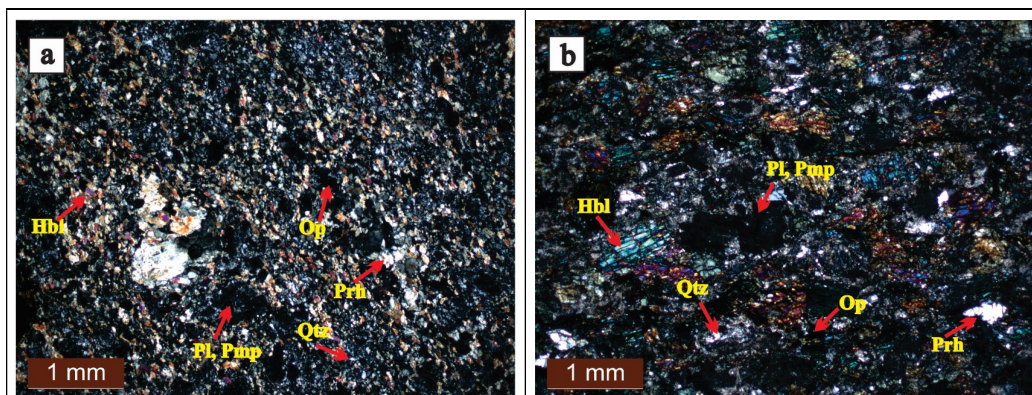
3.3.2.2.2 *Metagabrovi*

Ležište Buljanski potok nalazi se istočno od Svilajнца na brdu visine 330 m. Brdo je pokriveno delom gustom šumom, a delom oranicama. Gabrovske stene lepo su otkrivene duž Buljanskog potoka (slika 49).



U samom potoku razlikuju se odlomci sitnozrnih i krupnozrnih varijeteta pomešanih zajedno, kao i izdanci istih stena duž strana potoka koji su pokriveni bujnom vegetacijom. Za ova ispitivanja uzorkovani su odlomci sitnozrnih (slika 49b) i krupnozrnih (slika 49c) metagabrova (amfiboliziranih gabrova) iz samog korita potoka na koti od 202 m. Oba varijeteta su tamnozelene boje, pri čemu je sitnozrni varijetet makroskopski tamniji. Imaju masivnu do škrljavu teksturu, pri čemu je škrljava tekstura izraženija kod uzorka BP-2/1. Preloma su neravnog sa fino- (BP-2/2) do grubohrapavom (BP-2/1) površinom i ostrim ivicama loma.

Strukture stena su finoznaste, blastoznaste do nematoblastične za varijetet BP-2/2, a srednjoznaste, blastoznaste do nematoblastične za varijetet BP-2/1. Oba varijeteta su izgrađena od istih minerala: plagioklasa, amfibola, pumpelita, kvarca, prenit i metalčnih minerala (slika 50a-b).

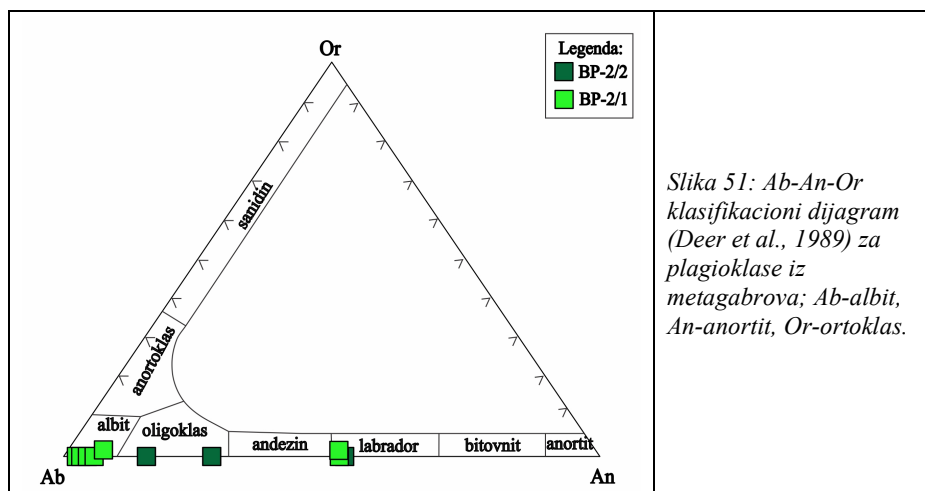


Slika 50: Mikroskopski izgled metagabrova: (a) uzorak **BP-2/2** je finoznaste, blastoznaste do nematoblastične strukture; (b) uzorak **BP-2/1** je istog mineralnog sastava kao BP-2/2 samo je krupnozrniji; plagioklas i pumpelit se javljaju u okviru zrna nejasnih kontura; ukršteni nikoli (xpl).

Objašnjenje: Hbl-hornblenda, Op-metalčni minerali, Pl-plagioklas, Pmp-pumpelit, Prh-prenit, Qtz-kvarc.

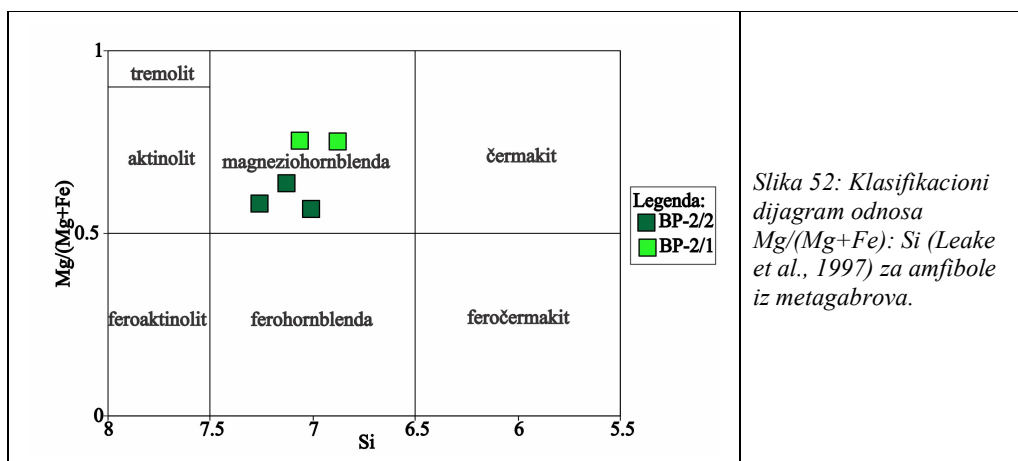
Konstatovane su dve generacije *plagioklasa*. Prvi su krupni, alotriomorfni, približno tabličastih formi, zamućeni, veličine oko 0,5 x 0,7 mm. Izgrađeni od asocijacije albita i pumpelita, sa sadržajem albanske komponente koja u uzorku BP-2/1 varira od 95,2 % do 98,6 % (prilog 19). Plagioklasi druge generacije su pritkastog oblika, bistri. Bazičnijeg su, labradorskog sastava sa sadržajem albanske komponente od 49% do 49,9%. Sitnozrni uzorak BP-2/2 sadrži plagioklase koji su labradorsko-oligoklasnog sastava i koji su takođe u asocijaciji sa pumpelitom. Sadržaj albanske komponente u ovom uzorku varira od 48,7% do 87,3% (prilog 19). Hemijskim analizama obuhvaćeno je 10 zrna plagioklasa koji su labrador-oligoklas-albitskog sastava (Deer et al., 1989, slika 51). U

sitnozrnijem uzorku BP-2/2 su zastupljeni sa oko 45 vol.% stene, a u krupnozrnijem BP-2/1 čine 55 vol.% stene.



Slika 51: Ab-An-Or klasifikacioni dijagram (Deer et al., 1989) za plagioklase iz metagabrova; Ab-albit, An-anortit, Or-ortoklas.

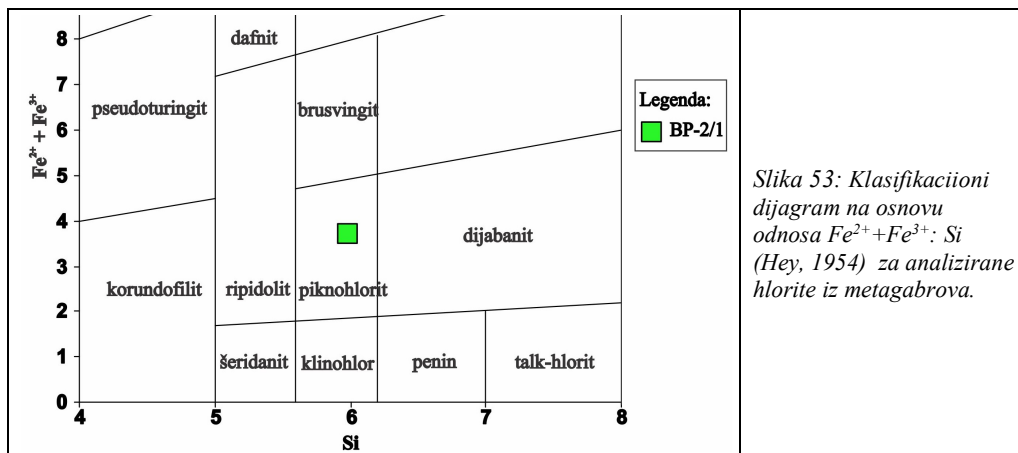
Zrna *amfibola* su u uzorku BP-2/1 dimenzija oko 0,7 x 1,5 mm, dosta su ispucala za razliku od sitnozrnijeg varijeteta gde se to manje uočava jer su zrna sitnija (veliĉine oko 0,3 x 0,4 mm). Ćesto grade nagomilanja. Amfiboli su u ovim uzorcima potpuno zamenili piroksene. Na osnovu hemijskog sastava pet analiziranih zrna amfibola (prilog 20), a prema odnosu $Mg/(Mg+Fe)$: Si (Leake et al., 1997), utvrĉeno je da su svi amfiboli u ovim uzorcima magneziohornblende (slika 52). Sadrĉaj $Mg/(Mg+Fe)$ je malo viši, a sadrĉaj silicije malo niĉi u krupnozrnijem uzorku BP-2/1 u odnosu na uzorak BP-2/2.



Slika 52: Klasifikacioni dijagram odnosa $Mg/(Mg+Fe)$: Si (Leake et al., 1997) za amfibole iz metagabrova.

Amfiboli su zastupljeniji u sitnozrnijem uzorku BP-2/2 (oko 55 vol.% stene) u odnosu na krupnozrniji BP-2/1 (oko 45 vol.% stene).

Hlorit je registrovan u žilici koja preseca zrno amfibola. Na osnovu hemijskog sastava ove liske hlorita, a prema klasifikacionom dijagramu odnosa $Fe^{2+}+Fe^{3+} : Si$ (Hey, 1954) reč je o piknohloritu (prilog 21, slika 53). U sitnozrnijem uzorku hlorit je samo konstatovan opički, ali hemijski sastav nije određivan. Hloriti su u stenama zastupljeni sa manje od 1 vol.%.

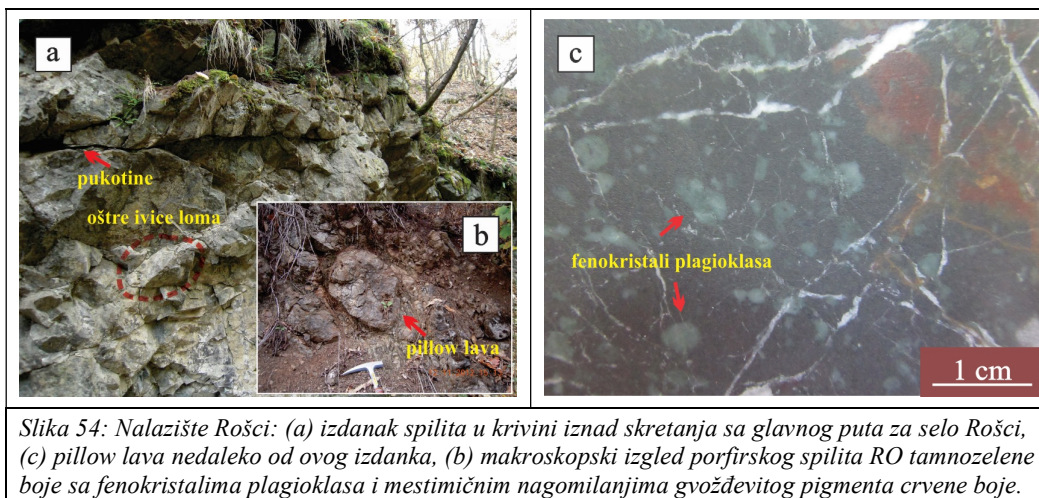


Metalični minerali su kao primarni sastojci prisutni u vidu pojedinačnih zrna. Određeni su kao ilmeniti u uzorku BP-2/1 (hemijske analize nisu date u prilogu). Metalični minerali se takođe pojavljuju i kao sekundarni fino-zrni agregati. Čine do 1 vol.% ispitivanih stena. Sekundarni kvarc se zajedno prenitom javlja u vidu nepravilnih nagomilanja unutar plagioklasa i amfibola. Njihov sadržaj je do 1 vol.% u stenama. U uzorku BP-2/1 kvarc, pumpelit, prenit i albit ispunjavaju žice koje presecaju stensku masu.

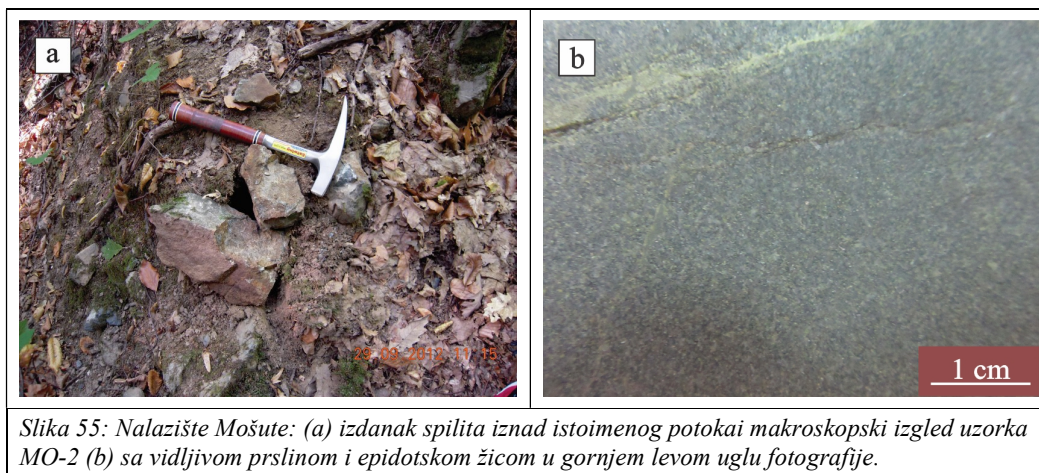
3.3.2.3 Spiliti

Spiliti su uzorkovani na dva lokaliteta – Rošci (RO) i Mošute (MO-2). Izdanci spilita lokaliteta **Rošci** nalaze se pored puta koji vodi od Čačka prema Gojnoj Gori, na oštroj krivini skretanja ka istoimenom selu Rošci. Stenska masa je sitnozrna, afanatična, zelene, lokalno crvenomrke boje sa svetlozelenim fenokristalima plagioklasa. Ove stene su tektonski dosta ispucale (slika 54a-c). Pukotine su brojne pa se stena lako uzorkuje. Odvaljeni odlomci su izuzetno oštih ivica sa finohrapavom do glatkom površinom zrna i ravnim prelomom. Žice su mlečnobeke boje i predstavljene su prenitom i/ili kalcitom. Debljina žica je do 7 mm. Konstatovane su i brojne pukotine često markirane limonitskim pigmentom (slika 54c). Desetak metara ispod ovog izdanka u samom zaseku puta sa leve strane prema selu Rošci nalaze se izdanci *pillow* lava sa

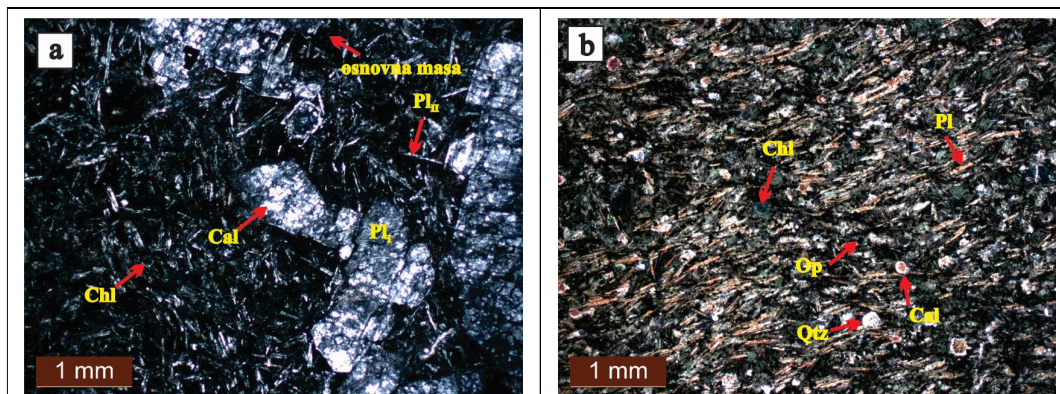
karakterističnim jastučastim formama (slika 54b). Izdanci su delimično pokriveni vegetacijom.



Uzorci sa nalazišta **Mošute** potiču sa padina brda koga preseca istoimeni potok. Sa obe strane potoka nalaze se iste stenske mase. Izdanci u šumi prekriveni su gustom vegetacijom (slika 55a). Uzorak MO-2 je tamnozelene boje (slika 55b). Homogen je i kompaktan, masivne, a lokalno i mandolaste i fluidalne teksture. Prelom stene je ravan, sa finohrapavom prelomnom površinom i ostrim ivicama loma. Žice su maslinastozelene i bele boje. Ne reaguju sa 5%-tnom hlorovodoničnom kiselinom.



U mikroskopu se zapaža porfirska, sa elementima glomeroporfirске i variolitske strukture kod uzorka RO (slika 56a), a finoofitska struktura u uzorku MO-2 (slika 56b). Izgrađeni su od plagioklasa, male količine metalčnih minerala i promenljive količine sekundarnih minerala - hlorita, kalcita i kvarca. Uzorak RO dodatno ima relikate klinopiroksena, prenit i vulkansko staklo, dok je kod uzorka MO-2 konstatovan epidot.

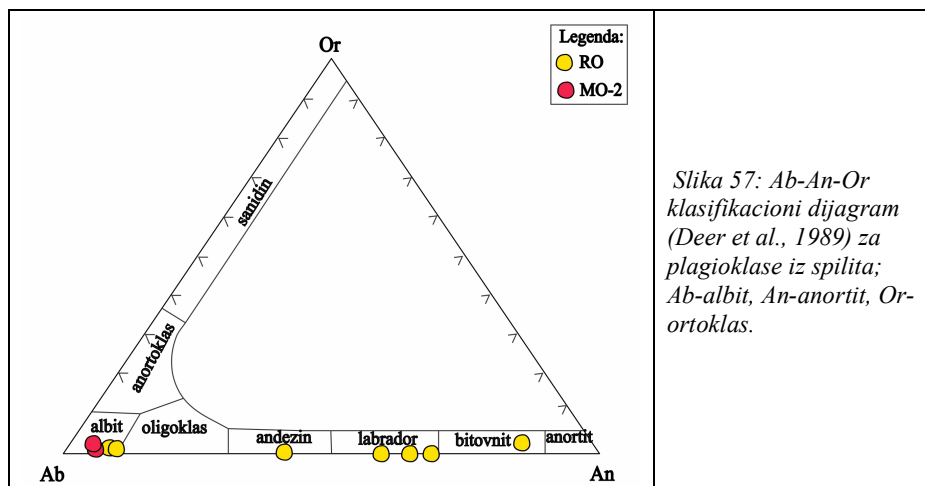


Slika 56: Mikroskopski izgled spilita: (a) uzorak **RO** porfirske strukture sa plagioklasima kao fenokristalima i mikrolitima plagioklasa u osnovnoj masi izgrađenoj od asocijacije alterisanog vulkanskog stakla, hlorita, prenita, kalcita, kvarca i mikrolita klinopiroksena (b) uzorak **MO-2** finoofitske strukture sa usmerenim mlazevima igličastih plagioklasa; ukršteni nikoli (xpl).

Objašnjenje: Cal-kalcit, Chl-hlorit, Op-metalni minerali, Pl_I-fenokristal plagioklasa, Pl_{II}-igličasti plagioklas, Pl-plagioklas, Qtz-kvarc u mandolama.

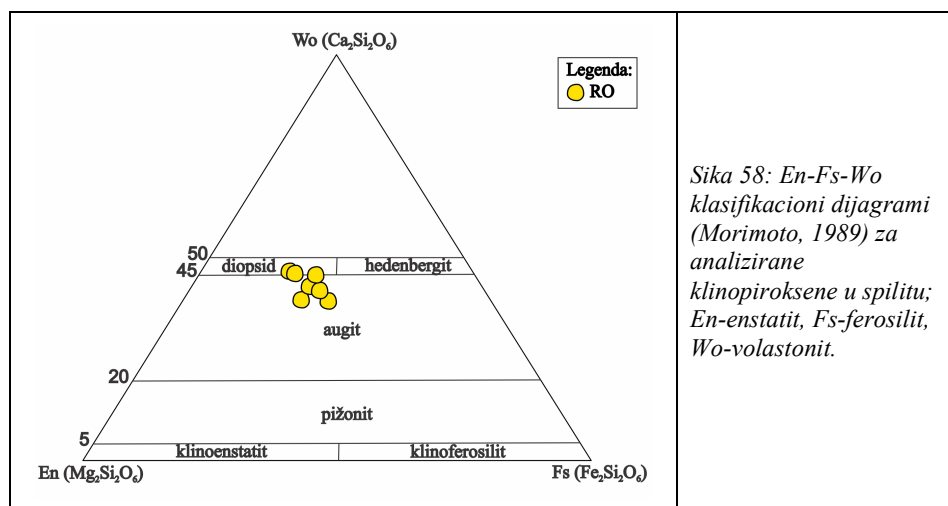
Plagioklasi se u uzorku RO javljaju kao krupni fenokristali (Pl_I) dimenzija od oko 0,5 x 0,7 mm do oko 4,5 x 5 mm i kao znatno manji mikrofenokristali (Pl_{II}) dužine iglica do oko 0,7 mm, često se raspoređuju u variole radijalno-zrakastog rasporeda. Fenokristali plagioklasa čine do 10 vol.% stene i često grade glomeroporfirska nagomilanja, ali je ukupan sadržaj plagioklasa, prema modalnoj analizi, u ovom uzorku oko 70 vol.%. Dužina igličastih do pritkastih plagioklasa u uzorku MO-2 je do 0,7 mm i oni čine oko 55 vol.% stene.

Kao i u već opisanom uzorku ZD-K (slika 32), i u uzorku RO su plagioklasi koji se javljaju kao fenokristali heterogenog sastava, odnosno individualni kristal ima unutar sebe zone koje po sastavu odgovaraju bitovnitu, labradoru, andezinu, oligoklasu i albitu, sa sadržajem albiske komponente od 14,8 % do 90,7 %. Hemijski sastav devet zrna plagioklasa prikazan je u prilogu 22, a klasifikacioni dijagram (Deer et al., 1989) je dat na slici 57.



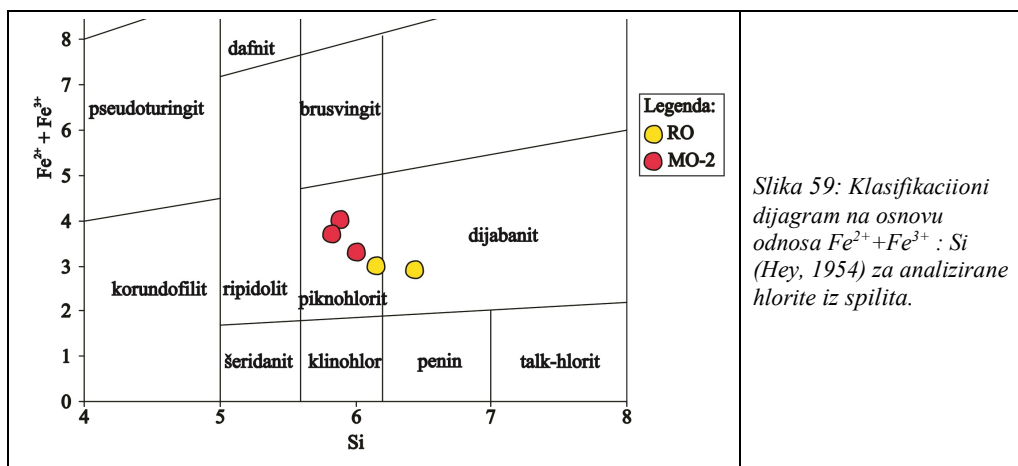
Igličasti plagioklasi su kod oba uzorka albetskog sastava. Albiti u uzorku MO-2 (Ab od 93,5 % do 95,1 %) često su usmereni u nizove koji talasasto povijaju. Osnovna masa je kod uzorka RO izgrađena od igličastih plagioklasa, šupljina ispunjenim hloritom i kvarcom i nepravilnih, gnezdastih nagomilanja zapunjenih alterisanim vulkanskim staklom, hloritom, prenitom, kalcitom i zametcima klinopiroksena.

Relikti *klinopiroksena* u uzorku RO su na osnovu hemijskog sastava (Morimoto, 1989) opredeljeni kao augiti i diopsidi (slika 58, prilog 23 sa sedam zrna klinopiroksena). Njihov sadržaj se u polarizacionom mikroskopu ne može odrediti ali osnovna masa, koja se sastoji od asocijacije alterisanog vulkanskog stakla, hlorita, prenita, kalcita, kvarca i zametaka klinopiroksena čini oko 25 vol.% stene. Uzorak spilita MO-2 ne sadrži piroksene.



Hloriti su prema hemijskom sastavu i klasifikacionom dijagramu odnosa $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} : \text{Si}$ (Hey, 1954) određeni kao piknchlorit i dijabanit u uzorku RO, a samo

piknohlorit u uzorku MO-2 (slika 59). Hemijski sastav pet zrna hlorita prikazan je u prilogu 24.



Metalični minerali (titanomagnetiti) u oba uzorka su praškasti, homogeno raspoređeni, prečnika od oko 0,05 mm do oko 0,1 mm. Čine 3-5 vol.% stena. Kalcitske i hloritske žice su takođe konstatovane.

U uzorku MO-2 hlorit (20 vol.%), kvarc (15 vol.%) i kalcit (5 vol.%) ispunjavaju mandole (slika 55b). Ove šupljine zapunjene su, osim pomenutih minerala, ređe zapunjene i epidotom. *Kalcit* se nalazi unutar fenokrislala plagioklasa u uzorku RO (slika 56a).

3.3.3 Površina minerala, šupljine i pukotine

Poglavlje sadrži prikaz mreže tačaka modalne analize, rezultate merenja površine zrna minerala, kao i procenu sadržaja šupljina i pukotina odabranih uzoraka bazičnih stena, koji su dobijeni analizom BSE snimaka. Odabir reprezentativnih zrna minerala za merenja površine vršen je na osnovu prisustva: 1) zrna glavnih mineralnih faza koja su ujednačene veličine (primer: slika 60a) i 2) zrna jednog ili drugog glavnog minerala koja su značajno krupnija od ostalih (primer: slike 60b-c).

3.3.3.1 Doleriti

Prikaz podataka dat je istim redosledom kao i u prethodnom poglavlju: od albitskih dolerita i bezpiroksenskih dolerita do doleritne breče.

3.3.3.1.1 Albitski doleriti

Albitski doleriti se, prema mineralnom sastavu, razlikuju samo po sadržaju akcesornih minerala (slike 60-65a-c, prilog 4) U odnosu na strukturne karakteristike,

unutar grupe od šest dolerita, oni se manje ili više razlikuju (tabela 7), što se odražava kako kod rezultata klasičnih modalnih analiza, tako i kod proračuna površina pojedinačnih mineralnih faza. BSE snimci ispitivanih uzoraka, na osnovu kojih su izračunate površine pojedinačnih minerala, prikazani su na slikama 60-65d-f. Ispod snimaka dat je tabelarni prikaz numeričkih vrednosti površina zrna minerala i srednja vrednost površina svih minerala u steni.

Zrna plagioklasa u svim albitskim doleritima pokazuju najveće vrednosti površine minerala, koje variraju od oko $15.200 \mu\text{m}^2$ u uzorku PR-S/P do čak oko $139.000 \mu\text{m}^2$ u uzorku PR-K. Površina klinopiroksena je značajno manja, od $3.800 \mu\text{m}^2$ u uzorku DI-2 do $57.000 \mu\text{m}^2$ u uzorku PR-S/P, dok je površina hlorita kao trećeg najzastupljenijeg minerala od $6.300 \mu\text{m}^2$ u uzorku PR-S/P, do $58.400 \mu\text{m}^2$ u PR-K.

Mikrošupljine i pukotine (najtamnije zone na BSE snimcima – označene crveno) kod svih ispitivanih albitskih dolerita su između 1 i 2 %, a samo kod uzorka PR-K oko 5 %. Širina mikropukotina je u svim ovim uzorcima se kreće od ispod $1\mu\text{m}$ do maksimalno $3\mu\text{m}$, a retke šupljine dostižu maksimalnu širinu od $10\mu\text{m}$. Najupečatljivija mreža mikropukotina prisutna je kod uzorka PR-K (slike 65g-h).

3.3.3.1.2 Bezpiroksenski doleriti

Uzorak bezpiroksenskog dolerita RD-D je specifičan po visokom sadržaju sekundarnih minerala (hlorita, kalcita i sericita), koji čine oko 50 vol.% stene (prilog 4). Veoma slični rezultati dobijeni su i analizom površine zrna minerala (slika 66d-f). Prema ovoj analizi, srednja vrednost površine kalcitskih, hloritskih i sericitskih zrna iznosi oko $12.600 \mu\text{m}^2$, što je blisko površini plagioklasa od oko $15.900 \mu\text{m}^2$. Ovaj uzorak odlikuje se sadržajem mikropukotina i šupljina oko 3 % površine BSE snimka. Maksimalna širina mikropukotina je do $8\mu\text{m}$.

U uzorcima bezpiroksenskih dolerita sa lokaliteta Ždraljica (ZD-S, ZD-K i ZD-KA) dominantno su zastupljeni „tvrđi“ minerali - plagioklasi i amfiboli, akcesorni su sfen i neprovidni minerali, dok je hlorit jedini sekundarni mineral čija je relativna tvrdina manja od 5. Ove stene imaju veoma međusobno sličan modalni sastav (prilog 4), ali se srednja vrednost površine zrna pojedinačnih mineralnih faza značajno razlikuje. Površina plagioklasnih zrna je mala kod uzorka ZD-S ($7.000 \mu\text{m}^2$) u odnosu na mnogostruko veće vrednosti izmerene u uzorku ZD-KA ($86.000 \mu\text{m}^2$), što važi i za zrna amfibola. S druge strane, uprkos tome što se ove stene značajno razlikuju prema

strukturnim karakteristikama, rezultati površina zrna plagioklasa i amfibola pokazuju ujednačenost krupnoće i odnosa ova dva minerala za sva tri uzorka, sa naznakom da su pritke amfibola najkrupnije (slike 67-69). Osim toga, uzorci sa lokaliteta Ždraljica karakteristični su po prisustvu dva tipa amfibola (aktinolit i hornblenda), kao i variranja u sastavu plagioklasa (od albita do labradora). Uzorak ZD-K je srednjozrn sa vrednostima površina minerala bliskim vrednostima uzorka ZD-KA. Površine zrna hlorita su najveće u uzorku ZD-K ($9.300 \mu\text{m}^2$).

Mikropukotine i šupljine najmanje su zastupljene u uzorku ZD-K (1 %), a najviše u uzorku ZD-KA (5 %) i jasno se može uočiti da je mreža mikropukotina izraženija u zrnima plagioklasa (slike 69g-h). Neke pukotine imaju širinu i do $15 \mu\text{m}$.

3.3.3.1.3 Doleritne breče

Doleritne breče imaju sličan mineralni i modalni sastav kao i albitski doleriti, od kojih se generalno razlikuju po sastavu plagioklasa. Osim albita, u doleritim brečama se javljaju i plagioklasi oligoklasnog do labradorskog sastava. Takođe, uzorci CS-1 i CS-2 se međusobno veoma malo razlikuju prema modalnom sastavu, ali je prema površini zrna pojedinačnih mineralnih faza, uzorak CS-1 gotovo dvostruko krupnozrniji u odnosu na uzorak CS-2 što se zapaža i na osnovu običnog posmatranja slika 70 i 71. Plagioklasna zrna (bez obzira na sastav) pokrivaju između 9.800 i $16.900 \mu\text{m}^2$ izložene površine, klinopirokseni od 2.700 - $6.000 \mu\text{m}^2$, a ostatak čine hlorit (2.100 - $9.600 \mu\text{m}^2$), kalcit (koji se najčešće javlja u žicama) i titanit (sfen). Od neprovidnih minerala najzastupljeniji su magnetit i pirit koji se javlja u obliku žica.

Mikropukotine i šupljine su malo zastupljene (1-2 %) i njihova maksimalna širina je do $5 \mu\text{m}$.

3.3.3.2 Gabrovi

U grupi gabrova izdvojene su podgrupe gabrova i metagabrova.

3.3.3.2.1 Gabrovi

Uzorci GL-1, RD-G i MO-1 koji pripadaju podgrupi gabrova se međusobno značajno ne razlikuju u pogledu strukture (tabela 7). Pri tom se i mineralni sastav bitno ne razlikuje, osim što se u uzorku RD-G javlja epidot koji u druga dva uzorka nije konstatovan. Površina izloženosti zrna plagioklasa (slike 72-74) kreće se od $146.200 \mu\text{m}^2$

kod uzorka GL-1 do $223.000 \mu\text{m}^2$ kod uzorka MO-1. Suprotno, površina piroksena i hlorita je najniža kod uzorka MO-1, a najviša kod uzorka GL-1.

U svim uzorcima ove podgrupe plagioklasi sadrže mnoštvo mikropukotina, međutim osim mikropukotina u uzorcima GL-1 i MO-1 prisutne su i brojne šupljine koje su manjeg prečnika kod uzorka GL-1 (do $20 \mu\text{m}$) u odnosu na uzorak MO-1 gde dostižu prečnik i do $100 \mu\text{m}$ (slike 72 g-i i 74g-i). Ukupan sadržaj šupljina i pukotina u gablo grupi iznosi 2-4 %.

3.3.3.2.2 Metagabrovi

Uzorci metagabrova BP-2/2 i BP-2/1 su veoma slični po modalnom sastavu (prilog 4), međutim, površina zrna plagioklasa dvostruko je veća kod uzorka BP-2/1 u odnosu na uzorak BP-2/2, a višestruko veća za površine zrna amfibola (slike 75 i 76). Treba, imati na umu da su pumpeliti u ovim uzorcima zastupljeni uglavom unutar zrna plagioklasa albita, zbog toga što se javljaju kao produkt alteracije primarnih bazičnih plagioklasa. Merenja njihovih površina bila su teško izvodljiva, pa su obračunata zajedno sa albitima (u okviru zrna plagioklasa).

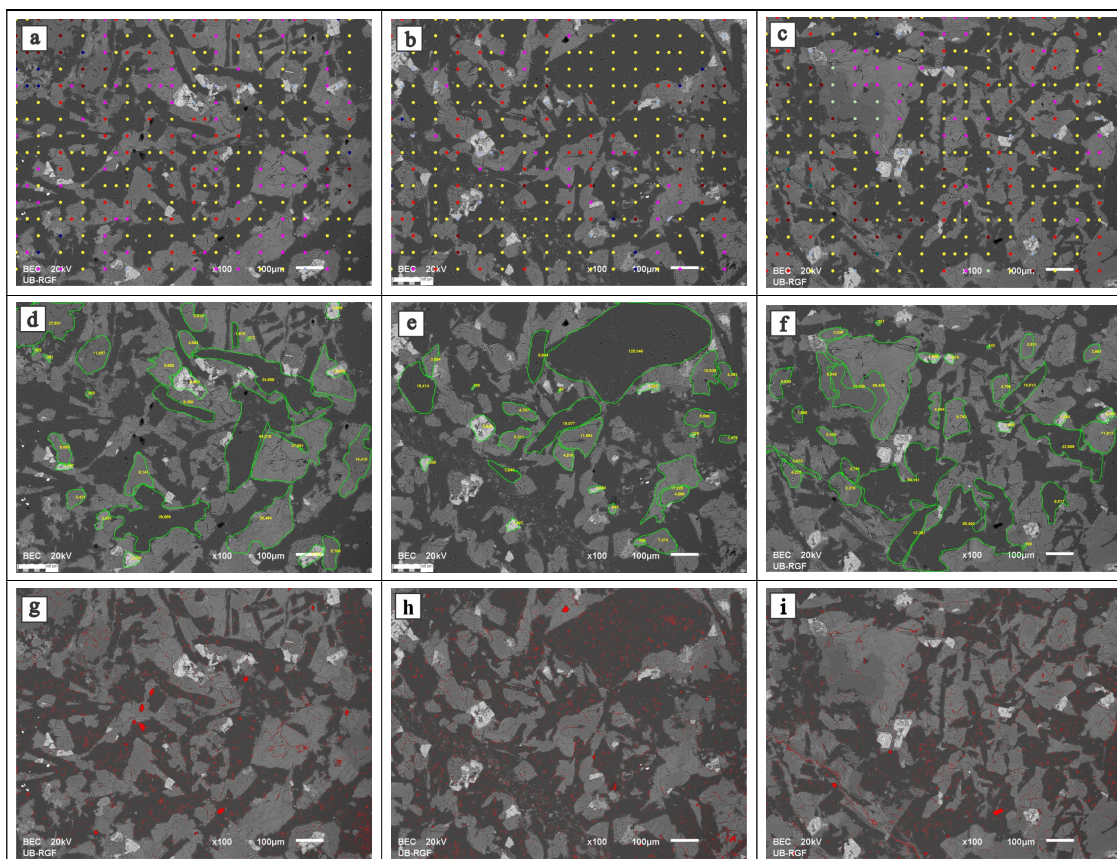
Mikropukotine su značajno zastupljenije kod uzorka BP-2/1 (6 %), a javljaju se u okviru i oko zrna plagioklasa i amfibola. Ovo je ujedno i najviša izmerena vrednost pukotina na BSE snimcima u celoj studiji. Sitnozrniji uzorak BP-2/2 ima niži sadržaj pukotina i šupljina 2 %.

3.3.3.3 Spiliti

Uzorci ispitivanih spilita se međusobno značajno razlikuju po mineralnom sastavu. U uzorku RO dominiraju plagioklasi i klinopirokseni, dok u uzorku MO-2 pored plagioklasa glavne mineralne vrste su hlorit, kvarc i kalcit. Površina zrna plagioklasa iz osnovne mase u porfirskom varijetetu RO je $4.500 \mu\text{m}^2$, dok fenokristali zahvataju površinu od $77.000 \mu\text{m}^2$ (slika 77). Plagioklasi u uzorku MO-2 imaju ujednačenu površinu koja iznosi $8.000 \mu\text{m}^2$ (slika 78). Veće površine izloženosti u uzorku MO-2 imaju zrna kvarca ($15.300 \mu\text{m}^2$), hlorita ($8.800 \mu\text{m}^2$) i kalcita ($7.500 \mu\text{m}^2$), dok ostatak ispitivane površine u uzorku RO uglavnom pokriva kalcit ($2.800 \mu\text{m}^2$), hlorit ($1.500 \mu\text{m}^2$) i klinopiroksen ($700 \mu\text{m}^2$).

Zastupljenost mikropukotina u ovim uzorcima je ista (2 %), a najveći prečnik šupljina dostiže do $30 \mu\text{m}$.

Analizirajući srednju vrednost površina svih minerala u ispitivanim stenama, utvrđeno je da uzorak ZD-S ima najmanju površinu zrna ($1.600 \mu\text{m}^2$), a uzorak MO-1 najveću ($71.000 \mu\text{m}^2$). Ovo dodatno ukazuje, da je opseg u kome se kreću površine zrna bazičnih magmatskih stena od 1-40, odnosno da je uzorak MO-1, na mikrometarskom nivou merenja površina, gotovo 40-tak puta krupniji od uzorka ZD-S. Srednje vrednosti površina zrna minerala u ostalim ispitivanim stenama su unutar pomenutog opsega. Ako se pogledaju površine zrna stena u grupi albitskih dolerita, na primer, zapaža se da je uzorak PR-S/P ($5.200 \mu\text{m}^2$) oko sedam puta manjih površina zrna u odnosu na PR-K ($39.300 \mu\text{m}^2$), a uzorak ZD-S ($1.600 \mu\text{m}^2$) čak dvadesetak puta sitnijih površina u odnosu na uzorak ZD-KA ($35.500 \mu\text{m}^2$). Uzorci gabrova (GL-1, RD-G) imaju identične površine zrna minerala u steni koje iznose oko $56.000 \mu\text{m}^2$.



Legenda:

- CPx - monoklinični piroksen
- Ttn - titanit (sfen)
- Površina minerala
- Pl - plagioklas: albit
- Cal - kalcit
- Šupljine i pukotine
- Chl - hlorit
- Qtz - kvarc
- Prh - prenit
- Op - metalni minerali

Površine zrna datog minerala (μm^2) i srednja površina zrna datog minerala

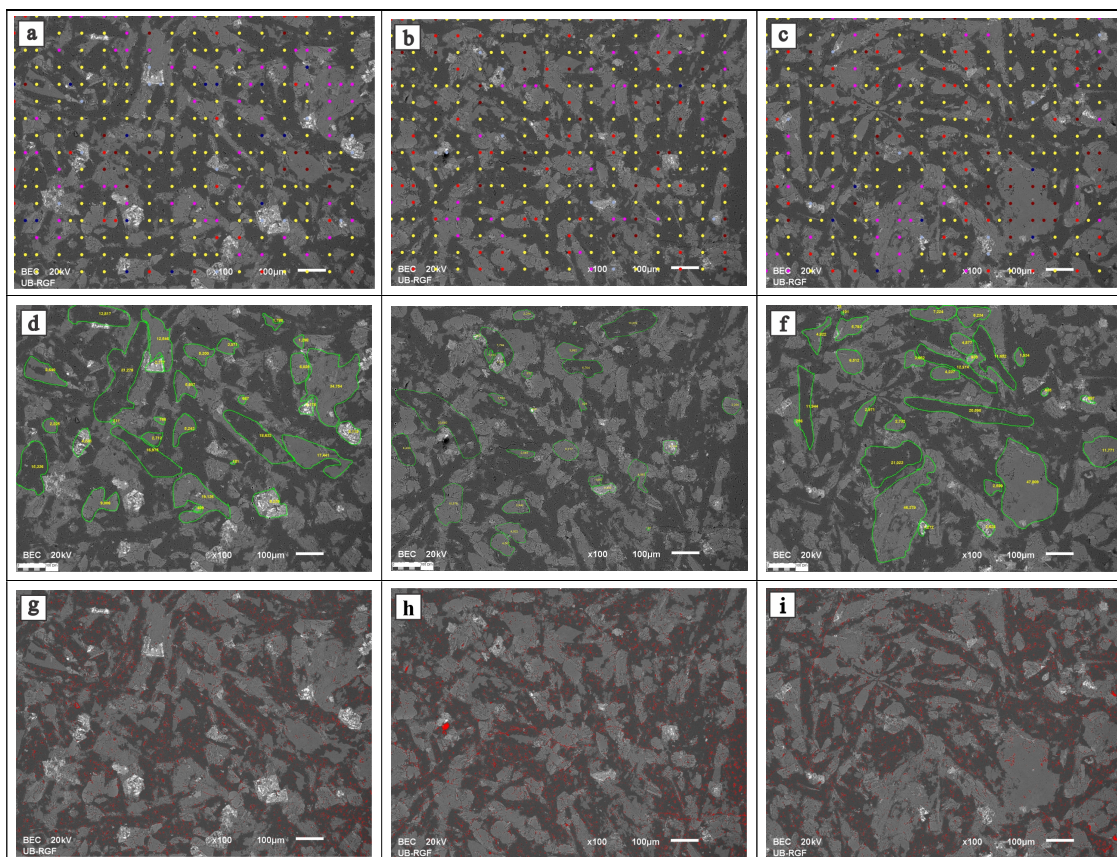
minerali	slika d (μm^2)	slika e (μm^2)	slika f (μm^2)	srednja vrednost (μm^2)
CPx	5806	7432	3218	5485
Pl	25954	34725	32677	31119
Chl	18953	8202,3	18231	15129
Prh	17858	3806	4381	8682
Ttn	695	420	187	434
Cal	-	-	13189	13189
Qtz	-	-	3973	3973
Op	3346	2239	1716	2434

Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni: **10423**

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	2	2	2	2

Slika 60: BSE snimci uzorka DI-1 na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.



Legenda:

- CPx - monoklinični piroksen ● Pl - plagioklas: albit ● Chl - hlorit ● Prh - prenit
- Ttn - titanit (sfen) ● Op - metalni minerali ● Površina minerala ● Šupljine i pukotine

Površine zrna datog minerala (μm^2) i srednja površina zrna datog minerala

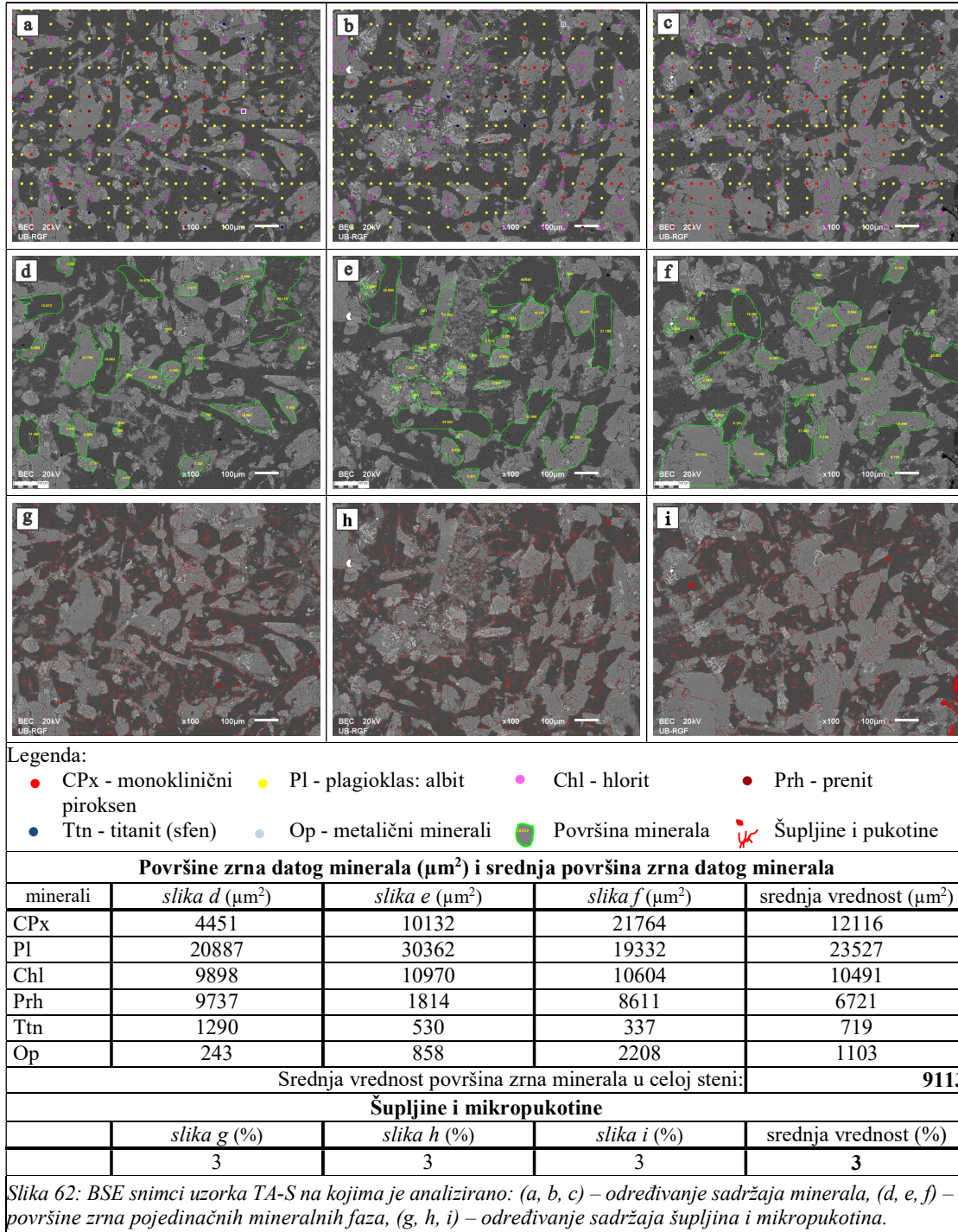
minerali	slika d (μm^2)	slika e (μm^2)	slika f (μm^2)	srednja vrednost (μm^2)
CPx	4325	3854	3350	3843
Pl	19208	12707	15485	15800
Chl	15429	4618	13594	11214
Prh	7165	1873	14845	7961
Ttn	447	98	144	230
Op	4710	1537	1252	2500

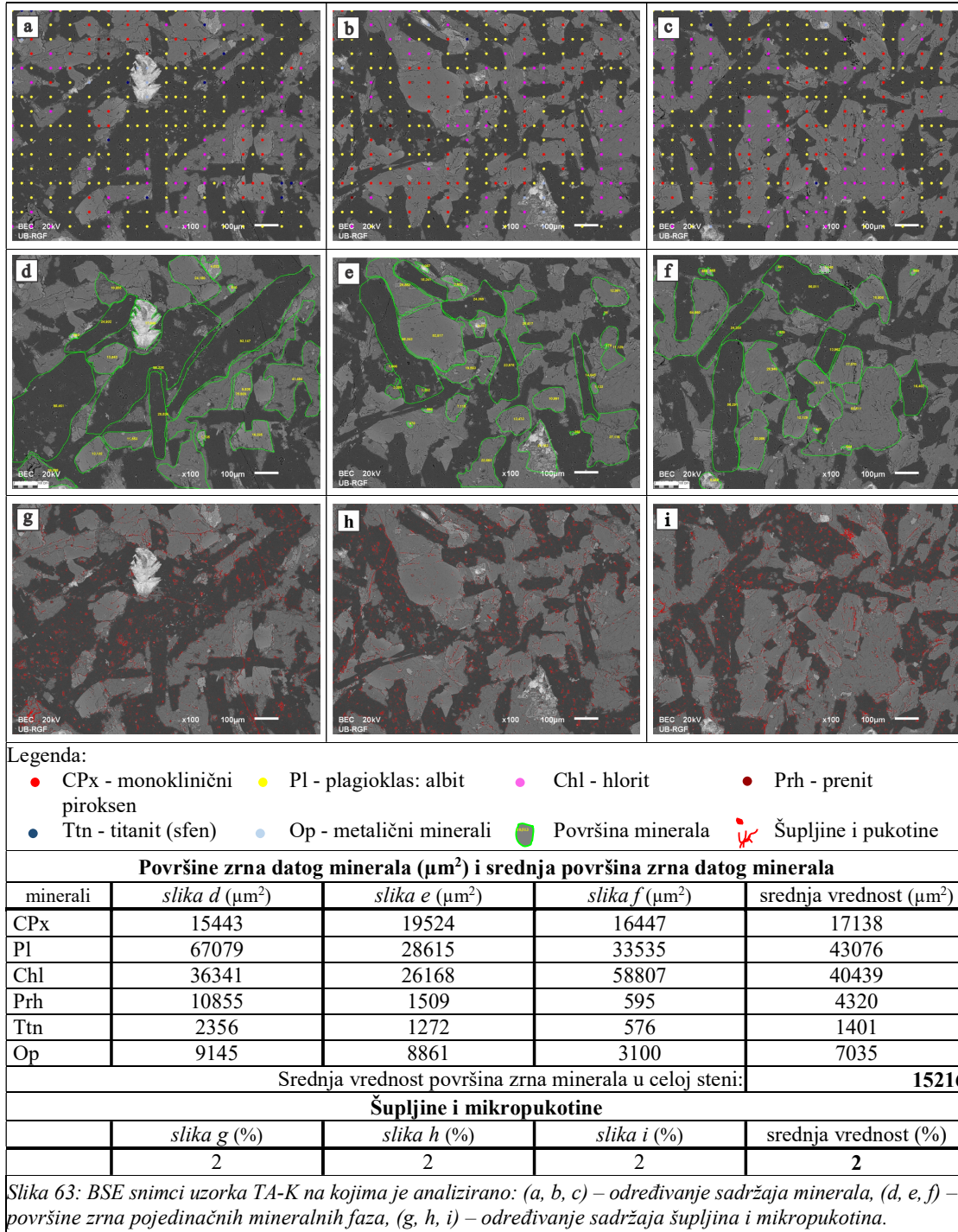
Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni: **6924**

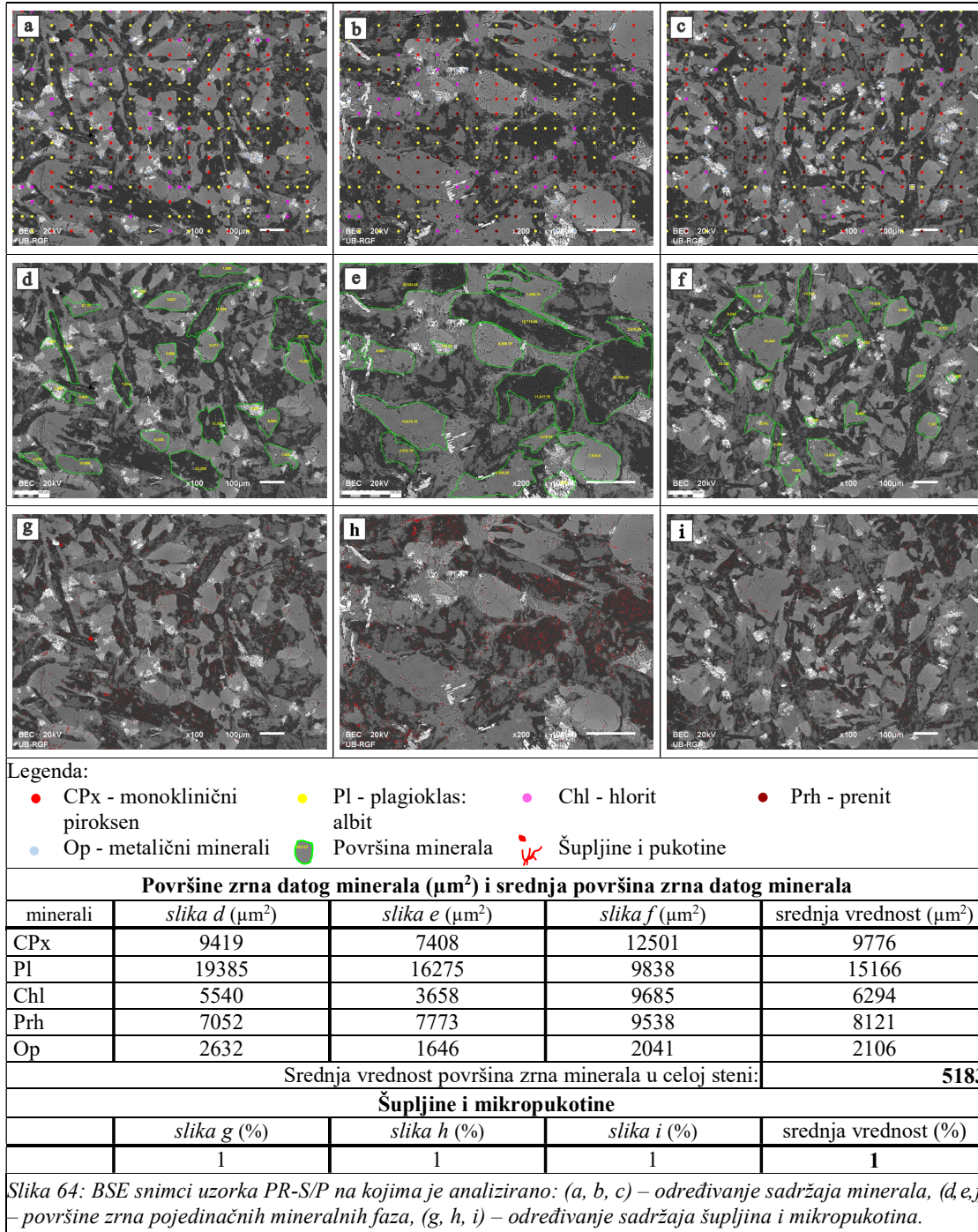
Šupljine i mikropukotine

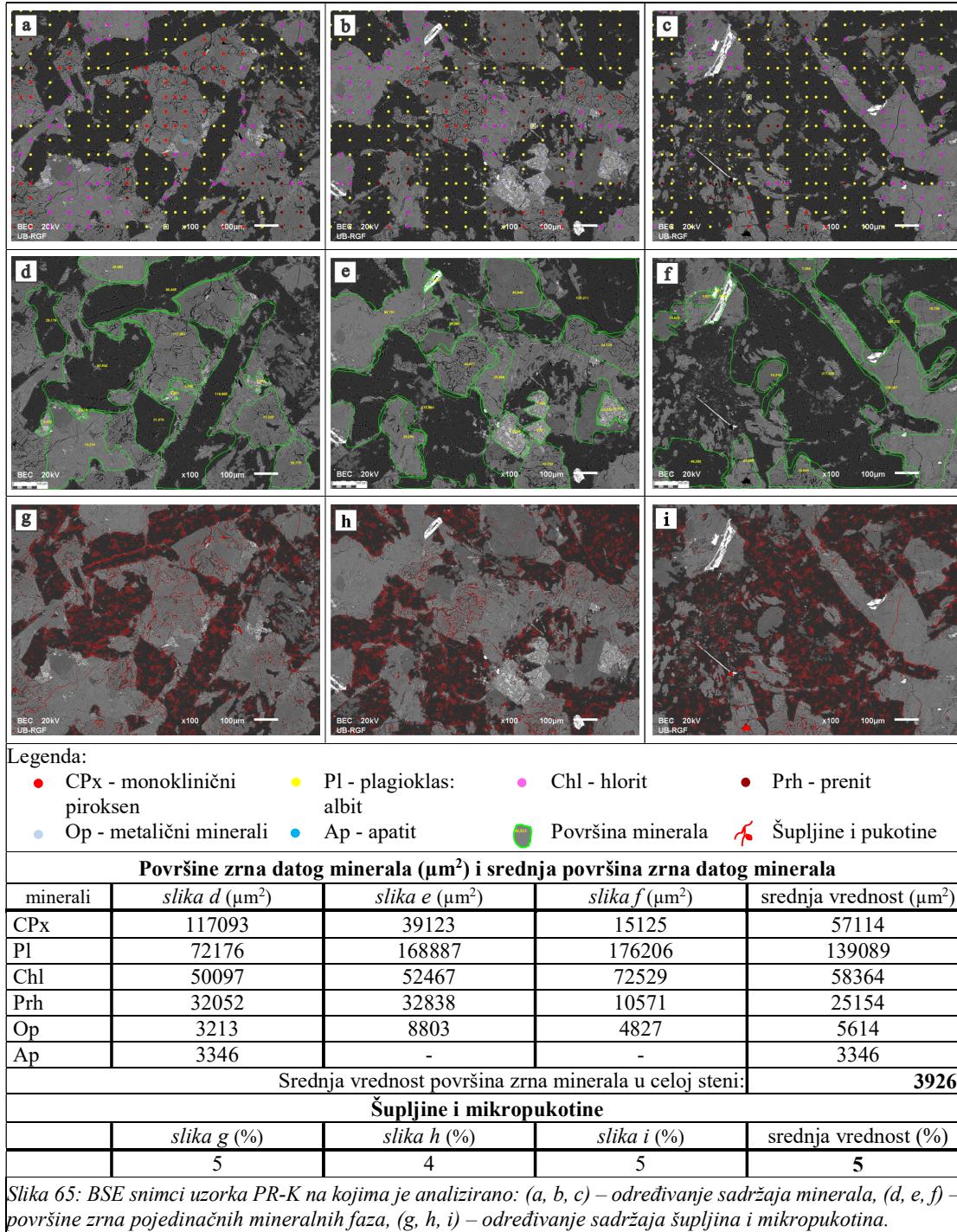
	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	2	3	2	2

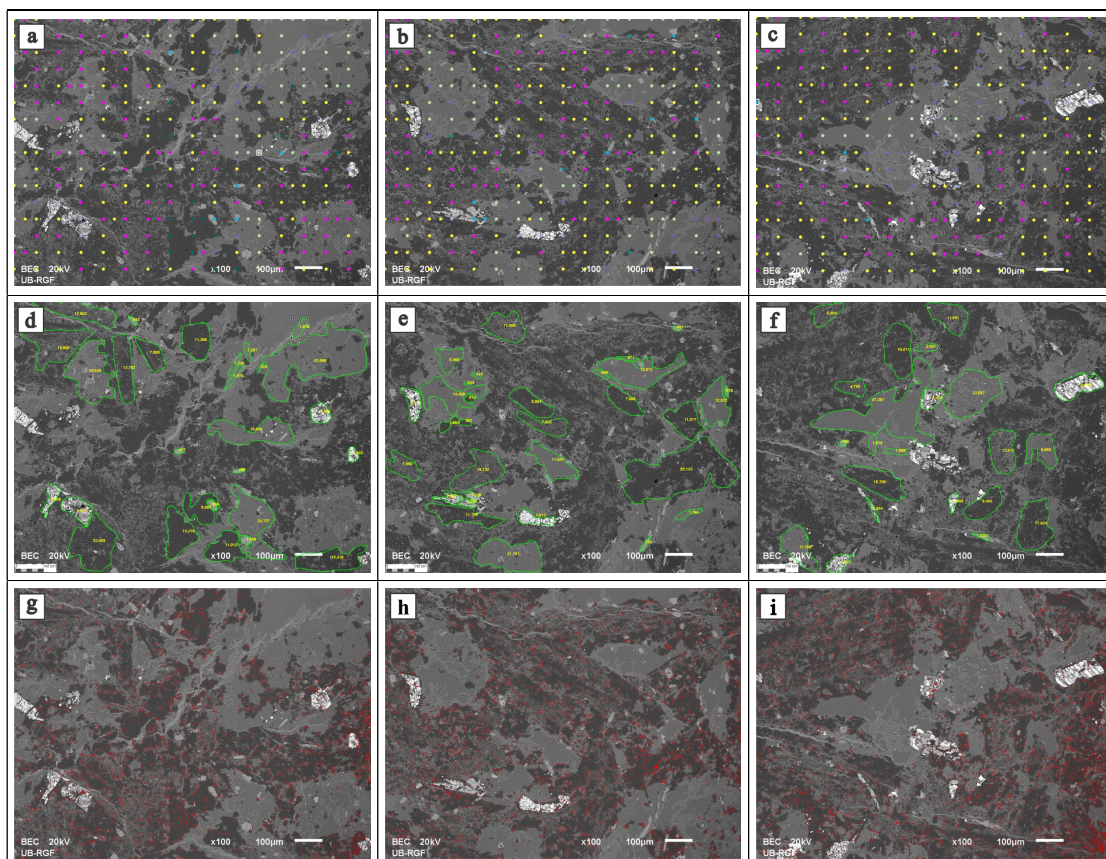
Slika 61: BSE snimci uzorka DI-2 na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.











Legenda:

- Pl - plagioklas: albit
- Chl - hlorit
- Cal - kalcit
- Qtz - kvarc
- Op - metalni minerali
- Ap - apatit
- Ser - sericit
- Površina minerala
- Šupljine i pukotine

Površine zrna datog minerala (μm^2) i srednja površina zrna datog minerala

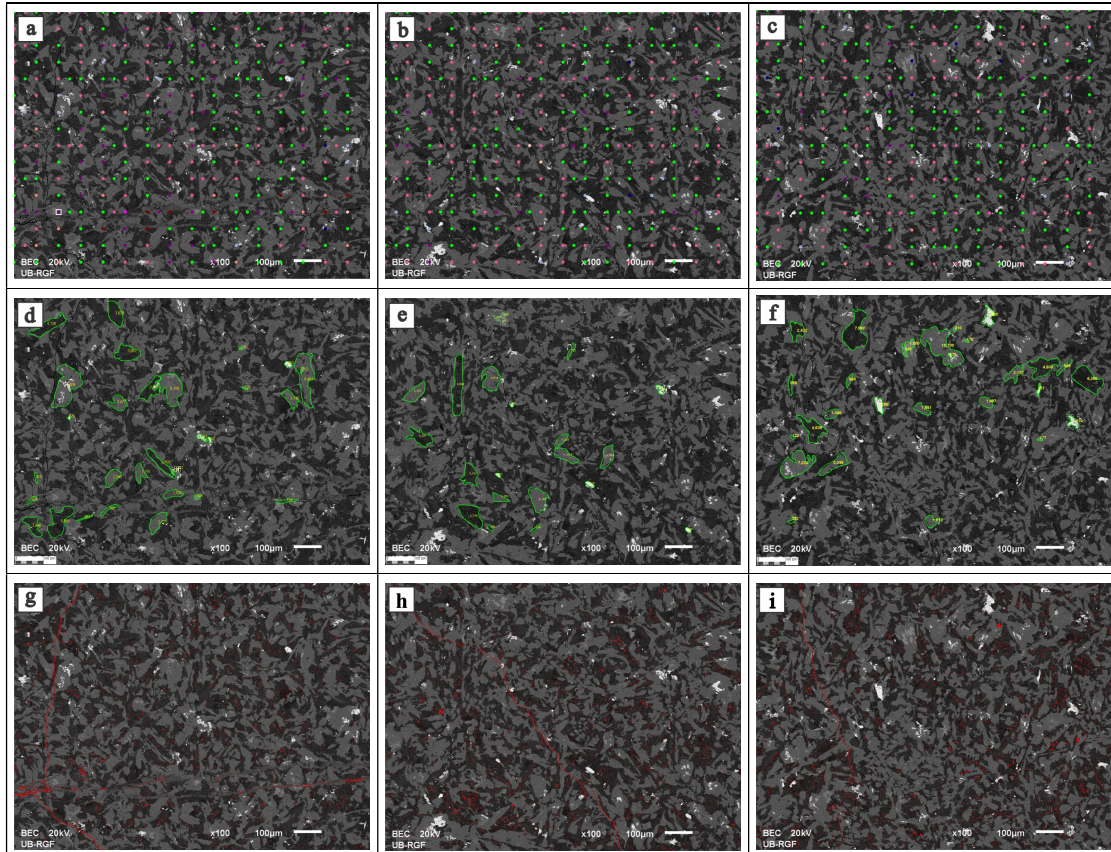
minerali	slika d (μm^2)	slika e (μm^2)	slika f (μm^2)	srednja vrednost (μm^2)
Pl	14138	18901	14701	15913
Chl	19579	11749	8588	13305
Cal	32447	14503	23015	23322
Qtz	11104	1209	-	6157
Op	4046	4815	7346	5402
Ap	697	797	947	814
Ser	1303	871	1729	1301

Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni: **9613**

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	3	3	3	3

Slika 66: BSE snimci uzorka RD-D na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.



Legenda:

- Pl_I - plagioklas heterogenog sastava: albit, oligoklas, andezin, labrador
- Pl_{II} - plagioklas: oligoklas
- Chl - hlorit
- Prh - prenit
- Ttn - titanit (sfen)
- Am - (Act) amfibol: aktinolit
- Am - (Hbl) amfibol: hornblenda
- Op - metalni minerali
- šupljina
- Površina minerala
- Šupljine i pukotine

Površine zrna datog minerala (μm^2) i srednja površina zrna datog minerala

minerali	slika d (μm^2)	slika e (μm^2)	slika f (μm^2)	srednja vrednost (μm^2)
Pl _I	3465	4498	5221	4395
Pl _{II}	2930	4498	454	2628
Chl	506	0	0	169
Prh	850	0	0	283
Ttn	202	296	451	316
Am (Act)	4831	-	-	4831
Am (Hbl)	4287	3057	4596	3980
Op	254	350	922	508

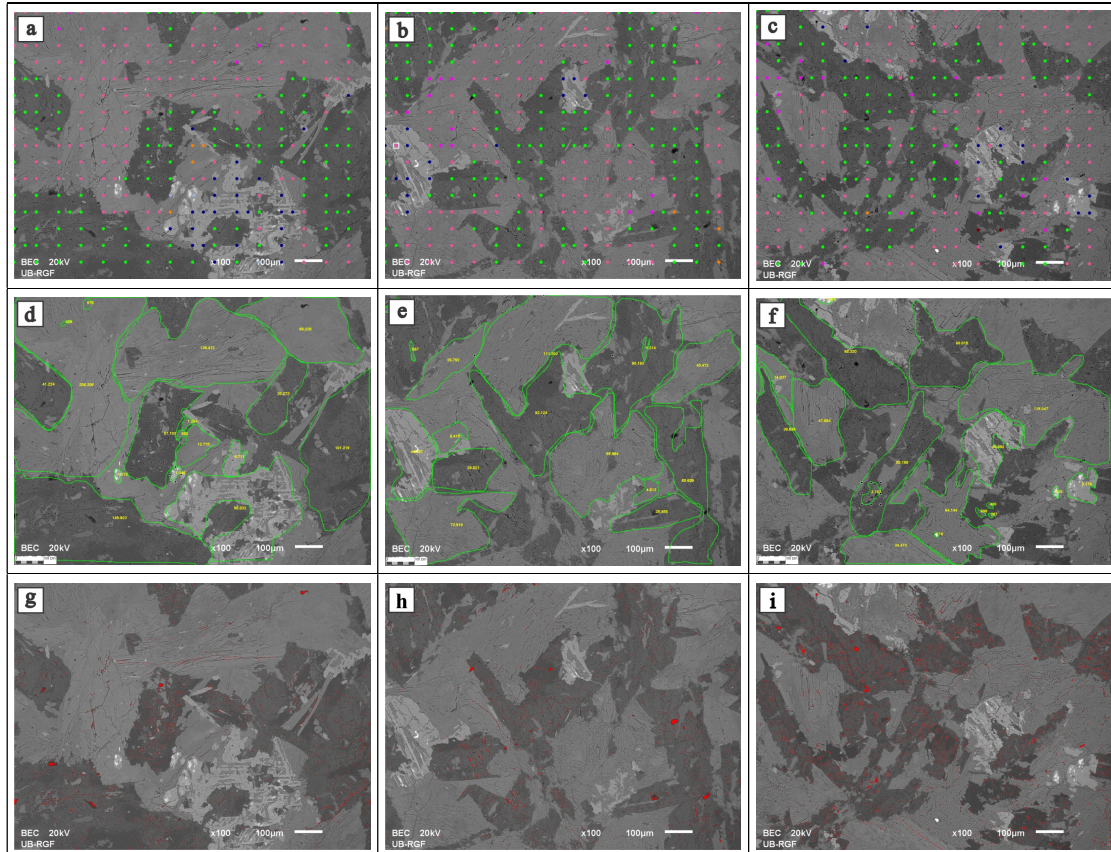
Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni:

1602

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	1	1	1	1

Slika 67: BSE snimci uzorka ZD-S na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.



Legenda:

- Pl - plagioklas heterogenog sastava: albit, oligoklas, labrador, bitovnit, anortit
- Ttn - titanit (sfen)
- Površina minerala
- Chl - hlorit
- Am - (Hbl) amfibol: hornblenda
- Šupljine i pukotine
- Prh - prenit
- Ep - epidot
- Op - metalni minerali

Površine zrna datog minerala (μm^2) i srednja površina zrna datog minerala

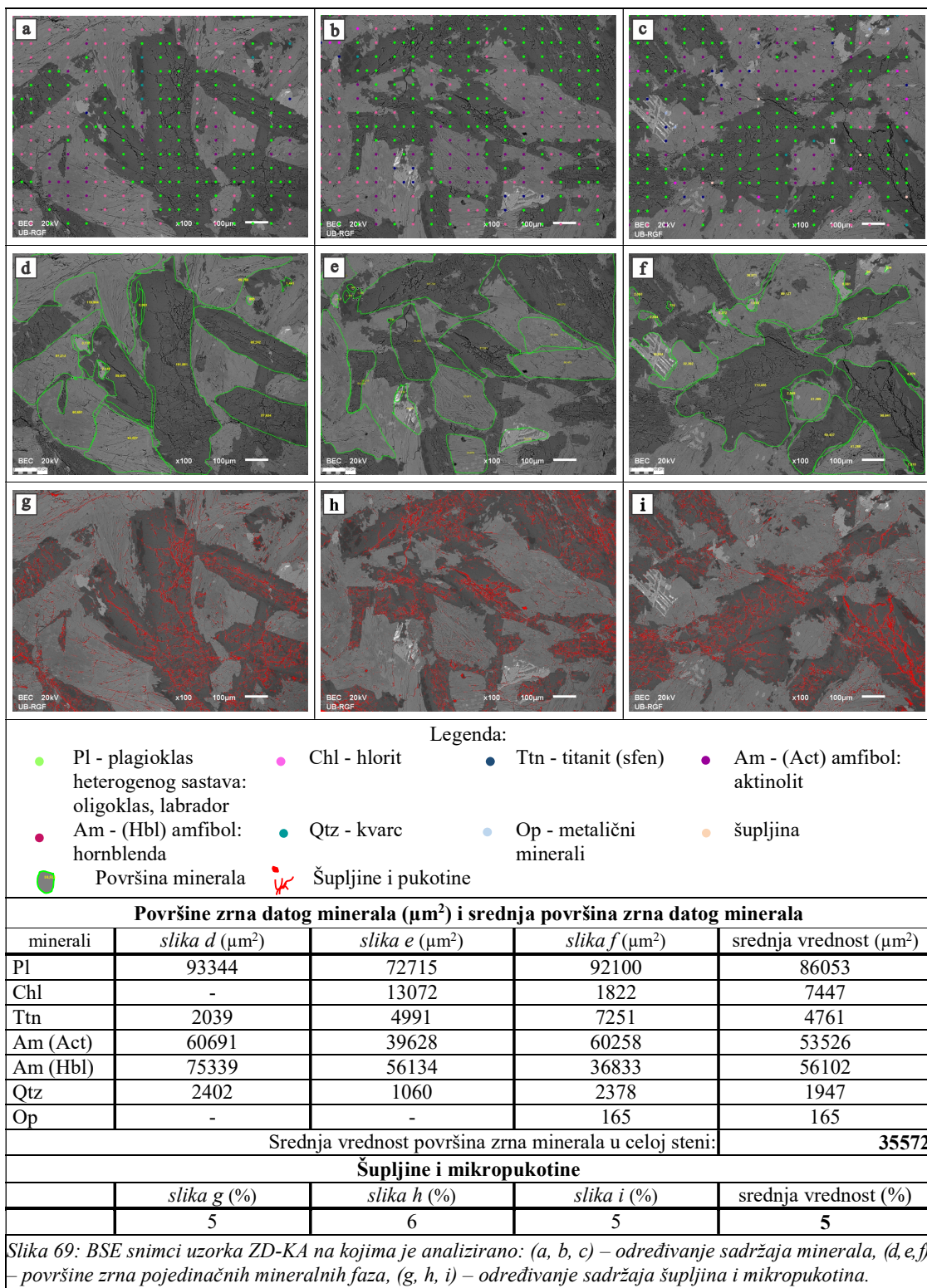
minerali	slika d (μm^2)	slika e (μm^2)	slika f (μm^2)	srednja vrednost (μm^2)
Pl	86226	58635	55792	66884
Chl	693	13340	14037	9357
Prh	-	-	465	465
Ep	4987	1137	3187	3104
Ttn	88342	40387	20036	49588
Am (Hbl)	136985	80422	66337	94581
Op	1258	-	882	1070

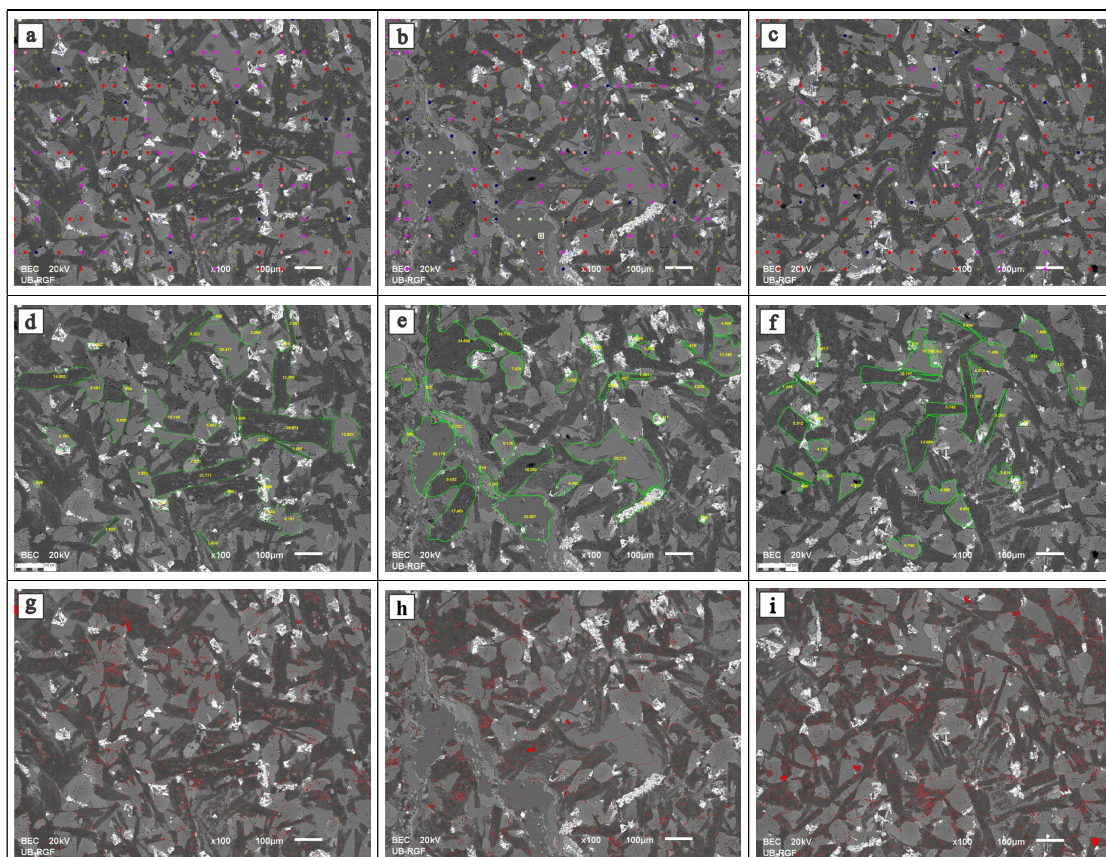
Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni: **38276**

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	1	1	1	1

Slika 68: BSE snimci uzorka ZD-K na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.





Legenda:

- CPx - monoklinični piroksen
- Ttn - titanit (sfen)
- Površina minerala
- Pl_I - plagioklas heterogenog sastava: albit, oligoklas, andezin, labrador zajedno sa hloritom
- Cal - kalcit
- Šupljine i pukotine
- Pl_{II} - plagioklas: oligoklas
- Op - metalični minerali
- Chl - hlorit
- šupljina

Površine zrna datog minerala (μm^2) i srednja površina zrna datog minerala

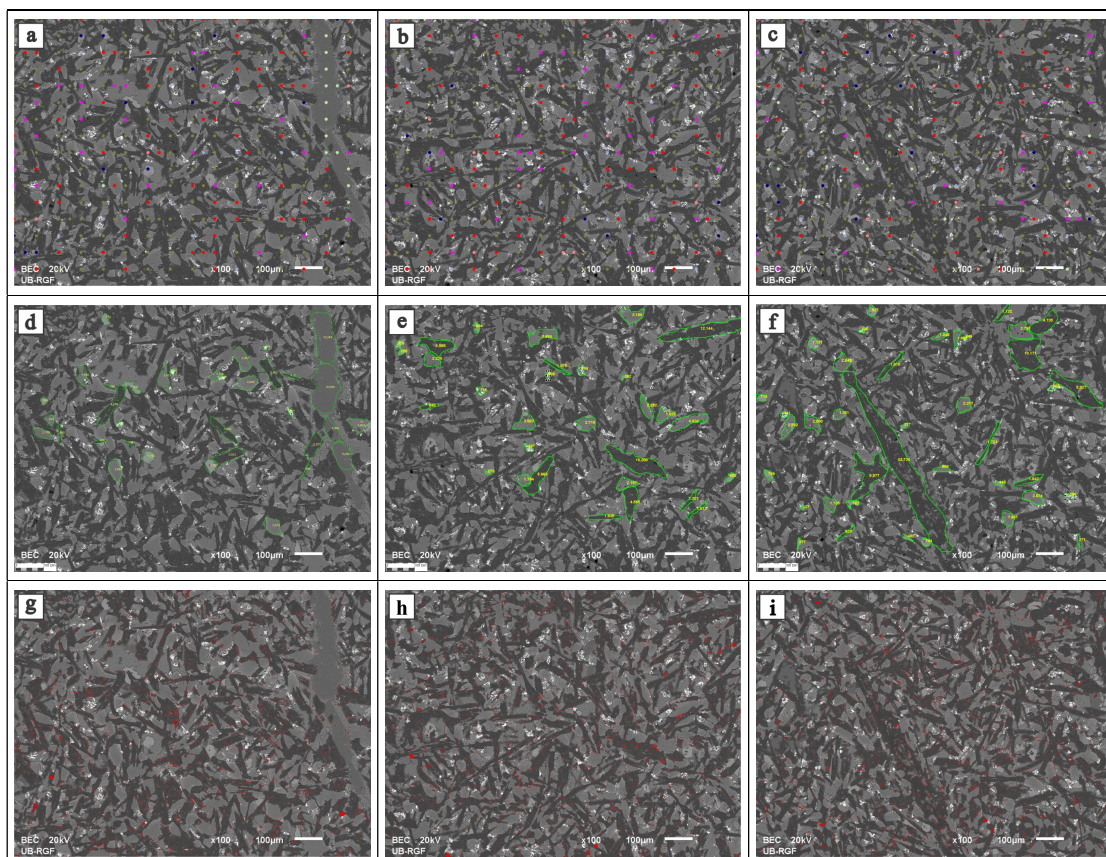
minerali	slika d (μm^2)	slika e (μm^2)	slika f (μm^2)	srednja vrednost (μm^2)
CPx	6285	5990	5861	6046
Pl _I	17655	17720	9977	15117
Pl _{II}	2008	1139	2226	1791
Chl	10666	12009	6167	9614
Ttn	856	2152	1274	1428
Cal	-	24391	-	24391
Op	1964	2990	1392	2115

Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni: **6847**

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	2	2	3	2

Slika 70: BSE snimci uzorka CS-1 na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.



Legenda:

- CPx - monoklinični piroksen
- Ttn - titanit (sfen)
- Površina minerala
- Pl_I - plagioklas heterogenog sastava: albit, oligoklas zajedno sa hloritom
- Cal - kalcit
- Šupljine i pukotine
- Pl_{II} - plagioklas: oligoklas
- Op - metalični minerali
- Chl - hlorit

Površine zrna datog minerala (μm²) i srednja površina zrna datog minerala

minerali	slika d (μm ²)	slika e (μm ²)	slika f (μm ²)	srednja vrednost (μm ²)
CPx	2854	2842	2527	2741
Pl _I	3709	7492	15309	8837
Pl _{II}	405	1239	1395	1013
Chl	2049	2700	1700	2150
Ttn	961	439	427	609
Cal	8675	-	1312	4993
Op	283	603	485	457

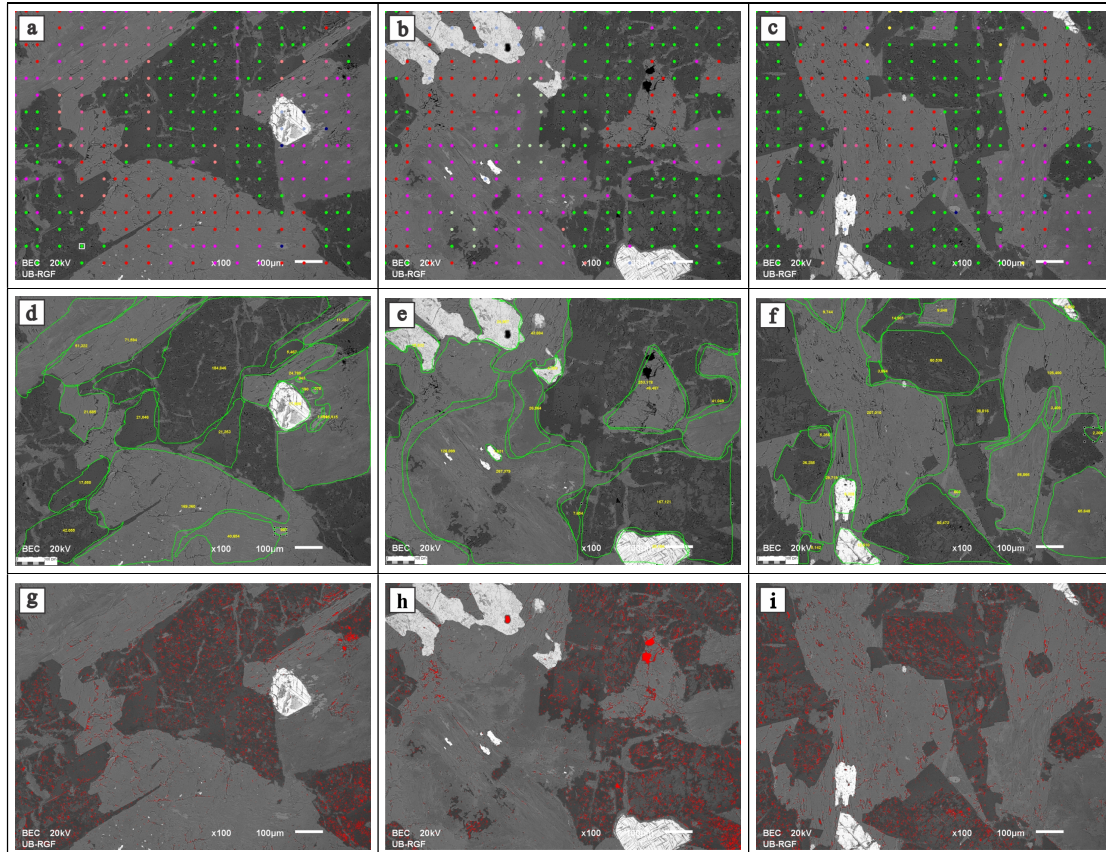
Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni:

2855

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	1	1	1	1

Slika 71: BSE snimci uzorka CS-2 na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.



Legenda:

- CPx - monoklinični piroksen
- Chl - hlorit
- Cal - kalcit
- Površina minerala
- Pl_I - plagioklas: albit, bitovnit
- Ttn - titanit (sfen)
- Qtz - kvarc
- Šupljine i pukotine
- Pl_{II} - plagioklas: albit
- Am - (Act) amfibol: aktinolit
- Op - metalični minerali
- Pl_{II} - plagioklas: oligoklas
- Am - (Hbl) amfibol: hornblenda

Površine zrna datog minerala (μm²) i srednja površina zrna datog minerala

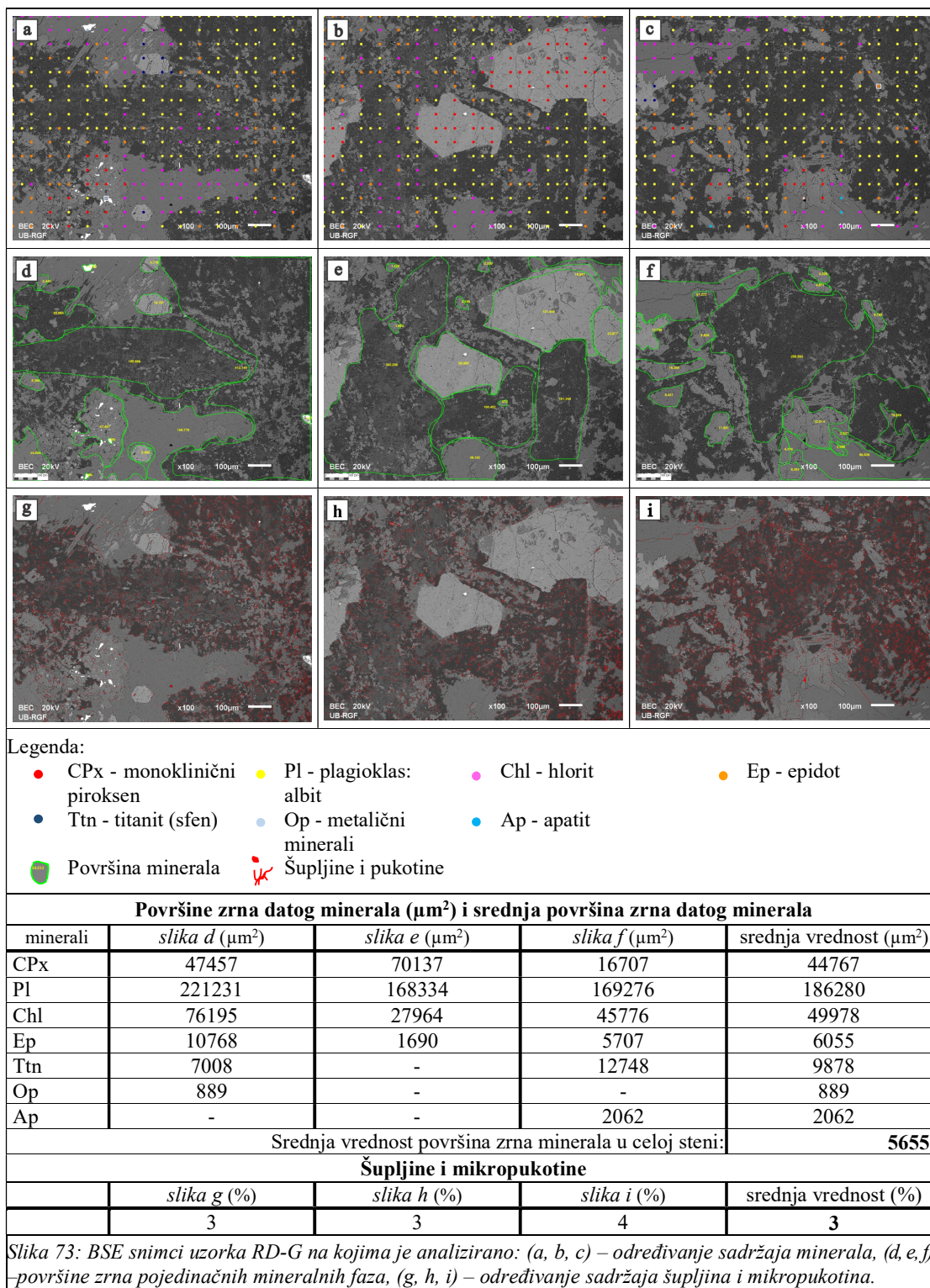
minerali	slika d (μm ²)	slika e (μm ²)	slika f (μm ²)	srednja vrednost (μm ²)
CPx	169360	86293	166705	140786
Pl _I	113451	205150	46202	121601
Pl _{II} (Ab)	-	-	14901	14901
Pl _{II} (Ol)	16354	7654	5142	9717
Chl	65964	154214	44121	88099
Ttn	672	-	803	737
Am (Act)	-	-	6577	6577
Am (Hbl)	32451	43994	29719	35388
Cal	-	26864	-	26864
Qtz	-	-	3102	3102
Opt	17906	14458	8519	13628

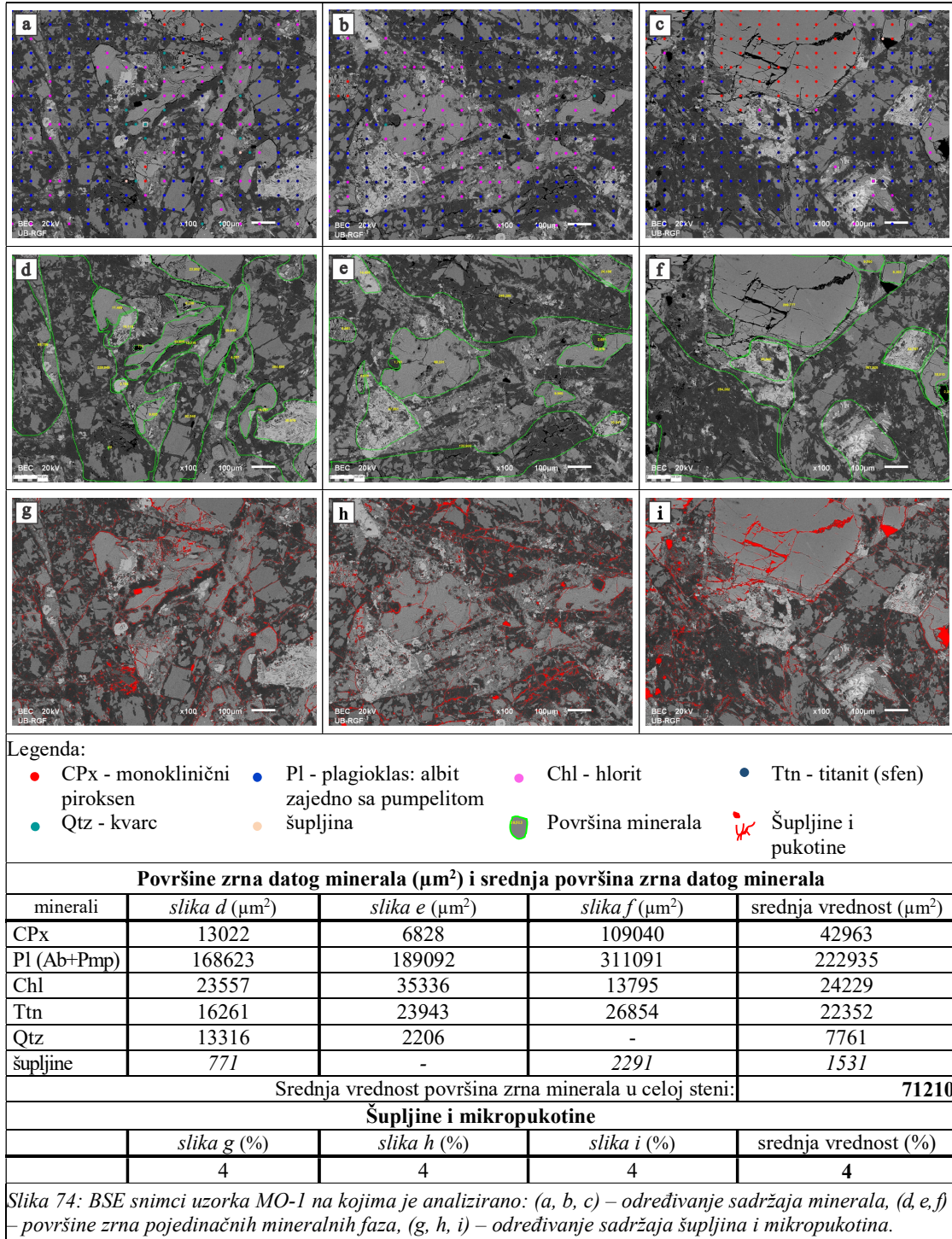
Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni: **56326**

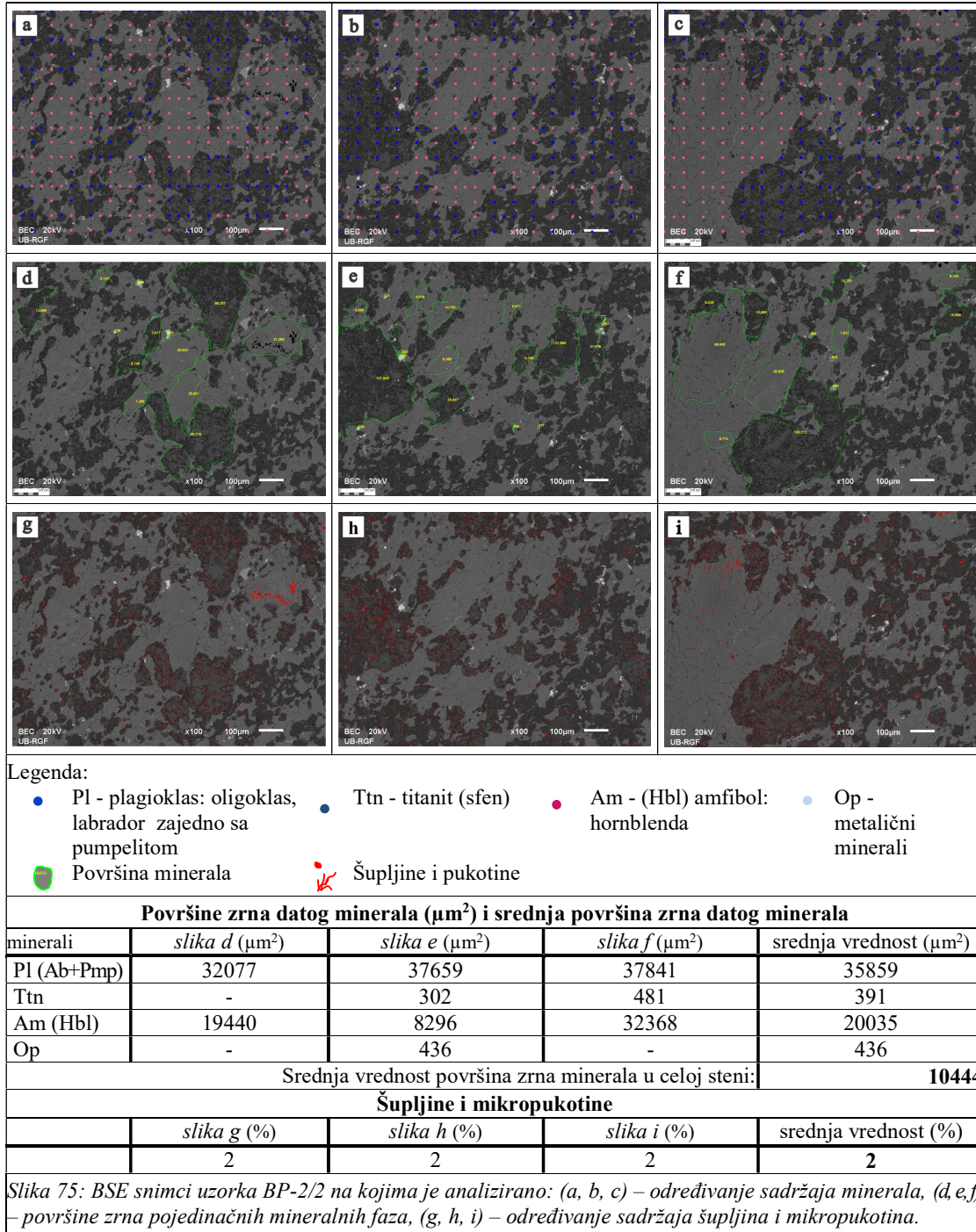
Šupljine i mikropukotine

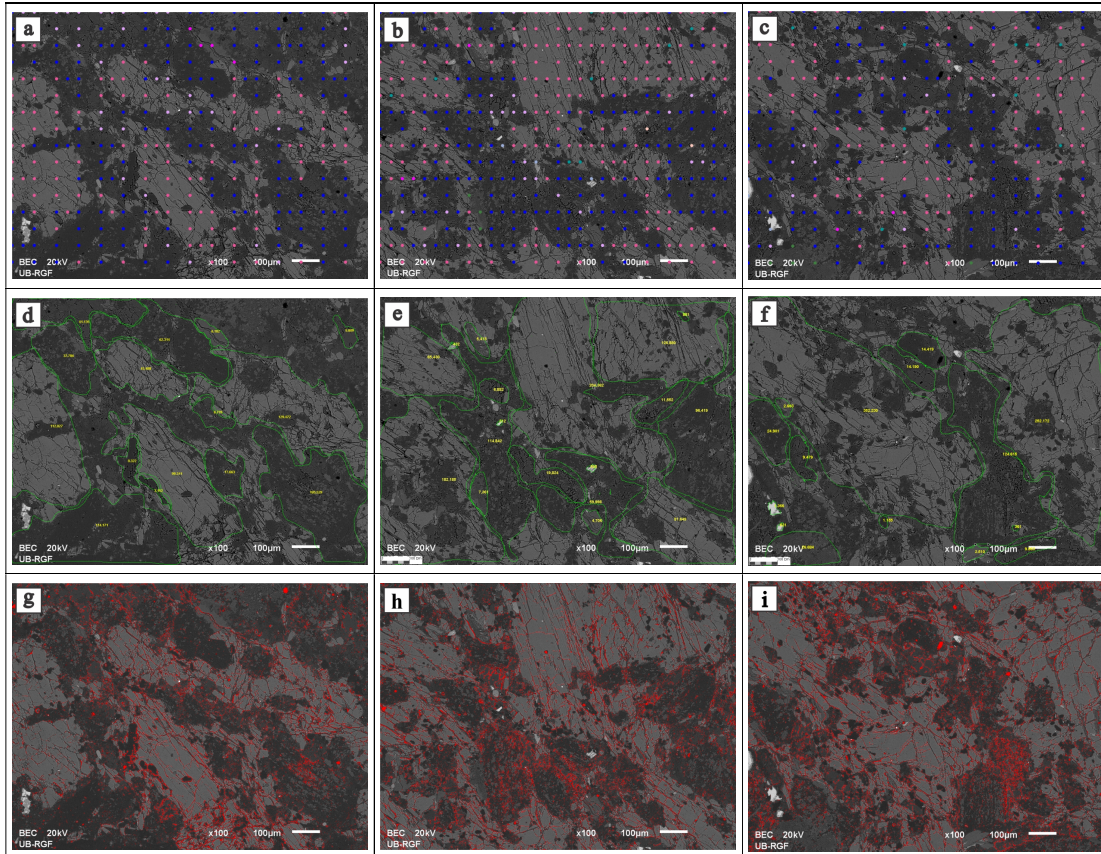
	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	3	3	3	3

Slika 72: BSE snimci uzorka GL-1 na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.









Legenda:

- Pl - plagioklas: albit zajedno sa pumpelitom
- Am - (Hbl) amfibol: hornblenda
- Površina minerala
- Pl - plagioklas: labrador
- Qtz - kvarc
- Šupljine i pukotine
- Chl - hlorit
- Op - metalni minerali
- Pmp - pumpelit
- šupljina

Površine zrna datog minerala (μm^2) i srednja površina zrna datog minerala

minerali	slika d (μm^2)	slika e (μm^2)	slika f (μm^2)	srednja vrednost (μm^2)
Pl (Ab+Pmp)	67493	90420	54645	70852
Pl (Lab)	13279	12753	11177	12403
Chl	6102	5062	3510	4891
Pmp	-	7361	26684	17023
Am (Hbl)	95825	132101	302201	176709
Qtz	-	881	1155	1018
Op	-	598	949	773

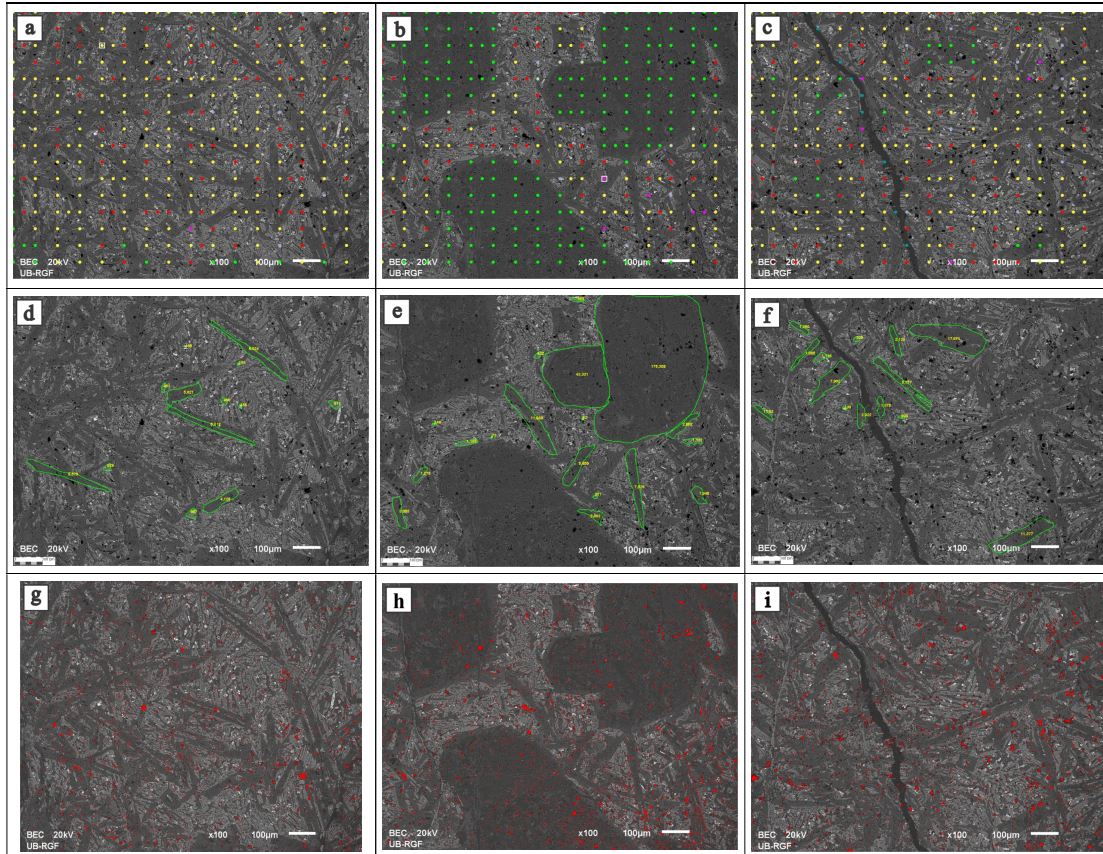
Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni:

46153

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	6	7	7	6

Slika 76: BSE snimci uzorka BP-2/1 na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d,e,f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.



Legenda:

- CPx - monoklinični piroksen
- Pl_I - plagioklas heterogenog sastava: albit, oligoklas, andezin, labrador, bitovnit
- Pl_{II} - plagioklas: albit
- Chl - hlorit
- Cal - kalcit
- Qtz - kvarc
- Op - metalični minerali
- šupljina
- Površina minerala
- Šupljine i pukotine

Površine zrna datog minerala (µm²) i srednja površina zrna datog minerala

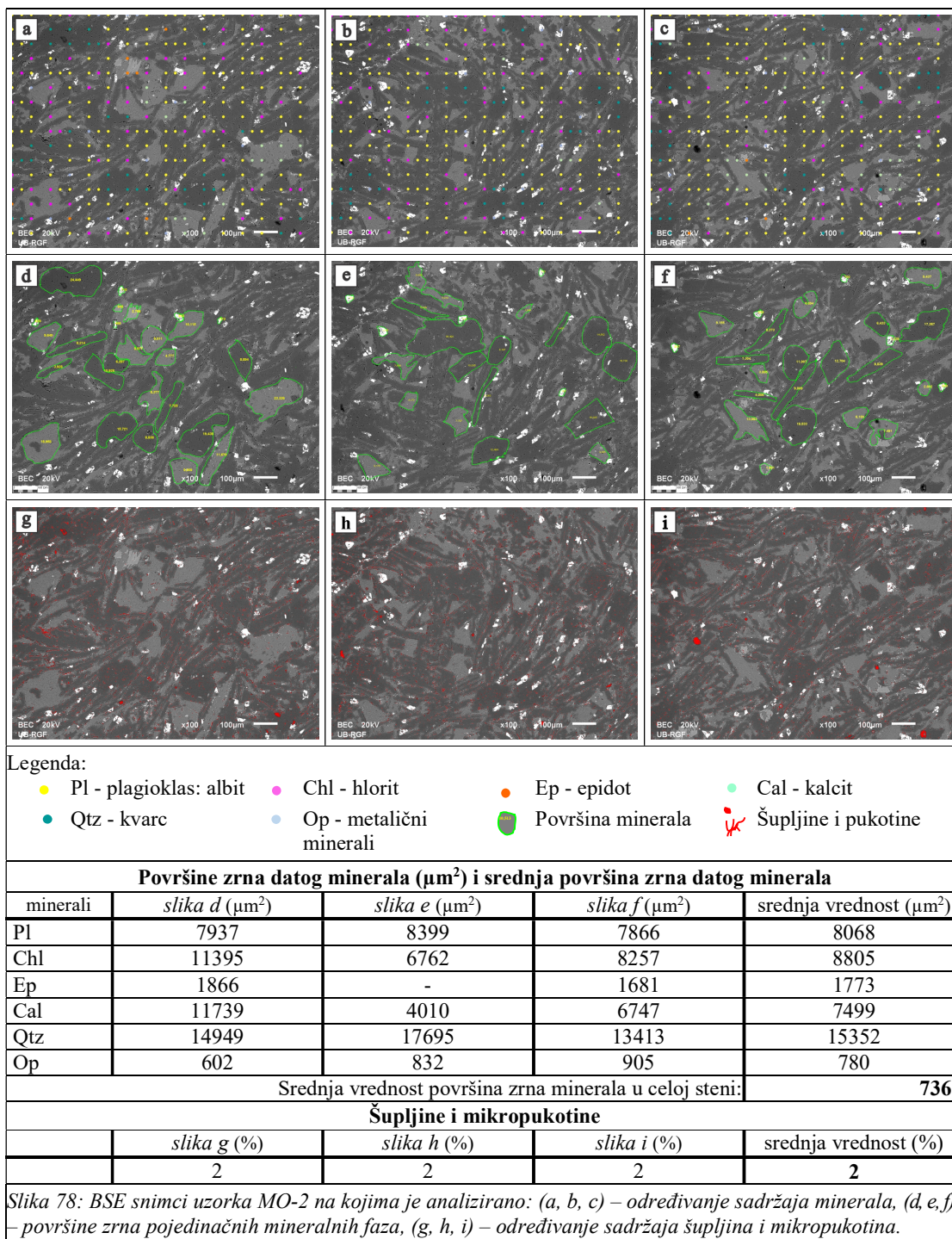
minerali	slika d (µm ²)	slika e (µm ²)	slika f (µm ²)	srednja vrednost (µm ²)
CPx	674	793	554	674
Pl _I	43331	175308	12418	77019
Pl _{II}	5059	5838	2595	4497
Chl	987	1976	1699	1554
Cal	-	2802	-	2802
Qtz	-	-	1	1
Op	149	94	130	124

Srednja vrednost površina zrna minerala u celoj steni: **9839**

Šupljine i mikropukotine

	slika g (%)	slika h (%)	slika i (%)	srednja vrednost (%)
	2	3	2	2

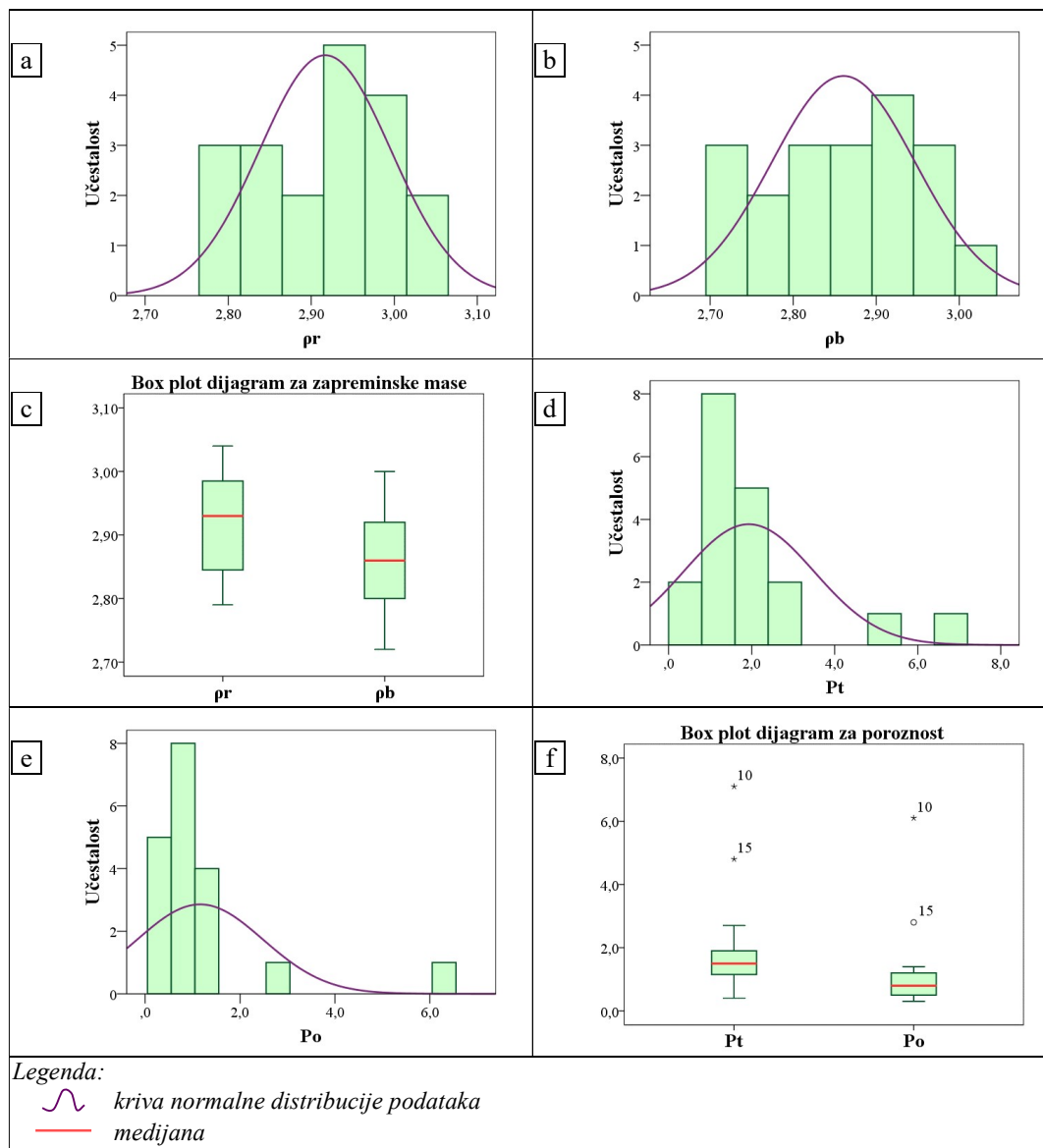
Slika 77: BSE snimci uzorka RO na kojima je analizirano: (a, b, c) – određivanje sadržaja minerala, (d, e, f) – površine zrna pojedinačnih mineralnih faza, (g, h, i) – određivanje sadržaja šupljina i mikropukotina.



3.3.4 Fizičko-mehanička svojstva kamena

Rezultati tehničkih (fizičkih i mehaničkih) svojstava kamena kao i njihovih osnovnih parametara deskriptivne statistike dati su u tabeli 8. Dobijeni podaci, srednje vrednosti i medijane ukazuju na simetričnu i unimodalnu distribuciju Gausove krive. Vrednosti standardizovane asimetričnosti i zakrivljenosti pokazuju normalnu raspodelu izmerenih vrednosti, što je pokazano histogramima i box plot dijagramima na slikama 79 i 80. Ovo je potvrđeno Kolmogorov-Smirnov testom za sve parametre ($D_{\max} < D_{cr (0,237)}$, tabela 8), osim za poroznost, upijanje vode i otpornost na habanje čije izmerene vrednosti fituju log-normalnu distribuciju.

Zapreminska masa, kao fizičko svojstvo kamena, direktno je povezana sa mineralnim sastavom stene. Rezultati specifičnih masa kamena (ρ_r) pokazuju male varijacije koje se kreću od 2,79 do 3,04 Mg/m³, sa srednjom vrednošću od 2,91 Mg/m³ i medijanom 2,93 Mg/m³. Prividne zapreminske mase (sa porama i šupljinama) takođe blago variraju zbog niskog sadržaja pornog prostora u ispitivanim stenama. Rezultati se kreću u rasponu od 2,72 do 3,00 Mg/m³ sa srednjom vrednošću i medijanom, koje se u ovom slučaju poklapaju i iznose 2,86 Mg/m³. Ova relativna homogenost direktno je povezana sa prilično uniformnim mineralnim sastavom ispitivanih stena. Svi ispitivani uzorci imaju visoke vrednosti zapreminskih masa, što je uobičajeno za bazične magmatske stene. Vrednosti centralne tendencije za obe zapreminske mase kamena su slične i ukazuju gotovo simetričnu, unimodalnu distribuciju Gausove krive (slika 79a-b). Koeficijent asimetričnosti ima negativan predznak što ukazuje da su krive blago nagnute u levu stranu (tabela 8). Međutim, s obzirom da je vrednost skewness-a manja od 1, smatra se da su distribucije simetrične. Koeficijent spljoštenosti (kurtosis) ima negativnu vrednost kako kod specifičnih masa (-1,201), tako i kod prividnih zapreminskih masa (-1,046), što ukazuje da su obe distribucije spljoštene (tabela 8). Kolmogorov-Smirnov test pokazao je normalnost posmatranih distribucija. Vrednosti najveće udaljenosti ($D_{\max}$) između empirijske i teorijske raspodele manje su od tablične vrednosti. Pozicije box plot dijagrama (slika 79c) pokazuju da su specifične mase viših vrednosti u odnosu na prividne zapreminske mase, ali generalno postoje male razlike među njima. Ogledaju se u položaju medijana i većem rasponu vrednosti za prividnu zapreminsku masu.



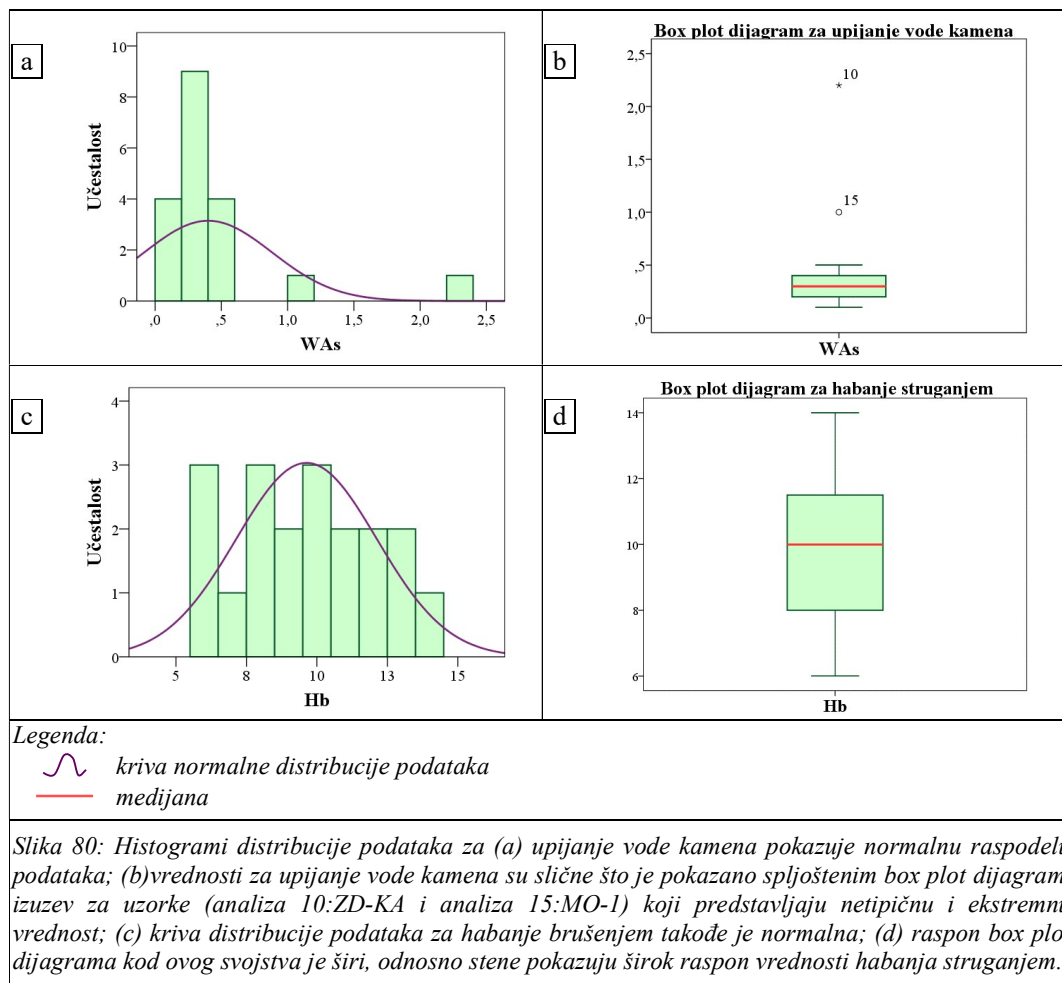
Slika 79: Histogrami distribucije podataka za (a) specifične zapreminske mase kamena i (b) prividne zapreminske mase pokazuju normalnu, simetričnu raspodelu Gausove krive; (c) box plot dijagrami za obe posmatrane zapreminske mase prikazane na slici pokazuju male razlike u položaju medijana i veći rasponon vrednosti za prividne zapreminske mase. Histogram za (d) apsolutnu poroznost i (e) otvorenu poroznost takođe pokazuje normalnu raspodelu podataka; (f) raspon box plot dijagrama za apsolutnu poroznost širi je u odnosu na box plot dijagram za otvorenu poroznost. Položaj zvezdica 15 i 10 kod totalne i otvorene poroznosti detektuje ekstremne vrednosti za date analize (10:ZD-KA i 15:MO-1), a kružić 15 kod otvorene poroznosti netipičnu vrednost.

Apsolutna poroznost (P_t - izračunata zapremina zatvorenih pora izražena u procentima) varira od 0,4 do 7,1 % sa srednjom vrednošću od 1,93 %, (slika 79d). Parametri centralne tendencije ukazuju na pozitivnu asimetričnu unimodalu distribuciju apsolutne poroznosti, sa najvećim frekvencijama klase (1,0 - 2,0 %) od 63 %. Vrednosti za **otvorenu poroznost** (slika 79e) variraju od 0,3 do 6,1 % sa srednjom vrednosti od

1,16 % i medijanom od 0,80 % (P_o - međusobno povezane pore dostupne vodi). Krive su asimetrične, nagnute na desno, pri čemu su učestaliji podaci niži od srednje vrednosti. Kurtozis vrednosti su pozitivne, pa se podaci koncentrišu oko srednjih vrednosti. Vrednosti Kolmogorov-Smirnov testa su manje od tabličnih (Dev za 19 je 0,237 ako je $\alpha = 0,20$). Box plot dijagram je šireg raspona za apsolutnu poroznost u odnosu na otvorenu poroznost. Dve ekstremne vrednosti pojavljuju se na box plot dijagramu za apsolutnu poroznost i to za analizu 10 (ZD-KA) i analizu 15 (MO-1). Njihove vrednosti udaljene su više od tri širine box-a mereno od njegove gornje ivice. Za otvorenu poroznost analiza 10 predstavlja ekstremnu vrednost, a analiza 15 je netipična vrednost (eng. outliers) koja je udaljena između 1,5 i 3 širine box-a, (slika 79f).

Ispitivane stene pokazuju niske vrednosti **upijanja vode** (WAs) koje se kreću u rasponu 0,10 – 2,20 % i sa prosečnom vrednošću od 0,4 %, (slika 80a). Ispitivanja o distribuciji poroznosti ukazuju da uzorci ZD-KA i MO-1 sadrže veći procenat otvorenih pora od drugih uzoraka, i to je u skladu sa višim vrednostima upijanja vode u ovim uzorcima (ZD-KA - 2,2 % i MO-1 - 1,0 %). Ovi uzorci pokazuju veće vrednosti upijanja vode, jer sadrže obilje mikroprrlina i šupljina i odlikuju se većim stepenom alteracija i slabijim stepenom mineralnog srastanja. Pozitivna vrednost kutozisa (11,778) ukazuje da se vrednosti koncentrišu oko srednje vrednosti (0,4 %). Pozitivna vrednost zakrivljenosti ukazuju na nagnutost krive na desnu stranu, odnosno veću učestalost nižih vrednosti (0,2 do 0,4 %) od prosečne, što potvrđuje vrednost medijane od 0,3 %. Box plot dijagram za upijanje vode (slika 80b), kao i za otvorenu poroznost pokazuje analizu 10 kao ekstremnu vrednost, a analizu 15 kao netipičnu vrednost.

Vrednosti gubitaka zapremine kamenog materijala skinutog **habanjem struganjem** (Hb-vrednost habanja po Bemeu) variraju 6-14 cm³/50cm², sa srednjom vrednošću od 9,63 cm³/50cm², dakle ovi uzorci kamena mogu se smatrati vrlo tvrdim do tvrdim. Histogram distribucije podataka (slika 80c) pokazuje normalnost raspodele sa vrlo malim koeficijentom spljoštenosti (-0,866). Kriva je blago negativno asimetrična sa većom učestalošću vrednosti koje su veće od srednje vrednost, što je potvrđeno box plot dijagramom. Box plot dijagram na slici 80d pokazuje da 50 % uzoraka ima habanje u rasponu od 8,3 cm³/50cm² do 11,6 cm³/50cm². U ovom svojstvu kamena nema netipičnih ni ekstremnih vrednosti.



Uticaj mineraloško-petrografskih karakteristika na mikrohrapavost agregata bazičnih stena Srbije

Olivera Đokić

Tabela 8. Tehnička svojstva kamena i agregata (n=19, izuzev za LA n=12) poredane po grupama dolerita, gabrova i spilita.

No	Uzorci	Tehnička svojstva kamena						Tehnička svojstva agregata									
		ρ_r	ρ_b	P_t	P_o	WA_s	Hb	ρ_a	ρ_{rd}	ρ_{ssd}	WA_a	PSV	M_{DE}	M_{DS}	LA	MS	SI
1.	DI-1	2,84	2,83	0,4	0,3	0,1	7	2,79	2,74	2,76	0,7	57	14	3	-	5	13
2.	DI-2	2,81	2,74	2,6	1,4	0,5	14	2,80	2,73	2,76	0,9	59	14	3	12	10	16
3.	TA-S	2,84	2,79	1,6	0,8	0,3	10	2,82	2,78	2,80	0,5	55	11	2	12	4	22
4.	TA-K	2,85	2,81	1,3	0,4	0,1	9	2,79	2,74	2,76	0,7	60	12	3	14	4	11
5.	PR-S/P	2,99	2,93	1,9	1,0	0,3	13	2,89	2,82	2,84	0,9	52	15	3	14	6	9
6.	PR-K	2,93	2,90	0,8	0,3	0,1	9	2,89	2,85	2,87	0,5	54	13	3	16	4	21
7.	RD-D	2,80	2,75	1,5	0,9	0,3	13	2,75	2,70	2,72	0,7	60	24	4	19	11	19
8.	ZD-S	2,93	2,90	1,1	0,6	0,2	6	2,95	2,91	2,93	0,5	46	8	2	10	4	6
9.	ZD-K	2,95	2,91	1,4	0,8	0,3	8	2,94	2,86	2,89	0,9	57	20	3	17	18	17
10.	ZD-KA	2,95	2,74	7,1	6,1	2,2	12	2,93	2,72	2,79	2,7	77	71	6	48	81	4
11.	CS-1	2,90	2,85	1,8	0,6	0,2	10	2,84	2,76	2,79	1,1	57	14	3	14	4	6
12.	CS-2	2,93	2,88	1,9	1,2	0,4	10	2,85	2,75	2,78	1,3	58	16	4	-	9	7
13.	GL-1	3,04	3,00	1,2	1,0	0,3	11	3,00	2,95	2,96	0,6	56	14	3	-	9	17
14.	RD-G	3,03	2,98	1,6	0,6	0,2	12	2,93	2,89	2,91	0,5	56	17	4	19	13	19
15.	MO-1	3,00	2,86	4,8	2,8	1,0	8	2,90	2,77	2,82	1,6	68	30	3	-	25	7
16.	BP-2/2	2,98	2,95	1,0	0,4	0,1	6	2,92	2,86	2,88	0,7	59	16	3	-	10	32
17.	BP-2/1	2,99	2,97	0,7	0,4	0,2	6	2,89	2,81	2,84	0,9	65	21	3	-	16	31
18.	RO	2,79	2,72	2,7	1,2	0,4	11	2,79	2,69	2,73	1,3	52	15	5	-	22	16
19.	MO-2	2,87	2,84	1,3	1,2	0,4	8	2,83	2,75	2,78	1,0	60	18	4	19	21	14
Statistički parametri																	
n		19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
$\bar{x}$		2,91	2,86	1,93	1,16	0,40	9,63	2,86	2,79	2,82	0,94	58	19	3	18	14	15
Md		2,93	2,86	1,50	0,80	0,30	10	2,89	2,77	2,80	0,90	57	15	3	15	10	16
V_{min}		2,79	2,72	0,40	0,30	0,10	6	2,75	2,69	2,72	0,50	46	8	2	10	4	4
V_{max}		3,04	3,00	7,10	6,10	2,20	14	3,00	2,95	2,96	2,70	77	71	6	48	81	32
Q_1		2,84	2,79	1,10	0,40	0,20	8,28	2,80	2,74	2,76	0,60	55	14	3	13	4	7
Q_2		2,99	2,93	1,90	1,20	0,40	11,6	2,93	2,86	2,88	1,10	60	20	4	19	18	19
Ra		0,25	0,28	6,70	5,80	2,10	8	0,25	0,26	0,24	2,20	31	63	4	38	77	28
s^2		0,006	0,007	2,484	1,760	0,232	5,64	0,005	0,006	0,005	0,275	43,00	182,21	0,91	99,24	304,2	63,32
s		0,07	0,08	1,57	1,32	0,48	2,49	0,068	0,074	0,069	0,524	6,558	13,498	0,955	9,962	17,43	7,95
SE		0,018	0,019	0,361	0,304	0,110	0,57	0,015	0,017	0,015	0,120	1,504	3,096	0,219	2,875	4,001	1,825
A_s		-0,146	-0,106	2,424	3,241	3,275	-0,136	0,044	0,585	0,477	2,280	1,150	3,482	1,275	2,913	3,368	0,647
K_1		-1,201	-1,046	6,400	11,610	11,778	-0,866	-0,897	-0,645	-0,728	6,534	3,116	13,478	2,292	9,324	12,880	0,075
KS D_{max}		0,145	0,110	0,158	0,143	0,149	0,093	0,150	0,152	0,150	0,220	0,235	0,137	0,084	0,224	0,116	0,109
Objašnjenje: ρ_r - specifična masa (rezultati izraženi u Mg/m^3 zbog poređenja sa zapreminskim masama agregata); ρ_b - prividna zapreminska masa (Mg/m^3); P_t - apsolutna poroznost (%); P_o - otvorena poroznost (%); WA_s - upijanje vode kamena (%); Hb - otpornost na habanje - Beme ($cm^3/50cm^2$); ρ_a - prividna zapreminska masa agregata (Mg/m^3); ρ_{rd} - stvarna zapreminska masa agregata nakon sušenja u sušnici (Mg/m^3); ρ_{ssd} - stvarna zapreminska masa agregata vodozasićenog a površinski suvog (Mg/m^3); WA_a - upijanje vode agregata (%); PSV - koeficijent poliranja kamena; M_{DE} - otpornost na habanje u vlažnom stanju (%); M_{DS} - otpornost na habanje u suvom stanju (%); LA (gradacije A, B, C) - otpornost na drobljenje (%); MS - magnezijum sulfat test (%); SI - oblik zrna 3:1(%); n - broj uzoraka; $\bar{x}$ - srednja vrednost; V_{min} - minimalna vrednost; V_{max} - maksimalna vrednost; Q_1 - prva kvartila; Q_2 - druga kvartila; Ra - opseg; s^2 - varijansa; s - standardna devijacija; SE - standardna greška; A_s - koeficijent asimetričnosti (Skewness); K_1 - koeficijent spljoštenosti; KS D_{max} - Kolmogorov-Smirnova D vrednost (Đokić et al., 2015).																	

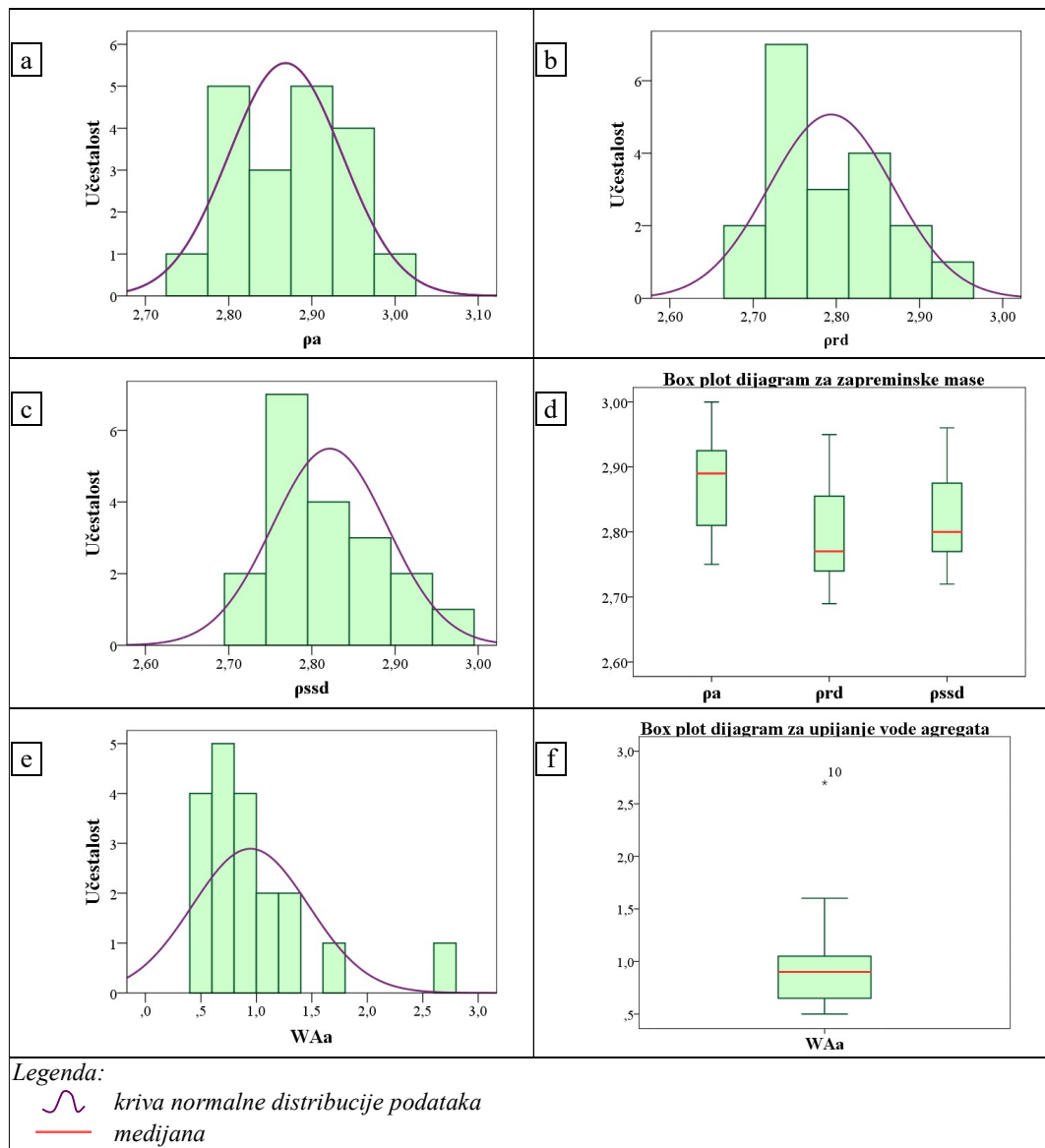
3.3.5 Fizičko-mehaničkih svojstava agregata

Vrednost *prividne zapreminske mase agregata* (ρ_a) agregata varira u opsegu od 2,75 da 3,00 Mg/m³, sa srednjom aritmetičkom vrednošću od 2,86 Mg/m³ i medijanom od 2,89 Mg/m³. Vrednost *stvarne zapreminske mase agregata* nakon sušenja u sušnici (ρ_{rd}) kreće se od 2,69 - 2,95 Mg/m³, dok je *stvarna zapreminska masa vodozasićenog a površinski suvog agregata* (ρ_{ssd}) u opsegu 2,72 - 2,96 Mg/m³ (tabela 8). Histogrami zapreminskih masa agregata, kao i njima pripadajuće krive (slika 81a-c) pokazuju normalnu distribucije dobijenih podataka. Krive su blago nagnute u desnu stranu, ali s obzirom da su vrednosti skewness-a manje od 1, smatra se da su distribucije simetrične. Koeficijent spljoštenosti (kurtosis) ima negativnu vrednost ispod nule (-0,645 do -0,897) ukazujući na njihove neznatne spljoštenosti (tabela 8). Kolmogorov-Smirnov test potvrdio je normalnost posmatranih distribucija. Box plot dijagrami za sve tri zapreminske mase (slika 81d) su po obliku dijagrama i raširenosti podataka vrlo slični. Razlika među njima je u tome što je medijana za prividne zapreminske mase u gornjem delu box-a, što ukazuje na veću učestalost podataka većih od prosečnih. Suprotno tome, kod preostale dve stvarne zapreminske mase medijane su u donjem delu box-a ukazujući na veću učestalost vrednosti manjih od prosečnih.

Agregati pokazuju *upijanje vode* (WAa) od 0,5 do 2,7 %, sa srednjom vrednošću od 0,94 %. Na histogramu prikazanom na slici 81e se vidi da vrednosti imaju normalnu distribuciju podataka upijanja vode agregata. Vrednosti koeficijenta asimetričnosti ukazuju na unimodalnu pozitivnu asimetričnost krive sa većom distribucijom podataka ispod prosečnih vrednosti, što je i pokazano na box plot dijagramu (slika 81f). Na istoj slici uočava se i ekstremna vrednost upijanja vode za analizu 10 (ZD-KA 2,7 %) koja, u obračunu aritmetičke sredine podiže njenu vrednost na 0,94 %.

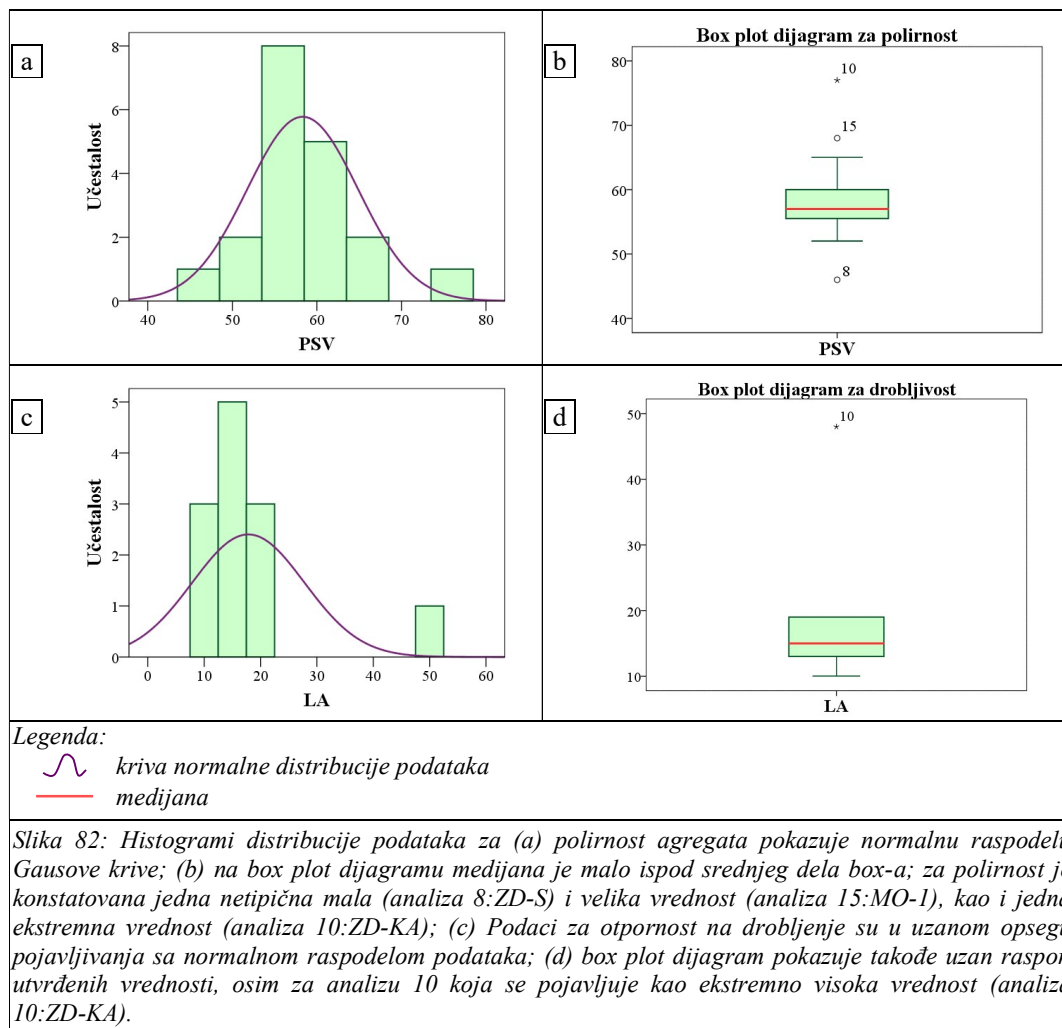
Koeficijent poliranja PSV za ispitivane agregate kreće se od 46 do 77 sa srednjom vrednošću od 58. Veće vrednosti ovog koeficijenta PSV (65-77) dobijene su na uzorcima koji pokazuju ekstremne alteracije (npr. MO-1, ZD-KA). Ovi uzorci imaju brojne mikropukotine, a to vodi ka višim vrednostima poroznosti i upijanja vode. Histogram distribucije podataka (slika 82a) pokazuje normalnost raspodele sa pozitivnim koeficijentom spljoštenosti (3,116) koji pokazuje da se vrednosti koncentrišu oko srednje vrednosti. Kriva je pozitivno asimetrična sa većom učestalosti vrednosti manjim od srednje, što je grafički prikazano box plot dijagramom (slika 82b). Box plot

dijagram dalje pokazuje da 50 % uzoraka ima poliranje u rasponu od 55 do 60. Za ovo tehničko svojstvo agregata detektovane su dve netipične vrednosti, od kojih je jedna vezana za analizu 8 (ZD-S) sa donje strane boxa i analizu 15 (MO-1) sa gornje strane box-a. Ekstremna vrednost utvrđena je u analizi 10 (ZD-KA) što je ujedno i najviša vrednost poliranja izmerena u ovoj studiji.



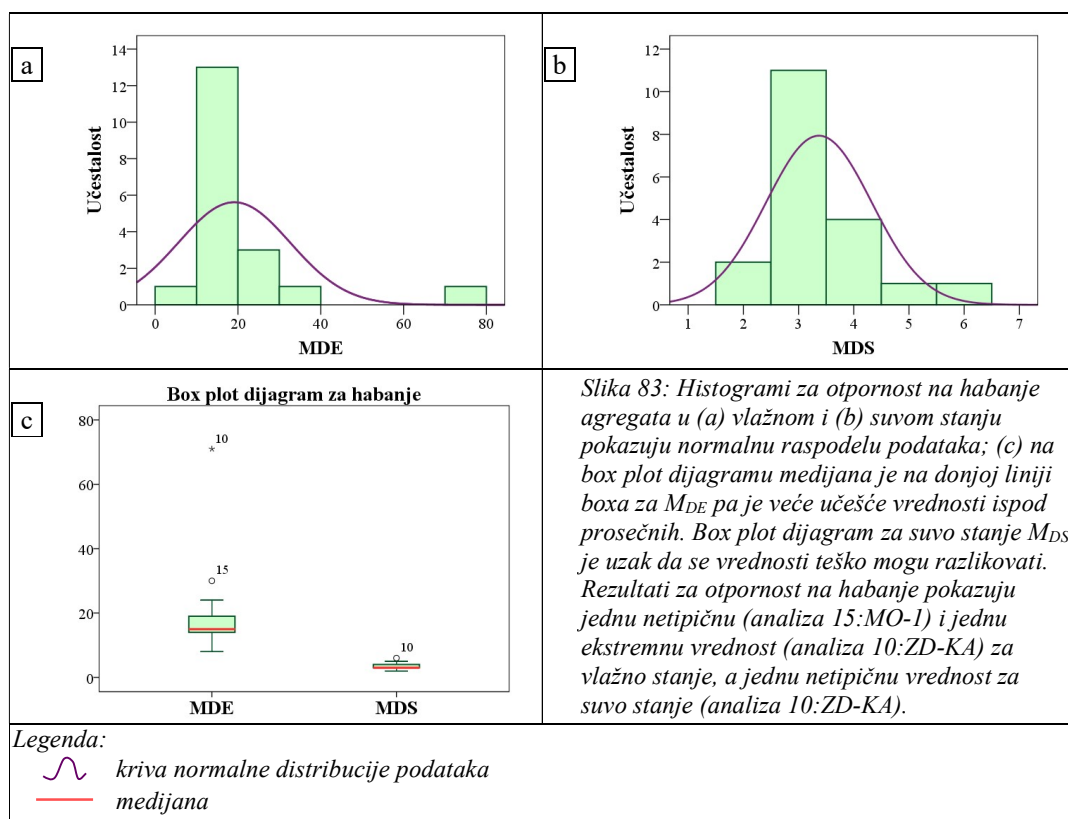
Slika 81: Histogrami distribucije podataka za (a) prividne zapreminske mase agregata (b) stvarne zapreminske mase agregata nakon sušenja u sušnici i (c) stvarne zapreminske mase agregata vodozasićenog a površinski suvog pokazuju normalnu raspodelu Gausove krive; (d) box plot dijagrami za posmatrane zapreminske mase pokazuju da su stvarne zapreminske mase niže od prividnih, sa medijanama u donjem delu box-a što ukazuje na veću učestalost vrednosti nižih od prosečnih; (e) histogram za upijanje vode agregata pokazuje normalnu raspodelu podataka; (f) raspon box plot dijagrama prikazan je na slici sa položajem ekstrema za analizu 10 (ZD-KA).

Otpornost na drobljenje izražena je koeficijentom Los Angeles. Izmerene LA vrednosti su u rasponu od 10 % do 48 %, sa srednjom vrednosti od 18 %. Što je niža vrednost ovog koeficijenta, otpornost na drobljenje je veća i obrnuto. Najmanju vrednost od 10 % pokazuje uzorak ZD-S, dok je najveća vrednost od 48 % utvrđena u ekstremno alterisanom doleritu ZD-KA. Distribucija podataka otpornosti na drobljenje agregata je normalna pa i kriva ima karakterističan „zvonast” oblik. Pozitivna vrednost kutozisa (9,324) ukazuje da se vrednosti koncentrišu oko srednje vrednosti (18 %).



Pozitivna vrednost zakrivljenosti (2,913) ukazuje na nagnutost krive na desno, odnosno na veću učestalost nižih vrednosti od prosečne, što potvrđuje medijana od 15 % (slika 82c-d). Box plot dijagram pokazuje analizu 10 (ZD-KA) kao ekstremnu vrednost u posmatranom skupu od 12 podataka.

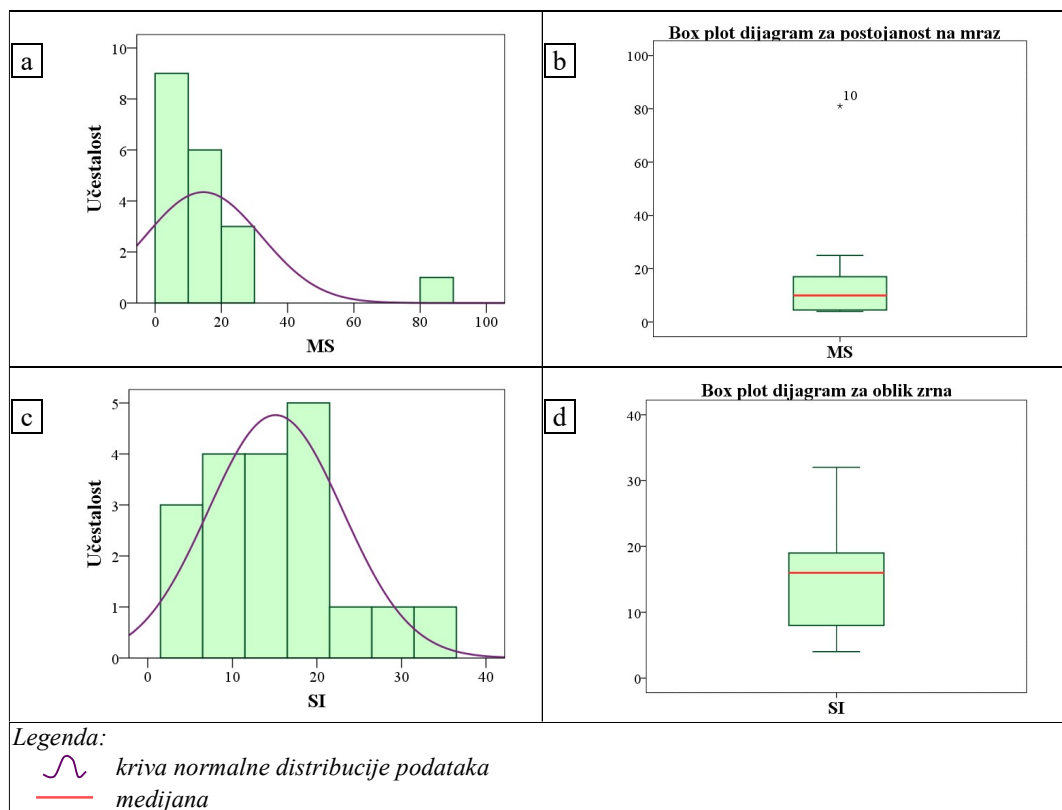
Otpornost na habanje izražena je mikro-Deval koeficijentom. Generalno, uzorci sa najnižim M_{DE} i M_{DS} vrednostima imaju najveću otpornost na habanje. Posmatrane vrednosti u vlažnom stanju M_{DE} su u rasponu 8-71, sa srednjom vrednošću od 19 %. Nasuprot tome u suvom stanju M_{DS} vrednosti su mnogo manje varijabilne (2-6 %), sa srednjom vrednošću od 3 %. Histogrami i krive distribucije podataka (slika 83a-b) pokazuju normalnost raspodele. Pozitivni koeficijent spljoštenosti za vlažno stanje (13,478) ukazuje da se rezultati koncentrišu oko srednje vrednosti. Ovaj koeficijent je niži za suvo stanje (2,292) pa je i kriva za ovo stanje spljoštenija u odnosu na gore pomenutu, mada se to na dijagramima ne može videti jer nemaju isti opseg prikaza rezultata. Kada je o asimetričnosti reč, obe krive su pozitivno asimetrične, sa medijanama manjim od srednje vrednosti. Box plot dijagram (slika 83c) pokazuje širi raspon podataka za vlažno stanje (više od 50 % uzoraka ima habanje u rasponu od 14 do 20) u odnosu na suvo, gde je ovaj raspon oko 3.



U ovom tehničkom svojstvu agregata, za vlažno stanje detektovana je jedna netipična vrednost vezana za analizu 15 (MO-1) i jedna ekstremna vezana za analizu 10

(ZD-KA) koje se nalaze sa gornje strane box-a. Svojstvo habanja u suvom stanju pokazuje jednu netipičnu vrednost utvrđenu u analizi 10 (ZD-KA).

Rezultati **otpornosti prema dejstvu mraza** metodom magnezijum sulfata variraju od 4 do 81, sa srednjom vrednošću od 14 % i medijanom od 10 %. Histogram distribucije podataka (slika 84a) pokazuje unimodalnu normalnu raspodelu podataka sa pozitivnim koeficijentom asimetričnosti (3,368) i spljoštenosti (12,880). Box plot dijagram (slika 84b) dalje pokazuje da je 50 % uzoraka otporno na dejstvo mraza sa gubitkom materijala u rasponu od 4 do 18 %. U ovom svojstvu agregata utvrđena je ekstremna vrednost u analizi 10 (ZD-KA). Ovaj uzorak nije postojan na mraza zato što se 81 % agregata raspalo nakon tretmana neizmeničnog izlaganja rastvoru magnezijum sulfata i sušenju. Ovo je ujedno i najniža vrednost otpornosti na mraz izmerena u ovoj studiji, a u skladu je sa najvišim vrednostima upijanja vode i otvorene poroznosti.



Slika 84: Histogrami distribucije podataka za (a) otpornost na dejstvo mraza agregata pokazuje normalnu raspodelu Gausove krive; (b) na box plot dijagramu medijana je pomerena ka donjem delu box-a, ka nižim vrednostima. Konstatovan je jedan ekstrem velikih vrednosti (analiza 10:ZD-KA); (c) oblik zrna agregata pokazuje širok raspon vrednosti kod kojih postoji normalna raspodela podataka; (d) box plot dijagram pokazuje da u ovakvom rasporedu podataka nema ekstremnih vrednosti. Medijana je pomerena ka višim vrednostima, odnosno lošijem obliku zrna.

Indeks oblika zrna SI varira u širokom rasponu, od 4 % do 32 % (srednja vrednost je 15 %). Alterisani uzorci pokazuju manje vrednosti (povoljnije svojstvo) jer se lakše drobe i oblikuju, dok tvrd i kompaktan kamen daje agregate sa većim procentom pločastih zrna nepovoljnog oblika. Histogram i kriva distribucije podataka pokazuje normalnu raspodelu. Vrednost kurtosisa (0,075) i asimetričnosti (0,647) je blizu nule što ukazuje da kriva ima gotovo idealnu distribuciju (slika 84c). Veća je učestalost podataka većih od srednje vrednosti, pa je medijana u gornjem delu box-a (slika 84d).

3.4 STATISTIČKA ANALIZA

U ovom poglavlju je prikazana statistička obrada podataka dobijenih modalnom analizom, analizom BSE snimaka i podataka fizičko-mehaničkih karakteristika kamena i agregata u funkciji laboratorijski dobijenih PSV vrednosti. U prvom delu prikazana je linearna korelacija za opisivanje zavisnosti PSV vrednosti od mineralnog sastava, a u drugom delu koji se odnosi na podatke fizičko-mehaničkih karakteristika kamena i agregata, urađene su regresione analize i validacija predloženih modela.

3.4.1 Uticaj mineralnog sastava ispitivanih bazičnih stena na PSV vrednosti

Varijeteti bazičnih stena koji su ispitivani u ovom radu nemaju potpuno identičan mineralni sastav, tako da je ispitivanje zavisnosti laboratorijskih vrednosti PSV-a delimično otežano. Jedini mineral koji se javlja u svim ispitivanim stenama je plagioklas. Zastupljenost pojedinačnih minerala u ispitivanim bazičnim stenama prikazana je u tabeli 9.

Tabela 9. Zastupljenost pojedinačnih mineralnih faza u ispitivanim uzorcima

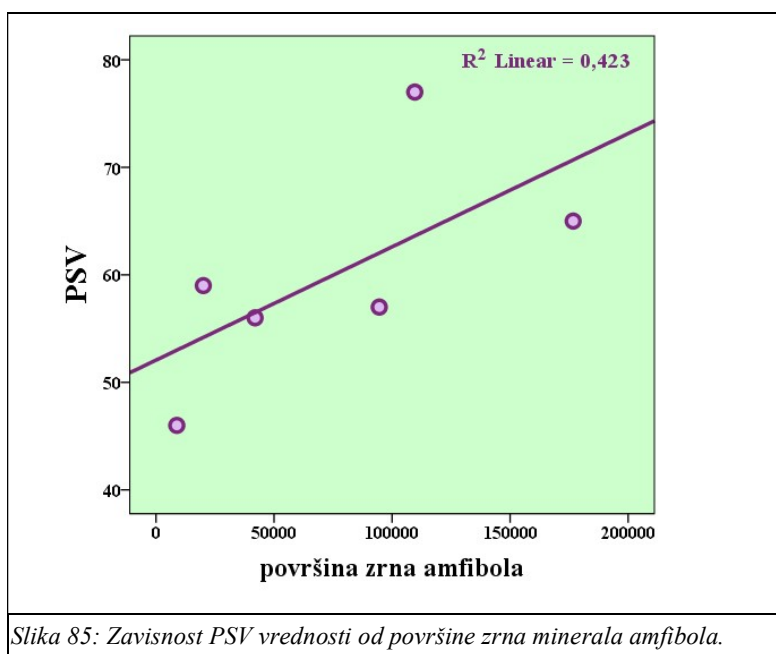
	Pl	Cpx	Am	Chl	Prh	Tt	Op	Ep	Q	Cal
DI-1	•	•		•	•	•	•		•	•
DI-2	•	•		•	•	•	•			
TA-S	•	•		•	•	•	•			
TA-K	•	•		•	•	•	•			
PR-S/P	•	•		•	•		•			
PR-K	•	•		•	•		•			
RD-D	•						•		•	•
ZD-S	•		•	•		•	•			
ZD-K	•		•	•		•	•	•		
ZD-KA	•		•	•		•	•		•	
CS-1	•	•		•		•	•			•
CS-2	•	•		•		•	•			•
GL-1	•	•	•	•	•	•	•		•	•
RD-G	•	•		•		•		•		
MO-1	•	•		•		•			•	
BP-2/2	•		•		•	•				
BP-2/1	•		•	•	•		•		•	
RO	•	•		•			•		•	•
MO-2	•			•			•	•	•	•

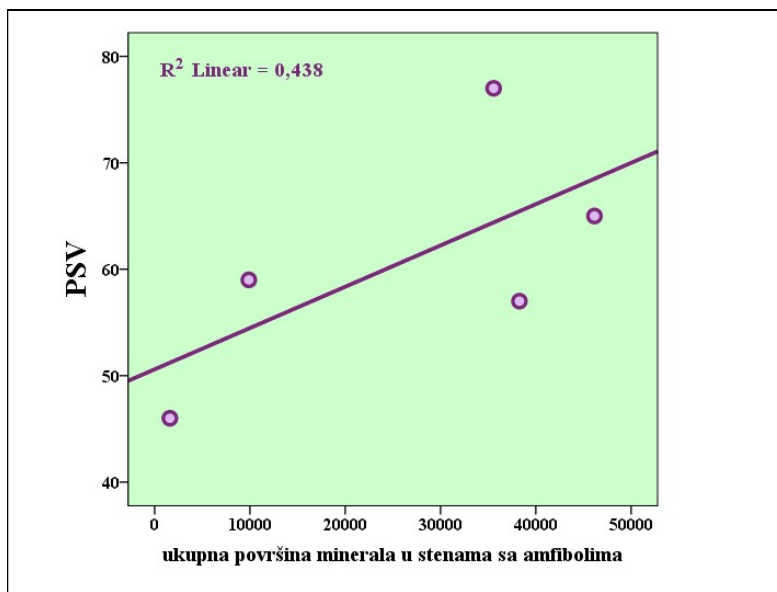
Pl– plagioklas, Cpx–klinopiroksen, Am–amfibol, Chl–hlorit, Prh–prenit, Ttn– titanit (sfen), Op–metalični minerali, Ep– epidot, Q– kvarc, Cal– kalcit.

Prisustvo mineralnih faza u ispitivanim uzorcima bazičnih stena prikazano u tabeli 9, a odnosi se na generalni mineralni sastav. Tako se pod plagioklasom podrazumevaju sve vrste od albita do anortita, pod amfibolom hornblenda i aktinolit, a pod klinopiroksenom augit i retko diopsid. Vrste metaličnih (neprovidnih) minerala

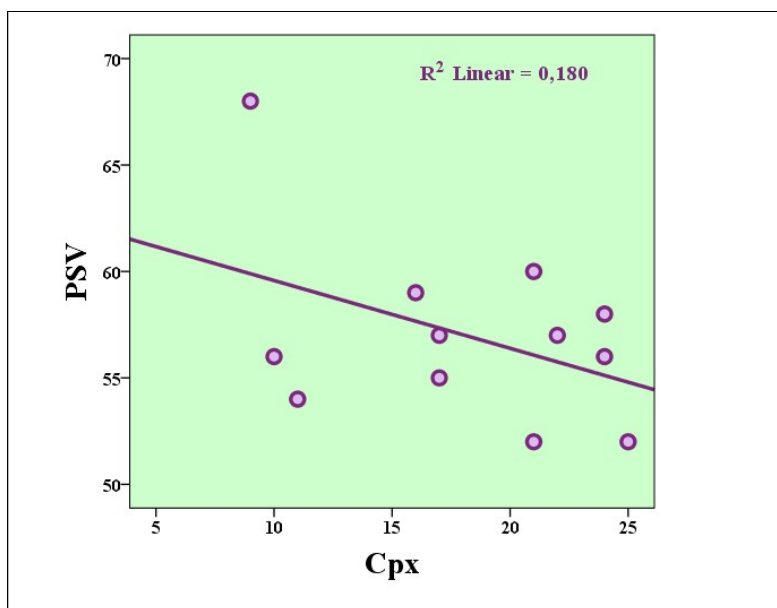
razlikuju se od uzorka do uzorka, a podrazumevaju: magnetit, Ti-magnetit, ilmenit i pirit.

Laboratorijski dobijene PSV vrednosti korelisane su sa: a) sadržajima pojedinačnih mineralnih vrsta, b) odnosom sadržaja relativno tvrdih i mekih minerala, c) sadržajem sekundarnih minerala, d) površinama zrna pojedinačnih minerala. Najbolja linearna korelacija PSV vrednosti dobijena je sa površinama zrna amfibola ($R^2=0,423$) (slika 85). Dodatno, ista korelacija PSV-a postignuta je i sa srednjim vrednostima površina minerala u stenama u kojima amfiboli čine 40-55 %vol. (Ždraljica, Buljanski potok, $R^2=0,438$) (slika 86). Niže vrednosti korelacija PSV-a postignute su sa sadržajem piroksena (u uzorcima u kojima se javljaju) ($R^2=0,180$) (slika 87). Osim piroksena, slična korelacija PSV vrednosti zapažena je i sa odnosom sadržaja relativno tvrdih i mekih minerala ($R^2=0,148$). Razlika između ovih linearnih korelacije je što povećanje površine zrna amfibola, povećanje ukupne površine zrna svih minerala u stenama sa amfibolima (krupnozrniji uzorci stena) i povećanje odnosa tvrdih i mekih minerala, povećava PSV vrednosti, a povećanje sadržaja piroksena ih snižava.





Slika 86: Zavisnost PSV vrednosti od srednjih vrednosti površina minerala u stenama u kojima amfiboli čine 40-55 %vol.



Slika 87: Zavisnost PSV vrednosti od sadržaja minerala piroksena.

3.4.2 Statistička obrada podataka tehničkih karakteristika kamena i agregata

Statistička obrada podataka tehničkih karakteristika kamena i agregata obuhvatila je regresionu analizu i validaciju predloženih modela za predviđanje PSV vrednosti preko svojstava sa kojima postoji značajna statistička korelacija - apsolutna i otvorena poroznost, upijanje vode kamena i agregata, zapreminske mase, otpornost na habanje, drobljenje, postojanost na dejstvo mraza.

3.4.2.1 Regresiona analiza

Regresionoj analizi predhodila je korelaciona matrica kako bi se izabrale najbolje zavisnosti. Vrednosti Pirsonovog koeficijenta pokazuju da su sledeća svojstva u korelaciji sa PSV-om: P_t , P_o , WA_s , ρ_{rd} , ρ_{ssd} , WA_a , M_{DE} , M_{DS} , LA i MS sa veoma značajnim koeficijentom korelacije (99 % i 95 % nivo poverenja), kao što je pokazano u Tabeli 10.

Tabela 10: Korelaciona matrica PSV-a i fizičko-mehaničkih svojstava kamena i agregata koji pokazuju korelaciju.

Svojstvo	Pirsonov koeficijent korelacije – r (p – nivo značajnosti)										
	P_t	P_o	WA_s	ρ_{rd}	ρ_{ssd}	WA_a	PSV	M_{DE}	M_{DS}	LA	MS
P_t	1.00	0.878 (0.000) n=45	0.957 (0.000) n=19	0.433* (0.050) n=21	-0.303 (0.181) n=21	0.581 (0.000) n=45	0.665 (0.000) n=45	0.458* (0.019) n=19	0.617 (0.005) n=19	0.648 (0.000) n=38	0.764 (0.000) n=25
P_o		1.00	1.000 (0.000) n=19	-0.343 (0.128) n=21	-0.212 (0.356) n=21	0.789 (0.000) n=45	0.763 (0.000) n=45	0.804 (0.000) n=26	0.656 (0.002) n=19	0.854 (0.000) n=38	0.928 (0.000) n=25
WA_s			1.00	-0.330 (0.168) n=19	-0.184 (0.452) n=19	0.915 (0.000) n=19	0.752 (0.000) n=19	0.937 (0.000) n=19	0.664 (0.002) n=19	0.933 (0.000) n=12	0.940 (0.000) n=19
ρ_{rd}				1.00	0.990 (0.000) n=24	-0.725 (0.000) n=46	-0.616 (0.000) n=49	-0.540 (0.000) n=44	0.479* (0.038) n=19	0.389* (0.016) n=38	-0.498 (0.001) n=40
ρ_{ssd}					1.00	-0.873 (0.000) n=34	-0.492 (0.003) n=34	-0.164 (0.502) n=19	-0.388 (0.100) n=19	-0.656 (0.000) n=26	-0.144 (0.557) n=19
WA_a						1.00	0.490 (0.000) n=106	0.898 (0.000) n=48	0.723 (0.000) n=19	0.777 (0.000) n=90	0.838 (0.000) n=46
PSV							1.00	0.772 (0.000) n=51	0.617* (0.020) n=19	0.549 (0.000) n=102	0.719 (0.000) n=46
M_{DE}								1.00	0.712 (0.001) n=19	0.915 (0.000) n=41	0.826 (0.000) n=46
M_{DS}									1.00	0.916 (0.000) n=12	0.771 (0.000) n=19
LA										1.00	0.853 (0.000) n=39
MS											1.00

Objašnjenje: **bold** - korelacija je značajna na 0.01 nivou; * korelacija je značajna na 0,05 nivou; n – broj uzoraka.

Kao što se očekivalo, pronađena je statistički veoma značajna korelacija između poroznosti (apsolutne, zatim otvorene) i upijanja vode kamena i PSV-a. Stvarne zapreminske mase agregata (nakon sušenja u sušnici i vodozasićenog, a površinski suvog agregata) su u negativnoj korelaciji sa statistički značajnim Pirsonovim koeficijentima korelacije. Među mehaničkim svojstvima agregata, otpornost na habanje i drobljenje ($M_{DE,DS}$ i LA) pokazuju pozitivnu korelaciju sa PSV-om, sa dovoljno visokom Pirsonovim koeficijentima korelacije.

Postojanost na dejstvo mraza takođe pokazuje pozitivnu statistički veoma značajnu korelaciju sa PSV-om. Nasuprot tome, sva ostala tehnička svojstva ne pokazuju statistički značajne korelacije sa PSV-om (tabela 8). U cilju utvrđivanja kvantitativnog uticaja pomenutih osobina na PSV (samo parametara sa veoma značajnim i značajnim Pirsonovim koeficijentima korelacije), odabrane varijable ponovo su analizirane korišćenjem bivarijatne linearne regresije (metoda najmanjih kvadrata). PSV agregata (zavisna varijabla) u korelaciji je sa nezavisnim varijablama: poroznošću, upijanjem vode, otpornosti na habanje i drobljenjem agregata (mikro-Deval i Los Angeles koeficijenti) i otpornosti na dejstvo mraza. Za PSV izračunata je linija koja se najbolje uklapa i izračunati su koeficijenti determinacije (R^2) za deset predloženih modela. Rezultati regresione analize su dati u tabeli 11, a regresione linije predloženih modela prikazane su na slici 88.

Među fizičkim svojstvima kamena, pozitivne linearne korelacije pronađene su između PSV-a i poroznosti. Na osnovu F-testa, bivariantna regresiona analiza pokazala je statistički značajnu korelaciju između PSV-a i totalne poroznosti kamena (slika 88a, model 1 u tabeli 11). Vrednost R^2 ukazuje da je 45 % varijansi PSV-a čine model 1. Veći koeficijent korelacije primećen je između PSV-a i otvorene poroznosti (slika 88a, model 2 u tabeli 11), gde 58 % varijansi čine model 2. Iako linije regresije dobro uklapaju podatke, relativno malo rezultata imamo u nižem području otvorene poroznosti (<0,5 %). Slični trendovi takođe su primećeni za upijanje vode kamena i agregata (slika 88b). Efekat upijanja vode kamena na PSV je jak, a regresija je pozitivna, ukazujući trend da što je veće upijanje vode, veći je PSV. Ovo je demonstrirano pomoću modela 3 (slika 88b, model 3 u tabeli 11). Ovaj model ima koeficijent korelacije koji objašnjava 57 % varijansi PSV-a.

Tabela 11. Jednačine modela i rezultati regresione analize za predviđanje PSV-a.

N° modela	Jednačine modela $y=b_0+b_1x$	n	R	R ²	Adj, R ²	SE	F (p)	DW	Konstante		t test (p)		SR	
									b ₀	b ₁	b ₀	b ₁	min	max
MEP1	PSV=52,045+2,339Pt	45	0,668	0,446	0,433	3,942	34,634 (0,000)	1,472	52,045	2,339	59,911 (0,000)	5,885 (0,003)	-2,215	2,839
MEP2	PSV=52,327+4,131Po	45	0,764	0,584	0,574	3,411	60,360 (0,000)	1,923	52,327	4,131	77,452 (0,000)	7,769 (0,000)	-2,614	3,154
MEP3	PSV=54,053+10,291WAs	19	0,752	0,566	0,540	4,447	22,135 (0,000)	1,759	54,053	10,291	39,612 (0,000)	4,705 (0,000)	-2,297	2,114
MEP4	PSV=153,907-34,572 p _{rd}	49	0,610	0,372	0,359	5,928	27,889 (0,000)	1,514	153,907	-34,572	8,159 (0,000)	-5,281 (0,000)	-2,020	3,204
MEP5	PSV=125,352-24,093 p _{ssd}	34	0,495	0,245	0,221	5,251	10,396 (0,002)	1,121	125,352	-24,093	6,027 (0,000)	-3,224 (0,002)	-1,689	3,568
MEP6	PSV=54,076+1,731WAa	106	0,495	0,245	0,238	4,762	33,735 (0,000)	1,057	54,076	1,731	95,938 (0,000)	5,808 (0,000)	-1,881	3,823
MEP7	PSV=49,544+0,435MDE	51	0,769	0,591	0,583	4,003	70,842 (0,000)	1,177	49,544	0,435	60,277 (0,000)	8,417 (0,000)	-1,761	2,597
MEP8	PSV=43,256+4,381MDS	19	0,617	0,381	0,345	5,194	10,469 (0,004)	1,395	43,256	4,381	9,123 (0,000)	3,236 (0,004)	-2,339	1,899
MEP9	PSV=49,731+0,393LA	102	0,554	0,307	0,299	4,407	44,234 (0,000)	1,194	49,731	0,393	51,185 (0,000)	6,650 (0,000)	-3,253	1,900
MEP10	PSV=52,200+0,324MS	46	0,720	0,519	0,509	4,234	47,670 (0,000)	1,155	52,200	0,324	69,413 (0,000)	6,904 (0,000)	-1,809	2,475

Objašnjenje: MEP - model prema tehničkim svojstvima; n – broj uzoraka; R - koeficijent determinacije; R² - koeficijent determinacije; Adj, R² - tablična vrednost; SE – standardna greška proračuna; F – Anova test, p – statistički značaj rezultata; DW – Durbin Watson test; SR - standardizovani residual (Đokić et al., 2015).

Tabela 12. Rezultati „T“ testa ($\alpha=95\%$) izmerenih i računatih vrednosti PSV-a.

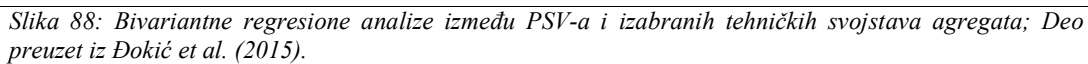
N ^o modela	Jednačine modela $y=b_0+b_1x$	t	df	$p(\alpha/2)$	t_{cr}	Razlike (%) merenih i računatih vrednosti	
						Min.	Max.
M _{EP1}	PSV=52,045+2,339P _t	0,001	44	0,998	2,014	0,2	19
M _{EP2}	PSV=52,327+4,131P _o	0,000	44	1,000	2,014	0,1	19
M _{EP3}	PSV=54,053+10,291W _{A_s}	0,015	18	0,988	2,100	0,2	22
M _{EP4}	PSV=153,907-34,572 ρ_{rd}	0,000	48	0,999	2,009	0,7	22
M _{EP5}	PSV=125,352-24,093 ρ_{ssd}	0,001	33	0,998	2,032	0,6	24
M _{EP6}	PSV=54,076+1,731W _{A_a}	0,001	105	0,999	1,984	0,1	23
M _{EP7}	PSV=49,544+0,435M _{DE}	0,004	50	0,996	2,009	0,1	16
M _{EP8}	PSV=43,256+4,381M _{DS}	0,000	18	0,999	2,100	0,4	23
M _{EP9}	PSV=49,731+0,393L _A	0,013	101	0,988	1,984	0,2	19
M _{EP10}	PSV=52,200+0,324M _S	0,207	45	0,837	2,013	0,9	17
Objašnjenje: M _{EP} - model prema tehničkim svojstvima; t - test; df - stepen slobode; p($\alpha/2$) - statistički značaj rezultata; t _{cr} - kritična vrednost (Đokić et al., 2015).							

Upijanje vode agregata takođe je povezano sa PSV-om. Oko 25 % varijansi se prema R^2 za PSV obračunava po predloženom modelu, ali je u ovoj analizi uključeno 106 publikovanih analiza za materijal iz sveta (podaci iz ove studije, Hartley, 1974; Jones, 1984; Sloane, 1991; Ontario, 1996; Thompson et al., 2004; (Woodward et al., 2005; Rigopoulos et al., 2010; Institut za puteve ad, 2013 - nepublikovano).

T-test za WAa (5,808) je veći od kritične tablične vrednosti, što znači da je koeficijent regresije za upijanje vode značajno različit od nule. Linije za dobijene rezultate za WAs i WAa seku se na oko 0,5 % vrednosti upijanja vode. Izmerene zapreminske mase agregata (nakon sušenja u sušnici i vodozasićenog a površinski suvog agregata) povezane su preko funkcija sa PSV-om (slika 88c). Statistički značajna negativna linearna korelacija između ovih osobina prikazana je pomoću modela 4 i 5, čime se objašnjava oko 30 % PSV varijabilnosti. Veće korelacije dobijene su sa vodozasićenim a površinski suvim agregatima (tabela 11), koji predstavljaju vrednosti stvarnih zapreminskih masa agregata.

Izmerene vrednosti za mikro-Deval i Los Anđeles dobro se uklapaju sa linearnim zavisnostima, tj. pokazano je da postoji pozitivna korelacija između PSV-a i otpornosti na habanje i drobljenje. Izmerene PSV vrednosti, u funkciji od mikro-Devala u suvom i vlažnom stanju, prikazane su grafički na slici 88d. Zapaža se da je PSV linearno zavisao od mikro-Deval vrednosti, posebno u vlažnom stanju ($R^2 = 0,591$). Nagib trend linija je promenljiv i razlika između regresionih koeficijenata u vlažnom i suvom stanju je oko 35 %. Odnosi između otpornosti na drobljenje (LA) i polirnosti (PSV) za 102 analize iz ove studije i citiranih referenci izračunati su preko koeficijenta korelacije ($R^2 = 0,307$) koji su grafički prikazani na slici 88e. Prema ovom modelu 9, postoji pozitivna linearna veza između ovih parametara, a jednačina parametara značajna je na nivou poverenja od 95 %.

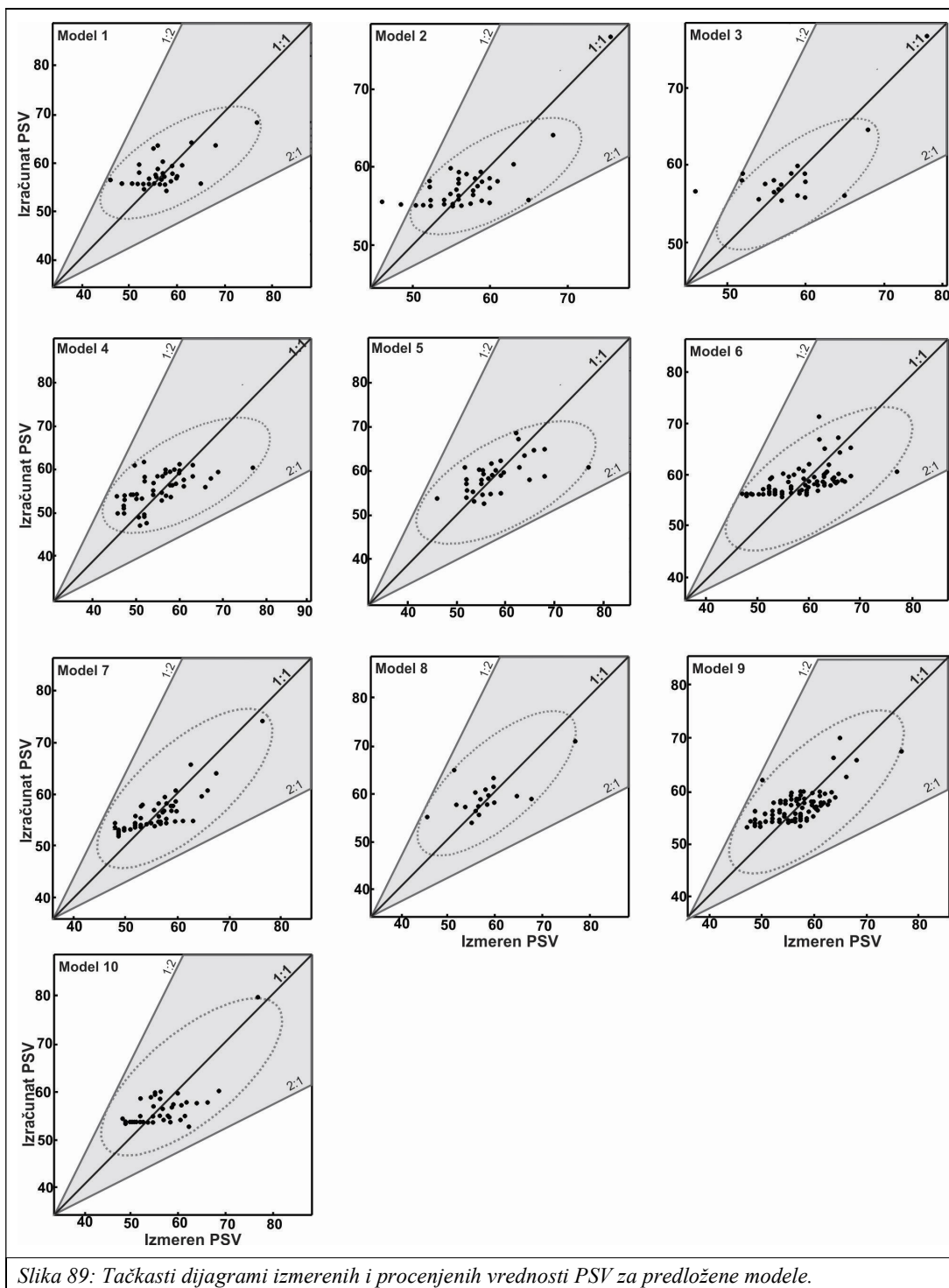
Na kraju, pozitivna korelacija postoji između postojanosti na dejstvo mraza (magnezijum-sulfat test) i PSV-a agregata. Koeficijent linearne korelacije R^2 iznosi 0,519 za 46 ulaznih rezultata, što je grafički prikazano korelacionom linearnom linijom na slici 88f, a jednačinom modela 10 u tabeli 11.



3.4.2.2 Validacija regresionih modela

Primena modela regresije zahteva proveru validnosti funkcija dobijenih regresionom analizom. Značaj vrednosti R^2 određena je t -testom sa 95 % nivoa poverenja. Nulta hipoteza se odbacuje, jer su sve izračunate t -vrednosti veće od tabelarnih t -vrednosti za sve jednačine (tabela 11). To jasno pokazuje da postoje veze između zavisne (PSV) i varijabli (izabраних tehničkih svojstva). Još jedan dokaz je F-vrednost (tabela 11). Obračunate F-vrednosti predloženih modela veće su od tabelarnih F-vrednosti, dakle, nulta hipoteza se odbacuje i modeli se smatraju validnim.

Kao dalju potvrdu podobnosti modela, utvrđene i izračunate vrednosti su poređene pomoću t -uparenog testa i dijagrama rasipanja izmerenih i procenjenih vrednosti (slika 89). Kao što je prikazano u tabeli 12, obračunate t -vrednosti su niže od tabelarnih t -vrednosti za sve jednačine (nulta hipoteza je prihvaćena), što takođe sugeriše da su modeli validni. Osim toga, vrednovanje jednačina predviđanja izraženo je preko maksimalnih i minimalnih razlika (u %) između izmerenih i predviđenih PSV-a (tabela 12). Ove razlike ukazuju koliko predviđena vrednost odstupa od izmerene vrednosti. Generalno, svi predloženi modeli pokazuju sličan niz razlika u rasponu od 0,1 do 24 %. Model 7 pokazuje najmanju grešku predviđanja (<16 %), dok je najveća greška modela 5 (< 24 %). Dijagrami pokazuju rasipanje rezultata u prihvatljivom opsegu. Mala odstupanja tačaka oko linije 1:1 i njihova pripadnosti u oblastima obuhvaćenog odnosima 1:2 i 2:1 ukazuju da su modeli su razumni (slika 89).



Slika 89: Tačkasti dijagrami izmerenih i procenjenih vrednosti PSV za predložene modele.

4. DISKUSIJA

Poznato je da tehničke karakteristike stena zavise od njihovog mineralnog sastava, strukture, teksture, vrste i stepena alteracija i tektonskih deformacija (Hartley, 1974).

Mikrohrapavost agregata koji se koriste za izgradnju i rehabilitaciju puteva varira u širokom opsegu. Postoje studije koje korelišu različite mineraloške i petrografske karakteristike i fizičko-mehanička svojstva sa mikrohrapavim karakteristikama agregata, odnosno PSV vrednostima (Van de Wall, 1993; Liu et al., 2005; Mahmoud, 2005; Rigopoulos et al., 2010, 2012 i drugi). Literaturni podaci govore da su hrapaviji agregati proizvedeni od magmatskih i metamorfnih stena, sa umerenim stepenom alteracija, odnosno imaju veće PSV vrednosti u odnosu na agregate proizvedene od svežih stena. Ovo se objašnjava nižim vrednostima relativne tvrđine sekundarnih minerala (kaolinita, hlorita, kalcita, serpentinita i drugih) u poređenju sa primarnim mineralnim fazama (kvarc, sveži feldspat, augit, amfiboli i drugi). Zatim, različitim učešćem metaličnih minerala koji, zbog svoje generalno veće relativne tvrđine, takođe vode ka povećanju hrapavosti (Smith & Collis, 1993). Kod porfiroidnih varijeteta stena, prisustvo fenokristala klinopiroksena i plagioklasa u sitnozrnijoj subofitskoj osnovnoj masi daje grubohrapavu mikrotopografiju na svežim prelomima (Rigopoulos et al., 2010). Zapaženo je da i veličina konstituenta tj. struktura stena ima uticaja na vrednosti PSV-a - sitnozrne stene se lakše poliraju (Smith & Collis, 1993). Rezultati ispitivanja koja su prikazani u ovoj disertaciji takođe ukazuju da postoji jaka veza između mikrohrapavosti površine zrna agregata i mineraloško-petrografskih faktora, ali daje nove detalje u razumevanju mehanizma poliranja bazičnih magmatskih stena.

Polazna osnova za pristup problemu rešavanja uticaja mineraloško-petrografskih karakteristika stena na mikrohrapavost bio je analiza petrografskih preparata odabranih stena u polarizacionim mikroskopu, određivanje mineralnog sastava, njihovih struktura, odredba stena kao i vizuelna procena stepena alteracija. Na osnovu toga izdvojene su tri grupe bazičnih stena: doleriti, gabrovi i spiliti. U okviru svake grupe prema specifičnim karakteristikama izvršena je dalja podela na podgrupe koje su kao takve petrografski ispitane. Grupa dolerita predstavljena je albitskim doleritima, bezpiroksenskim doleritima i doleritnim mikrobrecama. Grupa gabrova predstavljena je svežim i aterisanim gabrovima. Izdvojena je i manja grupa spilita. U drugoj fazi istraživanja utvrđene su tehničke karakteristike kamena i od njega proizvedenih agregata. Zatim su

sagledane zavisnosti polirnosti agregata od mineraloško-petrografskih i tehničkih svojstava kamena i agregata. Predloženi su različiti modeli za predviđanje polirnosti agregata u zavisnosti od tehničkih svojstava kamena i agregata. Na kraju su date sugestije za brzu identifikaciju visokokvalitetnog kamena koji je potencijalan za dalja istraživanja za potrebe putarstva.

4.1. GEOLOŠKI PARAMETRI I MIKROHRAPAVOST AGREGATA

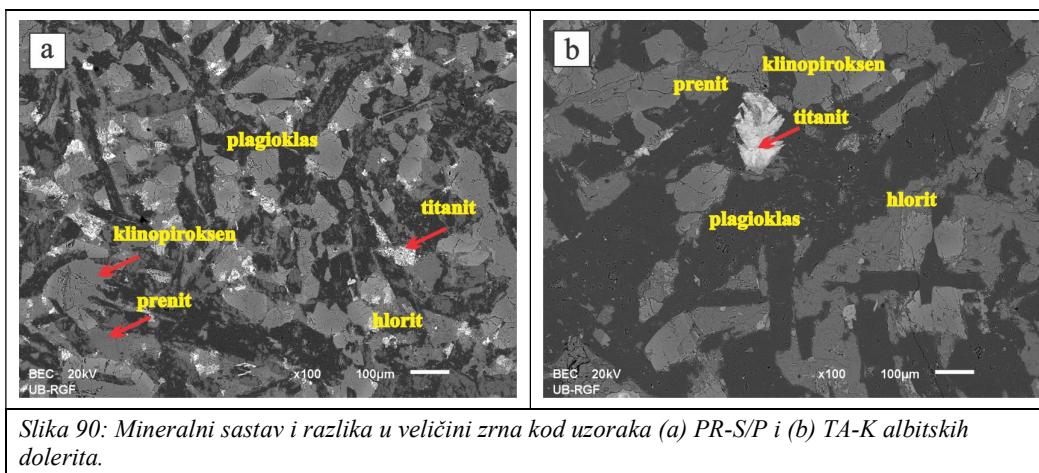
4.1.1 Odnos mineraloško-petrografskih karakteristika izdvojenih grupa stena i mikrohrapavosti

Podgrupu *albitskih dolerita* čine stene koje se generalno razlikuju u strukturi, a cela ova podgrupa se karakteriše i različitim vrednosti koeficijenta poliranja koji variraju od 52 do 60.

Albitski doleriti se sastoje od plagioklasa (albita) i klinopiroksena (augita) kao glavnih sastojaka u različitom procentualnom odnosu. Prema utvrđenom sadržaju albita u uzorcima od 40 vol.% (PR-S/P) do 55 vol.% (DI-2, TA-S) može se zapaziti da veće učešće plagioklasa doprinosi većim PSV vrednostima. U uzorcima dolerita iz ležišta koja su genetski povezana (Divčibare i Tavani), utvrđene su više vrednosti polirnosti agregata kod sitnozrnijih predstavnika dolerita sa lokalno *porfiroidnom strukturom* (DI-1: PSV=57, DI-2: PSV=59), u odnosu na uzorak ofitske do subofitske strukture (TA-S: PSV=55), najverovatnije zbog prisustva krupnijih zrna klinopiroksena (DI-1, slika 24a) i plagioklasa (DI-2, slika 24b) u odnosu na homogenu mikroofitsku osnovu uzorka TA-S (slika 24c). *Porfirska struktura* u uzorku iz ležišta Prevešt (PR-S/P) utiče tako da ovaj dolerit pokazuje niže vrednosti polirnosti od očekivanih (PSV=52). U ovom uzorku međutim, osnovna masa je finoznasta do finoofitska pa u odnosu na procentualni sadržaj fenokristala (do 10 vol.%, slika 24e), ima veći udeo u formiranju mikrohrapavih karakteristika agregata. U odnosu na sitnozrnije članove istog doleritskog kompleksa (DI-1, DI-2, TA-S) uzorak TA-K ima višu PSV vrednost, što potvrđuje činjenicu da veličina zrna ima uticaja na polirnost agregata (Smith & Collis, 1993). Sekundarni kvarc, zajedno sa prenitom, kalcitom i hloritom ispunjavaju pukotine, žice i šupljine svih predstavnika albitskih dolerita. Upravo zbir učešća ovih sekundarnih mineralnih vrsta ima značajnu linearnu korelaciju sa PSV vrednostima ($R^2=0,57$; slika 85).

Ako razmotrimo uzorke sa najnižom i najvišom PSV vrednošću iz ove grupe, odnosno uzorke PR-S/P (slika 90a) i TA-K (slika 90b) tada do izražaja dolaze najvažniji

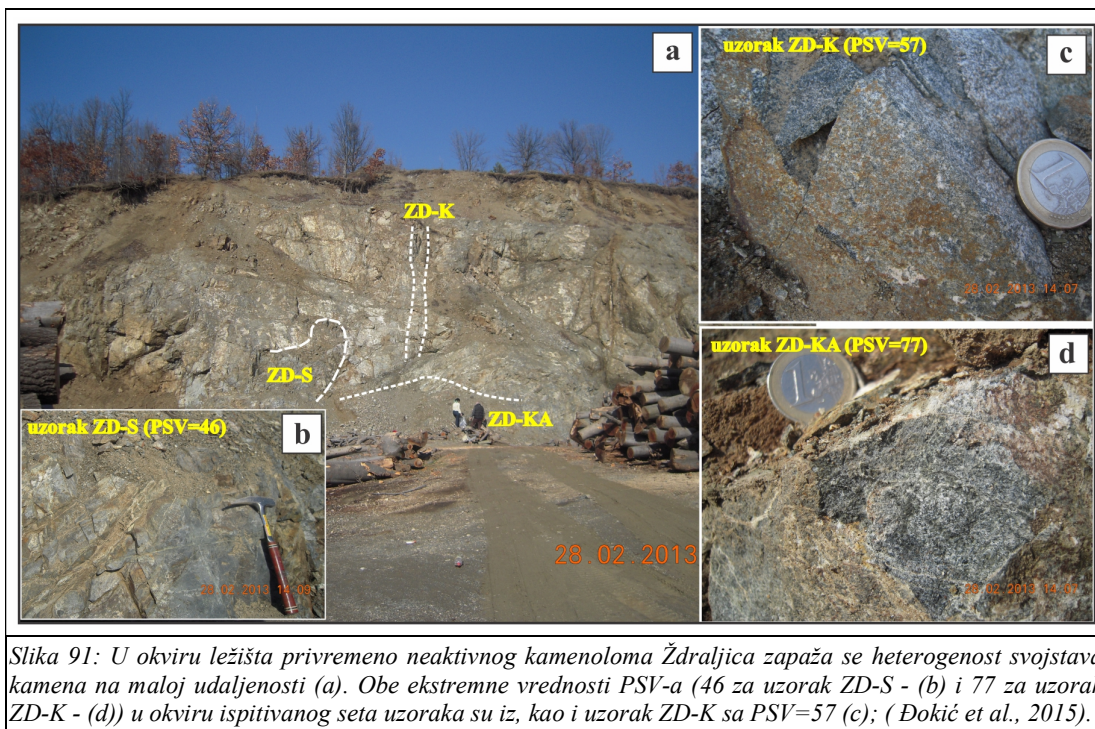
faktori koji utiču na mikrohrapavost ovih agregata. Naime, iako je mineralni sastav kod svih predstavnika ove grupe isti, količina pojedinačnih faza se kod nekih predstavnika značajno razlikuje. Tako je procentualni sadržaj hlorita (niske relativne tvrđine) dvostruko viši kod uzorka TA-K u odnosu na uzorak PR-S/P. Osim toga, zrna mineralnih faza u uzorku TA-K su značajno krupnija. Ova dva faktora, odnosno viši sadržaj „mekših“ minerala i veća veličina zrna su glavni uzrok značajne razlike u dobijenim PSV-vrednostima (uzorak PR-S/P: PSV=52 i uzorak TA-K: PSV=60).



Uzorci bazičnih stena sa lokaliteta Ždraljica i Rakov dol pripadaju *bezpiroksenskim doleritima*. Kod sitnozrnijeg varijeteta intergranularne strukture izmerene su najniže (ZD-S: PSV=46), a kod ekstremno alterisanog dolerita krupnoofitske strukture, registrovane su najviše vrednosti polirnosti (ZD-KA: PSV=77). Ovi uzorci su uzeti na istom profilu neaktivnog kamenoloma Ždraljica (slika 91).

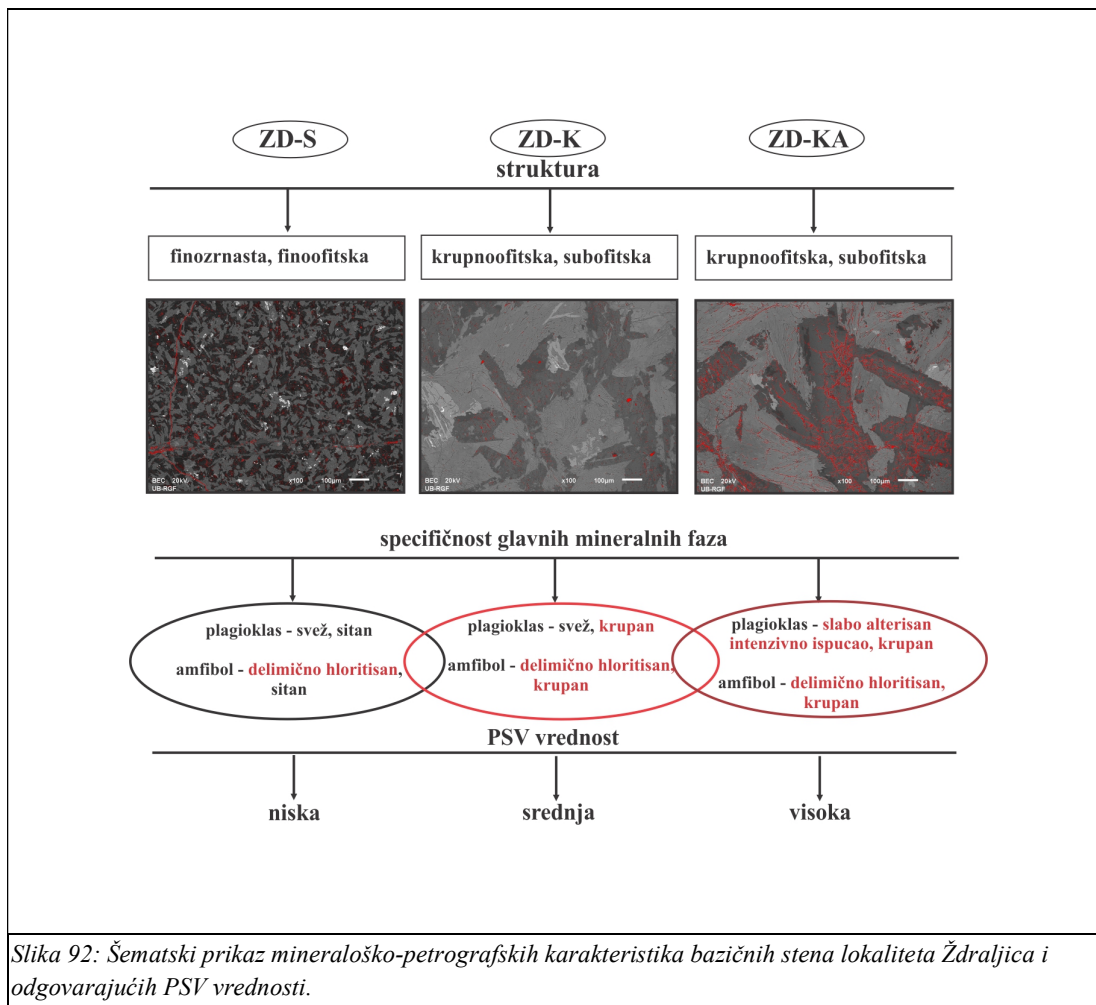
Na osnovu utvrđenih vrednosti polirnosti može se konstatovati da *veličina zrna* igra bitnu ulogu u formiranju mikrohrapave površine zrna agregata. Dodatno, u ekstremno alterisanom uzorku ZD-KA („laganiji“ u odnosu na ostale varijetete, minerali imaju šagriniranu površinu pa stena nema sjaj kao ostale), konstatovana je i razvijena mreža pukotina. Odlike ovog uzorka ukazuju da je *sadržaj šupljina i pukotina* važan parametar u formiranju mikrohrapave topografije zrna agregata. U ovoj podgrupi stena plagioklasi su manje zastupljeni u odnosu na podgrupu albitskih dolerita. Čine oko 40 vol.% stena, s razlikom što su plagioklasi u doleritu iz Rakovog dola potpuno albitisani, dok su u ležištu Ždraljica predstavljeni heterogenim mešavinama od albita do anortita unutar individualnog zrna primarnog plagioklasa. U ovakvom sadržaju i sastavu plagioklasa raspon PSV vrednosti agregata je širok, pa se kao i kod podgrupe albitskih dolerita

konstatuje da se pomoću sadržaja i vrste plagioklasa ne može bliže odrediti mikrohrapavost agregata.



Klinopirokseni su u grupi bezpiroksenskih dolerita u potpunosti zamenjeni sekundarnim amfibolima (oko 50 vol.%) - aktinolitom do magneziohornblendom i/ili hloritima (doleriti Ždraljice), dok su hloriti, kalcit i sericit prisutni u uzorku RD-D sa oko 50 vol.%. Ako bi kod uzoraka sa lokaliteta Ždraljica posmatrali samo prisustvo mineralnih faza i njihove odnose očekivali bi smo da imaju veoma bliske vrednosti PSV. Međutim, različita površina zrna koja je direktna posledica veličine zrna pojedinačnih mineralnih faza, zatim stepen alteracije i prisustvo sekundarnih minerala sa značajno nižom relativnom tvrđinom čini da je uticaj mineraloško-petrografskih karakteristika na PSV vrednosti veoma kompleksan. Na primeru ovih uzoraka možemo šematski razmotriti (slika 92) uticaj strukturnih i specifičnih karakteristika glavnih mineralnih faza na PSV vrednosti. Naime, ukoliko su zrna glavnih mineralnih faza sitna i relativno ujednačene veličine, nema velike količine sekundarnih, odnosno minerala sa značajno nižom relativnom tvrđinom i nema visokog sadržaja mikroprslina i šupljina, onda se kod takvih uzoraka mogu očekivati niske PSV vrednosti, odnosno mikrohrapavost je veoma slabo izražena (slučaj ZD-S). Kod uzoraka čije su glavne mineralne vrste krupnije, PSV vrednosti biće značajno više (slučaj ZD-K). Dodatno,

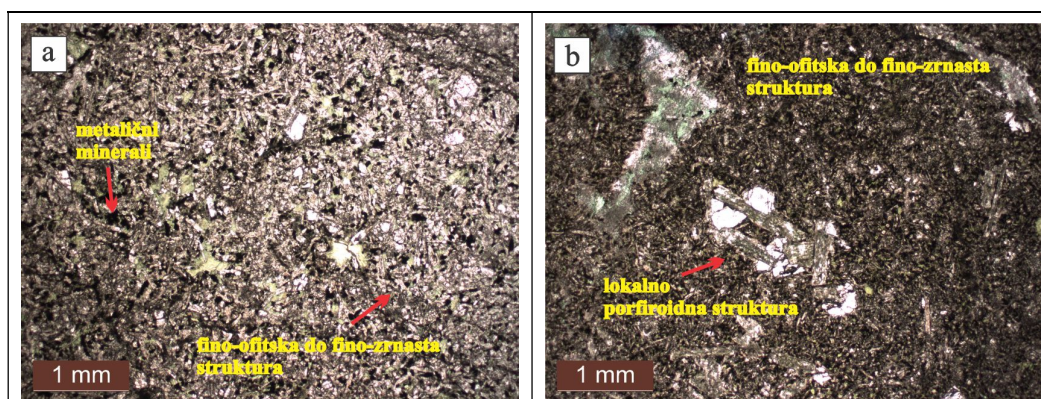
ukoliko pojedine mineralne vrste sadrže razgranatu mrežu mikropukotina i šupljina (na primer plagioklas) može se očekivati još izražajnija mikrohrapavost, odnosno visoka PSV vrednost (slučaj ZD-KA).



Treba naglasiti da bi pozicija uzorka bezpiroksenskog dolerita RD-D sa oko 50% sekundarnih mineralnih faza, male relativne tvrđine u šematskom prikazu (slika 92) bila između uzorka ZD-K i uzorka ZD-KA.

Doleritne breče ležišta Crna stena su intenzivno tektonizirane. Sadržaj plagioklasa heterogenog sastava (50 vol.%) je, kao i klinopiroksena (25 vol.%) u oba varijeteta grupe doleritnih breča identičan. Ove stene, pored piroksena i plagioklasa imaju povećan sadržaj sporednih minerala (titanita i metalčnih minerala oko 10 vol.%), što povoljno utiče na mikrohrapavost zrna agregata. Prisustvo žica različitog sastava - hlorita, kalcita, kvarca, pirita koje presecaju dolerite, takođe povoljno utiče na

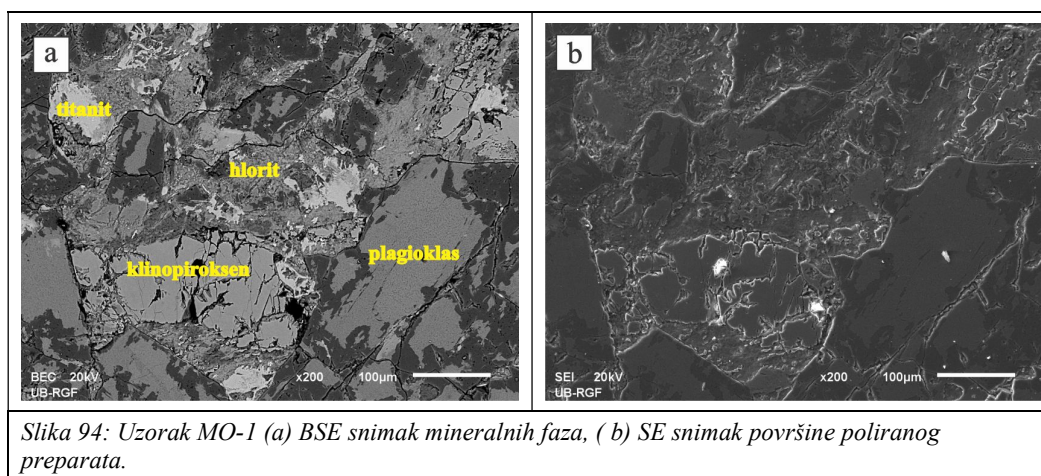
mikrohrapavost zrna agregata. Procesi hloritizacije su najviše izraženi u ovim uzorcima, ali i kalcitizacije i silifikacije, pa su *mandole* homogeno raspoređene unutar stenske mase osim hloritom, ispunjene i kvarcom i kalcitom. Petrografske karakteristike se na terenu menjaju na rastojanju od nekoliko desetina centimetara (Jovović, 2005a). Zato je izvođenje bilo kakvog zaključka u ovom slučaju vrlo komplikovano i diskutabilno. Konstatovano je jedino da je uzorak CS-2 generalno više alterisan, pri čemu pokazuje neznatno veći PSV (58) od uzorka CS-1 (57), koje se može objasniti činjenicom da je uzorak CS-2 sitnozrniji i da pokazuje lokalno *porfiroidnu strukturu* sa učešćem krupnijih zrna plagioklasa i klinopiroksena (slika 93b) u odnosu na uzorak CS-1 (slika 93a). Ovo potvrđuje da specifičnost strukturnih karakteristika stena u homogenoj grupi ima nekad značajniju ulogu kod formiranja mikrohrapavosti u odnosu na druge faktore (Shabani et al., 2013).



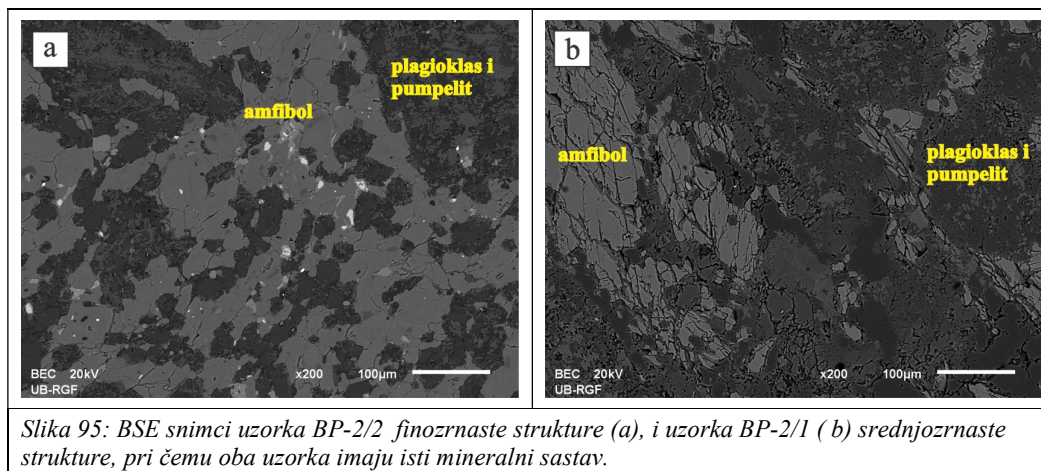
Slika 93: Uzorak (a) CS-1 finoofitske do fino-zrnaste strukture sa povećanim sadržajem sporednih minerala, (b) CS-2 ima istu strukturu kao uzorak CS-1 samo što su zrna sitnija; lokalno se javljaju krupnija zrna plagioklasa i piroksena gradeći *porfiroidnu strukturu*; paralelni nikoli (ppl).

Grupa gabra uključuje podgrupu gabrova i metagabrova. **Gabrovi**, makroskopski posmatrano, imaju grubohrapavu prelomnu površinu koja se pod prstima može osetiti, naročito uzorak MO-1 (slika 43a). Ovaj uzorak gabra srednjozrnaste strukture ima visoku vrednost PSV-a (68). Ostala dva uzorka gabra takođe srednjozrnaste strukture (GL-1, RD-G) imaju znatno nižu vrednost polirnosti (PSV=56). Slično kao i doleriti, sastoje se od plagioklasa i klinopiroksena kao primarnih faza u različitom procentualnom odnosu, ali je zato sadržaj sekundarnog hlorita gotovo identičan (20 vol.%). Primarni bazični plagioklasi su unutar zrna u različitom stepenu ili potpuno albitisani. Zapažena su i zrna albita u asocijaciji sa mineralom približno iste relativne tvrđine (pumpelitom, uzorak MO-1) ili različitih tvrđina (epidotom i hloritom, uzorak

RD-G). Prema mineralnom sastavu ovi gabrovi se generalno razlikuju po tome što su u uzorku GL-1 prisutni sekundarni amfiboli, u uzorku RD-G epidot, u uzorku MO-1 titanit. Prisustvo mikroprslina i šupljina u klinopiroksenu i visok sadržaj titanita (oko 10 vol%) (slika 94a) u uzorku MO-1 doprinose povećanju mikrohrapavih karakteristika zrna agregata u većem stepenu nego što je to slučaj kod ostalih predstavnika grupe. Značajna mikrohrapavost ovog agregata kao posledica mikropukotina i šupljina u piroksenu i razlike u tvrđini između hlorita i ostalih minerala (plagioklasi, klinopiroksen i titanit čine oko 80 vol% ovog agregata), može se jasno uočiti na snimku sekundarnih elektrona (SE) poliranog preparata relativno malog uvećanja od 200x (slika 94b).



Uzorci **metagabrova** se jedino razlikuju u veličini zrna. Izgrađeni su od plagioklasa, amfibola, pumpelita, kvarca, prenit i metaličnih minerala. Plagioklasi su krupni, zamućeni, nepravilnih kontura zrna, a u unutrašnjosti zrna je asocijacija albita i pumpelita. Primarni pirokseni su potpuno zamenjeni amfibolima - magneziohornblendom. Sekundarni kvarc, hlorit i prenit su u ovim uzorcima malo zastupljeni, pa nemaju udela u mikrohrapavim svojstvima agregata. Uzorak fino-zrnaste, blastozrnaste do nematoblastične strukture ima manju vrednost polirnosti (BP-2/2, PSV=59) u odnosu na srednjozrnasti varijetet (BP-2/1: PSV=65), što ukazuje da *veličina zrna* igra bitnu ulogu u formiranju mikrohrapave površine agregata (slika 95a-b). Da krupnija zrna malo povećavaju PSV pokazala su i istraživanja drugih istraživača (npr. Rigopoulos et al., 2010). Zajednički doprinosi sadržaja plagioklasa, sa razgranatom mrežom mikropukotina i šupljina, i krupnih zrna amfibola (površina izloženosti zrna amfibola veća kod uzorka BP-2/1 u odnosu na BP-2/2) doprinosi da uzorak BP-2/1 ima značajno višu PSV vrednost u odnosu na uzorak BP-2/2.

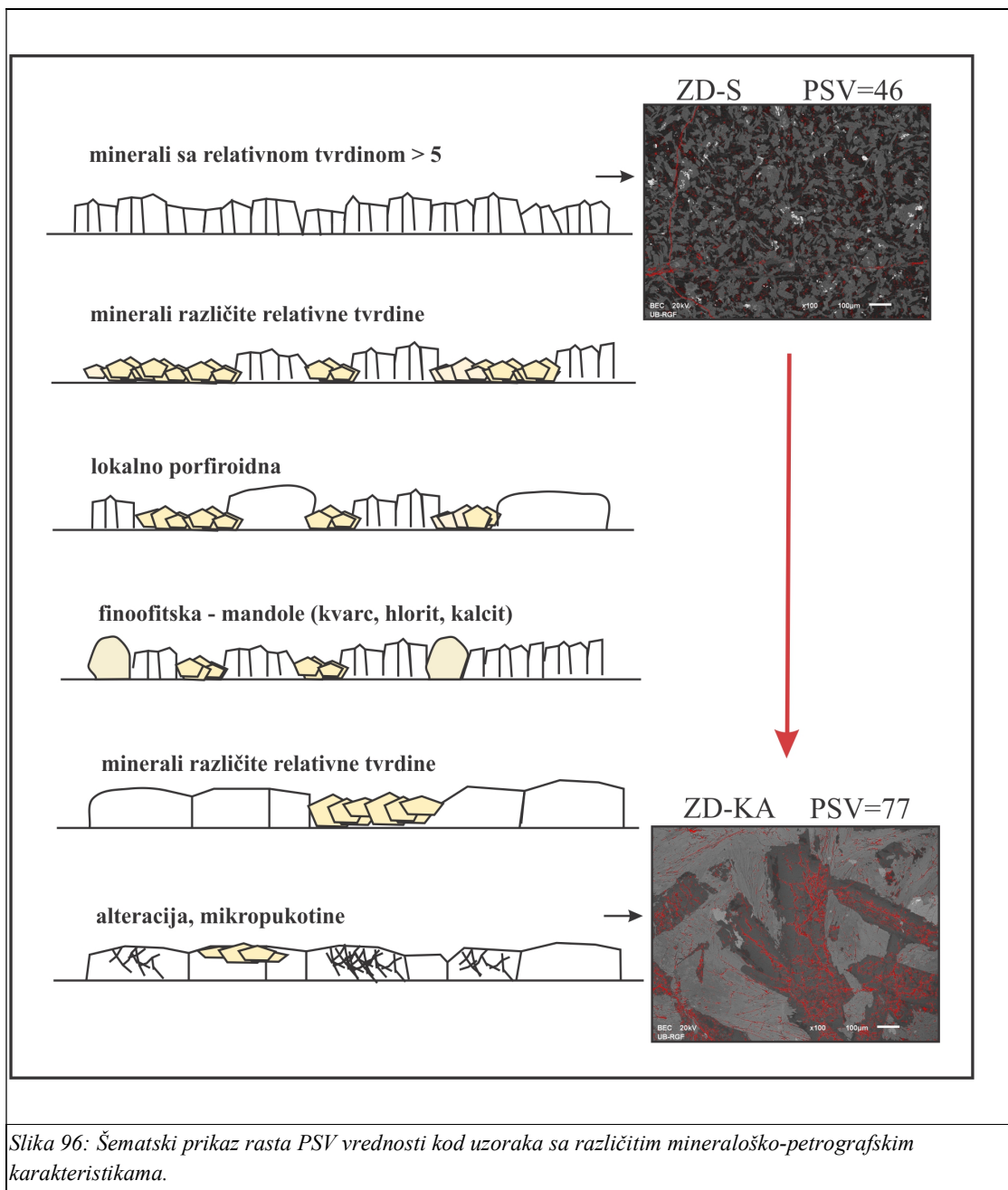


Spilit sa lokaliteta Rošci (RO) je sitnozrna, afanatična stena sa svetlozelenim fenokristalima plagioklasa, dok je spilit sa lokaliteta Mošute (MO-2) homogene finoofitske strukture. Značajne razlike u dobijenim PSV vrednosti kod ova dva uzorka (RO: PSV=52; MO-2: PSV=60) direktna je posledica različitih odnosa prisutnih mineralnih faza. Sadržaj plagioklasa i klinopiroksena u uzorku RO je iznad 95 vol.%, dok su mineralne faze sa velikom relativnom tvrđinom u uzorku MO-2 (plagioklasi i kvarc) zastupljeni sa oko 70 vol.%. Udeo „mekih” minerala: hlorita i kalcita u uzorku RO je oko 25 vol.%. Upravo ovaj odnos minerala sa različitim relativnom tvrđinom utiče na povećanje mikrohrapavosti stene. Osim toga, hlorit, kalcit i kvarc koji zapunjavaju homogeno raspoređene *mandole* dodatno utiču na povećanje mikrohrapavosti agregata. Naime, pojedine mandole su ispunjene „tvrđim” kvarcom, a druge „mekim” kalcitom i/ili hloritom.

U prethodnom delu ovog poglavlja razmotrene su mineraloško-petrografske karakteristike u odnosu na mikrohrapavost pojedinačnih ispitivanih grupa stena. Kada se svi ti odnosi pažljivo razmotre dobija se uopštena slika za procenu mogućih PSV vrednosti kod uzoraka bazičnih stena. Osnovni faktor koji ima značajni uticaj na mikrohrapavost je mineralni sastav. To se prvenstveno odnosi na sadržaj minerala sa različitim relativnom tvrđinom, a samim tim i stepen alteracije primarnih mineralnih faza. Pored toga, neke specifične karakteristike pojedinih minerala mogu značajno da utiču na mikrohrapavost. Tako na primer, savršena cepljivost kod amfibola (minerali većeg zapreminskog volumena), koji se razvijaju na prizmatičnim kristalima klinopiroksena (minerali manjeg zapreminskog volumena) je glavni razlog slabljenja veza među njima i „krtog“ ponašanja amfibola, zbog čega cela zrna ili njihovi

fragmenati lako ispadaju (Rigopoulos et al., 2010). Pored toga, iako su pirokseni podložniji raspadanju u odnosu na amfiole, ravni cepljivosti kod amfibola su mesta odakle počinje rana faza raspadanja prvobitno kompaktnog minerala (Brattli, 1992). Različite vrste stena se različito ponašaju kad je u pitanju polirnost (Smith & Collis, 1993, Erichsen, 2009), ali to nije samo rezultat različitog mineralnog sastava, već i mnogih drugih faktora, pre svega, sklopa. Ovo istraživanje je pokazalo da je veoma bitno da li ispitivani uzorak predstavlja sitnozrni ili krupnozrni varijetet, da li je struktura porfirna ili porfiroidna, da li sadrži mandole koje su ispunjene različitim mineralnim fazama i slično. Treći značajni faktor koji ima uticaj na mikrohrapavost ispitivanih stena jeste prisustvo mikropukotina i šupljina u okviru pojedinačnih minerala (na primer plagioklasi i klinopirokseni) koje mogu biti posledica alteracija i/ili tektonskih poremećaja.

Na osnovu pomenutih faktora za ispitivane bazične stene sačinjen je šematski prikaz promene PSV vrednosti (slika 96). Najniže PSV vrednosti imaju sitnozrni varijeteti bazičnih stena (finozrnasti, finoofitski varijeteti) koje ne sadrže ili sadrže veoma male količine minerala sa niskom relativnom tvrđinom (primer: uzorak ZD-S, PSV=46). PSV vrednost raste ukoliko ovi varijeteti pored minerala sa većom relativnom tvrđinom, sadrže veće količine minerala sa niskom relativnom tvrđinom. Ukoliko stena, pored ovih karakteristika, ima i lokalno porfiroidnu strukturu, onda se PSV vrednost te stene dodatno povećava. Krupnozrniji varijeteti (na primer krupnoofitski varijeteti) imaju još više PSV vrednosti i one rastu sa povećanjem stepena alteracije i prisustvom minerala sa nižom relativnom tvrđinom, dok najviše PSV vrednosti pokazuju krupnozrni varijeteti kod kojih su zrna minerala ispresecana mrežom mikropukotina i značajno su alterisana (primer: ZD-KA: PSV=77). Iako generalno krupnozrniji varijeteti imaju više PSV vrednosti od sitnozrnijih, postoje i neki specifični izuzeci. Tako na primer, ukoliko u sitnozrnijem varijetetu postoje mandole ispunjene mineralima različite tvrđine (kvarc, kalcit, hlorit) onda takvi varijeteti mogu imati više PSV vrednosti u odnosu na krupnozrne varijetete koji ne sadrže veću količinu minerala sa niskom tvrđinom (primer: MO-2: PSV=60, slika 78).



4.1.2 Odnos tehničkih svojstava kamena i agregata i mikrohrapavosti

U cilju uspostavljanja mogućih odnosa između PSV-a i ostalih tehničkih svojstava kamena i agregata, a koji su posledica mineraloško-petrografskih karakteristika stena kako je do sada utvrđeno, primenjene su različite tehnike korelacije. Rezultatima

ispitivanja iz ove studije, dodate su već objavljene vrednosti tehničkih svojstava bazičnih magmatskih stena širom sveta (Hartley, 1974; Daskalova, 1984; Jones, 1984; Sloane, 1991; Van de Wall, 1993; Ontario, 1996; Thompson et al., 2004; Lancieri et al., 2005; Woodward et al., 2005; Rigopoulos et al., 2010) i podaci preuzeti iz baze podataka Instituta za puteve, ad u Beogradu. Podaci su dodati sa ciljem da se postigne obimniji statistički uzorak i poveća pouzdanost predloženih modela regresije. U ovoj studiji ostavljeni su ekstremi koji se javljaju, a vezani su za analizu 10 (ZD-KA) i delom za analizu 15 (MO-1). Uzorak ZD-KA je izrazito alterisan amfibolski dolerit sa najvećim vrednostima otvorene poroznosti i upijanja vode u odnosu na sve ostale ispitane uzorke, koji pokazuje maksimalnu hrapavost površine zrna (PSV=77). Rezultati analize dolerita ZD-KA znatno su različiti od drugih, manje alterisanih stena, ali su podaci korisni zbog definisanja polja u kome se kreću rezultati tehničkih svojstava bazičnih magmatskih stena. Interesantno je da se na terenu ovi uzorci (ZD-K, ZD-S i ZD-KA) nalaze na profilu u razmaku od 5 m i daju ekstremno dobre i ekstremno loše vrednosti mikrohrapavosti. Zapravo, činjenica je da je kvalitet kamena vrlo promenljiv čak i unutar samo jednog ležišta, kao što je ilustrovano u kamenolomu Ždraljica (slika 91). Na ovom kamenolomu, zbog širokog raspona veličine zrna i stepena i vrste alteracija, vrednosti tehničkih svojstava jako su promenljive na malim rastojanjima eksploatacionog fronta, a to znači da je praktično nemoguće izolovati produktivne od neproduktivnih zona tokom proizvodnje agregata. Smatra se da su najviše PSV vrednosti dobijene na račun trajnosti agregata i da takvi delovi stenske mase ne bi trebalo da budu deo proizvodnog programa kamenoloma (Woodward et al., 2005). Ipak, procena kvaliteta sirovine treba da se zasniva na ispitivanjima svih varijeteta u ležištu, što je jedan od razloga zašto uzorci sa ekstremnim vrednostima nisu isključeni iz daljih analiza. Uprkos postojanju varijeteta lošijeg kvaliteta, oni najlošiji će, u višestrukom drobljenju na drobilično-separacionom postrojenju, sami postati deo jalovinskog materijala, jer nemaju potrebnu čvrstoću da zadovolje zahtevne procedure tehnološke proizvodnje agregata.

Zahtevi kvaliteta agregata koji se koriste za izgradnju, održavanje i rehabilitaciju habajućih slojeva kolovoznih konstrukcija razlikuju se od zemlje do zemlje. Njihove vrednosti zavise od raspoloživosti nemetaličnih mineralnih sirovina date zemlje, s obzirom da tehnička regulativa treba da se bazira što više na kvalitetu postojećih

sirovina u jednoj zemlji. Za diskusiju rezultata ispitivanja ove studije, a u saglasnosti sa graničnim vrednostima zahtevanog kvaliteta u različitim zemaljama Evropske unije (prilog 1), usvojene su sledeće granične vrednosti zahtevanog kvaliteta kamenog agregata: $W_{Aa}=2\%$, LA u rasponu od 20% do 25% , M_{DE} u rasponu od 15% do 25% , $PSV \geq 58$, MS_{25} .

Generalno posmatrano statistički parametri centralne tendencije za sva ispitivana fitzičko-mehanička svojstva kamena i agregata ukazuju na simetričnu i unimodalnu normalnu distribuciju merenih vrednosti, što je potvrđeno Kolmogorov-Smirnov testom za sve parametre ($D_{\max} < D_{cr(0,237)}$, tabela 8), osim za poroznost, upijanje vode i otpornost na habanje kamena, čije izmerene vrednosti pripadaju log-normalnoj distribuciji. U principu, ne postoje značajnije razlike između tehničkih svojstava ispitivanih uzoraka. Izuzetak su ZD-KA i MO-1, koji u poređenju sa drugim uzorcima pokazuju veće razlike između zapreminskih i specifičnih masa, maksimalne vrednosti poroznosti i apsorpcije vode, najveće PSV vrednosti i manje otpornosti na habanje i drobljenje.

Sve vrednosti tehničkih svojstava uključene u regresione analize pokazuju da ispitivane bazične stene predstavljaju relativno „homogenu“ populaciju sa izuzetkom dva uzorka (ZD-KA i MO-1 iz ove studije) i uzoraka alterisanih bazalta (Woodward et al., 2005, slika 88b-c-e). Homogenost grupe karakteriše se sličnim primarnim mineralnim sastavom i uniformnim vrednostima tehničkih svojstava. Generalno posmatrano, ovo su guste i teške stene sa niskim vrednostima poroznosti i upijanja vode i sa visokom otpornošću na habanje, drobljenje, kao i na dejstvo mraza. Prema PSV vrednostima, ove stene su otporne na poliranje, što ih čini veoma upotrebljivim u habajućim slojevima kolovozne konstrukcije. S druge strane, gore pomenuti alterisani uzorci pokazuju niže vrednosti zapreminskih masa, a ekstremno visoke vrednosti poroznosti, upijanja vode, PSV-a; oni su i slabe otpornosti na habanje, drobljenje i dejstvo mraza. Različite vrednosti njihovih tehničkih svojstava u odnosu na ostale uzorke u ovoj studije objašnjavaju se obiljem šupljina i mikropukotina, zatim krupnijom strukturom, i odnosom tvrdih i mekih minerala, što sve zajedno doprinosi najviše utvrđenim vrednostima PSV-a.

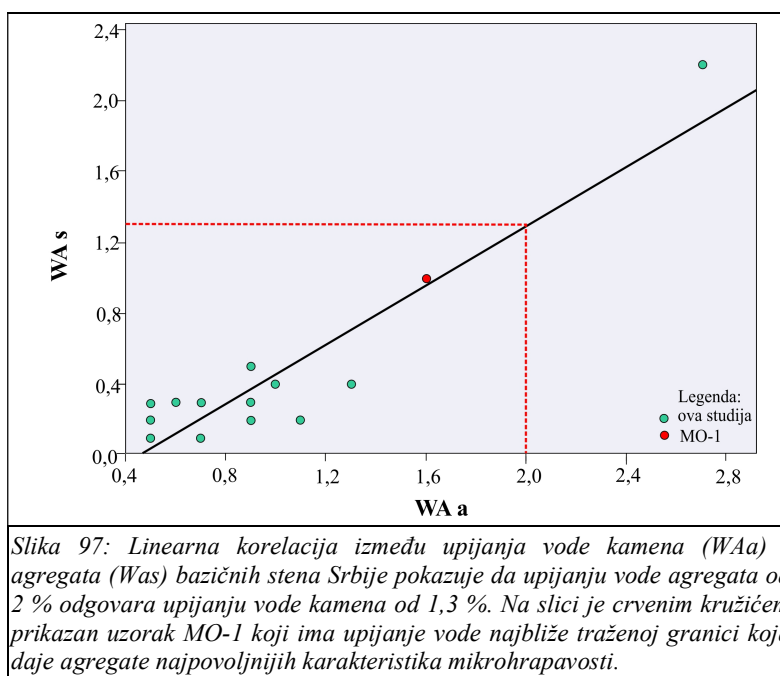
Rezultati regresione analize pokazuju jaku korelaciju između PSV-a i poroznosti i upijanja vode kamena, kao i između PSV-a i zapreminskih masa, otpornosti na

drobljenje i habanje i postojanosti na dejstvo mraza agregata. Odnos između PSV-a i totalne i otvorene poroznosti kamena opisan je modelima 1 i 2 (slika 88a). Modeli pokazuju da i totalna i otvorena poroznost utiču na PSV, ali da ova druga ima veći uticaj ($R^2 = 0,584$ za otvorenu poroznost u odnosu na $R^2 = 0,446$ za apsolutnu poroznost). Ovo je u skladu sa činjenicom da se veće vrednosti međusobno povezane poroznosti odnose na povećanje mikrohrapave površine stene, pa tako i na povećanje PSV-a. Osim toga, stene sa većom otvorenom poroznošću daju agregate sa visokim vrednostima upijanja vode. Ovo svojstvo takođe utiče na trajnost kamena i otpornost na dejstvo mraza. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da kamen iz „homogene“ grupe sa malim rasipanjem vrednosti otvorene poroznosti (do 2 %) daje agregate sa širokim spektrom PSV-a (50-65). Oni takođe pokazuju da izmenjeni gabro (uzorak MO-1), otporan na dejstvo mraza, sa Po od 2,8 % i WAa vrednosti ispod dozvoljenog maksimuma, daje agregat visokog PSV kvaliteta (68). Ovo ukazuje da kamen povećane otvorene poroznosti i upijanja vode ima mikrohrapaviju površinu, što potvrđuje i visoka pozitivna linearna korelacija između upijanja vode i PSV-a. Uzorak ZD-KA ima najviše vrednosti upijanja vode, kao i najviši PSV. U ovoj studiji je pokazano da sadržaj šupljina i pukotina ovog uzorka koji, u kombinaciji sa amfibolisanim piroksenima i alterisanim šupljikavim plagioklasima, favorizuju povećano upijanje vode kamena i od njega proizvedenog agregata, a samim tim i veću vrednost polirnosti (slika 69). Odnos između upijanja vode i PSV-a je veoma važan zato što voda direktno utiče na trajnost habajućeg sloja kolovozne konstrukcije (Woodward, 2000). Generalno, u pojedinim evropskim zemljama u smernicama za izradu asfaltnih mešavina po vrućem postupku sa najvećim obimom saobraćanog opterećenja, dozvoljava se upotreba agregata sa WAa do 2 % ili više, ako je agregat otporan na mraz (SRPS EN 13043:2007). Izuzetak su Austrija, koja zahteva kategoriju upijanja vode u habajućem sloju $\leq 1\%$ ($WA_{24} 1$) i Nemačka sa kategorijom $\leq 0,5\%$ ($WA_{cm} 0,5$) (prilog 1). Ove zemlje, kako je već ranije pomenuto, zbog svojih klimatskih uslova propisuju strožije kriterijume kvaliteta agregata. Prema nacionalnim specifikacijama za habajuće slojeve puteva od asfalt betona po vrućem postupku (SRPS U.E4.014:1990), ograničenja su postavljena kako za kamen ($WAs \leq 0,75\%$; $\leq 1\%$, prilog 3), tako i za agregat ($WAa \leq 1,6\%$). Predloženi model zavisnosti PSV-a od upijanja vode (model 3 tabela 11, slika 88b) ukazuje da kamen sa malim upijanjem vode ($WAs \leq 0,75\%$) daje agregat sa PSV vrednostima od

50 do 60, dok je kamen sa višim vrednostima upijanja vode asociran sa agregatom viših PSV vrednosti. Ako uzmemo u obzir samo WAs, moglo bi se pretpostaviti da ispitivane bazične stene ne mogu dati agregate sa PSV-om većim od 60. Međutim, model 6 (slika 88b) ukazuje na to da postoji uticaj WAa na vrednosti PSV-a. Slika 88b pokazuje da skoro 80 % ispitivanih uzoraka zadovoljava uslov WAa ($\leq 2\%$), od kojih su njih oko 85 % ocenjeni kao visokokvalitetni agregati sa aspekta polirnosti (PSV ≥ 58). Pored toga, rezultati ovog istraživanja pokazuju da kamen, koji bi inače bio ocenjen kao neupotrebljiv zbog upijanja vode od 1,0 % (MO-1, tabela 8), daje agregat sa WAa vrednošću od 1,6 %, što je prihvatljivo za agregate prema nacionalnim specifikacijama (prilog 3). Uzimajući sve gore navedeno u obzir, može se pretpostaviti da će stene iz grupa dolerit/gabro/spilita, otvorene poroznosti do 3 %, dati agregate sa zadovoljavajućim vrednostima PSV-a i WAa. Osim toga, model 6 (slika 88b) i gotovo isti model zavisnosti PSV-a od WAa, važi i za peskovite stene u Velikoj Britaniji (Woodside et al., 1998), pokazujući sličan trend linije i koeficijenata determinacije, pa se ovi modeli u budućnosti mogu generalizovati i za druge grupe stena. Zbog toga, možemo reći da je *upijanje vode kamena najvažnije svojstvo za prospekciju visokokvalitetnih agregata za izradu habajućih slojeva puteva*, kako je dato u *hipotezi 2 ovog rada*. Naglašeno je ispitivanje kamena, a ne agregata zato što geolog odabira komad kamena iz stenskih masa na terenu i kao takvog ga ispituje u laboratorijskim uslovima. S druge strane, agregat je već proizvod drobilično-separacionog postrojenja pa samo mali broj agregata biva ovako ispitan (Smith & Collis, 1993; Woodside & Woodward, 2002), dok ostali ostaju netaknuti i neistraženi na terenu. U ovom poslu izuzetno je važna terenska procena geologa o tome da li je kamen perspektivan za habajuće slojeve ili ne. Rezultati ove studije sugerišu da potencijalno kvalitetan agregat treba očekivati od kamena sa blago povećanim upijanjem vode ($\sim 1,3\%$; slika 97). Agregat proizveden od takvog kamena imao bi upijanje vode $\sim 2\%$, odnosno PSV ~ 58 (slika 88b). Ove vrednosti polirnosti svrstavaju agregat u visokokvalitetni (Thompson et al., 2004; Thompson 2008).

Ranija korelaciona istraživanja zavisnosti upijanja vode i mraza pokazuju da se upijanje vode od 2 % odnosi na gubitak mase agregata od 18 % (MS₁₈). S obzirom da je tehničkim uslovima predviđena kategorija MS₂₅, smatra se da upijanje vode agregata može da bude i veće od 2 %, jer postoji mogućnost da agregat bude postojan na dejstvo

mraza u opsegu između kategorija MS₁₈ i MS₂₅ (Woodward, 2000). U Velikoj Britaniji je, zbog uticaja Golfske struje i velike količine padavina klizavost naročito izražena. S druge strane, dejstvo mraza je minimalno, pa se u njihovim tehničkim uslovima može dopustiti i veće upijanje vode. U slučaju ove studije, tri uzorka (MO-1, RO, MO-2) se mogu svrstati u kategoriju MS₂₅, ali ovi agregati imaju upijanje vode manje od 2 %. Koja je granica koja se može povući sa agregatom sa povećanim upijanjem vode, najbolje će dati ocena njegove postojanosti na mraz. Za korelacioni dijagram upijanja vode kamena i agregata izabrani su samo podaci iz ove studije (19 uzoraka) zato što uzorci prikupljeni i predrobljeni na isti način, ispitani u jednoj laboratoriji u istom vremenskom intervalu, od strane istog operatera, sa istom laboratorijskom opremom; pri čemu svakom podatku upijanja vode kamena odgovara podatak upijanja vode njegovog agregata (slika 97).



Slika 97: Linearna korelacija između upijanja vode kamena (WAa) i agregata (WAs) bazičnih stena Srbije pokazuje da upijanju vode agregata od 2 % odgovara upijanju vode kamena od 1,3 %. Na slici je crvenim kružićem prikazan uzorak MO-1 koji ima upijanje vode najbliže traženoj granici koja daje agregate najpovoljnijih karakteristika mikrohrapavosti.

Za korelaciju između PSV-a i WAa izabran je dijagram korelacije sa većim brojem podataka (106 analiza, slika 88b) da bi procena rezultata polirnosti bila približnija uslovima reproduktivnosti laboratorija u svetu, naravno za „grubu“ procenu PSV-a. Ovo fizičko svojstvo, međutim, ne egzistira u evropskom standardu za kategorizaciju

agregata za izradu bitumenskih mešavina i površinsku obradu kolovoza, aerodroma i drugih saobraćajnih površina (SRPS EN 13043:2007). Navedeno svojstvo se koristi samo kao posredni pokazatelj postojanosti agregata na dejstvo mraza, verovatno zato što se agregat tretira kao gotov proizvod. *Ova studija može podstaći postavku standarda za kategorizaciju kamena kao perspektivnog za proizvodnju agregata za površinsku obradu kolovoza i koji će se koristiti u procesu otvaranja novih ležišta.*

Specifične mase kamena su generalno visoke (srednja vrednost $2,91 \text{ Mg/m}^3$), ali alterisani uzorci imaju niže vrednosti specifičnih zbog prisustva sekundarnih minerala, kao što su, na primer, albit ($2,63 \text{ Mg/m}^3$), kvarc ($2,65 \text{ Mg/m}^3$), hlorit ($2,95 \text{ Mg/m}^3$) ili kalcit ($2,83 \text{ Mg/m}^3$) u odnosu na prvobitno nealterisane monoklinične piroksene ($3,24 \text{ Mg/m}^3$), bazične plagioklase ($2,70 \text{ Mg/m}^3$), metalične minerale ($4,98 \text{ Mg/m}^3$) ili titanit ($3,5 \text{ Mg/m}^3$). Drugim rečima, sveža bazična stena ima više klinopiroksena i bazičnih plagioklasa većih specifičnih masa u odnosu na alterisanu stenu sa dosta sekundarnog kvarca, hlorita ili kalcita, prenita, pumpelita. Uticaj sadržaja šupljina i pukotina se u ovom parametru ne vidi. U zapreminskim masama kako kamena tako i agregata, pad zapreminskih masa je očigledan, naročito kod uzoraka koji imaju više sekundarnih minerala. Međutim, kod ovog parametra, pad zapreminske mase je drastičan, ako je došlo do povećanja sadržaja pora i šupljina usled alteracija različitog porekla. Ovo je slučaj kod kamena iz kamenoloma Ždraljica. Uzorci iz istog ležišta, istih specifičnih masa (ZD-S: $2,93 \text{ Mg/m}^3$ i ZD-KA: $2,95 \text{ Mg/m}^3$), istog mineralnog sastava, usled povećanja sadržaja šupljina i pukotina, imaju vidno različite vrednosti prividnih zapreminskih masa (ZD-S: $2,90 \text{ Mg/m}^3$ i ZD-KA: $2,74 \text{ Mg/m}^3$). S druge strane, uzorci sa sličnim PSV vrednostima (RO=52 i GL-1=56), zbog različitog mineralnog sastava mogu da imaju veoma različite vrednosti ρ_b i ρ_r ($2,72 - 3,0 \text{ Mg/m}^3$; $2,79 - 3,04 \text{ Mg/m}^3$). Korelacije između PSV-a i zapreminskih masa kamena u ovoj studiji nisu pronađene. Odsustvo korelacije sa PSV-om može se objasniti činjenicom da gustina stene zavisi od relativne proporcije lakših (salskih) i težih (femskih) minerala, kao i sadržaja pora u steni. Neki, pak, smatraju da PSV generalno ne zavisi od njihove gustine već od tvrđine minerala (Wang et al., 2014b). Pretpostavka je da bi se unutar jednog kamenoloma, možda baš Ždraljice koja je dala više varijeteta iz istog magmatskog rastopa, mogle utvrditi određene korelacije. Međutim, razrada ove ideje zahteva dodatna detaljnija istraživanja koja nisu mogla da budu obuhvaćena ovom studijom. Kada je reč o

korelaciji između zapreminskih masa agregata i PSV-a, rezultati ispitivanja pokazuju da postoji negativna linearna korelacija, sa koeficijentima determinacije koji objašnjavaju oko 30 % varijanse PSV-a (tabela 11, slika 88c). Primećeno je da najveća vrednost PSV-a odgovara agregatima sa najnižim vrednostima zapreminskih masa (slika 88c).

Utvrđeno je da je otpornost na habanje Mikro-Deval indikativan faktor za PSV vrednost. Uticaj otpornosti na habanje u suvom stanju sa visokim koeficijentom regresije (0,617) potvrđena je rezultatima F- i t-testova. Međutim, dobijeni uski opseg M_{DS} od 2 do 6 odgovara širokom spektru PSV vrednosti (od 46 do 77), tako da ovo ne daje pouzdane zaključke. Mikro-Deval test habanja u vlažnom stanju obezbeđuje bolju procenu PSV-a, jer odražava tačnije stanje agregata u habajućem sloju u toku životnog veka kolovozne konstrukcije. Prema korelacionom koeficijentu, nagibu trend linije i njenom preseku, zaključuje se da ne postoje značajnije razlike između modela regresije 7 (slika 88d) i modela zavisnosti M_{DE} i PSV-a predloženog za pešćare od strane Woodside et al. (1998). Zapaža se da se u nekim slučajevima predloženi PSV i M_{DE} model može koristiti i za druge tipove stena, ne samo za bazične magmatske stene. U novije vreme, posle dugogodišnje upotrebe testova za ocenu kvaliteta agregata, postoji mišljenje da habanje po mikro-Devalu bolje oslikava stanje agregata u ugrađenom sloju nego upotrebom LA testa ili AAV testa, zbog prisustva vode na kolovozu u kišnom periodu, te da bi procene o karakteristikama agregata trebalo vršiti na osnovu ovog svojstva (Rogers, 1998; Woodside & Woodward, 1998).

Los Anđeles koeficijent je važna karakteristika agregata koji se koriste za izradu habajućih slojeva kolovoznih konstrukcija jer ukazuje na otpornost na drobljenje. Los Anđeles test zavisi od krupnoće zrna agregata – krupnozrniji varijeteti (TA-K, PR-K, ZD-K) se lakše izdrobe udarima čeličnih kugli u odnosu na sitnozrnije varijetete (TA-S, PR-S/P, ZD-S). Step en alteracija takođe utiče na otpornost na drobljenje – ZD-KA ima najveći LA koeficijent utvrđen u ovoj studiji, odnosno najslabiji je ispitani varijetet (tabela 8). Polirnost agregata se povećava sa povećavanjem vrednosti koeficijenta LA, odnosno smanjenjem otpornosti na drobljenje (slika 88e). Uobičajene granične vrijednosti LA koeficijenta za agregate koji se koriste za izradu habajućih slojeva puteva sa teškim saobraćajnim opterećenjem su od 20 % do 25 %, mada su propisane i strožije i blaže vrednosti od prikazanih (prilog 1 i 3). Oko 85 % od ispitivanih uzoraka pokazuju zadovoljavajuće vrednosti LA koje su u saglasnosti sa vrednostima PSV-a od

50 do 65. Vrlo značajna pozitivna linearna korelacija između PSV-a i Los Anđelesa pronađena je u ovoj studiji (model 9, slika 88e). Ovi rezultati nisu u skladu sa publikovanim rezultatima koji su prikazali da ne postoji značajna veza između PSV-a i LA (Lancieri et al., 2005; Shabani et al., 2013). Koeficijent korelacije (0,554) predloženog modela 9 (slika 88e) niži je od koeficijenta koji je demonstrirala Daskalova (1984), ali oba modela imaju sličan presek trend linije.

Postojanost na dejstvo mraza pokazuje visok stepen korelacije sa PSV-om (0,720). Ovaj koeficijent utvrđen je na 46 uzoraka bazičnih stena iz Srbije, Grčke i Kanade. Koeficijent korelacije pokazuje saglasnost sa relacijom PSV-a i upijanjem vode kamena. Iz ovoga se potvrđuje da stene sa povećanim upijanjem vode pokazuju povećano raspadanje usled dejstva mraza (veću MS vrednost), odnosno smanjenu postojanost na mraz. Kod ovog svojstva se ustvari povlači granica upotrebljivosti agregata za izradu habajućih slojeva puteva. Pri kategorizaciji agregata u Evropi dozvoljava se W_{Aa} vrednost 2 %, a ako agregat ima veće upijanje vode ispituje se postojanost na dejstvo mraza. Prema evropskom standardu ponuđene su kategorije MS₁₈, MS₂₅, MS₃₅ ili se pak samo navode utvrđene vrednosti (SRPS EN 13043:2007). Petnaest uzoraka iz ove studije zadovoljava prikazanu (najstrožiju) kategoriju MS₁₈, tri uzorka drugu MS₂₅, a jedan uzorak nije postojan na dejstvo mraza. Otpornost na dejstvo mraza izuzetna je kod sitnozrnih (TA-S, ZD-S) dolerita, doleritnih mikrobreča (CS-1), kao i kod srednjozrnih dolerita PR-K i TA-K, kod kojih je MS vrednost 4 %. Ostali uzorci imaju takođe dobru otpornost na dejstvo mraza sa procentima gubitka mase od 5 % do 25 %. Izrazito alterisani dolerit ZD-KA nije postojan na dejstvo mraza, jer se čak 81 % stene raspadne nakon opita (tabela 8, slika 88f). Nažalost, visoka vrednost polirnosti udružena je sa slabom postojanošću na dejstvo mraza, gde se uzorak ZD-KA isključuje za upotrebu u putarstvu. U šuplinama i prslinama se zadržavaju slani rastvori koji u periodu sušenja stvaraju kristale soli, povećavaju zapreminu i kristalizacionim pritiscima deluju na agregat. Uzorak gabra MO-1 je manje alterisan od prethodnog pa je njegov kvalitet prihvatljiv za upotrebu u putarskoj industriji sa aspekta usvojenih granica u ovoj studiji (bez svojstva LA) i tehničkim specifikacijama prikazanim prilogu 1.

Generalno, validacija razvijenih modela pokazuje da predložene jednačine imaju validne koeficijente i da su razlike između predviđenih i izmerenih vrednosti u okviru prihvatljivih opsega (slika 89). Minimalno utvrđena vrednost greške je kod modela 7

(16 %), a maksimalna kod modela 5 (24 %), tabela 12. Predviđanje PSV-a na osnovu totalne i otvorene poroznosti pokazuje slične greške (< 19 %). Maksimalnu razliku između izmerene i predviđene vrednosti u modelima 1 i 2 pokazuje uzorak ZD-S koji ima najnižu izmerenu PSV vrednost. Modeli za predviđanje PSV-a na osnovu upijanja vode pokazuju slične greške predviđanja (22-23), bez obzira što je broj ulaznih podataka dosta različit (WAs n=19, WAa n=106). Kada je upijanje vode prediktorska promenljiva, greška od 22 % (model 3) i 23 % (Model 6) karakteristična je za isti uzorak (ZD-S). U jednačini modela 9 učestvuje preko sto analiza iz različitih delova sveta. Greška predviđanja ovog modela je ispod 20 %, što dokazuje da su mehanička svojstva agregata, pre svega otpornost na drobljenje (LA) i poliranje (PSV), značajno povezana. Otpornost na habanje (M_{DE}) u vlažnom stanju šta više daje još bolje rezultate (greška je 16 %), ali su vrednosti utvrđene na duplo manjem broju uzoraka (tabela 12).

Ukratko, s obzirom na varijabilnost fizičko-mehaničkih svojstava ispitivanih stena, intenziteta korelacija i prihvatljivosti greške, može se zaključiti da postoje jake veze između PSV-a i obe poroznosti i upijanja vode kamena, kao i između PSV-a i zapreminskih masa, upijanja vode, otpornosti na habanje, drobljenje i otpornosti na mraz agregata. Na osnovu dobijenih rezultata, predviđena vrednost PSV-a može se izračunati prema predloženim modelima 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 i 10. Ove jednačine mogu se koristiti u praksi za predviđanje PSV-a agregata koji se koriste za izgradnju puteva i to za predviđanja PSV-a bazičnih stena sa otvorenom poroznošću do 3 %, upijanjem vode agregata do 2 % i LA do 25 %. Modeli 5 i 6 mogu se koristiti za grubu procenu PSV-a.

Kao što je već više puta napomenuto, statističkom analizom su obuhvaćeni i uzorci sa ekstremnim vrednostima nekih tehničkih svojstava. Podaci o alterisanim stenama inače nedostaju u bazama podataka firmi koje se bave ispitivanjima kvaliteta agregata za potrebe putarske industrije ili u objavljenim radovima i studijama. Razlog za to je jednostavan: u određenu laboratoriju se šalju samo oni uzorci za koje geolog na terenu pretpostavlja da će moći da se koriste u putarskoj industriji. Dakle, biraju se uzorci koji su homogeni, jedri i za koje se pretpostavlja da su malog upijanja vode, velikih čvrstoća, otporni na drobljenje, habanje, postojani na mraz u skladu sa postojećom tehničkom regulativom (prilog 3). Ukoliko se dopreme stene koje su alterisane, odnosno, kada se utvrdi da stena ima veliko upijanje vode ili se raspala prilikom opita postojanosti na dejstvo mraza ili, pak stena ima niske vrednosti čvrstoća - prekidaju se

dalja ispitivanja i traži se materijal na drugim lokacijama. Međutim, za naučna istraživanja koja imaju za cilj utvrđivanje različitih korelacionih odnosa, od izuzetnog značaja je izrada kompletnih laboratorijskih ispitivanja tehničkih svojstava kako svežih tako i alterisanih stena, kako bi moglo da se izvrši povezivanje njihovih uzajamnih delovanja, odnosno, kako bi se doneo zaključak o ponašanju grupe magmatskih stena i iznalaženju novih ležišta materijala sa povoljnim PSV vrednostima. Upravo svojstva kamena i agregata koja na box plot dijagramina (slike 79-84) pokazuju postojanje netipičnih i ekstremnih vrednosti (Pt, Po, WAs, WAa, LA, M_{DE}, M_{DS}, MS) pokazuju jake korelacije sa PSV-om. Ovo je još jedan razlog što su takvi uzorci analizirani u ovoj studiji.

4.2 TEHNIČKA REGULATIVA I MIKROHRAPAVOST AGREGATA

4.2.1 Bezbednost saobraćaja i tehnička regulativa

U zemljama Evropske unije standard EN 13043 (SRPS EN 13043:2007) čini polaznu osnovu za kategorizaciju agregata za puteve, ali geološki resursi, klimatski faktori i ekonomski uslovi predstavljaju primarne faktore pri definisanju lokalnih (nacionalnih) kriterijuma, odnosno Nacionalnog dodatka svake zemlje ponaosob. Od nastanka Evropske unije, zemlje članice, kao i članice CEN-a, išle su u pravcu harmonizacije metoda ispitivanja i kategorizacije agregata. Tehnički uslovi u Velikoj Britaniji, na primer, propisuju da agregati za habajuće slojeve autoputeva moraju da budu trajni, što uključuje posedovanje povoljnih vrednosti za otpornost na poliranje, habanje, površinsko raspadanje, odnosno otpornost na bilo koji faktor koji može da umanjí njegovo postojanje u habajućem sloju puta (prilozi 1 i 2). Današnje shvatanje visokokvalitetnog putnog agregata (High Specification Aggregates - HSA), na primer, obuhvata prirodne i veštačke aggregate koji zadovoljavaju kriterijume poliranja ($PSV \geq 58$), habanja ($AAV \leq 16$), drobljenja ($LA \leq 30$), postojanosti na mraz ($MS \leq 25$) i koji su pogodni za upotrebu u habajućim slojevima zahtevnih deonica i/ili deonica sa teškim i vrlo teškim saobraćajnim opterećenjima (Thompson et al., 2004). Većina asfaltnih zastora u Velikoj Britaniji koristi ovakav materijal. Za manja saobraćajna opterećenja koriste se agregati sa vrednostima PSV-a od minimum 50. Pregledom graničnih vrednosti polirnosti datih u prilogima 1 i 2 generalno se može zaključiti da se favorizuje

bezbednost vožnje, pa samim tim se akcenat stavlja na što bolje karakteristike polirnosti agregata.

S druge strane, u većini evropskih zemalja široko su rasprostranjeni agregati sa opsegom vrednosti polirnosti od 50 do 60 (Jacobs Engineering, 2009). Izdvajaju se mediteranske zemlje koje imaju široku rasprostranjenost krečnjaka koji su slabijih čvrstoća i otpornosti prema poliranju u odnosu na druge vrste stena kao što su na primer peščari, doleriti, graniti, daciti. U mediteranskom regionu, gust saobraćaj i topla klima s jedne strane, a asfalt betonske mešavine od karbonatnog agregata s druge strane, daju habajuće slojeve koji su ekstremno opasni kada su mokri. Većina evropskih zemalja, do početka procesa harmonizacije evropskih standarda, nije obraćala veliku pažnju na karakteristike otpora prema klizanju habajućih slojeva puta. Naprotiv, karakteristike čvrstoće i trajnosti su bile cenjenije. Sa procesom evropske harmonizacije, potreba da se obezbedi sigurnost na putu postala je prioritetna (Woodward, 2000). Iz tog razloga pokrenuti su različiti projekti finansirani od strane Evropske unije i koordinisani pod okriljem FEHRL-a (*Forum of European National Highway Research Laboratories*). Na primer, TYROSAFE projekat (FP7/2007-2013) imao je za cilj podizanje svesti, pripremu za Evropsku harmonizaciju i optimizaciju procene i upravljanja parametarima interakcije pneumatika / put, kako bi se povećala sigurnost evropskog drumskog saobraćaja (Haider, 2013).

Na klizavost kolovoza, naravno, osim mikroteksture i makroteksture puta, utiču i mnogobrojni drugi faktori, kao što su brzina kretanja vozila, vlažnost kolovoza, godišnje kolebanje temperatura, kolotrazi, tip asfaltne mešavine, prisustvo stranih čestica na površini kolovoza (pesak, prašina, ulja), oštećenost površine kolovoza, tip pneumatika, dubina šare pneumatika i drugo. Mikrotekstura površine puta dominantan je faktor za otpor prema klizanju pri manjim brzinama (< 65 km/h). Putevi II reda u Srbiji često prolaze kroz naseljena mesta gde se brzine kretanja vozila ograničavaju na maksimalno 50 km/h. Upravo kod ovih puteva dominantan je uticaj mikroteksture površine puta, odnosno karakteristike mikrohrapavosti agregata. S druge strane, naši tehnički uslovi dozvoljavaju upotrebu krečnjačkog materijala u habajućim slojevima puteva sa srednjim saobraćajnim opterećenjem, tako da oni tokom vremena, usled uglačavanja, postaju opasni (Đokić i dr., 2016).

Ispitivanje uzroka saobraćajnih nezgoda usled proklizavanja veoma je kompleksan posao u kome učestvuje tim stručnjaka različitih profesionalnih orijentacija. Postoje studije koje pokazuju da je smanjenje saobraćajnih nezgoda u Velikoj Britaniji, na primer, usled povećanja polirnosti agregata u površinskom sloju kolovoza vrlo malo i iznosi svega oko 2 % (Jacobs Engineering, 2009). Međutim, razlika između minimalno zahtevanih vrednosti (PSV_{50}) i visokokvalitetnog putnog agregata ($PSV \geq 58$) kod njih iznosi svega osam jedinica, pa su i promene u hrapavosti kolovoza usled promena karakteristika agregata male. Kod nas je situacija drugačija. Minimalno zahtevana vrednost polirnosti za puteve sa srednjim saobraćajnim opterećenjem sa karbonatnim materijalom je svega PSV_{30} . Razlika između PSV_{30} i PSV_{50} (kao PSV_{50} predstavlja minimalni zahtev polirnosti u Velikoj Britaniji, prilog 2) je dvadeset jedinica, a razlika između PSV_{30} i PSV_{58} (kao visokokvalitetnog putnog agregata, Thompson et al. 2004) je čak dvadeset osam jedinica, pa je realno kod nas očekivati smanjenje saobraćajnih nezgoda usled upotrebe agregata sa većim PSV vrednostima u habajućem sloju kolovoza. Uprkos tome što podaci ukazuju da je faktor „put“ uzrok (skoro zanemarljivo) malog broja saobraćajnih nezgoda, da su kombinovani faktori „vozač“ i „vozilo“ dominantni uzrok broja nezgoda, a hrapavost površine kolovoza tek deo elemenata vezanih za faktor „put“ koji mogu biti uzrok saobraćajnih nesreća, *potrebno je vršiti istraživanja uticaja hrapavosti puta na moguće smanjenje saobraćajnih nezgoda*, odnosno uključiti i ovakva istraživanja u domen monitoringa rehabilitovanih puteva, naročito kada znamo da nam ovaj deo podataka nedostaje.

Gde je Srbija danas sa tehničkim uslovima? Do raspada Jugoslavije imali smo standarde i tehničke uslove, takozvane JUS standarde (danas SRPS) za ispitivanja i tehničke uslove kvaliteta agregata (SRPS U.E4.014:1990). Ovi standardi bili su kompilacija američkih, dominantno nemačkih, britanskih i francuskih standarda, a tehnički uslovi prilagođeni kvalitetu mineralne sirovine cele zemlje. Od devedesetih godina na ovamo, svaka bivša jugoslovenska republika menjala je tehničke uslove u skladu sa prelaskom na evropske standarde i geološku građu svog područja. Tako se i u Srbiji, u više navrata, propisivala različita tehnička regulativa.

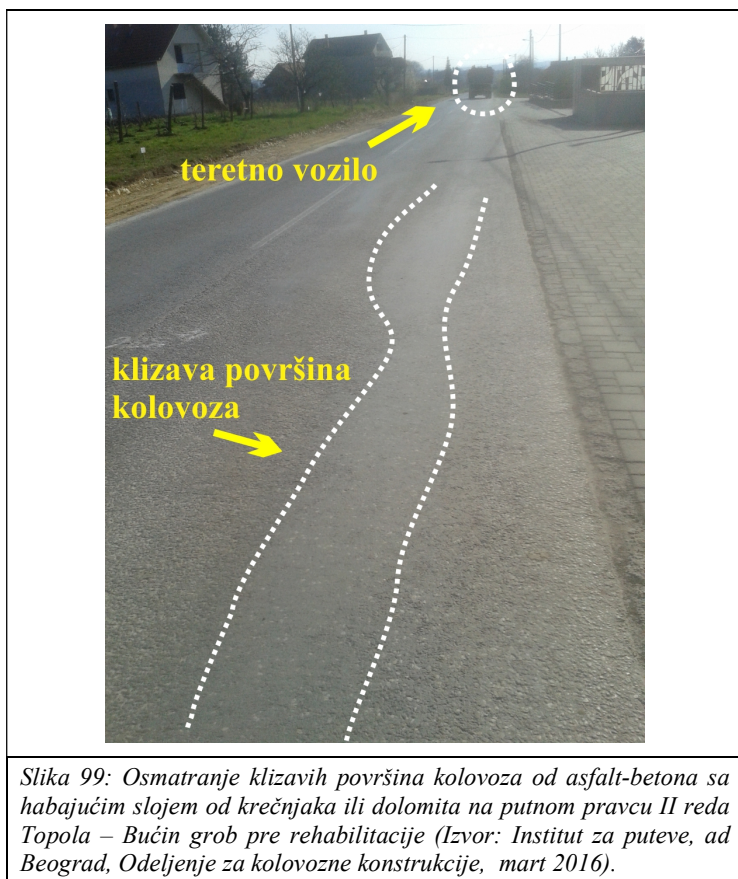
Prema trenutno važećim tehničkim standardima, u Srbiji se za izradu habajućeg sloja za vrlo teško i teško saobraćajno opterećenje koriste isključivo magmatske stene (SRPS U.E4.014:1990, prilog 3). Tehnički uslovi međutim, dozvoljavaju da se za srednje saobraćajno opterećenje koriste sedimentne stene (krečnjaci, dolomiti, drobljeni šljunak) i karbonatne metamorfne stene (dolomitski mermer). Krečnjaci iz naših kamenoloma imaju srednju vrednost polirnosti 39 (slika 98a), dolomiti nešto veću 37, drobljeni šljunak 46, a dolomitski mermer 47 (Djokic & Milicevic, 2013). Ove stene

delom su ugrađene u habajuće slojeve državnih puteva II reda, kojih u Srbiji prema bazi podataka javnog preduzeća Putevi Srbije iz 2014. godine ukupno ima 9552 km (Institut za puteve ad, Beograd, 2014). Državni putevi II reda sa ugrađenim agregatima krečnjaka i dolomita su potencijalno opasni sa aspekta klizavosti kolovoza u mokrim uslovima nakon određenog vremena eksploatacije (slika 98c).



Treba imati u vidu i činjenicu da je na jako velikom broju ovih puteva prosečni godišnji dnevni saobraćaj (PGDS) ispod 2.000, pa i ispod 1.000 vozila dnevno i da u nekim zemljama sa razvijenom transportnom mrežom oni nikada ne bi bili klasifikovani kao državni putevi. Možda u Velikoj Britaniji oni ne bi bili kategorizovani kao državni putevi, ali tamo je generalno za puteve propisana kategorija polirnosti PSV₅₀, tako da su i manje kategorisani i prometni putevi bezbedni. U cilju sprovođenja kampanja za podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja, kao što je naznačeno u delovima Projekta rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja (JP Putevi Srbije, 2015), u Srbiji bi trebalo da projektanti imaju više uticaja na propisivanje kategorija polirnosti upotrebljenog agregata, kako bi izborom hrapavijih agregata (slika 98b-d) doprineli povećanju ukupne hrapavosti površine kolovoza (Đokić i dr., 2016). Tehnički uslovi kvaliteta agregata u Srbiji promenili su se od devedesetih godina do danas. Iskorak prema upotrebi evropskih standarda i postavljanju granica, ali bez uključivanja

potencijala geoloških resursa Srbije, urađen je propisivanjem Tehničkih uslova za građenje puteva u Republici Srbiji iz 2012. godine, po kojima su se izdvojile tri kategorije za habajući sloj (Z1, Z2, Z3) i tri kategorije za noseći sloj (Z4, Z5, Z6). Ovi uslovi nalažu da se za izgradnju habajućeg sloja kolovozne konstrukcije koriste agregati koji imaju minimalne vrednosti polirnosti u zavisnosti od klase mešavina zrna (Z1 i Z2 - PSV₅₀; Z3 - PSV₃₀). Prema tehničkim uslovima, mešavina zrna Z2 za asfalt betone može da se koristi u širokom rasponu grupa saobraćajnog opterećenja - od vrlo teškog, teškog, srednjeg, lakog i vrlo lakog (prilog 3). Propisivanjem klase mešavine zrna Z2 sa vrednosti polirnosti PSV₅₀ za sve državne puteve, znatno se unapredila bezbednost saobraćaja u odnosu na propisane tehničke uslove iz SRPS U.E4.014:1990 gde je za grupu srednjeg saobraćajnog opterećenja dopuštena ravnopravna upotreba agregata od silikatnih (VPK_{48s}) i karbonatnih stena (VPK_{30k}) (prilog 3). S obzirom da su agregati od krečnjaka jeftiniji od silikatnih, logično je da su dosta ugrađeni u puteve sa srednjim saobraćajnim opterećenjem u okviru putne mreže koja je u našoj zemlji uglavnom izgrađena pre pedesetak godina (slika 99).



Ovi putevi često prolaze kroz naseljena mesta gde se brzine ograničavaju na maksimalno 50 km/h pa karakteristike mikrohrapavosti agregata, odnosno mikrotekture površine puta postaju dominantni faktori u proceni klizavosti kolovoza. Treba imati u vidu da se Tehnički uslovi razlikuju i po obračunu kategorija saobraćajnog opterećenja, pa je preciznost u izražavanju kategorije opterećenja neophodna. Po standardu SRPS U.E4.014, srednje saobraćajno opterećenje je između 700.000 i 2.000.000 prelaza standardnih osovina od 80 kN. Preko 2.000.000 prelaza osovina od 80 kN je teško opterećenje. Po Smernicama, to je opterećenje između 600.000 i 2.000.000 prelaza standardnih osovina od 100 kN. Kada se preračuna na opterećenje od 80 kN, sa eksponentom 4 (konzervativno u ovom smislu) dobija se opterećenje 1,5 do 4,9 miliona standardnih osovina od 80 kN, što dominantno spada u kategoriju teškog opterećenja prema SRPS U.E4.014. Ako bi se uzeo eksponent 5 (realno), to bi bilo ekvivalentno 1,8 do 6,1 miliona prelaza standardnih osovina od 80 kN. Na osnovu toga dolazi se do zaključka da je zahtev iz Smernica iz 2012. godine konzistentan sa zahtevima iz standarda SRPS U.E4.014, odnosno srednje saobraćajno opterećenje iz Smernica odgovara teškom opterećenju iz SRPS U.E4.014. Analogno tome lako opterećenje iz Smernica odgovara srednjem opterećenju iz SRPS U.E4.014.

Novija Tehnička regulativa u Srbiji takođe je bazirana na metodama ispitivanja kamenog agregata prema evropskim standardima: Tehničke specifikacije - plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija (PKK) prema kojima se vrše rehabilitacije putne mreže, a u okviru njih i tekuća ispitivanja kontrole kvaliteta materijala (Joint Venture Nievelt – CPL, 2015). Putevi koji su u toku izgradnje bili kategorisani kao putevi sa srednjim saobraćajnim opterećenjem (prema SRPS U.E4.014), često prema novom merenju ostaju u istoj kategoriji (ako je opterećenje isto ili se nije znatno povećalo), jer je obračun osovinskog opterećenja ovih puteva ostao isti (prema SRPS U.E4.014). Kategorija polirnosti agregata prema PKK za habajući sloj autoputa, vrlo teškog i teškog saobraćajnog opterećenja iznosi PSV_{50} . Za srednje, lako i vrlo lako saobraćajno opterećenje nisu postavljeni minimalni zahtevi, pa se i agregat sa bilo kojom vrednošću PSV-a može upotrebiti, što dopušta i upotrebu bilo kog krečnjačkog agregata. U ovom slučaju treba korigovati tehničke uslove na dva moguća načina: ili da se omogući projektantima izbor kategorije polirnosti agregata u projektima

rehabilitacije puteva ili da se propiše minimalni uslov od PSV₄₄ (minimalni zahtev u Evropskoj uniji) ili PSV₅₀ (JP Putevi Srbije, 2012b) kao što je već ukazano od strane Instituta za puteve ad, Beograd (Đokić i dr., 2016). S obzirom da se radi o paušalnim preporukama koje se odnose na prvu grupu Projekta rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja u 2016. godini, one ustvari imaju za cilj da ukažu da bi bilo vrlo korisno istražiti sledeće:

- Koji deo mreže državnih puteva spada u kategoriju „srednjeg saobraćajnog opterećenja“;
- Od kojih agregata (krečnjačkog, silikatnog, mešanog) su izgrađeni habajući slojevi puteva „srednjeg saobraćajnog opterećenja“;
- Koji broj saobraćajnih nezgoda se dogodio na ovim putevima;
- Koji deo ovih saobraćajnih nezgoda je bio uzrokovan faktorom „put“;
- Za koji deo tih nesreća je uzrok bilo nedovoljno trenje na kontaktu između pneumatika i kolovoza;
- Da li su ovi putevi ispresecani mrežastim pukotinama i „rupama“ koje realno smanjuju stanje klizavosti kolovoza i smanjuju brzinu kretanja vozila;
- Da li su ovi putevi prometni u dovoljnoj meri da bi došlo do poliranja agregata ili su usled slabe prometnosti i delovanja atmosferilija prirodno ohrapavljeni.

Sve su ovo predlozi novih istraživačkih Projekata vezanih za klizavost kolovoza naše putne mreže iz kojih se nameće sugestija da se nakon rehabilitacije puteva nastavi sa monitoringom stanja površine kolovoza u predviđenom projektnom periodu. Dobijeni podaci bi bili dragoceni za eventualno korigovanje postojećih tehničkih specifikacija ili potvrde ispravnosti istih.

Bivše jugoslovenske republike, Hrvatska i Bosna i Hercegovina imaju svoje nacionalne tehničke uslove (prilog 3) koji predstavljaju kombinaciju standarda JUS U.E4.014 (za habajući sloj od asfalt betona) i evropskih standarda. Zahtevane vrednosti polirnosti agregata u Hrvatskoj su u opsegu od VPK 44 do VPK 56. Hrvatska se sa tehničkim uslovima približila evropskim uslovima i postavila strožije zahteve kvaliteta kada je reč o polirnosti agregata u odnosu na uslove propisane jugoslovenskim standardima. Kod njih se za srednje saobraćajno opterećenje (prema HRN U.E4.014:1990, 700.000 do 2.000.000 prelaza standardnih osovine od 80 kN) može da koristi kamena sitnež erupivnog porekla kategorije kvaliteta I (VPK₅₆), zatim

kategorije kvaliteta II, III (VPK₅₀) i sedimentnog porekla kategorije kvaliteta I (VPK₄₄). U Bosni i Hercegovini za srednje saobraćajno opterećenje (600.000 do 2.000.000 prelaza standardnih osovine od 82 kN) dozvoljeno je korišćenje karbonatnog materijala sa PSV_{30k} ili silikatnog sa PSV_{50s}.

Treba voditi računa i o tome da male zemlje, kao što je Srbija, nemaju dovoljno sredstava za razvojne projekte za potrebe privrede pa im gotova rešenja, kroz sugestije nove tehničke regulative, treba ponuditi. Na primer, ono što se devedesetih godina prošlog veka smatralo kvalitetnim agregatom (JUS U.E4.014) za izradu habajućih slojeva puteva (izuzetno čvrst kamen, malog habanja, malog upijanja vode, otporan na drobljenje i mraz, prilog 3), zamenjuje se strategijom da agregat može da ima i veće upijanje vode, ali su karakteristike hrapavosti dobile na značaju (prilog 1, 2). Uzimajući u obzir naše klimatske uslove sa druge strane, možda treba ići i ka tome da neki agregati koji ne ispunjavaju sve striktno uslove iz U.E4.014 (na primer u pogledu upijanja vode), mogu da se primene ako su ispunjeni drugi uslovi (na primer u pogledu otpornosti na dejstvo mraza) i da u tom smislu treba preispitati zahteve za agregat ovog standarda. *U svakom slučaju, gledište pojma kvalitetnog agregata se u svetu promenilo, pa promena tehničkih uslova kod nas neminovno dolazi. Stoga je potrebno što pre preispitati geološke rezerve tehničkog građevinskog kamena, odnosno sagledati mogućnost otvaranja novih ležišta shodno ponuđenim novim tehničkim regulativama.* Što se tiče drugih vrsta magmatskih stena, slično ponašanje mikrohrapavih agregata može se očekivati i kod andezita i dacita. Ove stene su kod nas široko rasprostranjene, ali se neke od njih, zbog trenutno važećih regulativa, restriktivno koriste jer pokazuju povećano upijanje vode. Kada je reč o krečnjacima, imamo i peskovite krečnjake i druge stene koje su okarakterisane kao visokokvalitetne (Thompson et al., 2004). Takođe, treba voditi računa i o životnom ciklusu agregata kao gotovog građevinskog proizvoda koji uključuje njegovu izradu od prirodnih resursa, stavljanje na tržište, ugradnju u habajuće slojeve, pa sve do njegovog trajnog odlaganja na deponije (EU Office, 2011, Blengini et al., 2012; Korre & Durucan, 2009). Savremeni trendovi uključuju ponovnu upotrebu i reciklažu starih asfaltnih slojeva i betona, kako bi se što više sačuvali prirodni resursi i zaštitila životna sredina.

Prema preporukama projekata SARMA (<http://www.sarmaproject.eu/>) i SNAP-SEE (<http://snapsee.eu/>), naša državna tela koja su nadležna za održivo planiranje agregata,

pri primeni razvojnih planova, treba da utvrde zalihe mineralnih sirovina koje zadovoljavaju opšte zahteve kvaliteta, koje su dostupne i koje zadovoljavaju tehničke uslove kvaliteta svog regiona. Osim toga, zemlje/regije jugoistočne Evrope trebalo bi da razmisle o razmeni podataka o planiranju agregata kako bi se omogućio uvoz i izvoz između susednih država (Agioutantis et al., 2014). Time bi se i pomoglo i holding kompanijama (koje imaju kamenolome u nekoliko zemalja a radove izvode prema tehničkim uslovima zemlje domaćina) u planiranju proizvodnje i distribucije agregata, u skladu sa zahtevima tržišta. Srbija zbog toga mora da se uklapa u evropsku politiku o održivom planiranju korišćenja agregata, ali treba da radi i na rekategorizaciji rezervi, s obzirom da se i tehnički uslovi menjaju. Upravo zbog opšteg trenda izgradnje bezbednih puteva, Evropska asocijacija za agregat (UEPG) treba da ima više upliva u formiranje nacionalnih tehničkih specifikacija za agregat zemalja članica Evropske unije, kao i zemalja kandidata. Time bi se homogenizovala putna infrastruktura Evrope, što je važno za vozača koji na svom putu ka krajnjem odredištu, prelazeći iz jedne zemlje u drugu u svom automobilu, prelazi preko putne infrastrukture u koju je ugrađena čitava filozofija jedne društvene zajednice.

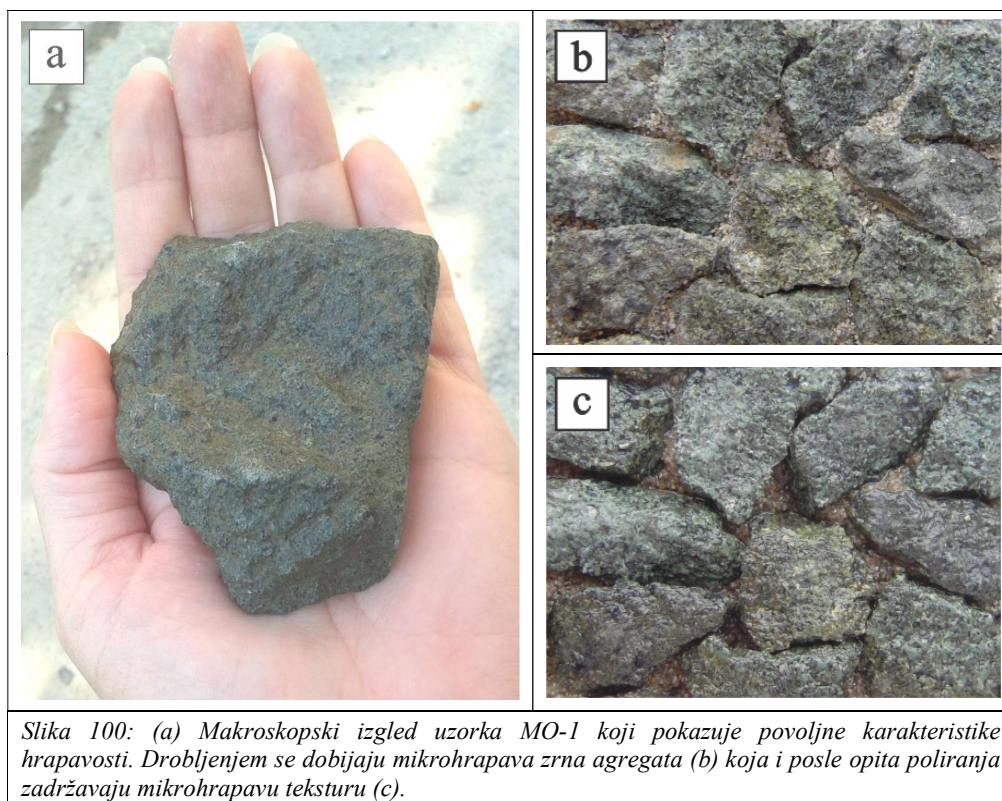
Na kraju, treba spomenuti i to da je menjanje tehničkih uslova spor i ne tako popularan proces. Odakle krenuti? Među stručnom javnošću postoji mišljenje da prvo treba da se definišu kriterijumi u skladu sa ciljem pružanja određenog nivoa usluga korisnicima puteva; da jedan od postavljenih kriterijuma svakako treba da bude bezbednost i da je pre nego što se promene zahtevi (tim pre što oni nisu suštinski promenjeni u Smernicama JP Putevi Srbije) potrebno imati konkretne podatke o efektima tih promena, odnosno podatke o bezbednosti vezano za sadašnje stanje i procenu unapređenja bezbednosti sa određenom promenom. Slažem se sa napred navedenim mišljenjem, ali kako da imamo podatke o efektima određenih promena ako ne dopustimo da nam se promene dese? Makar se vratili na staro, vredi probati. Baš zbog toga što su transportni troškovi kod agregata dominantni i što realno veća razmena agregata među zemljama nije moguća, hajde da pogledamo koje rezerve tehničkog građevinskog kamena sada imamo, kakvog su one kvaliteta sa aspekta mikrohrapavih agregata za izradu habajućeg sloja puteva, koja su nam perspektivna područja za istraživanje novih ležišta, koji će nam biti kriterijumi za ocenu kvaliteta, koje bi nam bile nove granice.

4.2.2 Bazične magmatske stene i tehnička regulativa

Poznato je da u svetu postoje brojni aktivni kamenolomi u bazičnim magmatskim stenama koji proizvode agregate široke palete granulometrijskih sastava za potrebe putarske industrije. Ove stene kod nas uglavnom pripadaju ofiolitskim kompleksima i široko su rasprostranjene (slike 5 i 7), pa se predloženi modeli za procenu PSV-a agregata pri istraživanju novih ležišta, logično mogu na njima vršiti. Paralelno sa Koridorom 10 u Srbiji se pružaju ofioliti Vardarske zone i Dinaridskog ofiolitskog pojasa, dok trasa u izgradnji Koridora 11 više puta preseca i ove ofiolite i manje ofiolitske blokove koji pripadaju ofiolitima Karpato-Balkanida istočne Srbije. Bazične magmatske stene mogu se upotrebiti u izgradnji novih i rehabilitaciji postojećih puteva mnogo više nego što se to čini, ako se slepo prate preporuke određenih standarda. Još jednom je potrebno napomenuti da se kod nas ne koriste sve stene ofiolitske sekvence za potrebe putarske i građevinske industrije. Koriste se doleriti (u našoj literaturi poznatiji kao dijabazi) i gabrovi koji su široko rasprostranjeni. Bazalta i spilita nemamo u količinama koje su eksploatibilne za datu namenu, dok se ultrabazične stene - peridotiti (kojih ima možda i više od gabrova i dolerita) ne koriste kao tehnički građevinski kamen usled njihove slabije postojanosti na dejstvo mraza (poglavlje 3.1.). Sigurno je da nisu sve stene ofiolita ispitane. Bar ne na ovaj način. Ovo istraživanje je korisno i za mediteranske zemlje koje imaju široku rasprostranjenost krečnjaka, u kojima bi stručnjaci trebalo da preispitaju geološke rezerve tehničkog građevinskog kamena i ispitaju mogućnost upotrebe drugih vrsta stena kojima mogu da se rehabilituju stari i/ili izgrade novi habajući slojevi puteva, kao što su na primer ultrabazične stene ofiolita ili peskoviti krečnjaci i drugo.

Kamen koji je perspektivan za proizvodnju viskokvalitenog agregata za izradu habajućih slojeva puteva, koji na terenu treba izabrati među ostalim bazičnim stenama, izgleda otprilike kao uzorak prikazan je na slici 100. Uzorak sa MO-1 (slika 100a) ima upijanje vode kamena 1% (tabela 8). Agregat proizveden od njega zadovoljava postojeće uslove kvaliteta u zemljama Evropske unije (poglavlje 4.1.2) za upijanje vode agregata (ima 1,6 %, a kategorija je WAA=2 %, slika 95) i otpornosti na dejstvo mraza (ima MS₂₅, propisana kategorija MS₂₅). Polirnost agregata od 68 zadovoljava sve postavljene tehničke uslove (ova studija, prilog 1). Agregat se prema ovim kriterijumima ocenjuje kao viskokvalitetan, ali se ujedno nalazi na samoj granici

upotrebljivosti. Ovaj uzorak, na žalost, ima male količine devitrifikovanog stakla koje utiču nepovoljno na kvalitet agregata (ubrzavaju procese raspadanja), ali je najbliži po svojim tehničkim karakteristikama onome čemu težimo - a to su mikrohrapavi agregati (slika 100b-c). On ne zadovoljava francuske kriterijume za otpornost na habanje (ima M_{DE} 30, propisana kategorija M_{DE} 25) koji su inače strožiji u odnosu na britanske. Otpornost na drobljenje (LA), zbog tehničkih problema, za ovaj uzorak nije rađena. S obzirom da je razlika između otpornosti na habanje (M_{DE}) i otpornosti na drobljenje (LA) u francuskim tehničkim uslovima za sva četiri koda agregata (Anc, Bnc, Cnc, Dnc) pet jedinica (npr. Dnc - $M_{DE}25$, LA_{30} , prilog 1), analogna je pretpostavka da bi uzorak MO-1 sa utvrđenih $M_{DE}30$ postigao vrednost LA_{35} . Ova vrednost zadovoljava britanske uslove kvaliteta (LA_{30-35} , prilog 1).



S druge strane, istraživanja su pokazala da se povećavanje vrednosti otpora prema klizanju obično postiže na račun pada skoro svih drugih mehaničkih svojstava i karakteristika postojanosti. Zbog toga se preporučuje da se visoke vrednosti poliranja uvek posmatraju pažljivo, zbog mogućeg prevremenog raspadanja agregata u kolovozu koji je u eksploataciji. Ovo je naročito važno kada se bavimo izborom novih tipova agregata za koje nemamo iskustva o ponašanju u ugrađenim kolovozima (Woodside &

Woodward, 2002). Bez obzira što se nalaze blizu ili na samoj granici upotrebljivosti, ležišta visokokvalitetnih agregata u Srbiji svakako treba tražiti, odnosno, težiti ka već pomenutim karakteristikama. Podrazumeva se, naravno, da će upotreba ovih agregata kod nas biti moguća tek nakon donošenja nove tehničke regulative, uz strogu kontrolu kvaliteta.

Procedure od istraživanja ležišta do otvaranja kamenoloma i stavljanja agregata kao građevinskog proizvoda na tržište su brojne i dosta zahtevne. Jedna od njih tiče se kvaliteta proizvedenog agregata. U procesu harmonizacije evropskih standarda, PSV test je postavljen kao standardni test za ocenu agregata za bitumenske mešavine i površinske obrade kolovoza (SRPS EN 13043:2007). Međutim, veoma mala povećanja PSV-a imaju za posledicu opadanje drugih svojstava agregata. Kompleksna interakcija između različitih vrsta stena, promena u svojstvima čvrstoće, trajnosti, polirnosti za vreme trajanja agregata (kao građevinskog proizvoda) u kolovoznoj konstrukciji ukazuje na potrebu predviđanja svojstava agregata, naročito kada se u putnoj industriji razvijaju ideje održivih i bezbednih konstrukcija umesto dosadašnjeg standardnog pristupa odabira agregata koji se zasniva na njegovim tehničkim karakteristikama utvrđenim u laboratoriji. Zbog toga postoji potreba razmatranja holističke uloge agregata kao dela asfaltne mešavine (Woodward, 2000; Woodward et al., 2005).

Jedno je sigurno, a to je da ležišta mikrohrapavijih agregata u svetu treba tražiti i otvarati. Granice upotrebljivosti treba postavljati kada je reč o postojanosti na dejstvo mraza, drobljenju, habanju, ali to je i pitanje mesta ugradnje agregata, odnosno klimatskih uslova u kojima egzistira kolovozna konstrukcija. Za postavljanje jasnih granica upotrebljivosti bazičnih stena potrebno je posedovati kompletna tehnička svojstva kako kamena tako i od njega proizvedenog agregata širokog raspona tehničkih karakteristika. Pri donošenju zaključaka na osnovu rapoloživih eksperimentalnih podataka, poželjno je da ispitivanja budu izvršena u uslovima ponovljivosti i reproduktivnosti u više laboratorija u svetu. S obzirom da ovako postavljeni zahtevi poskupljuju laboratorijska ispitivanja, jedno od rešenja jeftinog prikupljanja traženih podataka mogu biti Izveštaji međulaboratorijskih poređenja (*Interlaboratory comparision* - ILC) i programi za ispitivanje osposobljenosti - takozvane PT šeme (*Proficiency testing* - PT), organizovane od strane registrovanih provajdera. Zbog toga bi organizacije koje se bave agregatima, standardizacijom i nacionalnom tehničkom

regulativom (na primer UEPG, CEN) trebalo da usaglase stavove i pažljivo odaberu agregate za sledeće programe ILC/PT ispitivanja čiji se rezultati mogu iskoristiti za potrebe formiranja/korigovanja tehničke regulative. Ne treba zaboraviti da iza izbora agregata slede kompleksna ispitivanja asfaltnih mešavina koje će, sa svoga aspekta postavljati svoje granice upotrebljivosti. Što se tiče otvaranja novih ležišta dostupnih vrsta agregata proizvedenih od stena iz ofiolitskih kompleksa kod nas, ovaj posao treba da bude zajednički učinak geologa koji ih na terenu pronalaze i kartiraju, geologa koji se bave istraživanjima ležišta i procenama rezervi, preko rudarskih inženjera koji na drobiličnim postrojenjima proizvode agregate povoljnih geometrijskih svojstava do petrologa koji, kroz ispitivanje kvaliteta agregata u laboratorijskim uslovima, pružaju krucijalnu karakterizaciju materijala. Kada je reč o stavljanju građevinskog proizvoda na tržište (EU Office, 2011) i njegovog izbora za habajuće slojeve puteva, onda je važan kooperativan rad građevinskog projektanta koji propisuje određena svojstva agregata, izvođača radova koji ga ugrađuje, petrologa koji kroz tekuća ispitivanja kontroliše kvalitet agregata i na kraju saobraćajnih inženjera koji brinu o bezbednosti saobraćaja. Ali svest o potrebi postojanja ovih agregata mora da bude na nivou celokupne društvene zajednice.

Uopšteno govoreći, istraživanje agregata za određenu namenu u građevinskoj industriji u svetu je kompleksan posao (Woodward, 2000). Selekcija agregata kao građevinskog proizvoda za određenu deonicu puta koja je u izgradnji ili u postupku rehabilitacije, takođe je složen zadatak. U ovom poslu projektant u svakom projektu mora propisati agregate zadovoljavajućih tehničkih karakteristika, ali mora imati u vidu i obim ugovorenog posla. Osim toga, nije poželjno često menjati vrste agregata koji mogu da se upotrebljavaju, zato što tehnička svojstva agregata ulaze u proračune asfaltnih mešavina kao krajnjih proizvoda ugrađenih u kolovoznim konstrukcijama. Zbog toga u praksi izbor pada na najekonomičnije agregate koji se mogu upotrebiti za izgradnju ili rehabilitaciju što veće dužine zadate deonice (Design Manual for Roads and Bridges - DMRB, 2006). Za izgradnju ili rehabilitaciju krivina, nagiba, raskrsnica, prilaza pešačkim prelazima i drugim obeleženim mestima slabije bezbednosti, treba koristiti agregate sa najvišim vrednostima PSV-a, odnosno *ove agregate treba brižno čuvati za lokacije na kojima su oni najpotrebniji* (Design Manual for Roads and Bridges - DMRB, 2006).

5. ZAKLJUČCI

5.1 UTICAJ MINERALOŠKO-PETROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA NA MIKROHRAPAVOST STENA

Prikazani i prodiskutovani rezultati ove studije omogućavaju sledeće zaključke kada je reč o uticaju mineraloško-petrografskih karakteristika stena na mikrohrapave karakteristike agregata bazičnih stena:

- Mineralni sastav i sklop stene kontrolišu mikrohrapavost agregata: mineralni sastav određuje tvrđinu stene, veličina zrna i način srastanja strukture stene, a sadržaj šupljina i pukotina mikroteksturu. Povezani u određenom odnosu formiraju mikrohrapavu površinu stene koja se može izraziti preko PSV vrednosti;
- Stena izgrađena od minerala relativne tvrđine veće od 5 (po Mosu), finoornaste do finoofitske strukture, imaće nisku PSV vrednost koja će se povećavati sa porastom sadržaja mekih minerala manje relativne tvrđine;
- Površinske alteracije povoljno utiču na razvoj mikrohrapave topografije zrna agregata;
- Kod stena porfirske strukture veći udeo u formiranju mikrohrapavosti agregata ima mikrolitska do finoofitska osnovna masa u odnosu na učešće fenokristala, dajući agregate nižih PSV vrednosti;
- PSV vrednost se povećava sa povećanjem sadržaja minerala koji pokazuju uznapredovali stepen alteracije,
- Porfiroidna struktura dolerita povoljno utiče na razvoj mikrohrapave topografije zrna agregata zbog prisustva krupnijih zrna tvrdih minerala koji „štrče“ u homogenoj finoofitskoj do finoornastoj osnovi;
- Stene koje su pretrpele intenzivnu tektonsku aktivnost, kao i povećan sadržaj sporednih minerala (titanita i metaličnih minerala) povoljno utiču na mikrohrapavost dolerita; prisustvo žica različitog sastava - hlorita, kalcita, kvarca, pirita, takođe ima povoljan uticaj na mikrohrapavost;
- Prisustvo homogeno raspoređenih mandola koje su zapunjene sekundarnim mineralima različite tvrđine (hlorit, kalcit, kvarc) povoljno utiče na povećanje PSV-a;
- Odsustvo klinopiroksena, odnosno, obilno prisustvo amfibola, hlorita i kalcita u stenama se, zbog širokog raspona PSV vrednosti koji pokazuju te stene, ne mogu koristiti kao pokazatelj povećanja mikrohrapavosti agregata, ali su zato pozitivne korelacije postignute između PSV vrednosti i površina zrna amfibola;

- Krupnoofitska struktura i srednjozrnasta struktura (koju pokazuju ispitivani doleriti i gabrovi) povoljno utiču na formiranje mikrohrapave površine zrna agregata;
- Ekstremno alterisana stena krupnoofitske strukture sa brojnim pukotinama i šupljinama, bez obzira na veliko učešće minerala sa relativnom tvrđinom > 5 , imaće hrapavu mikrotopografiju sa najvećim PSV vrednostima. Posmatrana makroskopski, zbog obilja prslina i šupljina ova stena neće imati sjaj.

Mineraloško-petrografske karakteristike stena utiču i na tehničke karakteristike kamena i agregata, pa se na osnovu njihovog poznavanja mogu dodatno izvesti sledeći zaključci:

- Postoje značajne pozitivne linearne korelacije između PSV-a i vrednosti tehničkih svojstava kamena i agregata kao što su poroznost, upijanje vode, otpornost na habanje, drobljenje i otpornost na dejstvo mraza; PSV agregata je u inverznoj korelaciji sa stvarnom zapreminskom masom vodozasićenog i površinski suvog agregata;
- Uzorci sa većom poroznosti i upijanjem vode pokazuju najveće vrednosti PSV-a; korelacija između PSV-a i apsolutne i otvorene poroznosti je jaka, naročito za uzorke sa otvorenom poroznosti manjom od 3 %;
- Odnos između upijanja vode kamena i PSV-a je najjači; upijanje vode agregata utiče na PSV sa nešto nižim koeficijentom korelacije r , ali je i dalje visok i statistički značajan; korelacija između upijanja vode i PSV-a je pozitivna;
- Upijanje vode kamena je najvažnije najjeftinije fizičko svojstvo za prospekciju visokokvalitetnih agregata za izradu habajućih slojeva puteva, a upijanje vode agregata za modele predviđanja karakteristika polirnosti agregata; značajno je da se ovaj parametar određuje najjeftinijom metodom;
- Zapreminska masa kamena ne pokazuje značajan uticaj na PSV, iako su stvarne zapreminske mase agregata u korelaciji sa PSV-om sa značajnim koeficijentom korelacije; regresioni koeficijent je viši za zapreminske mase agregata nakon sušenja u sušnici u odnosu na vodozasićen a površinski suv agregat;
- Alterisane bazične stene imaju najveće PSV vrednosti koje su često kontrolisane većom poroznosti i posledično manjim zapreminski masama i većim upijanjem vode;
- Otpornost na habanje kamena ne pokazuje korelaciju sa otpornosti na poliranje agregata. Ova dva svojstva sa svojim odlikama stoje jedno nasuprot drugog, tako da veze između njih ne mogu da se uspostave;

- Među mehaničkim osobinama agregata, LA i M_{DE} igraju važnu ulogu u određivanju PSV-a agregata; rezultati regresione analize između PSV-a i osobina habanja i drobljenja ukazuju da agregati sa visokom otpornošću na habanje i drobljenje imaju tendenciju da se poliraju;
- Sa povećavanjem gubitka mase agregata koji se izdrobio usled dejstva mraza (veći MS koeficijent), povećava se i PSV koeficijent. Upravo ovaj opit povlači granicu upotrebljivosti agregata u putarskoj industriji;
- Može se konstatovati da bazične magmatske stene koje imaju vrednosti otvorene poroznosti do 3 %, upijanje vode do 2%, a LA gubitak do 25 %, MS gubitak do 25 % daju agregate sa visokim PSV-om. Agregati sa karakteristikama koje su blizu pomenutih maksimalnih vrednosti su u stvari najpogodniji za izradu habajućih slojeva puteva;
- Razvijeni regresioni modeli regresije 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 i 10 mogu se koristiti za praktičnu procenu PSV-a, dok se modeli 5 i 6 mogu koristiti za grubu procenu PSV-a. Predloženi modeli su laki za upotrebu u laboratorijskoj praksi.

Na osnovu do sada izloženog može se zaključiti da je visokokvalitetni putni agregat obnovljive mikrohrapave površine zrna, proizveden od bazičnih magmatskih stena, izgrađen od minerala različite relativne tvrdine koji grade krupnoofitsku, srednjozrnastu ili porfiroidnu strukturu, pri čemu je stenska masa ispresecana pukotinama i šupljinama. Ove šupljine i pukotine su u određenom stepenu dostupne za vodu, pa će stena pokazivati povećano upijanje vode kamena (oko 1,3 %), odnosno agregata (do 2 % ili veće), ali će njena upotrebljivost u putarskoj industriji biti ograničena određenom otpornošću na drobljenje, habanje i postojanošću na dejstvo mraza. Ovim istraživanjima pružene su, takođe, smernice koje vrste i varijetete bazičnih magmatskih stena pri istraživanju novih ležišta treba izdvajati na terenu kao perspektivne za dobijanje visokokvalitetnog agregata u putarstvu.

5.2 PREPORUKE ZA DALJI RAD I IMPLEMENTACIJU

Preporuke za dalji rad u ovom polju istraživanja vezane su za pronalaženja korelacija koje u ovoj studiji nisu pronađene, kao i na proširenje polja ispitivanja na alterisane stene i druge litotipove prirodnih agregata. U ovoj studiji, na primer, zbog složenosti problema različitih uticaja, korelacija između PSV-a i zapreminske mase bez pora i šupljina (gustine) i oblika zrna agregata nije pronađena. Pretpostavka je da bi se

unutar jednog kamenoloma, u kome se izdvaja više varijeteta stena kristalinalnih iz istog magmatskog rastopa, mogle dobiti željene korelacije. Teren koji bi mogao da posluži kao poligon za ovakva istraživanja jeste kamenolom iz ofiolitkog kompleksa Ždraljice, odakle su uzorkovani varijeteti fino-zrnaste i krupnoofitske strukture, različitog stepena alterisanosti.

U budućem radu, pri proširenju postojeće baze podataka tehničkih svojstava bazičnih magmatskih stena, predložene regresione modele treba ponovo preispitati. Rad na modelovanju predviđanja mikrohrapavosti agregata treba da uključi i alterisane stene ofiolita odnosno njihova kompletna tehnička svojstva kamena (koji se uzorkuje na terenu) i agregata (proizvod koji je spreman za upotrebu). Rezultati ispitivanja ovih stena su potrebni za poboljšanje predloženih modela, kao i radi definisanja polja u kome se kreću tehnička svojstva prirodnih agregata bazičnih magmatskih stena. Istraživanja ovog tipa koja inače nisu u domenu laboratorije koja ispituje kvalitet kamena i agregata za izradu habajućih slojeva puteva, treba da budu deo projektnog zadatka za koji se interesuje kako naučna multidisciplinarna populacija, tako i javni sektor vezan za putarsku industriju. Osim toga, slična istraživanja treba da se urade i za druge litotipove stena na dovoljnom broju uzoraka (na primer, za Srbiju su značajni andeziti, daciti, graniti, granodioriti). Ovo bi obezbedilo dodatna ograničenja u vezi sa korelacijama između PSV-a i drugih tehničkih svojstava, ali bi vodilo ka boljem predviđanju povoljnih svojstava. Naravno, ovakav pristup ne bi mogao da zameni laboratorijsku praksu, ali bi definitivno pomogao pri izboru adekvatnih agregata za izradu habajućih slojeva puteva.

Imajući u vidu da evropski standard za kategorizaciju agregata ne daje ograničenja za vrstu i poreklo agregata (SRPS EN 13043:2007), potrebno je ponovo preispitati mogućnost upotrebe slabije serpentinisanih peridotita u putarskoj industriji, s obzirom na široku rasprostranjenost ofiolita u našoj zemlji i peridotita kao delova ofiolitske sekvence.

5.3 DOPRINOSI

Naučni doprinos ove teze jeste saznanje koliko mineralni sastav, stepen alteracije i strukturno-teksturne karakteristike stena značajno i sinhronizovano utiču na mikrohrapavost agregata. Posmatrajući ispitivana tehnička svojstva, doprinos ove teze se ogleda u utvrđivanju činjenice da agregati bazičnih magmatskih stena sa povećanim

upijanjem vode od oko 2 % predstavljaju visokokvalitetne putne agregate za izradu habajućih slojeva puteva sa odličnom mikrohrapavošću.

Doprinos ove teze privredi Srbije ogledao bi se u predlogu da se što pre preispitaju naše geološke rezerve tehničkog građevinskog kamena i koriguje nacionalni dodatak tehničkih uslova, u skladu sa kategorijama kvaliteta agregata u Evropi. Ova teza dalje, daje nov pristup kako da vrednujemo stene ofiolita, za čim da tragamo i kako da idemo u pravcu otvaranja novih kamenoloma za proizvodnju onih agregata koji će doprineti izgradnji hrapavijih habajućih slojeva puteva, a samim tim uticati na bezbednost odvijanja saobraćaja. Zbog toga je doprinos ovoga rada ne samo naučni već i privredni i opšte društveni.

LITERATURA

- ACPA 2013. Differences Between Concrete and Asphalt Pavement., available at: http://overlays.acpa.org/Concrete_Pav.
- AGIOUTANTIS, Z., KOMNITSAS, K., STEIAKAKIS, M., MAVRIGIANNAKIS, S., STATHOGIANNI, F., CHALKIOPOULOU, F., HATZILAZARIDOU, K., MOLTRER, A., VALBUSA, M., BOBBA, S., BLENGINI, G.A. 2014. *Handbook on Data and Analysis Methodologies for Aggregates Planning: A joint manual for planning authorities in SEE region, SNAPSEE Project, WP4-HR*, 60p.
- ASCH, K. 2007. *The 1:5.000.000 International geological map of Europe and Adjacent Areas - IGME 5000*, te Neues Druckereigesellschaft, Kempen, Germany, 1p.
- BILBIJA, N. 1976. Trajnost i ponašanje kamenih agregata u habajućem sloju kolovoza. In *Zbornik radova prvog jugoslovenskog simpozijuma o mineralnim agregatima u putogradnji*, pp. 95–107., Beograd: Poslovno udruženje Kameron.
- BILBIJA, N., MATOVIĆ, V. 2009. *Primenjena petrografija - svojstva i primene kamena 2. dopunje.*, Beograd: Građevinska knjiga, 418p.
- BIRD, W. 2016. Rolling resistance, Skid resistance, and Noise Emission measurement standards for road surfaces. *European Commission Seventh Framework Programme*, <http://www.rosanne-project.eu/>.
- BLENGINI, G.A., GARBARINO, E., ŠOLAR, S., SHIELDS, D.J., HÁMOR, T., VINAI, R., AGIOUTANTIS, Z., RAFFAELE, V., ZACHARIAS, A. 2012. Life Cycle Assessment guidelines for the sustainable production and recycling of aggregates: The Sustainable Aggregates Resource Management project (SARMa). *Journal of Cleaner Production* **27**, 177–181.
- BORTOLOTTI, V., MARRONI, M., NICOLAE, I., PANDOLFI, L., PRINCIPI, G., SACCANI, E. 2002. Geodynamic Implications of Jurassic Ophiolites Associated with Island-Arc Volcanics, South Apuseni Mountains, Western Romania. *International Geology Review* **44**(10), 938–955.
- BRATTLI, B. 1992. The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates. *Engineering Geology* **33**, 31–44.
- BRENNAN, M.J., O'FLAHERTY, C.A. 2002. Chapter 5 - Materials used in road pavements. In *Highways (Fourth Edition)*, pp. 118–162., Elsevier Ltd.

- BRIAN, E.T. 1998. Discovery of 'Megamullions' Reveals Gateways Into the Ocean Crust and Upper Mantle. *Oceanus magazine* **41**(1), available at: <http://www.whoi.edu/oceanus/feature/d>.
- BRKOVIĆ, T., MALEŠEVIĆ, M., KLISIĆ, M., UROŠEVIĆ, M., TRIFUNOVIĆ, SRETEN RADOVANOVIĆ, Z., BOŽANIĆ, M. 1978a. *Osnovna geološka karta 1:100.000, list Čačak K 34-5*, Beograd: Savezni geološki zavod, 1p.
- BRKOVIĆ, T., MALEŠEVIĆ, M., UROŠEVIĆ, M., TRIFUNOVIĆ, SRETEN RADOVANOVIĆ, ZLATKO PAVLOVIĆ, Z., RAKIĆ, M. 1978b. *Tumač za list Čačak K 34-5, OGK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 64p.
- BULEVIČIUS, M., PETKEVIČIUS, K., ŽILIONIENĖ, D., ČIBRA, S. 2011. Testing of Mechanical-Physical Properties of Aggregates, Used for Producing Asphalt Mixtures, and Statistical Analysis of Test Results. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* **6**(2), 115–123.
- COLEMAN, R.G. 1977. *Ophiolites - Ancient Oceanic Litosphere*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 229p.
- CVETANOVIĆ, A. 1992. 6 Kolovozne Konstrukcije. In *Kolovozne konstrukcije.*, pp. 113–124., Beograd: Naučna knjiga.
- CVETANOVIĆ, A., BANIĆ, B. 2007. *Kolovozne konstrukcije*, Beograd: Akademska misao, 402p.
- DASKALOVA, L. 1984. Resistance to polishing of some roadmaking aggregates from Bulgaria. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* (29), 349–354.
- DEER, W., HOWIE, R., ZUSSMAN, J. 1989. Feldspar Group. In *An Introduction to the Rock forming Minerals*, pp. 281–338., Longman Scientific and Technical.
- DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES - DMRB 2006. *Volume 7: Pavement design and maintenance, Section 5: Pavement materials, Part 1, HD36/06: Surfacing materials for new and maintenance construction*, United Kingdom: UK Highways Agency, 25p.
- DIMITRIJEVIĆ, M. 1992. *Geološki atlas Srbije 1, 1:2.000.000*, Beograd: Republički fond za geološka istraživanja i Geološki zavod - Gemini, 1p.
- DJOKIC, O., MILICEVIC, V. 2013. Main technical characteristics of rocks used in road construction in Serbia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*

72(1), 137–141.

- DO, M.-T., TANG, Z., KANE, M., DE LARRARD, F. 2009. Evolution of road-surface skid-resistance and texture due to polishing. *Wear* **266**(5–6), 574–577.
- ĐOKIĆ, O., STEFANOVIĆ, S., MILIĆ, B. 2016. Klizavost habajućih slojeva puteva od krečnjačkog agregata. In *Drugi srpski kongres o putevima*, pp. 784–789., Beograd: Srpsko društvo za puteve ‘Via - Vita’.
- ĐOKIĆ, O., MATOVIĆ, V., ERIĆ, S., ŠARIĆ, K. 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.
- DOLIĆ, D., KALENIĆ, M., LONČAREVIĆ, Č., HADŽI-VUKOVIĆ, M., SA SARADNICIMA 1981a. *Osnovna geološka karta 1:100.000, list Paraćin K 34-7*, Beograd: Savezni geološki zavod, 1p.
- DOLIĆ, D., KALENIĆ, M., MARKOVIĆ, B., DIMITRIJEVIĆ, M., RADOJČIĆ, R., LONČAREVIĆ, Č. 1981b. *Tumač za list Paraćin K 34-7, OGK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 54p.
- DOTT, R.H. 1964. Wacke, graywacke and matrix; what approach to immature sandstone classification? *Journal of Sedimentary Research* **34**(3), 625–632.
- DUNFORD, A. 2008a. *Measuring skid resistance without contact; 2006-2007, Published roject report PPR 315*, Berkshire, Transport and Road Research Laboratory, 10p.
- DUNFORD, A. 2008b. The Wehner Schulze machine and its potential use to improve aggregate specification. In *International safer roads conference*, pp. 1–8., United Kingdom.
- DUNHAM, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In *Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir* (ed. W. E. Ham), pp. 108–121.
- EMBRY, A., KLOVAN, J. 1971. A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island. *NWT: Canadian Petroleum Geology Bulletin* (19), 730–781.
- EN 13043:2013 *European Standard emitted by CEN, European Committee for Standardization: Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and trafficked areas*, Committee CEN/TC154, 56p.
- ERICHSEN, E. 2009. Relationship between PSV and in situ friction: A Norwegian case study. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* **68**(3), 339–343.

- EU OFFICE 2011. Regulation of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC with EEA relevance. *Official Journal of the European Union* (305), 43–88.
- FETTES, D., DESMONS, J. 2007. *Metamorphic rocks: a classification and glossary of terms, recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*, Cambridge University press, 224p.
- FGSV 613 E:2007 *Technical Delivery Terms for Aggregates in Road Construction (TL Gestein-StB 04)*, Road and Transportation Research Association (FGSV), 64p.
- FOLK, R.L. 1959. Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **43**(1), 38.
- FOLK, R.L. 1962. Spectral subdivision of limestone types. In *Classification of carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir 1* (ed. W. E. Ham), pp. 62–84., Springer-Verlag, Berlin.
- GOMES, R.L., RODRIGUES, J.E. 2007. Quality ranking of twelve columnar basalt occurrences in the northern portion of the Paraná Basin-Brazil. *Engineering Geology* **91**, 265–278.
- GUTT, W., NIXON, P. 1972. Studies of the texture of some roadstone materials by scanning electron microscopy. *Journal of materials science* **7**, 995–1002.
- HAIDER, M. 2013. Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects (TYROSAFE). *European Commission Seventh Framework Programme*, <http://www.fehrl.org/index.php?m=155&mode=more&id=>.
- HARTLEY, A. 1974. A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* **7**(1), 69–100.
- HAWKES, J., HOSKING, J. 1972. *British arenaceous rocks for skid-resistant road surfacing*, Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory, 41p.
- HEY, M.H. 1954. A New Review of the Chlorites. *Mineralogical Magazine* **30**(224), 277–292.
- HREINN, H. 1984. Relations between petrography and the aggregate properties of Icelandic rocks. *Bulletin of the International association of Engineering Geology*

(30), 73–76.

- IGH 2001. *Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III – Kolnička konstrukcija*, Hrvatska: Institut Građevinarstva Hrvatske, 145p.
- IGH 2015. *Prilog 3, Program kontrole i osiguranja kvalitete*, Hrvatska: Institut Građevinarstva Hrvatske, 22p.
- ILIĆ, B. 2005a. *Elaborat o rezervama gabro-dijabaza kao tehničkog građevinskog kamena u ležištu Buljanski potok kod Svilajнца*, Geo Explorer doo, Beograd, 140p.
- ILIĆ, B. 2005b. *Projekat detaljnih geoloških istraživanja dijabaza kao tehničkog građevinskog kamena na području Lepenac - Razbojna*, Geo Explorer doo, Beograd, 40p.
- INSTITUT ZA PUTEVE AD 2013. *Neobjavljeni podaci iz baze podataka*, p.
- INSTITUT ZA PUTEVE AD BEOGRAD 2014. *Studija o proceni vrednosti osnovnih sredstava JP „Putevi Srbije“ na dan 01.01.2014., knjiga 1: Detaljni rezultati procene vrednosti državnih puteva Republike Srbije*, JP Putevi Srbije, p.
- INTERIM ADVICE NOTE 156/YY 2012. *Revision of Aggregate Specification for Pavement Surfacing*, 8p.
- JACOBS ENGINEERING 2009. *Code of Practice on Skid Resistance for Local Authority Roads. Project No 41*, Jacobs Engineering UK Limited ('Jacobs'), 23p.
- JAMES, N.P. 1984. Shallowing-upward sequences in carbonates. In *Facies Models: Geological Association of Canada, Geoscience Canada, Reprint Series 1* (ed. R. G. Walker), pp. 213–228.
- JOINT VENTURE NIEVELT – CPL 2015. *Tehničke specifikacije – PKK, Plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija, Rev No 01*, Srbija: JP Putevi Srbije, 282p.
- JONES, G. 1984. Evening Field Excursion to Criggion Quarry, led by Mr. German, with Notes by Mr. Lawrence Crump. In *Proceedings of the Shropshire Geological Society*, pp. 24–26., Shrewsbury: Shropshire Geological Society.
- JOVOVIĆ, M. 2005a. *Elaborat o rezervama dijabaza u ležištu Crna stena na planini Jelici kod Čačka, kao sirovina za tehničko-građevinski kamen*, Geozavod - Nemetali, Beograd, 118p.
- JOVOVIĆ, M. 2005b. *Elaborat o rezervama garba i dijabaza u ležištu Glavaj selo Rošci kod Čačka, kao sirovine za tehničko građevinski kamen*, Dobico doo, Beograd,

129p.

JP DIREKCIJA CESTA FEDERACIJE BiH, JP PUTEVI RS 2005. *Smernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Knjiga II – Građenje, Dio 2: Posebni tehnički uslovi (RS-FB&H/3CS-DDC 433/04)*, BiH: Direkcija cesta Federacije BiH, Sarajevo, JP Putevi Republike Srpske, Banja Luka, 153-256p.

JP PUTEVI SRBIJE 2009a. *Tehničke specifikacije, R.3.3 Opšti uslovi za asfaltne radove, Verzija 4*, Srbija: JP Putevi Srbije, 37-37p.

JP PUTEVI SRBIJE 2009b. *Tehnički uslovi za Koridor 10, Poglavlje 9: Asfaltni kolovozi, Verzija C-1*, JP Putevi Srbije, 38p.

JP PUTEVI SRBIJE 2010. *Baza podataka o putevima, izradio AD Centar za puteve Vojvodine, Nievelt-Labor GmbH (JV CPV-Nievelt)*, JP Putevi Srbije,p.

JP PUTEVI SRBIJE 2012a. *Technical specifications for Koridor 11, Section 09: Asphalt Pavements*, Srbija: JP Putevi Srbije, 943-964p.

JP PUTEVI SRBIJE 2012b. *Tehnički uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji, 2 Posebni tehnički uslovi, 2.4. Kolovozne konstrukcije*, Srbija: JP Putevi Srbije, 31-36p.

JP PUTEVI SRBIJE 2015. *Prezentacija: Projekat rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja (RRSP - Road Rehabilitation and Safety Project)*, Dostupno preko:<http://www.putevi-srbije.rs/index.php/organizacija/sektor-za-investicije/odeljenje-za-realizaciju-i-upravljanje>, 27p.

KALENIĆ, M., ĐORĐEVIĆ, M., KRSTIĆ, B., BOGDANOVIĆ, P., MILOSAKOVIĆ, R., DIVLJAN, M., ČIČULIĆ, M., DŽODŽO, R., RUDOLF, L., JOVANOVIĆ, L. 1976. *Tumač za list Bor L34-141, OGK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 69p.

KANE, M., DO, M.T., PIAU, J.M. 2010. On the Study of Polishing of Road Surface under Traffic Load. *Journal of Transportation Engineering* **136**(1), 45–51.

KANE, M., ARTAMENDI, I., SCARPAS, T. 2013. Long-term skid resistance of asphalt surfacings: Correlation between Wehner-Schulze friction values and the mineralogical composition of the aggregates. *Wear* **303**(1–2), 235–243.

KARAMATA, S. 2006. The geological development of the Balkan Peninsula related to the approach, collision and compression of Gondwanan and Eurasian units. In *Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region* (eds. A. Robertson, D. Mountrakis), pp. 155–178., London: Geological Society, Special Publications 260.

- KARAMATA, S., KRSTIĆ, B. 1996. Terranes of Serbia and neighbouring areas. In *Terranes of Serbia* (eds. V. Knezevic, B. Krstic), pp. 25–40., Beograd: Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Committee for Geodynamics of the Serbian Academy of Sciences and Art.
- KARAMATA, S., KRSTIĆ, B., DIMITRIJEVIĆ, M., DIMITRIJEVIĆ, V., KNEZEVIĆ, R., STOJANOV, J., FILIPOVIĆ, I. 1997. *Terranes between the Moesian plate and the Adriatic Sea. IGCP Project No. 276. Palaeozoic Geodynamic Domains and Their Alpidic Evolution in the Tethys, Terrane Maps and Terrane Descriptions 1996–1997* ed. Papanikolaou, 429–477p.
- KARAMATA, S., OLUJIĆ, J., PROTIĆ, L., MILOVANOVIĆ, D., VUJNOVIĆ, L., POPEVIĆ, A., MEMOVIĆ, E., RADOVANOVIĆ, Z., RESIMIĆ-ŠARIĆ, K. 2000. The western belt of the Vardar zone – the remnant of a marginal sea. In *Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone* (eds. S. Karamata, S. Janković), pp. 131–135., Zvornik, BiH.
- KHASAWNEH, M.A. 2008. *The development and verification of a new accelerated polishing machine*. The Graduate Faculty of The University of Akron, 251p.
- KORIDORI SRBIJE 2016. Koridor 10 i Koridor 11., available at:<http://www.koridorisrbije.rs>.
- KORRE, A., DURUCAN, S. 2009. *Life Cycle Assessment of Aggregates, EVA025 - Final Report: Aggregates Industry Life Cycle Assessment Model: Modelling Tools and Case Studies*, Imperial College London, 41p.
- KRAUTNER, H., KRSTIĆ, B. 2004. Geološka karta Karpatobalkanida., available at:<http://geoliss.mre.gov.rs/KarpatoBalk>.
- KRSTIĆ, B., KALENIĆ, M., DIVLJAN, M., MASLAREVIĆ, L., ĐORĐEVIĆ, M., DOLIĆ, D., ANTONIJEVIĆ, I. 1976. *Tumač za list Knjaževac K34-21 i Belogradčik K34-22, OGK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 78p.
- KUTTELWASCHER, C., ZUZIC, M. 2011. Track ballast in Austria. *Rail Infrastructure*, 11.
- LANCIERI, F., LOSA, M., MARRADI, A. 2005. Resistance to polishing and mechanical properties of aggregates for asphalt concrete wearing courses. In *Proceedings of 3rd International SHIV Congress 4*, pp. 162–178., Bari, Italy.
- LEAKE, B.E., WOOLLEY, A.R., ARPS, C.E.S., BIRCH, W.D., GILBERT, M.C., GRICE, J.D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H.J., KRIVOVICHEV, V.G., LINTHOUT, K.,

- LAIRD, J., MANDARINO, J.A., MARESCH, W. V, SCHUMACHER, J.C., SMITH, D.C., STEPHENSON, N.C.N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E.J.W., YOUZHI, G. 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *The Canadian Mineralogist* **35**, 219–246.
- LIU, H., KOU, S., LINDQVIST, P., LINDQVIST, J., ÅKESSON, U. 2005. *Microscope rock texture characterization and simulation of rock aggregate properties. SGU project 2005; 60-1362/2004*, Uppsala, 48p.
- MAHMOUD, E.M. 2005. *Development of experimental methods for the evaluation of aggregate resistance to polishing, abrasion, and breakage*, MsC. Office of Graduate Studies of Texas A&M University, 147p.
- LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B., LE BAS, M.J., BONIN, B., BATEMAN, P., BELLINI, G., DUDEK, A., EFREMOVA, S., KELLER, J., LAMEYRE, J., SABINE, P.A., SCHMID, R., SØRENSEN, H., WOOLLEY, A.R. 2002. *Igneous rocks: A classification and Glossary of Terms*, Cambridge University Press, 236p.
- MARKOVIĆ, B., PAVLOVIĆ, Z., TERZIN, V., UROŠEVIĆ, M., ANTONIJEVIĆ, R., MILOSAVLJEVIĆ, M., RAKIĆ, M., VUJISIĆ, T., BRKOVIĆ, T., JOVANOVIĆ, Ž., KAROVIĆ, J., MALEŠEVIĆ, M. 1968a. *Osnovna geološka karta 1:100.000, list Kraljevo K 34-6*, Beograd: Savezni geološki zavod, 1p.
- MARKOVIĆ, B., UROŠEVIĆ, M., PAVLOVIĆ, Z., TERZIN, V., JOVANOVIĆ, Ž., KAROVIĆ, J., VUJISIĆ, TUGOMIR ANTONIJEVIĆ, RADOJICA MALEŠEVIĆ, M., RAKIĆ, M. 1968b. *Tumač za list Kraljevo K34-6, OGK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 63p.
- MASAD, E., LUCE, A., MAHMOUD, E. 2006. *Implementation of AIMS in Measuring Aggregate Resistance to Polishing, Abrasion and Breakage. Report No. FHWA/TX-06/5-1707-03-1*, Austin, Texas, 232p.
- MCHW1 2008. *Manual of contract documents for Highway works. Volume 1: Specification for Highway works (MCHW1), Series 900 Road Pavements – Bituminous Bound Materials*, UK, 68p.
- MCHW2 2009. *Manual of Contract Documents For Highway Works. Volume 2: Notes for guidance on the Specification for Highway works (MCHW2), Series NG 700 Road Pavements*, UK, 62p.

- MILIĆEVIĆ, R., PAVLOVIĆ, Z. 2011. *Elaborat o rezervama garba kao tehničkog građevinskog kamena u ležištu Rakov Dol'' kod Babušnice*, Geosfera doo, Beograd, 189p.
- MOJSILOVIĆ, S., FILIPOVIĆ, I., BAKLAJIĆ, D., ĐOKOVIĆ, I., NAVALA, M. 1975a. *Osnovna geološka karta 1:100.000, list Valjevo L 34-136*, Beograd: Savezni geološki zavod, 1p.
- MOJSILOVIĆ, S., FILIPOVIĆ, I., AVRAMOVIĆ, V., PEJOVIĆ, D., TOMIĆ, R., BAKLAJIĆ, D., ĐOKOVIĆ, I., NAVALA, M. 1975b. *Tumač za list Valjevo K 34-136, O GK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 54p.
- MORIMOTO, N. 1989. Nomenclature of pyroxene. *The Canadian Mineralogist* **27**, 143–156.
- MUNJAS, B. 1997. *Projekat osnovnih geoloških istraživanja dijabaza kao tehničkog građevinskog kamena u nalazištu Drača II u selu Prevešt, opština Rekovac*, Institut za puteve dd, Beograd, 30p.
- NEAYLON, K. 2009. The PAFV test and road friction. In *AAPA 13th International Flexible Pavements Conference*, pp. 15.
- NICOLAS, R. 2002. *JMicroVision: Image analysis toolbox for measuring and quantifying components of high-definition images. Version 1.2.7.*
<http://www.jmicrovision.com>, p.
- O'FLAHERTY, C. 1974. *Highways. Vol.2, Highway engineering* Second Edi., London: Edward Arnold, 1974, 457p.
- ÖNORM B 3130:2009 Gesteinskörnungen für Asphalt. In *Ratgeber*, pp. 40–43., Österreich: Asamer, Transportbeton GmbH, Co KG.
- ONTARIO GEOLOGICAL SURVEY 1996. *Industrial Mineral Resource Assessment of the Nipissing Diabase: Highway 17 Corridor from Massey to Blind River and North Channel Islands* Mineral De., Toronto, Ontario: Ontario Geological Survey and Golder Associates Ltd., 44p.
- ORTIZ, E.M., MAHMOUD, E. 2014. Experimental procedure for evaluation of coarse aggregate polishing resistance. *Transportation Geotechnics* **1**(3), 106–118.
- PETROVIĆ, B., DIMITRIJEVIĆ, M., ČIKIN, M., CVETKOVIĆ, D., ROKIĆ, L., VELJKOVIĆ, D., STEFANOVIĆ, M., KARAMATA, S., DIMITRIJEVIĆ, M., JEVREMOVIĆ, M., PANTIĆ, N. 1973. *Osnovna geološka karta 1:100.000, list Vlasotinca K 34-45*, Beograd:

Savezni geološki zavod, 1p.

PETROVIĆ, B., DIMITRIJEVIĆ, M., KARAMATA, S. 1973. *Tumač za list Vlasotince K 34-45, OGK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 75p.

RAKIĆ, M., HADŽI-VUKOVIĆ, M., KALENIĆ, M., MARKOVIĆ, V., MILOVANOVIĆ, L., SA SARADNICIMA 1976a. *Osnovna geološka karta 1:100.000, list Kruševac K 34-19*, Beograd: Savezni geološki zavod, 1p.

RAKIĆ, M., HADŽI-VUKOVIĆ, MILAN DIMITRIJEVIĆ, M., KALENIĆ, M., MARKOVIĆ, V. 1976b. *Tumač za list Kruševac K 34-19, OGK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 63p.

RESIMIĆ-ŠARIĆ, K., KARAMATA, S., POPEVIĆ, A., BALOGH, K. 2000. The eastern branch of the Vardar zone – the scar of the main Vardar ocean. In *Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone* (eds. S. Karamata, S. Janković), pp. 81–85., Zvornik, BiH.

RHMZ SRBIJE 2016. Osnovne klimatske karakteristike na teritoriji Srbije (standardni normalni period 1961-1990)., available at:<http://www.hidmet.gov.rs/latin/meteor>.

RIGOPOULOS, I., TSIKOURAS, B., POMONIS, P., HATZIPANAGIOTOU, K. 2010. The influence of alteration on the engineering properties of dolerites: The examples from the Pindos and Vourinos ophiolites (northern Greece). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* **47**(1), 69–80.

RIGOPOULOS, I., TSIKOURAS, B., POMONIS, P., HATZIPANAGIOTOU, K. 2011. Microcracks in ultrabasic rocks under uniaxial compressive stress. *Engineering Geology* **117**(1–2), 104–113.

RIGOPOULOS, I., TSIKOURAS, B., POMONIS, P., HATZIPANAGIOTOU, K. 2012. The impact of petrographic characteristics on the engineering properties of ultrabasic rocks from northern and central Greece. *Quarterly Journal of Engineering Geology, Hydrogeology* **46**(4), 423–433.

RIGOPOULOS, I., TSIKOURAS, B., POMONIS, P., HATZIPANAGIOTOU, K. 2013. Determination of the interrelations between the engineering parameters of construction aggregates from ophiolite complexes of Greece using factor analysis. *Construction and Building Materials* **49**, 747–757.

ROBERTSON, A., KARAMATA, S. 1994. The role of subduction–accretion processes in the tectonic evolution of the Mesozoic Tethys in Serbia. *Tectonophysics* **234**(1–2), 73–

94.

- ROGERS, C. 1998. Canadian experience with the micro-Deval test for aggregates. In *Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation* (ed. J. Latham), pp. 139–147., London: Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication No 13.
- ROGERS, C., GORMAN, B., LANE, B. 2002. Skid-resistant aggregates in Ontario. In *10th Annual Symposium: Aggregates - Asphalt Concrete, Portland Cement Concrete, Bases and Fines*, pp. 38., Austin, TX 78705-2650 USA: International Center for Aggregates Research.
- RVS 08.97.05:2010 *Anforderungen an Asphaltmischgut, Technical Contract Conditions, Materials, Requirements on Bituminous Mixtures*, Österreich: Österreichische forschungsgesellschaft strasse, 44p.
- ŠARIĆ, K., CVETKOVIĆ, V., ROMER, R.L., CHRISTOFIDES, G., KORONEOS, A. 2009. Granitoids associated with East Vardar ophiolites (Serbia, F.Y.R. of Macedonia and northern Greece): origin, evolution and geodynamic significance inferred from major and trace element data and Sr-Nd-Pb isotopes. *Lithos* **108**, 131–150.
- SARMA ([HTTP://WWW.SARMAPROJECT.EU/](http://www.sarmaproject.eu/)) Sustainable aggregate resource management (SARM).
- SCHMID, M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K. 2008. The Alps-Carpathians-Dinarides-connection: a correlation of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences* **101**, 139–183.
- SÉTRA 2008. *The use of standards for hot mixes, Technical guide*, France: The Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety (Sétra), 37p.
- SHABANI, S., AHMADINEJAD, M., AMERI, M. 2013. Developing a model for estimation of polished stone value (PSV) of road surface aggregates based on petrographic parameters. *International Journal of Pavement Engineering* **14**(3), 242–255.
- SLOANE, D.J. 1991. *Division of Mines and Mineral Resources - Report 1991/22*, Tasmania Department of Resources and Energy, 5p.
- SMITH, M., COLLIS, L. 1993. *Aggregates – sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes* second edi., London: The Geological Society, Engineering

- Geology, Special publication No 9, 339p.
- SNAP-SEE ([HTTP://SNAPSEE.EU/](http://snapsee.eu/)) The Sustainable Aggregates Planning in South East Europe.
- SPECIFICATION 49 2009. *Stone Mastic Asphalt for Airfields*, UK: Ministry of Defence, 59p.
- SRPS B.B8.015:1984 *Nacionalni standard Srbije: Ispitivanje otpornosti prema habanju brušenjem (Böhme)*, Savezni zavod za standardizaciju, 5p.
- SRPS B.B8.045:1978 *Nacionalni standard Srbije: Ispitivanje prirodnog i drobljenog agregata mašinom 'Los Angeles'*, Savezni zavod za standardizaciju, 4p.
- SRPS EN 1097-1:2013 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanje mehaničkih i fizičkih svojstava agregata - Deo 1: Određivanje otpornosti prema habanju (mikro-Deval)*, Tehnički komitet CEN/TC154, 17p.
- SRPS EN 1097-6:2007 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanje mehaničkih i fizičkih svojstava agregata - Deo 6: Određivanje stvarne zapreminske mase i upijanja vode*, Tehnički komitet CEN/TC154, 28p.
- SRPS EN 1097-6 A1:2009 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanje mehaničkih i fizičkih svojstava agregata - Deo 6: Određivanje stvarne zapreminske mase i upijanja vode - Izmena 1*, Tehnički komitet CEN/TC154, 8p.
- SRPS EN 1097-8:2010 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanje mehaničkih i fizičkih svojstava agregata - Deo 8: Određivanje koeficijenta poliranja kamena*, Tehnički komitet CEN/TC154, 32p.
- SRPS EN 12407:2008 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Metode ispitivanja prirodnog kamena - Petrografski opis*, Tehnička komisija KS U246, 17p.
- SRPS EN 13043:2007 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Agregati za bitumenske mešavine i površinsku obradu kolovoza, aerodroma i drugih saobraćajnih površina*, Tehnički komitet CEN/TC154, 45p.
- SRPS EN 1367-2:2010 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanja toplotnih i vremenskih uticaja na svojstva agregata —*

- Deo 2: Ispitivanje magnezijum-sulfatom, Tehnički komitet CEN/TC154, 16p.
- SRPS EN 13755:2009 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Metode ispitivanja prirodnog kamena - Određivanje upijanja vode pri atmosferskom pritisku*, Tehnički komitet CEN/TC 246, 8p.
- SRPS EN 16236:2014 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Vrednovanje usaglašenosti agregata — Početno ispitivanje tipa i fabrička kontrola proizvodnje*, Tehnički komitet CEN/TC154, 21p.
- SRPS EN 1936:2009 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Metode ispitivanja prirodnog kamena - Određivanje stvarne i prividne zapreminske mase i ukupne i otvorene poroznosti*, Tehnički komitet CEN/TC 246, 12p.
- SRPS EN 932-3:2008 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanja opštih svojstava agregata - Deo 3: Postupak i terminologija za pojednostavljeni petrografski opis*, Tehnički komitet CEN/TC154, 16p.
- SRPS EN 933-4:2010 *Evropski standard odobren od CEN-a, Evropskog komiteta za standardizaciju: Ispitivanja geometrijskih svojstava agregata — Deo 4: Određivanje oblika zrna — Indeks oblika*, Tehnički komitet CEN/TC154, 13p.
- SRPS U.E4.014:1990 *Nacionalni standard Srbije: Izrada habajućih slojeva od asfaltnih betona po vrućem postupku*, Tehnički uslovi, Savezni zavod za standardizaciju, 44p.
- STEWART, I. 1984. Skid resistance of marginal durability aggregates. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* (29), 449–452.
- STRECKEISEN, A. 1973. Plutonic rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. *Geotimes* **18**(10), 26–30.
- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews. International Magazine for Geo-Scientists* **12**, 1–33.
- SUBOTIĆ, P. 1997. *Priručnik za asfalt*, Beograd: Institut za puteve, 476p.
- THOMPSON, A. 2008. High specification aggregates for road surfacing materials in England – updating the Travers Morgan report. In *Proceedings of the 14th Extractive Industry Geology Conference, EIG Conferences*, 109p. (ed. G. Walton),

pp. 91–98.

THOMPSON, A., BURROWS, A., FLAVIN, D., WALSH, I. 2004. *The Sustainable Use of for Skid-Resistant Road Surfacing in England High Specification Aggregates*, Capita Symonds Ltd., East Grinstead, 167p.

TOMKEIEFF, S.I. 1983. *Dictionary of petrology*, John Wiley and Sons Ltd., 680p.

UEPG 2005. *Statement on CE Marking and European Aggregates Standards*, 11p.

UEPG Annual Review 2014-2015, EU Transparency Register: 15340821653-49, 36p.

UEPG Annual Review 2016-2017, EU Transparency Register: 15340821653-49, 32p.

VUJISIĆ, T., NAVALA, M., LONČAREVIĆ, Č., KALENIĆ, M., HADŽI-VUKOVIĆ, M. 1981a. *Osnovna geološka karta 1:100.000, list Lapovo L 34-I 39*, Beograd: Savezni geološki zavod, 1p.

VUJISIĆ, T., KALENIĆ, M., NAVALA, M., LONČAREVIĆ, Č. 1981b. *Tumač za list Lapovo K 34-139, O GK 1:100.000*, Beograd: Savezni geološki zavod, 61p.

VAN DE WALL, I.A.R.G. 1993. *Degradation of Aggregates Applied in Porous Road Surfaces aggregate concrete breakwater*, Memoirs of the Centre of Engineering Geology in the Netherlands, 107, 155p.

WANG, D., CHEN, X., YIN, C., OESER, M., STEINAUER, B. 2013. Influence of different polishing conditions on the skid resistance development of asphalt surface. *Wear* **308**(1–2), 71–78.

WANG, D., CHEN, X., STANJEK, H., OESER, M., STEINAUER, B. 2014a. Influence of freeze–thaw on the polishing resistance of coarse aggregates on road surface. *Construction and Building Materials* **64**, 192–200.

WANG, D., CHEN, X., OESER, M., STANJEK, H., STEINAUER, B. 2014b. Study of micro-texture and skid resistance change of granite slabs during the polishing with the Aachen Polishing Machine. *Wear* **318**(1–2), 1–11.

WIKIMEDIA COMMONS New map of motorways in Serbia.svg., available at: commons.wikimedia.org/wiki/File:New_m.

WIKIPEDIA 2016. Klima Evrope., available at: https://sh.wikipedia.org/wiki/Klima_E.

WOODSIDE, A., WOODWARD, W. 1998. Assessing the wear characteristics of aggregate exposed at the road surface. In *Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation* (ed. J. Latham), pp. 149–157., London: Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication No 13.

- WOODSIDE, A., WOODWARD, D. 2002. Chapter 18 - Wet skid resistance. In *Highways (Fourth Edition)*, pp. 479–499., Elsevier Ltd.
- WOODSIDE, A., LYLE, P., WOODWARD, W., PERRY, M. 1998. Possible problems with high PSV aggregate of the gritstone trade group. In *Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation* (ed. J. Latham), pp. 159–167., Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication No 13.
- WOODWARD, D. 2000. Assessing aggregates for use in asphalts. In *Asphalts in road construction* (ed. R. N. Hunter), pp. 1–44., London: Thomas Telford Publishing.
- WOODWARD, D., WOODSIDE, A., JELLIE, J. 2005. Higher PSV and other aggregate properties. In *1st International Conference on surface Friction, Roads and Runways, Christchurch*, pp. 12., New Zealand.
- XIROUCHAKIS, D. 2013. Correlations between mechanical and geometrical parameters in aggregates: a tool for quality assessment and control. In *Proceedings of the 13th International Congress*, pp. 12., Chania: Bulletin of the Geological Society of Greece.
- ZAKARIADZE, G., KARAMATA, S., KORIKOVSKY, S., ARISKIN, A., ADAMIA, S., CHKHOTUA, T., SERGEEV, S., SOLOV, E.N. 2012. The Early-Middle Palaeozoic Oceanic Events Along the Southern European Margin: The Deli Jovan Ophiolite Massif (NE Serbia) and Palaeo-oceanic Zones of the Great Caucasus. *Turkish Journal of Earth Science* **21**, 635–668.

PRILOZI

SPISAK PRILOGA

- PRILOG 1. Tehnički uslovi kvaliteta agregata za izradu habajućih i nosećih slojeva puta (odabrana svojstva) koji se primenjuju u Evropi.
- PRILOG 2. Minimalne PSV vrednosti za agregate u UK.
- PRILOG 3. Tehnički uslovi kvaliteta agregata za izradu habajućih i nosećih slojeva puta (odabrana svojstva) koji se primenjuju u Srbiji i zemljama eks Yu republika (primer Hrvatske i BiH).
- PRILOG 4. Modalni sastav ispitivanih uzoraka bazičnih stena.
- PRILOG 5. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi albitskih dolerita.
- PRILOG 6. Hemijske analize piroksena u podgrupi albitskih dolerita.
- PRILOG 7. Hemijske analize hlorita u u podgrupi albitskih dolerita.
- PRILOG 8. Hemijske analize amfibola u podgrupi albitskih dolerita.
- PRILOG 9. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi bezpiroksenskih dolerita.
- PRILOG 10. Hemijske analize amfibola u podgrupi bezpiroksenskih dolerita.
- PRILOG 11. Hemijske analize hlorita u podgrupi bezpiroksenskih dolerita.
- PRILOG 12. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi doleritnih breča.
- PRILOG 13. Hemijske analize piroksena u podgrupi doleritnih breča.
- PRILOG 14. Hemijske analize hlorita u podgrupi doleritnih breča.
- PRILOG 15. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi gabrova.
- PRILOG 16. Hemijske analize piroksena u podgrupi gabrova.
- PRILOG 17. Hemijske analize hlorita u podgrupi gabrova.
- PRILOG 18. Hemijske analize amfibola u podgrupi gabrova.
- PRILOG 19. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi metagabrova.
- PRILOG 20. Hemijske analize amfibola u podgrupi metagabrova.
- PRILOG 21. Hemijske analize hlorita u podgrupi metagabrova.
- PRILOG 22. Hemijske analize plagioklasa u grupi spilita.
- PRILOG 23. Hemijske analize zametaka piroksena u grupi spilita.
- PRILOG 24. Hemijske analize hlorita u grupi spilita.

RILOG 1. Tehnički uslovi kvaliteta agregata za izradu habajućih i nosećih slojeva puta (odabrana svojstva) koji se primenjuju u Evropi.

Tehnički uslovi kvaliteta agregata u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine, kategorije puta i saobraćajnog opterećenja									
TEHNIČKA SVOJSTVA AGREGATA	Velika Britanija DMRB (2006), IAN 156/yy (2012), MCHW1,2 (2008, 2009)	Velika Britanija Spec.49 (2008)		Austrija - ÖNORM B 3130 (2009)		Austrija RVS 08.97.05 (2010)		Francuska Sétra (2008)	Nemačka FGSV 613 E (2007)
primenljivost	Putevi i mostovi	Aerodromi		Opšti		Opšti		Opšti	Opšti
	habajući sloj	SMA ² (primer mešavine) za habajući sloj	SMA (primer mešavine) za noseći sloj	habajući sloj	noseći sloj	habajući sloj	noseći sloj	habajući sloj	SMA za habajući sloj
KLASE AGREGATA	CE znak	CE znak	CE znak	CE znak	CE znak	G1, G2, G3, GS	G4, G5, G6, G7, G8, G9	Kodovi Anc, Bnc, Cnc, Dnc	CE znak
EN 13043 Agregati za bitumenske mešavine	prirodni, reciklirani, proizvedeni (veštački) treba da su čisti, tvrdi, postojani	krupan agregat - drobljeni sitan agregat – prirodni, drobljeni	krupan agregat – drobljeni, šljaka, prirodni sitan agregat – prirodni, drobljeni	usaglašen sa standardom	usaglašen sa standardom	usaglašen sa standardom	usaglašen sa standardom	usaglašen sa standardom	određeno
EN 1097-6 Zapreminske mase	-	nije primenljivo ua šljaku	šljaka ≥ 1,12 Mg/m ³	u opsegu 0,06 Mg/m ³ (npr. 2,7 Mg/m ³ do 2,76 Mg/m ³)		-	-	-	određeno
EN 1097-6 Upijanje vode max	WA ₂₄ 2 ¹	WA ₂₄ 2	drobljeni, prirodni - WA ₂₄ 2 šljaka - WA ₂₄ 4	-	-	WA ₂₄ 1 (u najkrupnijoj frakciji)	WA ₂₄ 2 (u najkrupnijoj frakciji)	-	Wcm 0,5
EN 1097-2 Otpornost na drobljenje „Los Angeles“ (%) max	- drobljeni, prirodni LA ₃₀ do 35 - šljaka LA ₅₀	LA ₃₀	drobljeni, šljaka - LA ₃₀ šljunak - LA ₂₅	LA ₁₅ , LA ₂₀ , LA ₂₅	LA ₂₅ , LA ₃₀ , LA ₄₀	G1, GS – LA ₂₀ G2, G3 - LA ₂₅	G4, G7 - LA ₂₅ G5, G8, G9 – LA ₃₀ G6 – LA ₄₀	Anc - LA ₂₀ Bnc - LA ₂₀ Cnc - LA ₂₅ Dnc – LA ₃₀	SZ ₁₈ /LA ₂₀ SZ ₂₂ /LA ₂₅ SZ ₂₆ /LA ₃₀
EN 1097-8 Polimost min	PSV ₅₀ do 68 ⁺	- pista PSV ₅₀ - pista velike frek. saobraćaja PSV ₅₅ - rulna staza PSV ₄₄ - rulna staza niske frek. saobraćaja PSV _{NR} ³	-	PSV ₅₀ , PSV ₄₄ , PSV _{propisano}	PSV _{NR}	G1, GS - PSV ₅₀ G2 - PSV ₄₄ G3 - PSV _{propisano}	G4, G5, G6 - PSV _{NR} G7, G8, G9 - PSV _{propisano}	Anc – PSV ₅₆ Bnc - PSV ₅₀ Cnc - PSV ₅₀	PSV _{NR} PSV određeno (42) PSV određeno (48) PSV određeno (51)
EN 1097-8 Habanje max	AAV ₁₀ do 16	-	-	-	-	-	-	-	-
EN 1097-1 Otpornost na habanje mikro-Deval (%) max	-	-	-	-	-	MB _F NR	MB _F NR	Anc - M _{DE} 15 Bnc - M _{DE} 15 Cnc - M _{DE} 20 Dnc - M _{DE} 25	-
EN 933-4 Oblik zrna 3:1 (%) max	-	-	-	SI ₁₅ , SI ₂₀ , SI ₂₅	4/8: SI ₂₅ , SI ₃₀ , SI ₃₅ D>8mm: SI ₂₀ , SI ₂₅ , SI ₃₀ , SI ₃₅	G1, G2, G3, GS – SI ₁₅	-	-	SI ₂₀
EN 933-3 Indeks pljosnatosti max	FI ₂₀	FI ₂₅	FI ₂₅	-	-	-	-	FI _{20,25}	FI ₂₀
EN 1367-1 Postojanost na mraz zam./odm. max	-	-	-	F ₁ ⁴	F ₂ ⁵	F ₁ ⁴	F ₂ ⁵	-	F ₁
EN 1367-2 5 ciklusa MgSO ₄ max	MS ₂₅	-svaki kamenolom MS ₁₈ - svaka frakcija MS ₃₀	-svaki kamenolom MS ₁₈ - svaka frakcija MS ₃₀	-	-	-	-	-	-
EN 1367-3 Sonnenbrand (samo za bazalte) max	-	-		SB _{LA} (max povećanje težine 1% i LA 8)		SB _{LA}	SB _{LA}	-	SB _{SZ} /SB _{LA}

¹ Ako je veće od WA₂₄ 2 mora se ispitati test postojanosti; ² SMA²-Stone mastics asphalt; ³ PSV_{NR}- nije zahtevano; ^{4,5} Za WA₂₄ 1 F₁, a za WA₂₄ 2 važi F₂. Ako je dostupna granulacija >32mm, WA se ispituje na najkrupnijim zrnima.

PRILOG 2. Minimalne PSV vrednosti za agregate u UK

Minimalne PSV vrednosti za agregate u sistemima tanakih površinskih obrada po vrućem postupku gde se primenjuju agregati veličine zrna veće od 10mm i druge bitumenske površinske obrade. (Interim Advice Note 156/YY, 2012 – Draft verzija za EU, Revizija Specifikacija agregata za površinska presvlačenja HD36/06).

[illegible]

Beleške:

1. Kategorije puta su grupisane prema njihovim opštim karakteristikama i situacijama u saobraćaju. Istražni nivoi (IL) za pojedine kategorije puta (otpor prema klizanju) su definisane u HD 28 (DMRB 7.3.1). IL koji se ovde koriste moraju da budu za određenu lokaciju na kojoj materijal treba da se postavi, kako je utvrđeno procedurom HD 28.
2. Autoput ili magistralni put sa razdvojenim kolovozom po smerovima, mogu se razvrstati u nekoliko grupa u zavisnosti od njihovog rasporeda. Na primer, deonica slobodnog toka koja se uliva u glavni tok može biti u grupi 1, dok se potez na kraju deonice gde se spajaju kolovozi može svrstati u grupu 3. Neke deonice puta sa razdvojenim kolovozom sa nagibom mogu se svrstati u 4 grupu. Koristi najprikladniji grupu u zavisnosti od kategorije puta iz HD 28, koji se koristio za određivanje IL.
3. Gde je „68 +“ materijal naveden u ovoj tabeli, nijedan od tri najnovija rezultata uzastopnih PSV testova koji se odnose na agregate koji se isporučuju ne sme pasti ispod 68.
4. U ovoj tabeli, HFS znači specijalizovanu površinu visokog trenja, koja uključuje agregat kalcinisanog boksita i u skladu je sa tačkom 924 u specifikaciji (MCHV 1). Gde je HFS potrebna na prilazima opasnosti, minimalna dužina tretmana mora biti 50m. Ovo se može produžiti gde saobraćajna gužva ili preglednost ukazuju da 50m možda nije dovoljno dugo.
5. Za kategorije puta G1/G2, S1/S2 i R bilo koji PSV u datom opsegu nivoa saobraćajnog opterećenja može se koristiti za bilo koji IL i treba ga odabrati na osnovu lokalnog iskustva ponašanja materijala. U nedostatku ovih informacija, vrednosti date za odgovarajući IL i saobraćajno opterećenje mora se koristiti.
6. Kada su projektanti upoznati sa materijom ili imaju druga iskustva sa posebnim uslovima puta, alternativne PSV vrednosti se mogu odrediti.
7. Kategorije puta K i Q ne treba primenjivati na cirkularnim delovima kružne raskrsnice.
8. Neke nadgledajuće organizacije ne dozvoljavaju upotrebu agregata sa PSV ispod 0,55.

PRIOLOG 3. Tehnički uslovi kvaliteta agregata za izradu habajućih i nosećih slojeva puta (odabrana svojstva) koji se primenjuju u Srbiji i zemljama eks Yu republika (primer Hrvatske i BiH).

TEHNIČKA SVOJSTVA AGREGATA	Tehnički uslovi kvaliteta agregata u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine, kategorije puta i saobraćajnog opterećenja								
	Srbija SRPS (JUS) U.E4.014 (1990)	Srbija JP Putevi Srbije (2009a)	Srbija JP Putevi Srbije, TU za Koridor 10 (2009b)	Srbija JP Putevi Srbije, TU za Koridor 11(2012a)	Srbija JP Putevi Srbije, TU za građenje puteva u RS (2012b)		Srbija Joint Venture Nievelt – CPL, TS PKK za rehabilitacije (2015)	Hrvatska IGH, TU za radove na cestama, dodatak Prilog 3 (2001, 2015)	Bosana i Hercegovina JP Direkcija cesta Federacije BiH, JP Putevi RS (2005)
primenljivost	Standard	Opšti	Autoput	Autoput	Rehabilitacije		Rehabilitacije	Opšti	Posebni
	habajući sloj	habajući sloj	SMA, AC ⁴ za habajući sloj	SMA, BC ⁵ za habajući sloj	habajući sloj	noseći sloj	AC ⁶ za habajući sloj	habajući sloj	AC za habajuće i zaštitne slojeve
klase/vrsta agregata	drobljeni silikatni i karbonatni, prirodni	drobljeni, silikatni	drobljeni silikatni	SMA drobljeni silik. BC drobljeni karbon.	Z1, Z2, Z3,	Z4, Z5, Z6	drobljeni silikatni i karbonatni	KS-E ⁶ -I,II,III KS-S ⁷ -I,II,III,IV	drobljeni silikatni i karbonatni, prirodni
SRPS B.B8.012 Čvrstoća na pritisak kamena (MPa) min	- autoput i v. teško 160 - srednje 140 - lako i v. lako 120	- autoput i v. teško 160 - srednje 140 - lako i v. lako 120	AC 160	BC 120	-	-	-	K-I 160 s K-II 140 s,k K-III, IV 120 k	-
SRPS B.B8.015 Habanje struganjem kamena (cm3/50 cm2) max	- autoput i v. teško 12 - srednje 18 - lako i v. lako 35	- autoput i v. teško 12 - srednje 18 - lako i v. lako 35	AC 12	BC 35	-	-	-	K-I 12 s K-II 18 s,k K-III 22 k K-IV 25 k	-
SRPS B.B8.010 Upijanje vode kamena (%) max	- autoput i v. teško 0,75 - srednje 0,75 - lako i v. lako 1	- autoput i v. teško 0,75 - srednje 0,75 - lako i v. lako 1	-	-	-	-	-	K-I 0,75 s K-II 0,75 s,k K-III 1 k; K-IV 1,2 k	-
EN 13043 Agregati za bitumenske mešavine Naredba o obaveznom atestiranju 41/1987	- usaglašen sa naredbom	- usaglašen sa naredbom i SRPS U.E4.014	- usaglašen sa naredbom i SRPS U.E4.014	- usaglašen sa naredbom i SRPS U.E4.014	usaglašen sa standardom	usaglašen sa standardom	usaglašen sa standardom	-	usaglašen sa standardom
EN 1097-6 Zapreminske mase	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EN 1097-6, ISO 6783 Upijanje vode max	1,6	1,6	1,2	1,2	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1,6 ili veća ako je otporan na mraz	WA ₂₄ 1,6s; 1,2k SMA 1,2s	WA ₂₄ 2
EN 1097-2 SRPS B.B8.045 Otpornost na drobljenje „Los Angeles“ (%) max	autoput i v. teško – 16 s teško – 18 s srednje –22 s, 25 k ¹ lako –22 s, 28 k vrlo lako- 22 s, 30 k	autoput i v. teško –18 s teško –18 s srednje –22 s lako –22 s vrlo lako- 25 s	- SMA 18 - AC 16	- SMA 18 - BC 22	Z1 – LA ₂₀ Z2 – LA ₂₅ Z3 – LA ₃₀	Z4 – LA ₃₀ Z5 – LA ₃₀ Z6 – LA ₄₀	- autoput, v.teško i teško LA ₂₀ - srednje, lako, v. lako LA ₂₅	KS-E-I LA ₁₆ KS-E-II LA ₁₈ KS-E-III LA ₂₂ KS-S-I LA ₂₅ KS-S-II, IV LA ₂₈ KS-S-III LA ₃₀	izuzetno i jako teško – LA _{16s} , teško – LA _{18s} , srednje - LA _{22s} , 28k, lako - LA _{22s} , 30k, vrlo lako- LA _{22s} , 35k
EN 1097-8 SRPS B.B8.120 Polirnost min	autoput i v. teško – VPK _{48s} teško – VPK _{48s} srednje – VPK _{48s,30k} ² lako – VPK _{45s,30k} vrlo lako- VPK _{NR} ³	autoput i v. teško – VPK _{48s} teško – VPK _{48s} srednje – VPK _{48s,30k} lako – VPK _{45s,30k} vrlo lako- VPK _{NR}	SMA – VPK ₄₈	SMA – VPK ₄₈	Z1 – PSV ₅₀ Z2 – PSV ₅₀ Z3 – PSV ₃₀	Z4, Z5, Z6 – PSV _{NR}	- autoput, v.teško i teško PSV ₅₀ - srednje, lako, v. lako PSV _{NR} određuje se	KS-E-I VPK ₅₆ KS-E-II, III VPK ₅₀ KS-S-I,II VPK ₄₄ (SMA) KS-S-III,IV VPK _{NR}	izuzetno i jako teško – PSV _{50s} , teško – PSV _{50s} , srednje - PSV _{50s,30k} lako – PSV _{45s,30k} , vrlo lako- PSV _{45s}
EN 1097-8 Habanje max	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EN 1097-1 Otpornost na habanje mikro-Deval (%) max	-	-	-	-	M _{DE} NR – navesti vrednosti	M _{DE} NR	M _{DE} 20	-	-
EN 933-4 Oblik zrna 3:1 (%) max SRPS B.B8.048	- 20	- 20	- SMA – 20	- SMA – 20	SI ₂₀	SI ₂₀	- ap., v.teško i teško SI ₁₅ - sre., lako, v. lako SI ₂₀ -	SI ₂₀ SMA SI ₁₀	SI ₂₀ -
EN 933-3 Indeks pliosnatosti max	-	-	-	-	FI ₂₀	FI ₂₀	-	-	-

PRILOG 3. (nastavak)

nastavak									
EN 1367-1 Postojanost na mraz	-	-	-	-	-	-	F ₁	-	-
EN 1367-2 5 ciklusa MgSO ₄ max SRPS B.B8.044	-	-	-	-	MS ₁₈	MS _{NR}	-	-	drobljeni, prirodni - MS ₂₅
5 ciklusa NaSO ₄ max	3 silikatni; 5 karbonatni	3 silikatni	3 silikatni	3 silikatni	-	-	-	3 silikatni i karbonatni; 5 prirodni	drobljeni silik.- MS ₁₈ 5
EN 1367-3 Sonnenbrand (samo za bazalte) max	-	-	-	-	SB i SB _{LA} navesti vrednosti	SB i SB _{LA} navesti vrednosti	-	-	-

¹s-silikatna, k-karbonatna, ²VPK vrednost polimosti, ³NR . nije zahtevano; ⁴AC-Asphalt concrete; ⁵BC- bitumen concrete; ⁶E- eruptivno poreklo; ⁷S-sedimentno poreklo.

PRILOG 4. Modalni sastav ispitivanih uzoraka bazičnih stena.

	DI-1	DI-2	TA-S	TA-K	PR-S/P	PR-K	RD-D	ZD-S	ZD-K	ZD-KA	CS-1	CS-2	GL-1	RD-G	MO-1	BP-2/2	BP-2/1	RO	MO-2
Pl	51	55	54	50	40	51	39	46	40	48	51	51	42	48	60	46	53	69	56
Am								48	47	44			6			53	43		
Cpx	17	16	17	21	21	11					22	24	24	10	9			25	
Ep									1					19					1
Qtz	1						3			2			1		2		2	1	12
Prh	8	9	5	1	21	12		1											
Ttn	2	2	1	2				1	6	3	5	5	1	2	10	1			
Ap							1												
Op	4	4	4	2	6	3	3	4	1	1	5	6	3	0	0	0	1	3	4
$\Sigma\tau$	83	86	81	76	88	77	46	100	95	98	83	86	77	79	81	100	99	98	73
Chl	16	14	19	24	12	23	29		5	2	16	11	21	21	19		1	1	21
Ser							7												
Cal	1						18				1	3	2					1	6
Σm	17	14	19	24	12	23	54	0	5	2	17	14	23	21	19	0	1	2	27
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Legenda: Pl-plagioklas, Am-amfibol, Cpx-klinopiroksen, Ep-epidot, Qtz-kvarc, Prh-prenit, Ttn-titanit, Ap-apatit, Op-metalični iminerali, $\Sigma\tau$ -zbir minerala sa relativnom tvrđinom >5, Chl-hlorit, Ser-sericit, Cal-klacit, Σm -zbir minerala sa relativnom tvrđinom <5, Σ -ukupan zbir minerala u steni.

PRILOG 5. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi albitskih dolerita.

Uzorak	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-2	DI-2	TA-S	TA-S	TA-K	TA-K	TA-K	PR-S/P	PR-S/P	PR-S/P	PR-K	PR-K	PR-K	PR-K
Broj snimka	Site 3	Site 3	Site 4	Site 4	Site 5	Site 5	Site 2	Site 2	Site 1	Site 2	Site 2	Site 2	Site 2	Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 1	Site 2	Site 5
tačka	Sp3	Sp4	Sp8	Sp10	Sp4	Sp5	Sp2	Sp3	Sp6	Sp1	Sp1	Sp2	Sp7	Sp1	Sp4	Sp1	Sp3	Sp4	Sp6	Sp1
Mineral	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab
SiO₂	66,66	66,72	66,31	67,06	67,14	66,76	65,47	66,13	67,81	67,79	66,42	66,55	66,70	67,40	67,26	67,52	67,01	67,31	68,12	67,10
Al₂O₃	20,69	20,70	20,45	20,69	20,78	20,82	21,23	21,08	20,27	20,27	20,69	20,99	20,63	21,09	21,23	20,49	20,11	20,27	20,57	20,69
FeO	0,36	0,41	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,22	0,32	0,00	0,00	0,00	0,27
CaO	0,41	0,44	0,48	0,48	0,47	0,53	0,78	0,80	0,24	0,27	0,64	0,96	0,44	0,50	1,07	0,42	0,13	0,29	0,31	0,73
Na₂O	10,60	10,63	10,60	10,77	10,90	10,73	10,22	10,65	11,11	11,10	10,70	10,55	10,83	11,07	10,70	10,93	11,03	11,01	11,35	11,09
K₂O	0,14	0,20	0,09	0,00	0,00	0,00	0,28	0,09	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
Ukupno	98,86	99,10	97,93	99,00	99,59	98,84	97,98	98,75	99,43	99,43	98,45	99,22	99,12	100,06	100,48	99,68	98,41	98,88	100,35	99,88
proračun na bazi 8 kiseonika																				
Si	2,944	2,942	2,953	2,953	2,944	2,946	2,920	2,927	2,973	2,972	2,944	2,932	2,942	2,941	2,927	2,956	2,970	2,968	2,963	2,939
Al	1,077	1,076	1,073	1,074	1,074	1,083	1,116	1,100	1,047	1,047	1,081	1,090	1,072	1,085	1,089	1,057	1,051	1,053	1,054	1,068
Fe³⁺	0,013	0,015	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,008	0,012	0,000	0,000	0,000	0,010
Z	4,034	4,032	4,027	4,027	4,029	4,029	4,035	4,026	4,020	4,020	4,025	4,022	4,027	4,025	4,024	4,025	4,021	4,021	4,017	4,017
Ca	0,019	0,021	0,023	0,023	0,022	0,025	0,037	0,038	0,011	0,013	0,030	0,045	0,021	0,023	0,050	0,020	0,006	0,014	0,014	0,034
Na	0,908	0,909	0,915	0,920	0,927	0,918	0,884	0,914	0,944	0,944	0,920	0,901	0,926	0,936	0,903	0,928	0,948	0,941	0,957	0,942
K	0,008	0,011	0,005	0,000	0,000	0,000	0,016	0,005	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000
X	0,935	0,941	0,943	0,942	0,949	0,943	0,937	0,957	0,956	0,956	0,950	0,956	0,956	0,960	0,953	0,948	0,961	0,955	0,972	0,976
Or	0,8	1,2	0,5	0,0	0,0	0,0	1,7	0,5	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
Ab	97,1	96,6	97,0	97,6	97,7	97,3	94,3	95,5	98,8	98,7	96,8	94,3	96,8	97,6	94,8	97,9	98,6	98,6	98,5	96,5
An	2,1	2,2	2,4	2,4	2,3	2,7	4,0	4,0	1,2	1,3	3,2	4,7	2,2	2,4	5,2	2,1	0,6	1,4	1,5	3,5

PRILOG 6. Hemijske analize piroksena u podgrupi albitskih dolerita.

Uzorak	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-1	DI-2	DI-2	DI-2	DI-2	DI-2	DI-2	TA-S	TA-S	TA-S	TA-S
Broj snimka	Site 1	Site 1	Site 1	Site 3	Site 3	Site 3	Site 4	Site 4	Site 5	Site 5	Site 1	Site 1	Site 1	Site 2	Site 4	Site 4	Site 1	Site 1	Site 1	Site 2
tačka	Sp1	Sp2	Sp3	Sp1	Sp2	Sp5	Sp3	Sp4	Sp1	Sp2	Sp1	Sp2	Sp3	Sp5	Sp1	Sp2	Sp1	Sp2	Sp5	Sp3
Mineral	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx/chl	CPx/chl
SiO ₂	51,49	51,01	49,38	51,83	51,03	51,21	48,70	49,53	51,73	52,66	50,49	50,07	50,93	51,41	51,42	51,89	52,11	52,56	50,89	51,28
TiO ₂	0,70	0,75	1,24	0,47	0,66	0,82	1,41	1,33	0,62	0,38	1,05	1,02	0,52	0,59	0,64	0,67	0,27	0,30	0,42	0,29
Al ₂ O ₃	1,99	2,28	2,99	1,67	2,00	2,39	3,47	2,67	2,16	1,66	1,69	2,11	2,46	2,77	2,19	2,62	1,70	1,68	3,05	3,15
FeO	7,71	8,15	11,04	8,34	7,88	8,19	12,13	12,65	10,20	9,13	13,18	11,50	8,21	6,47	8,35	6,87	5,39	5,27	7,16	6,89
MnO	0,00	0,29	0,30	0,34	0,00	0,22	0,49	0,37	0,26	0,30	0,41	0,54	0,00	0,00	0,28	0,19	0,19	0,00	0,17	0,00
MgO	16,87	16,39	14,54	17,38	16,71	16,58	13,75	13,75	17,64	17,57	13,89	14,08	17,29	16,56	15,88	17,68	17,83	17,48	16,10	16,95
CaO	19,29	19,46	19,15	18,07	19,52	19,38	18,76	18,61	17,24	18,42	18,39	19,60	18,00	20,45	20,21	19,59	19,96	20,97	19,79	19,36
Na ₂ O	0,00	0,00	0,20	0,00	0,18	0,00	0,25	0,17	0,00	0,18	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno	98,05	98,33	98,84	98,10	97,98	98,79	98,96	99,08	99,85	100,3	99,31	98,92	97,41	98,25	98,97	99,51	97,45	98,47	97,58	97,92
proračun na bazi 6 kiseonika																				
Si	1,932	1,914	1,865	1,943	1,914	1,912	1,847	1,881	1,911	1,931	1,915	1,900	1,919	1,920	1,922	1,909	1,949	1,949	1,918	1,917
Al	0,068	0,086	0,133	0,057	0,086	0,088	0,153	0,119	0,089	0,069	0,076	0,094	0,081	0,080	0,078	0,091	0,051	0,051	0,082	0,083
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>T</i>	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,020	0,015	0,000	0,017	0,002	0,017	0,002	0,000	0,005	0,003	0,000	0,000	0,028	0,041	0,018	0,022	0,024	0,022	0,053	0,056
Fe ³⁺	0,009	0,029	0,079	0,013	0,059	0,026	0,090	0,055	0,049	0,058	0,040	0,041	0,023	0,006	0,024	0,032	0,012	0,000	0,005	0,010
Ti	0,020	0,021	0,035	0,013	0,019	0,023	0,040	0,038	0,017	0,010	0,030	0,029	0,015	0,017	0,018	0,019	0,008	0,008	0,012	0,008
Mg	0,943	0,917	0,819	0,957	0,920	0,923	0,777	0,778	0,929	0,929	0,785	0,797	0,934	0,922	0,885	0,927	0,957	0,963	0,905	0,925
Fe ²⁺	0,008	0,018	0,067	0,000	0,000	0,012	0,091	0,128	0,000	0,000	0,144	0,133	0,000	0,014	0,055	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000
<i>M1</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,015	0,015	0,000	0,000	0,000	0,043	0,032	0,000	0,000	0,037	0,000	0,000	0,042	0,038	0,003	0,000	0,019
Fe ²⁺	0,225	0,208	0,201	0,248	0,188	0,218	0,204	0,218	0,266	0,222	0,224	0,186	0,236	0,182	0,182	0,180	0,157	0,163	0,195	0,205
Mn	0,000	0,009	0,010	0,011	0,000	0,007	0,016	0,012	0,008	0,009	0,013	0,017	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	0,000	0,005	0,000
Ca	0,775	0,782	0,775	0,726	0,784	0,775	0,762	0,757	0,682	0,724	0,747	0,797	0,727	0,818	0,809	0,772	0,800	0,833	0,799	0,776
Na	0,000	0,000	0,015	0,000	0,013	0,000	0,018	0,013	0,000	0,013	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>M2</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg#	79,6	77,6	69,6	78,1	79,1	77,8	66,0	65,3	75,0	76,9	64,6	67,6	79,0	82,0	76,6	81,7	85,1	85,5	79,7	81,4
Fe ₂ O ₃	0,33	1,02	2,85	0,46	2,11	0,92	3,14	1,94	1,76	2,09	1,75	1,63	0,80	0,21	0,86	1,14	0,43	0,00	0,17	0,37
FeO	7,41	7,23	8,48	7,92	5,98	7,37	9,30	10,91	8,62	7,25	11,61	10,03	7,49	6,29	7,58	5,84	5,01	5,27	7,00	6,56
En	48,1	46,7	41,9	49,3	47,5	47,1	40,1	39,9	49,1	48,7	40,0	40,3	49,6	47,5	45,1	49,5	50,5	49,2	46,8	48,8
Fs	12,3	13,5	18,4	13,8	12,6	13,4	20,6	21,2	16,4	14,7	22,0	19,4	13,2	10,4	13,7	11,1	8,9	8,3	11,9	11,1
Wo	39,5	39,8	39,7	36,9	39,9	39,5	39,3	38,8	34,5	36,7	38,1	40,3	37,1	42,1	41,2	39,4	40,6	42,4	41,3	40,1

PRILOG 6. Hemijske analize piroksena u podgrupi albitskih dolerita (nastavak).

Uzorak	TA-S	TA-S	TA-S	TA-K	TA-K	TA-K	PR-S/P	PR-S/P	PR-S/P	PR-S/P	PR-S/P	PR-S/P	PR-S/P	PR-K	PR-K	PR-K	PR-K	PR-K	PR-K
Broj snimka	Site 2	Site 2	Site 3	Site 1	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2	Site 2	Site 3	Site 3	Site 3	Site 7	Site 1	Site 1	Site 2	Site 3	Site 3	Site 3
tačka	Sp4	Sp5	Sp2	Sp1	Sp2	Sp4	Sp1	Sp2	Sp3	Sp2	Sp4	Sp5	Sp1	Sp1	Sp2	Sp5	Sp1	Sp2	Sp4
Mineral	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx
SiO ₂	51,10	52,90	51,59	51,70	52,19	50,28	52,90	51,87	52,20	51,26	52,96	52,72	53,58	49,93	51,13	50,96	51,26	49,76	51,46
TiO ₂	0,65	0,31	0,29	0,36	0,27	0,57	0,59	0,52	0,53	0,72	0,60	0,46	0,51	0,56	0,62	0,83	0,70	0,00	0,53
Al ₂ O ₃	2,61	2,13	3,10	1,96	1,24	1,72	1,75	1,69	1,45	2,54	1,69	1,42	2,06	1,09	1,89	1,80	1,87	4,38	1,45
FeO	10,47	6,23	6,90	7,70	8,85	17,05	9,01	9,06	7,65	7,32	7,84	7,28	5,88	18,23	9,96	8,69	7,72	26,06	8,90
MnO	0,38	0,19	0,00	0,00	0,33	0,44	0,21	0,23	0,27	0,28	0,23	0,28	0,00	0,60	0,27	0,29	0,31	0,59	0,24
MgO	15,54	18,43	17,27	16,28	17,90	13,54	16,69	15,83	17,12	15,99	17,89	17,33	17,27	11,37	15,43	15,44	15,92	8,55	16,46
CaO	18,71	18,95	19,22	20,01	18,22	15,85	19,33	19,07	19,28	20,53	18,13	19,42	21,10	18,11	18,94	19,79	19,52	9,69	18,24
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,22	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,18	0,21	0,39	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,41	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
Ukupno	99,46	99,33	98,37	98,01	99,00	99,45	100,75	98,49	98,50	99,20	99,75	99,20	100,40	99,89	98,61	97,98	97,78	99,42	97,28
proračun na bazi 6 kiseonika																			
Si	1,911	1,942	1,918	1,943	1,938	1,924	1,937	1,949	1,949	1,904	1,946	1,952	1,950	1,925	1,922	1,927	1,935	1,951	1,954
Al	0,089	0,058	0,082	0,057	0,054	0,076	0,063	0,051	0,051	0,096	0,054	0,048	0,050	0,050	0,078	0,073	0,065	0,049	0,046
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,026	0,034	0,054	0,030	0,000	0,002	0,013	0,023	0,013	0,015	0,019	0,014	0,039	0,000	0,006	0,007	0,018	0,153	0,019
Fe ³⁺	0,026	0,000	0,011	0,007	0,047	0,042	0,037	0,015	0,008	0,038	0,000	0,000	0,000	0,042	0,064	0,032	0,007	0,000	0,000
Ti	0,018	0,009	0,008	0,010	0,008	0,016	0,016	0,015	0,015	0,020	0,017	0,013	0,014	0,016	0,018	0,024	0,020	0,000	0,015
Cr	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,012	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000
Mg	0,866	0,952	0,926	0,912	0,945	0,772	0,911	0,886	0,953	0,885	0,953	0,956	0,937	0,654	0,865	0,870	0,896	0,500	0,932
Fe ²⁺	0,063	0,000	0,000	0,041	0,000	0,168	0,023	0,061	0,011	0,032	0,000	0,009	0,010	0,288	0,048	0,067	0,052	0,347	0,034
M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg	0,000	0,056	0,031	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,238	0,191	0,203	0,194	0,219	0,336	0,216	0,209	0,220	0,158	0,241	0,217	0,169	0,232	0,202	0,176	0,185	0,507	0,249
Mn	0,012	0,006	0,000	0,000	0,010	0,014	0,007	0,007	0,009	0,009	0,007	0,009	0,000	0,020	0,009	0,009	0,010	0,020	0,008
Ca	0,750	0,745	0,766	0,806	0,725	0,650	0,758	0,768	0,771	0,817	0,714	0,770	0,823	0,748	0,763	0,802	0,789	0,407	0,742
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,016	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,013	0,015	0,030	0,000
M2	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,989	0,996	0,992	1,000	1,000	1,000	1,000	0,963	0,998
Mg#	71,8	83,6	81,7	79,0	77,6	58,0	76,3	75,2	79,4	78,9	79,8	80,3	84,0	51,8	72,9	75,4	77,9	36,4	76,2
Fe ₂ O ₃	0,93	0,00	0,40	0,24	1,98	1,45	1,34	0,52	0,27	1,36	0,00	0,00	0,00	2,33	2,25	1,13	0,24	0,00	0,00
FeO	9,63	6,23	6,54	7,49	7,06	15,75	7,81	8,59	7,40	6,10	7,84	7,28	5,88	16,13	7,94	7,68	7,50	26,06	8,90
Wo	38,3	38,2	39,5	41,1	36,2	32,8	38,9	39,4	39,1	42,1	36,8	39,3	42,4	37,2	39,1	41,0	40,7	22,9	37,8
Fs	17,4	10,1	11,1	12,3	14,3	28,2	14,5	15,0	12,5	12,2	12,8	11,9	9,2	30,2	16,5	14,5	13,1	49,1	14,8
En	44,3	51,7	49,4	46,5	49,5	39,0	46,7	45,6	48,3	45,7	50,5	48,8	48,3	32,5	44,4	44,5	46,2	28,1	47,4

PRILOG 7. Hemijske analize hlorita u podgrupi albitskih dolerita.

Uzorak	DI-1	DI-1	DI-1	DI-2	TA-S	TA-S	TA-S	TA-S	TA-K	TA-K	TA-K	TA-K	TA-K	PR-S/P	PR-S/P	PR-K	PR-K	PR-K	PR-K
Broj snimka	Site 3	Site 4	Site 4	Site 2	Site 1	Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 2	Site 4	Site 5	Site 1	Site 3	Site 1	Site 2	Site 5	Site 5
tačka	Sp6	Sp5	Sp6	Sp4	Sp3	Sp4	Sp2	Sp1	Sp3	Sp3	Sp4	Sp1	Sp3	Sp4	Sp3	Sp5	Sp7	Sp2	Sp3
Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
SiO ₂	26,56	28,01	26,03	28,57	26,89	28,99	29,07	28,07	31,59	29,22	37,01	27,56	29,11	28,65	29,01	26,48	29,31	27,46	27,07
Al ₂ O ₃	17,83	18,97	18,97	16,75	16,05	17,02	16,51	16,94	19,11	18,70	10,92	17,09	17,45	17,35	16,89	19,32	16,33	16,79	17,37
FeO	33,00	27,28	30,02	24,99	25,34	23,66	24,00	24,99	25,11	23,59	22,49	25,24	23,95	27,34	26,62	31,86	29,25	29,42	29,90
MnO	0,37	0,59	0,47	0,23	0,32	0,40	0,36	0,33	0,00	0,27	0,57	0,23	0,38	0,34	0,00	0,35	0,26	0,00	0,00
MgO	11,19	14,19	12,75	16,46	15,37	16,76	16,31	16,29	17,28	17,50	13,67	16,29	15,95	15,21	15,87	11,11	14,90	12,91	12,53
CaO	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,46	0,63	0,00	0,61	0,00	4,95	0,00	0,38	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00
Ukupno	88,95	89,04	88,24	87,34	83,97	87,29	86,88	86,62	93,70	89,28	89,61	86,41	87,22	88,89	88,39	89,46	90,05	86,58	86,87
proračun na bazi 28 kiseonika																			
Si	5,755	5,852	5,602	6,026	5,951	6,072	6,134	5,975	6,126	5,948	7,493	5,894	6,101	5,996	6,071	5,661	6,107	5,986	5,897
Al	2,245	2,148	2,398	1,974	2,049	1,928	1,866	2,025	1,874	2,052	0,507	2,106	1,899	2,004	1,929	2,339	1,893	2,014	2,103
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	2,307	2,523	2,413	2,190	2,137	2,274	2,240	2,224	2,494	2,435	2,099	2,202	2,411	2,275	2,237	2,528	2,117	2,299	2,357
Mg	3,614	4,419	4,090	5,176	5,070	5,234	5,131	5,169	4,996	5,311	4,126	5,194	4,983	4,745	4,951	3,541	4,628	4,195	4,069
Fe	5,979	4,766	5,403	4,408	4,690	4,145	4,235	4,448	4,073	4,016	3,808	4,514	4,198	4,785	4,659	5,696	5,097	5,363	5,447
Mn	0,068	0,104	0,086	0,041	0,060	0,071	0,064	0,059	0,000	0,047	0,098	0,042	0,067	0,060	0,000	0,063	0,046	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,077	0,000	0,103	0,142	0,000	0,127	0,000	1,074	0,000	0,085	0,000	0,000	0,078	0,000	0,000	0,000
	11,969	11,813	11,992	11,892	11,956	11,827	11,813	11,901	11,690	11,808	11,204	11,952	11,744	11,865	11,846	11,906	11,888	11,858	11,873

PRILOG 8. Hemijske analize amfibola u podgrupi albitskih dolerita.

Uzorak	TA-K	TA-K	PR-K
Broj snimka	Site 3	Site 3	Site 5
tačka	Sp1	Sp2	Sp4
Mineral	Am	Am	Am
SiO ₂	50,73	39,60	48,81
TiO ₂	0,00	4,78	0,86
Al ₂ O ₃	2,22	12,03	2,60
FeO	21,19	12,97	22,94
MnO	0,60	0,26	0,36
MgO	9,62	11,89	10,04
CaO	12,06	10,74	9,49
Na ₂ O	0,25	1,92	1,81
K ₂ O	0,00	0,00	0,51
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,26
Ukupno	96,67	94,19	97,68
O=Cl	0,00	0,00	0,00
O=F	0,00	0,00	0,00
Ukupno	96,67	94,19	97,68
preračun katjona na 23 kiseonika, Ca-Na-K = 13			
Si	7,676	5,975	7,278
Al ^{IV}	0,324	2,025	0,457
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,265
<i>T</i>	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,072	0,114	0,000
Ti	0,000	0,542	0,096
Fe ³⁺	0,269	0,793	0,846
Cr	0,000	0,000	0,031
Mg	2,170	2,674	2,232
Fe ²⁺	2,413	0,843	1,750
Mn	0,077	0,033	0,045
<i>C(M1,M2,M3)</i>	5,000	5,000	5,000
Mg	0,000	0,000	0,000
Ca	1,955	1,736	1,516
Na	0,045	0,264	0,484
<i>B(M4)</i>	2,000	2,000	2,000
Na	0,028	0,298	0,039
K	0,000	0,000	0,097
<i>A</i>	0,028	0,298	0,136
Mg#	0,474	0,760	0,561
Fe ₂ O ₃	2,36	6,99	9,90
FeO	19,07	6,68	14,03
Grupa	Ca	Ca	Ca
Subgrupa Ca	A	D	A

PRILOG 9. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi bezpiroksenskih dolerita.

Uzorak	RD-D	RD-D	RD-D	RD-D	RD-D	RD-D	ZD-S	ZD-S	ZD-S	ZD-S	ZD-S	ZD-S	ZD-S	ZD-S	ZD-S
Broj snimka	Site 2	Site 2	Site 3	Site 4	Site 4	Site 4	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2	Site 3	Site 3	Site 3	Site 3	Site 3
tačka	Sp3	Sp4	Sp6	Sp2	Sp3	Sp7	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5
Mineral	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-lab	Pl-ab	Pl-lab	Pl-and	Pl-lab	Pl-and	Pl-and	Pl-ab	Pl-lab
SiO₂	67,02	67,57	67,75	67,24	66,42	67,26	54,05	67,33	53,11	59,07	51,67	57,03	54,95	65,59	53,22
Al₂O₃	20,26	20,49	20,5	20,05	20,28	20,15	29,1	20,2	29,8	25,89	30,01	27,04	29,08	22,29	29,94
FeO	0,35	0,29	0,34	0,00	0,35	0,20	0,67	0,36	0,72	0,36	0,85	0,46	0,26	0,35	0,95
CaO	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	10,65	0,15	11,70	6,70	12,38	8,32	9,98	1,55	11,85
Na₂O	10,89	10,99	11,07	10,95	10,62	10,85	5,42	11,33	4,72	7,51	4,21	6,78	5,76	10,21	4,35
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,31	0,00
Ukupno	98,52	99,34	99,77	98,24	97,67	98,46	99,89	99,37	100,05	99,53	99,31	99,63	100,03	100,30	100,31
proračun na bazi 8 kiseonika															
Si	2,965	2,964	2,961	2,979	2,961	2,974	2,442	2,960	2,402	2,643	2,363	2,564	2,471	2,871	2,399
Al	1,056	1,059	1,056	1,047	1,066	1,050	1,550	1,047	1,588	1,365	1,618	1,433	1,541	1,150	1,591
Fe³⁺	0,013	0,011	0,012	0,000	0,013	0,007	0,025	0,013	0,027	0,013	0,033	0,017	0,010	0,013	0,036
Z	4,034	4,034	4,030	4,027	4,040	4,032	4,017	4,020	4,017	4,021	4,013	4,014	4,022	4,033	4,025
Ca	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,516	0,007	0,567	0,321	0,607	0,401	0,481	0,073	0,572
Na	0,934	0,935	0,938	0,941	0,918	0,930	0,475	0,966	0,414	0,651	0,373	0,591	0,502	0,866	0,380
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,017	0,000
X	0,934	0,935	0,943	0,941	0,918	0,930	0,990	0,973	0,981	0,973	0,991	0,992	0,983	0,956	0,952
Or	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	1,8	0,0
Ab	100,0	100,0	99,5	100,0	100,0	100,0	47,9	99,3	42,2	67,0	37,7	59,6	51,1	90,6	39,9
An	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	52,1	0,7	57,8	33,0	61,2	40,4	48,9	7,6	60,1

PRILOG 9. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi bezpiroksenskih dolerita (nastavak).

Uzorak	ZD-K	ZD-K	ZD-K	ZD-K	ZD-K	ZD-K	ZD-K	ZD-K	ZD-KA	ZD-KA	ZD-KA	ZD-KA
Broj snimka	Site 1	Site 1	Site 1	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2	Site 2	Site 1	Site 1	Site 5	Site 5
tačka	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp1	Sp2	Sp3	Sp1	Sp2	Sp1	Sp2
Mineral	Pl-an	Pl-lab	Pl-ol	Pl-lab	Pl-lab	Pl-bit	Pl-ab	Pl-bit	Pl-lab	Pl-ol	Pl-lab	Pl-ol
SiO ₂	41,89	52,66	61,04	50,97	51,20	49,49	66,83	49,73	49,6	60,98	49,96	64,22
Al ₂ O ₃	24,16	30,24	23,25	30,86	31,07	31,77	20,39	31,64	31,23	24,43	31,71	22,9
FeO	1,17	0,00	0,00	0,53	0,00	0,75	0,00	0,77	0,59	0,00	0,67	0,00
CaO	26,67	11,81	4,14	12,84	12,37	14,04	0,55	14,09	13,51	4,70	13,49	3,49
Na ₂ O	0,00	4,52	8,34	3,90	4,14	3,09	10,52	3,23	3,48	8,3	3,38	9,83
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,11	0,00
Ukupno	93,89	99,23	96,77	99,10	98,78	99,14	98,29	99,46	98,51	98,41	99,32	100,44
proračun na bazi 8 kiseonika												
Si	2,141	2,396	2,779	2,334	2,346	2,274	2,962	2,279	2,293	2,737	2,289	2,820
Al	1,455	1,622	1,248	1,666	1,678	1,720	1,065	1,709	1,701	1,292	1,712	1,185
Fe ³⁺	0,050	0,000	0,000	0,020	0,000	0,029	0,000	0,030	0,023	0,000	0,026	0,000
Z	3,646	4,018	4,027	4,020	4,024	4,023	4,027	4,017	4,017	4,029	4,027	4,005
Ca	1,460	0,576	0,202	0,630	0,607	0,691	0,026	0,692	0,669	0,226	0,662	0,164
Na	0,000	0,399	0,736	0,346	0,368	0,275	0,904	0,287	0,312	0,722	0,300	0,837
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,006	0,000
X	1,460	0,975	0,938	0,976	0,975	0,966	0,930	0,979	0,987	0,948	0,969	1,001
Or	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,7	0,0
Ab	0,0	40,9	78,5	35,5	37,7	28,5	97,2	29,3	31,6	76,2	31,0	83,6
An	100,0	59,1	21,5	64,5	62,3	71,5	2,8	70,7	67,8	23,8	68,3	16,4

PRILOG 10. Hemijske analize amfibola u podgrupi bezpiroksenskih dolerita

Uzorak	ŽD-S	ŽD-S	ŽD-S	ŽD-S	ŽD-S	ŽD-S	ŽD-K	ŽD-K	ŽD-K	ŽD-K	ŽD-K	ŽD-K	ŽD-KA	ŽD-KA	ŽD-KA	ŽD-KA	ŽD-KA	ŽD-KA	ŽD-KA
Broj snimka	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2	Site 3	Site 3	Site 1	Site 2	Site 2	Site 2	Site 2	Site 2	Site 1	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2	Site 2	Site 3
tačka	Sp3	Sp4	Sp1	Sp2	Sp6	Sp7	Sp1	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp4	Sp5	Sp6	Sp1	Sp2	Sp3	Sp1
Mineral	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am	Am
SiO ₂	52.27	49.11	49.91	50.91	50.16	51.62	50.15	49.65	51.27	51.00	51.63	51.76	52.27	52.11	52.86	52.06	48.93	50.69	52.03
TiO ₂	0.38	0.27	0.00	0.33	0.62	0.52	0.76	0.50	0.39	0.56	0.62	0.84	0.53	0.53	0.50	0.69	1.40	1.04	0.78
Al ₂ O ₃	1.95	4.48	4.43	3.02	3.59	2.83	2.66	3.60	3.19	2.49	2.83	2.38	2.46	2.69	2.42	2.37	6.29	3.66	2.45
FeO	15.72	15.84	15.18	16.96	17.36	16.42	17.70	15.79	15.04	18.93	13.65	16.72	13.74	13.65	13.79	16.00	7.49	12.61	16.33
MnO	0.31	0.19	0.00	0.28	0.24	0.21	0.30	0.19	0.42	0.53	0.30	0.44	0.26	0.34	0.23	0.39	0.00	0.19	0.23
MgO	13.52	12.92	13.00	12.63	12.26	12.87	12.82	13.46	14.28	13.52	15.34	13.92	15.59	15.39	15.42	14.07	16.99	15.16	13.61
CaO	12.07	12.18	12.26	12.20	11.54	11.80	11.41	11.38	11.51	9.30	11.55	10.70	11.28	11.39	11.70	11.13	12.76	12.40	11.78
Na ₂ O	0.00	0.43	0.35	0.25	0.50	0.24	0.43	0.49	0.41	0.37	0.22	0.33	0.34	0.32	0.46	0.25	0.59	0.18	0.46
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.28
Cr ₂ O ₃	0.19	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ukupno	96.41	95.42	95.45	96.58	96.38	96.51	96.36	95.31	96.51	96.70	96.24	97.09	96.47	96.42	97.38	96.96	94.45	96.04	98.01
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O=F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ukupno	96.41	95.42	95.45	96.58	96.38	96.51	96.36	95.20	96.51	96.70	96.24	97.09	96.47	96.42	97.38	96.96	94.45	96.04	98.01
preračun katjona na 23 kiseonika, Ca-Na-K = 13																			
Si	7.672	7.316	7.419	7.524	7.422	7.588	7.406	7.360	7.443	7.303	7.460	7.451	7.507	7.500	7.568	7.515	7.148	7.396	7.541
Al ^{IV}	0.328	0.684	0.581	0.476	0.578	0.412	0.463	0.629	0.546	0.420	0.482	0.404	0.416	0.456	0.408	0.403	0.852	0.604	0.419
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.131	0.011	0.011	0.277	0.058	0.145	0.077	0.044	0.024	0.082	0.000	0.000	0.040
T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al ^{VI}	0.009	0.103	0.195	0.050	0.048	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.231	0.026	0.000
Ti	0.042	0.030	0.000	0.037	0.069	0.057	0.084	0.056	0.043	0.060	0.067	0.091	0.057	0.057	0.054	0.075	0.154	0.114	0.085
Fe ³⁺	0.416	0.508	0.343	0.418	0.568	0.435	0.666	0.656	0.775	1.621	0.749	0.974	0.813	0.783	0.607	0.823	0.152	0.401	0.449
Cr	0.022	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	2.958	2.869	2.881	2.783	2.704	2.820	2.823	2.974	3.091	2.886	3.304	2.987	3.338	3.302	3.291	3.028	3.700	3.298	2.941
Fe ²⁺	1.513	1.466	1.544	1.678	1.580	1.584	1.389	1.290	1.040	0.369	0.843	0.894	0.761	0.816	1.020	1.027	0.763	1.138	1.497
Mn	0.039	0.024	0.000	0.035	0.030	0.026	0.038	0.024	0.052	0.064	0.037	0.054	0.032	0.041	0.028	0.048	0.000	0.023	0.028
C(M1,M2,M3)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Ca	1.898	1.944	1.952	1.932	1.830	1.858	1.805	1.807	1.790	1.427	1.788	1.650	1.736	1.756	1.795	1.721	1.997	1.939	1.829
Na	0.000	0.056	0.048	0.068	0.143	0.068	0.123	0.141	0.115	0.103	0.062	0.092	0.095	0.089	0.128	0.070	0.003	0.051	0.129
B(M4)	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.000	0.068	0.053	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.164	0.000	0.000
A	0.000	0.068	0.053	0.003	0.021	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.164	0.020	0.052
Mg#	0.662	0.662	0.651	0.624	0.631	0.640	0.670	0.698	0.748	0.887	0.797	0.770	0.814	0.802	0.763	0.747	0.829	0.743	0.663
Fe ₂ O ₃	3.77	4.53	3.07	3.76	5.10	3.93	7.17	5.98	7.20	17.61	7.42	10.33	8.23	7.64	5.86	8.33	1.38	3.65	4.49
FeO	12.33	11.76	12.42	13.58	12.77	12.88	11.25	10.41	8.56	3.08	6.97	7.43	6.33	6.78	8.52	8.51	6.25	9.33	12.35
Grupa	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
Subgrupa Ca	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

PRILOG 11. Hemijske analize hlorita u podgrupi bezpiroksenskih dolerita.

Uzorak	RD-D	RD-D	RD-D	RD-D	ŽD-K	ŽD-K	ŽD-K	ŽD-KA	ŽD-KA
Broj snimka	Site 2	Site 2	Site 3	Site 4	Site 2	Site 5	Site 5	Site 3	Site 4
tačka	Sp1	Sp2	Sp2	Sp8	Sp11	Sp1	Sp3	Sp2	Sp3
Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
SiO ₂	24.77	25.94	26.76	25.33	29.66	24.76	25.58	25.29	24.89
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67
Al ₂ O ₃	20.96	20.64	20.37	21.20	19.98	20.81	19.48	20.89	21.96
FeO	26.31	25.01	26.78	26.40	24.47	27.84	28.98	27.94	30.09
MnO	1.11	0.80	0.70	0.93	0.34	0.36	0.27	0.28	0.45
MgO	13.58	14.45	13.78	14.00	14.91	12.87	12.95	13.08	12.07
Ukupno	86.73	86.84	88.39	88.15	90.80	86.64	87.26	87.48	90.13
proračun na bazi 28 kiseonika									
Si	5.344	5.523	5.631	5.365	5.968	5.371	5.536	5.422	5.234
Al	2.656	2.477	2.369	2.635	2.032	2.629	2.464	2.578	2.766
	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al	2.674	2.703	2.683	2.658	2.706	2.691	2.506	2.699	2.677
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.106
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	4.368	4.587	4.323	4.421	4.472	4.162	4.178	4.180	3.784
Fe	4.747	4.453	4.713	4.677	4.117	5.050	5.246	5.009	5.292
Mn	0.203	0.144	0.125	0.167	0.058	0.066	0.049	0.051	0.080
	11.991	11.887	11.843	11.988	11.663	11.969	11.979	11.939	11.939

PRILOG 12. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi doleritnih breča.

Uzorak	CS-1	CS-1	CS-1	CS-1	CS-2	CS-2	CS-2	CS-2
Broj snimka	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2	Site 1	Site 1	Site 6	Site 6
tačka	Sp3	Sp4	Sp3	Sp5	Sp1	Sp9	Sp1	Sp2
Mineral	Pl-lab	Pl-lab	Pl-ab	Pl-ol	Pl-ab	Pl-ol	Pl-ab	Pl-ol
SiO₂	54,60	54,59	66,06	62,38	68,13	64,51	65,89	65,19
Al₂O₃	28,41	28,64	21,16	22,64	20,92	22,96	22,18	23,06
FeO	0,74	0,64	0,40	1,31	0,00	0,21	0,00	0,29
CaO	9,92	10,45	0,37	3,10	0,00	2,27	1,55	2,25
Na₂O	5,49	5,21	10,43	8,65	11,02	9,59	9,91	9,88
K₂O	0,00	0,00	0,62	0,19	0,00	0,34	0,19	0,12
Ukupno	99,16	99,53	99,04	98,27	100,07	99,88	99,72	100,79
proračun na bazi 8 kiseonika								
Si	2,478	2,469	2,921	2,800	2,963	2,838	2,890	2,841
Al	1,519	1,527	1,103	1,198	1,072	1,191	1,147	1,184
Fe³⁺	0,028	0,024	0,015	0,049	0,000	0,008	0,000	0,011
Z	4,025	4,020	4,038	4,046	4,036	4,037	4,037	4,036
Ca	0,482	0,506	0,018	0,149	0,000	0,107	0,073	0,105
Na	0,483	0,457	0,894	0,753	0,929	0,818	0,843	0,835
K	0,000	0,000	0,035	0,011	0,000	0,019	0,011	0,007
X	0,965	0,963	0,947	0,913	0,929	0,944	0,926	0,947
Or	0,0	0,0	3,7	1,2	0,0	2,0	1,1	0,7
Ab	50,0	47,4	94,5	82,5	100,0	86,6	91,0	88,2
An	50,0	52,6	1,9	16,3	0,0	11,3	7,9	11,1

PRILOG 13. Hemijske analize piroksena u podgrupi doleritnih breča.

Uzorak	CS-1	CS-1	CS-1	CS-1	CS-1	CS-1	CS-1	CS-1	CS-2	CS-2	CS-2	CS-2	CS-2	CS-2
Broj snimka	Site 1	Site 4	Site 4	Site 4	Site 4	Site 5	Site 5	Site 5	Site 1a	Site 1a	Site 1b	Site 1b	Site 1b	Site 3
tačka	Sp2	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp7	Sp1	Sp2	Sp3	Sp1
Mineral	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx
SiO₂	48,53	52,25	50,09	49,26	53,20	51,89	48,94	48,04	49,50	48,06	52,30	51,20	52,60	51,59
TiO₂	2,33	0,55	1,13	1,74	0,54	0,56	1,51	1,98	1,60	2,13	0,48	0,86	0,64	0,71
Al₂O₃	3,72	1,44	3,19	3,50	1,47	1,76	3,33	3,82	4,36	4,10	2,03	3,34	2,23	2,99
FeO	11,38	8,24	8,22	12,37	9,24	9,03	12,24	14,64	9,45	13,04	6,40	7,24	6,17	6,69
MnO	0,32	0,21	0,00	0,24	0,33	0,27	0,37	0,48	0,25	0,26	0,00	0,22	0,28	0,23
MgO	14,15	17,97	14,94	13,44	18,21	18,95	13,64	12,15	15,04	13,15	16,65	16,15	16,66	16,02
CaO	19,09	17,77	20,33	19,35	17,34	15,52	18,91	18,72	19,48	19,28	20,93	20,49	21,28	20,95
Na₂O	0,00	0,16	0,17	0,19	0,00	0,00	0,20	0,27	0,25	0,28	0,22	0,25	0,16	0,22
Cr₂O₃	0,00	0,36	0,55	0,00	0,21	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,82	0,84	0,95
Ukupno	99,52	98,95	98,62	100,09	100,54	98,22	99,14	100,10	99,93	100,30	99,78	100,57	100,86	100,35
proračun na bazi 6 kiseonika														
Si	1,831	1,938	1,883	1,852	1,936	1,855	1,824	1,838	1,806	1,925	1,876	1,917	1,894	
Al	0,165	0,062	0,117	0,148	0,052	0,064	0,145	0,171	0,162	0,182	0,075	0,124	0,083	0,106
T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,000	0,001	0,025	0,007	0,011	0,013	0,004	0,000	0,029	0,000	0,013	0,020	0,013	0,024
Fe³⁺	0,036	0,021	0,008	0,056	0,000	0,006	0,070	0,083	0,062	0,094	0,007	0,027	0,000	0,004
Ti	0,066	0,015	0,032	0,049	0,015	0,016	0,043	0,057	0,045	0,060	0,013	0,024	0,018	0,020
Cr	0,000	0,011	0,016	0,000	0,006	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,024	0,024	0,028
Mg	0,796	0,952	0,837	0,753	0,968	0,958	0,771	0,688	0,832	0,737	0,913	0,882	0,905	0,877
Fe²⁺	0,101	0,000	0,082	0,134	0,000	0,000	0,113	0,173	0,032	0,109	0,031	0,023	0,040	0,049
M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg	0,000	0,041	0,000	0,000	0,026	0,095	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe²⁺	0,218	0,234	0,169	0,199	0,283	0,276	0,205	0,203	0,199	0,195	0,159	0,171	0,148	0,153
Mn	0,010	0,007	0,000	0,008	0,010	0,009	0,012	0,015	0,008	0,008	0,000	0,007	0,009	0,007
Ca	0,772	0,706	0,819	0,780	0,680	0,620	0,768	0,761	0,775	0,776	0,825	0,804	0,831	0,824
Na	0,000	0,012	0,012	0,014	0,000	0,000	0,015	0,020	0,018	0,020	0,016	0,018	0,011	0,016
M2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000
En	41,1	50,6	43,7	39,0	50,5	53,6	39,8	35,6	43,6	38,1	47,2	46,1	46,8	45,8
Fs	19,1	13,4	13,5	20,6	14,9	14,8	20,6	24,9	15,8	21,7	10,2	11,9	10,2	11,1
Wo	39,8	36,0	42,8	40,4	34,6	31,6	39,6	39,5	40,6	40,2	42,6	42,0	43,0	43,1
Mg#	68,3	79,1	76,4	65,5	77,2	78,4	65,8	58,9	73,4	63,8	82,3	79,4	82,1	80,5
Fe₂O₃	1,40	0,76	0,28	1,97	0,00	0,21	2,45	3,11	2,22	3,73	0,24	0,99	0,00	0,13
FeO	10,12	7,56	7,97	10,60	9,24	8,84	10,03	11,84	7,45	9,68	6,18	6,35	6,17	6,58
Wo	39,8	36,0	42,8	40,4	34,6	31,6	39,6	39,5	40,6	40,2	42,6	42,0	43,0	43,1
Fs	19,1	13,4	13,5	20,6	14,9	14,8	20,6	24,9	15,8	21,7	10,2	11,9	10,2	11,1
En	41,1	50,6	43,7	39,0	50,5	53,6	39,8	35,6	43,6	38,1	47,2	46,1	46,8	45,8

PRILOG 14. Hemijske analize hlorita u podgrupi doleritnih breča.

Uzorak	CS-1	CS-1	CS-2	CS-2	CS-2	CS-2	CS-2	CS-2
Broj snimka	Site 1	Site 2	Site 1	Site 1	Site 3	Site 3	Site 3	Site 5
tačka	Sp1	Sp4	Sp2	Sp6	Sp2	Sp3	Sp4	Sp1
Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
SiO₂	27,14	27,91	28,87	26,81	27,89	30,20	29,00	27,35
Al₂O₃	18,42	19,16	15,11	21,01	19,53	20,38	20,01	21,17
FeO	27,83	28,11	27,24	30,97	29,73	28,26	29,41	30,30
MnO	0,56	0,52	0,44	0,51	0,57	0,50	0,55	0,52
MgO	13,74	13,86	14,35	12,41	13,70	14,82	13,93	13,30
CaO	0,34	0,00	0,39	0,00	0,28	0,43	0,37	0,00
Ukupno	88,03	89,56	86,40	91,71	91,70	94,59	93,27	92,64
proračun na bazi 28 kiseonika								
Si	5,782	5,819	6,246	5,536	5,726	5,912	5,817	5,560
Al	2,218	2,181	1,754	2,464	2,274	2,088	2,183	2,440
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	2,406	2,527	2,099	2,649	2,452	2,613	2,547	2,632
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	4,363	4,308	4,628	3,820	4,193	4,325	4,165	4,031
Fe	4,958	4,901	4,929	5,348	5,105	4,626	4,933	5,151
Mn	0,101	0,092	0,081	0,089	0,099	0,083	0,093	0,090
Ca	0,078	0,000	0,090	0,000	0,062	0,090	0,080	0,000
	11,906	11,827	11,827	11,907	11,911	11,737	11,818	11,904

PRILOG 15. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi gabrova.

Uzorak	GL-1	GL-1	RD-G	RD-G	RD-G	RD-G	RD-G	MO-1	MO-1	MO-1	MO-1
Broj snimka	Site 1a	Site 2a	Site 1	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2	Site 1	Site 2	Site 2	Site 4
tačka	Sp1	Sp1	Sp10	Sp11	Sp12	Sp1	Sp2	Sp2	Sp4	Sp5	Sp2
Mineral	Pl-bit	Pl-bit	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ol
SiO₂	47,41	47,24	66,31	67,05	67,42	67,58	66,57	65,46	65,15	65,27	65,14
Al₂O₃	33,1	33,41	20,58	20,78	20,76	20,29	20,78	22,09	21,83	21,65	22,21
FeO	1,03	0,85	0,00	0,35	0,50	0,50	0,24	0,00	0,00	0,32	0,00
CaO	15,41	15,87	0,29	0,00	0,31	0,00	0,45	1,88	1,92	1,66	2,33
Na₂O	2,65	2,37	10,7	10,92	11,03	10,82	10,74	10,25	10,16	10,36	10,02
Ukupno	99,60	99,74	97,88	99,10	100,02	99,19	98,78	99,68	99,06	99,26	99,70
proračun na bazi 8 kiseonika											
Si	2,183	2,173	2,952	2,950	2,944	2,968	2,941	2,879	2,883	2,884	2,867
Al	1,797	1,811	1,080	1,077	1,068	1,050	1,082	1,145	1,138	1,128	1,152
Fe³⁺	0,040	0,033	0,000	0,013	0,018	0,018	0,009	0,000	0,000	0,012	0,000
Z	4,020	4,017	4,032	4,040	4,031	4,037	4,032	4,023	4,021	4,024	4,019
Ca	0,760	0,782	0,014	0,000	0,015	0,000	0,021	0,089	0,091	0,079	0,110
Na	0,237	0,211	0,924	0,931	0,934	0,921	0,920	0,874	0,872	0,888	0,855
X	0,997	0,994	0,937	0,931	0,948	0,921	0,941	0,962	0,963	0,966	0,965
Or	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ab	23,7	21,3	98,5	100,0	98,5	100,0	97,7	90,8	90,5	91,9	88,6
An	76,3	78,7	1,5	0,0	1,5	0,0	2,3	9,2	9,5	8,1	11,4

PRILOG 16. Hemijske analize piroksena u podgrupi gabrova.

Uzorak	GL-1	RD-G	RD-G	RD-G	MO-1	MO-1	MO-1	MO-1
Broj snimka	Site 2b	Site 2	Site 2	Site 3	Site 1	Site 1	Site 2	Site 2
tačka	Sp9	Sp3	Sp4	Sp1	Sp7	Sp8	Sp1	Sp2
Mineral	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx
SiO ₂	52,55	49,28	49,19	50,77	50,29	51,60	49,94	50,60
TiO ₂	0,00	2,29	2,25	1,56	0,73	0,59	0,85	0,81
Al ₂ O ₃	0,52	3,31	3,46	2,18	1,39	1,94	2,18	1,00
FeO	11,97	7,57	7,49	7,20	15,95	8,69	11,16	15,12
MnO	0,35	0,21	0,00	0,29	0,53	0,23	0,22	0,53
MgO	13,13	14,25	14,26	15,23	11,21	16,86	14,33	12,81
CaO	21,45	22,46	22,25	21,71	18,90	18,33	19,04	18,07
Na ₂ O	0,22	0,27	0,20	0,22	0,19	0,00	0,19	0,18
Cr ₂ O ₃	0,00	0,32	0,47	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno	100,19	99,96	99,57	99,42	99,19	98,24	97,91	99,12
proračun na bazi 6 kiseonika								
Si	1,975	1,834	1,837	1,891	1,942	1,937	1,906	1,941
Al	0,023	0,145	0,152	0,096	0,058	0,063	0,094	0,045
Fe ³⁺	0,002	0,021	0,010	0,013	0,000	0,000	0,000	0,014
<i>T</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,023	0,004	0,000
Fe ³⁺	0,041	0,039	0,023	0,022	0,025	0,007	0,055	0,026
Ti	0,000	0,064	0,063	0,044	0,021	0,017	0,024	0,023
Cr	0,000	0,009	0,014	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,735	0,790	0,794	0,846	0,645	0,943	0,815	0,732
Fe ₂	0,223	0,097	0,106	0,081	0,304	0,010	0,101	0,218
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>M1</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>
Fe ₂	0,109	0,078	0,095	0,108	0,187	0,256	0,200	0,227
Mn	0,011	0,007	0,000	0,009	0,017	0,007	0,007	0,017
Ca	0,864	0,895	0,891	0,867	0,782	0,737	0,779	0,743
Na	0,016	0,019	0,014	0,016	0,014	0,000	0,014	0,013
<i>M2</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>
En	37,0	41,0	41,4	43,5	32,9	48,1	41,7	37,0
Fs	19,5	12,6	12,2	12,0	27,2	14,3	18,6	25,4
Wo	43,5	46,4	46,4	44,5	39,9	37,6	39,8	37,6
Mg#	65,5	76,5	77,2	78,4	54,8	77,1	69,2	59,3
Fe ₂ O ₃	1,55	2,14	1,17	1,24	0,86	0,25	1,91	1,38
FeO	10,58	5,65	6,43	6,08	15,18	8,46	9,44	13,88

PRILOG 17. Hemijske analize hlorita u podgrupi gabrova.

Uzorak	GL-1	GL-1	RD-G	RD-G	MO-1
tačka	Sp11	Sp14	Sp5	Sp6	Sp1
Broj snimka	Site 2b	Site 2c	Site 1	Site 1	Site 3
Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
SiO ₂	28,11	36,02	25,74	27,21	29,65
Al ₂ O ₃	17,63	12,05	19,85	19,33	14,69
FeO	26,69	24,60	27,81	26,26	29,03
MnO	0,20	0,45	0,38	0,33	0,27
MgO	15,54	13,95	13,78	14,12	12,81
CaO	0,00	3,01	0,00	0,00	0,60
Ukupno	88,17	90,08	87,56	87,25	87,05
proračun na bazi 28 kiseonika					
Si	5,916	7,292	5,515	5,777	6,410
Al	2,084	0,708	2,485	2,223	1,590
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	2,289	2,167	2,527	2,614	2,153
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	4,876	4,210	4,401	4,469	4,129
Fe	4,698	4,165	4,983	4,663	5,249
Mn	0,036	0,077	0,069	0,059	0,049
Ca	0,000	0,653	0,000	0,000	0,139
	11,898	11,271	11,979	11,805	11,718

PRILOG 18. Hemijske analize amfibola u podgrupi gabrova.

Uzorak	GL-1	GL-1	GL-1	RD-G
Broj snimka	Site 1b	Site 2c	Site 2c	Site 3
tačka	Sp9	Sp15	Sp16	Sp2
Mineral	Am/Px	Am	Am	Am
SiO₂	52,71	49,53	46,73	53,27
TiO₂	0,00	1,15	2,22	0,00
Al₂O₃	1,45	3,60	6,66	0,90
FeO	18,57	15,79	12,91	15,08
MnO	0,29	0,19	0,23	0,21
MgO	12,69	14,32	14,66	13,80
CaO	11,49	10,74	11,63	12,73
Na₂O	0,38	0,90	1,43	0,20
K₂O	0,00	0,17	0,34	0,00
Ukupno	97,58	96,39	96,81	96,19
O=Cl	0,00	0,00	0,00	0,00
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno	97,58	96,39	96,81	96,19
preračun katjona na 23 kiseonika, Ca-Na-K = 13				
Si	7,690	7,206	6,818	7,888
Al^{IV}	0,249	0,617	1,145	0,112
Fe³	0,061	0,176	0,036	0,000
<i>T</i>	<i>8,000</i>	<i>8,000</i>	<i>8,000</i>	<i>8,000</i>
Al^{VI}	0,000	0,000	0,000	0,045
Ti	0,000	0,126	0,244	0,000
Fe³⁺	0,611	0,908	0,590	0,000
Mg	2,760	3,106	3,189	3,046
Fe²⁺	1,593	0,837	0,949	1,867
Mn	0,036	0,023	0,028	0,026
<i>C(M1,M2,M3)</i>	<i>5,000</i>	<i>5,000</i>	<i>5,000</i>	<i>4,985</i>
Ca	1,796	1,674	1,818	2,000
Na	0,107	0,254	0,182	0,000
<i>B(M4)</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>	<i>2,000</i>
Na	0,000	0,000	0,223	0,057
K	0,000	0,032	0,063	0,000
<i>A</i>	<i>0,000</i>	<i>0,032</i>	<i>0,286</i>	<i>0,077</i>
Mg#	0,634	0,788	0,771	0,620
Fe₂O₃	6,12	9,91	5,70	0,00
FeO	13,06	6,88	7,78	15,08
Grupa	Ca	Ca	Ca	Ca
Subgrupa Ca	A	A	A	A

PRILOG 19. Hemijske analize plagioklasa u podgrupi metagabrova.

Uzorak	BP-2/2	BP-2/2	BP-2/2	BP-2/1	BP-2/1	BP-2/1	BP-2/1	BP-2/1	BP-2/1	BP-2/1
Broj snimka	Site 1	Site 2	Site 2	Site 2	Site 3	Site 3	Site 4	Site 4	Site 5	Site 6
tačka	Sp4	Sp1	Sp4	Sp1	Sp2	Sp3	Sp1	Sp2	Sp1	Sp1
Mineral	Pl-ol	Pl-ol	Pl-lab	Pl-ab	Pl-and	Pl-ab	Pl-lab	Pl-ab	Pl-ab	Pl-ab
SiO₂	64,51	65,03	54,46	66,53	54,41	64,3	54,33	65,63	66,4	65,91
Al₂O₃	20,74	22,58	29,78	20,66	29,26	21,58	29,66	21,27	21,06	20,6
CaO	5,5	2,63	10,52	0,29	10,12	1,06	10,18	0,71	0,96	0,39
Na₂O	9,57	10,01	5,51	10,99	5,65	10,18	5,41	10,38	10,56	10,56
K₂O	0	0	0	0	0,11	0,24	0	0	0	0
Ukupno	100,32	100,25	100,27	98,47	99,55	97,36	99,58	97,99	98,98	97,46
proračun na bazi 8 kiseonika										
Si	2,854	2,851	2,445	2,948	2,460	2,891	2,452	2,922	2,930	2,947
Al	1,081	1,167	1,576	1,079	1,559	1,144	1,578	1,116	1,095	1,086
Z	3,935	4,017	4,021	4,027	4,019	4,035	4,030	4,038	4,025	4,033
Ca	0,261	0,124	0,506	0,014	0,490	0,051	0,492	0,034	0,045	0,019
Na	0,821	0,851	0,480	0,944	0,495	0,888	0,473	0,896	0,903	0,916
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
X	1,081	0,974	0,986	0,958	0,992	0,952	0,966	0,930	0,949	0,934
Or	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Ab	75,9	87,3	48,7	98,6	49,9	93,2	49,0	96,4	95,2	98,0
An	24,1	12,7	51,3	1,4	49,4	5,4	51,0	3,6	4,8	2,0

PRILOG 20. Hemijske analize amfibola u podgrupi metagabrova.

Uzorak	BP-2/2	BP-2/2	BP-2/2	BP-2/1	BP-2/1
Broj snimka	Site 1	Site 2	Site 2	Site 1	Site 2
tačka	Sp1	Sp5	Sp6	Sp3	Sp2
Mineral	Am	Am	Am	Am	Am
SiO₂	48,46	46,29	48,63	47,09	49,04
TiO₂	0,70	1,49	1,18	0,73	0,66
Al₂O₃	6,52	6,82	5,54	7,05	5,68
FeO	15,64	17,56	17,26	17,81	16,53
MnO	0,24	0,25	0,27	0,39	0,33
MgO	12,23	10,45	10,98	12,60	13,50
CaO	12,01	11,98	11,99	11,28	11,32
Na₂O	0,98	0,89	0,56	0,86	0,62
K₂O	0,13	0,24	0,13	0,24	0,19
Cr₂O₃	0,48	0,61	0,26	0,00	0,00
Ukupno	97,39	96,58	96,80	98,05	97,87
O=Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno	97,39	96,58	96,80	98,05	97,87
preračun katjona na 23 kiseonika, Ca-Na-K = 13					
Si	7,113	6,964	7,243	6,805	7,048
Al^{IV}	0,887	1,036	0,757	1,195	0,952
T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,241	0,174	0,215	0,006	0,010
Ti	0,077	0,169	0,132	0,079	0,071
Fe³⁺	0,355	0,284	0,234	1,252	1,107
Cr	0,056	0,073	0,031	0,000	0,000
Mg	2,676	2,344	2,438	2,715	2,892
Fe²⁺	1,565	1,925	1,916	0,901	0,880
Mn	0,030	0,032	0,034	0,048	0,040
C(M1,M2,M3)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,889	1,931	1,913	1,747	1,743
Na	0,111	0,069	0,087	0,241	0,173
B(M4)	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,168	0,191	0,075	0,000	0,000
K	0,024	0,046	0,025	0,044	0,035
A	0,192	0,237	0,100	0,044	0,035
Mg#	0,631	0,549	0,560	0,751	0,767
Fe₂O₃	3,21	2,51	2,09	11,51	10,23
FeO	12,75	15,30	15,38	7,45	7,32
Grupa	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
Subgrupa Ca	A	A	A	A	A

PRILOG 21. Hemijske analiza hlorita u podgrupi metagabrova.

Uzorak	BP-2/1
Broj snimka	Site 2
tačka	Sp4
Mineral	Chl
SiO₂	29.27
Al₂O₃	19.95
FeO	20.09
MnO	0.39
MgO	15.30
Ukupno	85.00
proračun na bazi 28 kiseonika	
Si	6.128
Al	1.872
	<i>8.000</i>
Al	3.050
Mg	4.775
Fe	3.517
Mn	0.069
	<i>11.411</i>

PRILOG 22. Hemijske analize plagioklasa u grupi spilita.

Uzorak	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	MO-2	MO-2
Broj snimka	Site 1	Site 2	Site 2	Site 3	Site 4	Site 4	Site 4	Site 1	Site 3
tačka	Sp1	Sp2	Sp3	Sp1	Sp1	Sp2	Sp3	Sp2	Sp1
Mineral	Pl-bit	Pl-lab	Pl-lab	Pl-ab	Pl-lab	Pl-ol	Pl-and	Pl-ab	Pl-ab
SiO ₂	45,86	51,70	50,16	64,36	51,45	64,74	57,28	66,00	66,75
Al ₂ O ₃	34,69	29,70	31,28	21,51	30,15	21,9	26,15	21,19	20,57
FeO	0,23	0,76	0,75	0,00	1,18	0,27	1,15	0,31	0,31
MgO	0,00	0,19	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	16,30	12,45	13,73	1,55	13,10	2,04	7,92	1,33	0,87
Na ₂ O	1,62	4,20	3,47	9,82	3,78	10,01	6,36	10,5	10,79
K ₂ O	0,46	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,19	0,00	0,12
Ukupno	99,16	99,00	99,54	97,47	99,66	98,96	99,05	99,33	99,41
proračun na bazi 8 kiseonika									
Si	2,125	2,369	2,295	2,891	2,347	2,871	2,589	2,910	2,939
Al	1,894	1,604	1,687	1,139	1,621	1,144	1,393	1,101	1,067
Fe ³⁺	0,009	0,029	0,029	0,000	0,045	0,010	0,043	0,011	0,011
<i>Z</i>	<i>4,028</i>	<i>4,003</i>	<i>4,010</i>	<i>4,030</i>	<i>4,013</i>	<i>4,025</i>	<i>4,025</i>	<i>4,022</i>	<i>4,017</i>
Mg	0,000	0,013	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,809	0,611	0,673	0,075	0,640	0,097	0,384	0,063	0,041
Na	0,146	0,373	0,308	0,855	0,334	0,861	0,557	0,898	0,921
K	0,027	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,011	0,000	0,007
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>X</i>	<i>0,982</i>	<i>0,998</i>	<i>0,991</i>	<i>0,943</i>	<i>0,975</i>	<i>0,957</i>	<i>0,952</i>	<i>0,960</i>	<i>0,969</i>
Or	2,8	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	1,2	0,0	0,7
Ab	14,8	37,4	31,1	90,7	34,3	89,9	58,6	93,5	95,1
An	82,4	62,6	68,9	7,9	65,7	10,1	40,3	6,5	4,2

PRILOG 23. Hemijske analize zametaka piroksena u grupi spilita.

Uzorak	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
Broj snimka	Site 2	Site 2	Site 3	Site 3	Site 3	Site 4	Site 4
tačka	Sp4	Sp5	Sp9	Sp10	Sp11	Sp7	Sp8
Mineral	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx
SiO ₂	46,96	48,46	47,18	48,80	47,55	48,36	45,31
TiO ₂	2,34	2,11	2,20	1,84	2,54	2,06	3,50
Al ₂ O ₃	5,10	2,47	5,31	2,81	2,95	3,65	5,53
FeO	10,20	13,46	9,73	13,52	14,54	13,55	12,82
MnO	0,31	0,23	0,29	0,31	0,44	0,31	0,24
MgO	11,72	11,30	11,83	12,04	11,48	11,37	10,23
CaO	21,16	19,79	21,85	19,76	18,90	20,58	20,95
Na ₂ O	0,30	0,41	0,25	0,21	0,42	0,35	0,34
Cr ₂ O ₃	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,26
Ukupno	98,35	98,23	98,64	99,29	98,82	100,41	99,18
proračun na bazi 6 kiseonika							
Si	1,798	1,877	1,797	1,866	1,835	1,831	1,744
Al	0,202	0,113	0,203	0,127	0,134	0,163	0,251
Fe ³⁺	0,000	0,010	0,000	0,007	0,031	0,006	0,006
<i>T</i>	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,028	0,000	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,045	0,031	0,060	0,043	0,049	0,066	0,063
Ti	0,067	0,061	0,063	0,053	0,074	0,059	0,101
Cr	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,008
Mg	0,669	0,653	0,672	0,686	0,660	0,642	0,587
Fe ²⁺	0,182	0,255	0,170	0,217	0,217	0,228	0,241
<i>M1</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fe ²⁺	0,099	0,140	0,080	0,165	0,173	0,129	0,103
Mn	0,010	0,008	0,009	0,010	0,014	0,010	0,008
Ca	0,868	0,821	0,892	0,810	0,781	0,835	0,864
Na	0,022	0,031	0,018	0,016	0,031	0,026	0,025
<i>M2</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
En	35,7	34,0	35,7	35,4	34,3	33,5	31,4
Fs	18,0	23,1	17,0	22,8	25,1	22,9	22,5
Wo	46,3	42,8	47,4	41,8	40,6	43,6	46,2
Mg#	66,5	59,5	67,8	60,8	57,7	59,4	58,3
Fe ₂ O ₃	1,56	1,39	2,08	1,75	2,74	2,52	2,38
FeO	8,80	12,21	7,86	11,94	12,07	11,28	10,68

PRILOG 24. Hemijske analize hlorita u grupi spilita.

Uzorak	RO	RO	MO-2	MO-2	MO-2
Broj snimka	Site 2	Site 4	Site 1	Site 2	Site 3
Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
tačka	Sp1	Sp4	Sp3	Sp4	Sp2
SiO ₂	32,21	30,20	26,81	30,14	28,20
Al ₂ O ₃	15,86	18,90	16,92	19,60	18,61
FeO	17,57	17,90	21,88	19,76	21,56
MnO	0,00	0,42	0,35	0,00	0,38
MgO	21,72	18,51	17,02	19,19	18,44
CaO	0,71	0,77	0,00	0,43	0,18
Ukupno	88,07	86,70	82,98	89,12	87,37
proračun na bazi 28 kiseonika					
Si	6,429	6,147	5,888	6,006	5,834
Al	1,571	1,853	2,112	1,994	2,166
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	2,159	2,681	2,267	2,608	2,372
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	6,462	5,617	5,572	5,700	5,687
Fe	2,933	3,047	4,018	3,293	3,730
Mn	0,000	0,072	0,065	0,000	0,067
Ca	0,152	0,168	0,000	0,092	0,040
	11,706	11,586	11,923	11,693	11,897

BIOGRAFIJA AUTORA

Olivera Đokić (devojačko prezime Živadinović) rođena je 20. oktobra 1969. godine u Tuzli, Republika Bosna i Hercegovina. Osnovnu i srednju školu završila je u Beogradu. Diplomirala je 1996. godine na Univerzitetu u Beogradu - Rudarsko-geološkom fakultetu, Geološkom odseku - smer za petrologiju i geochemiju. Od 1996. godine zaposlena je u Institutu za puteve ad Beograd, u Zavodu za građevinske materijale, Laboratoriji za kamen i kamene agregate, gde radi kao glavni inženjer za kontrolu kvaliteta građevinskih materijala. Značajno iskustvo i rezultate postigla je u projektovanju i realizaciji laboratorijskih geoloških ispitivanja tehničkog građevinskog i arhitektonskog građevinskog kamena. Autor je ili koautor preko 1300 stručnih izveštaja laboratorijskih istraživanja iz ove oblasti urađenih za potrebe Laboratorije za kamen i kamene agregate Instituta za puteve ad, Beograd. U okviru laboratorije radi konsultantske usluge koje se tiču kvaliteta kamena i agregata za potrebe građevinske industrije. Član je međuresorne radne grupe za izradu Predloga Uredbe o građevinskim proizvodima. Olivera Đokić vodi i učestvuje u međulaboratorijskim ispitivanjima i PT šemama koje su neophodne za akreditaciju opita i laboratorije. Kandidatkinja održava kraća predavanja o Laboratoriji za kamen i opitima koji se tu izvode učenicima srednje Građevinske škole u Beogradu na obaveznoj stručnoj praksi, studentima Visoke građevinsko-geodetske škole, stranim studentima preko IAESTE programa i novozaposlenim inženjerima Instituta za puteve pri upoznavanju sa radom laboratorije. Objavila je rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) i rad u međunarodnom časopisu (M23) zatim, pet radova u časopisima od nacionalnog značaja (M52), jedno saopštenje sa međunarodnih skupova štampano u celini (M33) i četiri saopštenja sa domaćih skupova štampana u celini (M63).

Udata je. Majka je dvoje nestašnih tinejdžera.

Прилог I

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Оливера Ђокић

Број индекса Г815/10

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

УТИЦАЈ МИНЕРАЛОШКО-ПЕТРОГРАФСКИХ КАРАКТЕРИСТИКА

НА МИКРОХРАПАВОСТ АГРЕГАТА БАЗИЧНИХ СТЕНА СРБИЈЕ

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 07.12.2016. године

Оливера Ђокић

Прилог II

**Изјава о истоветности штампане и електронске
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора Оливера Ђокић

Број индекса Г815/10

Студијски програм Геологија

Наслов рада УТИЦАЈ МИНЕРАЛОШКО-ПЕТРОГРАФСКИХ КАРАКТЕРИСТИКА
НА МИКРОХРАПАВОСТ АГРЕГАТА БАЗИЧНИХ СТЕНА СРБИЈЕ

Ментор др Кристина Шарић

Потписани/а **Оливера Ђокић**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

у Београду, 07.12.2016. године

Оливера Ђокић

Прилог III

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

УТИЦАЈ МИНЕРАЛОШКО-ПЕТРОГРАФСКИХ КАРАКТЕРИСТИКА

НА МИКРОХРАПАВОСТ АГРЕГАТА БАЗИЧНИХ СТЕНА СРБИЈЕ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 07.12.2016. године

Оливера Ђокић

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.