

# Potencijalnost tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena; Potential of tertiary magmatic complexes of the Vardar zone in Serbia from the aspect of dimension stone

Lidija M. Kurešević



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Potencijalnost tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena; Potential of tertiary magmatic complexes of the Vardar zone in Serbia from the aspect of dimension stone | Lidija M. Kurešević | Универзитет у Београду | 2014-01-22 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0003966>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

Lidja M. Kurešević

**"POTENCIJALNOST TERCIJARNIH  
MAGMATSKIH KOMPLEKSA  
VARDARSKE ZONE SRBIJE SA  
ASPEKTA ARHITEKTONSKOG  
GRAĐEVINSKOG KAMENA"**

doktorska disertacija

Beograd, 2013

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Lidja M. Kurešević

**"POTENTIAL OF TERTIARY MAGMATIC  
COMPLEXES OF THE VARDAR ZONE IN  
SERBIA FROM THE ASPECT OF  
DIMENSION STONE"**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013

Mentor

Prof. dr Vladimir Simić, Ekonomska geologija

Vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Članovi komisije

Prof. dr Vladica Cvetković, Petrologija

Redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Dr Jovan Kovačević, Ekonomska geologija

Naučni saradnik

Geološki zavod Srbije

Datum odbrane: \_\_\_\_\_

# POTENCIJALNOST TERCIJARNIH MAGMATSKIH KOMPLEKSA VARDARSKE ZONE SRBIJE SA ASPEKTA ARHITEKTONSKOG GRAĐEVINSKOG KAMENA

## **Rezime**

U sastavu Vardarske zone, jedne od tektonski najsloženijih oblasti Balkanskog poluostrva, u čijem domenu se odvijalo otvaranje i zatvaranje okeanskih prostora i subdukcija koja je dovela do intenzivne magmatske aktivnosti pretežno tokom tercijara, danas se nalazi veći broj magmatskih kompleksa.

U ovoj disertaciji su obrađene geološke karakteristike trinaest izabranih magmatskih kompleksa Vardarske zone tercijarne starosti, i laboratorijski određena mineraloško-petrografska svojstva stena u njihovom sastavu i fizičko-mehanička svojstva kamena značajna za utvrđivanje mogućnosti njihove primene za dobijanje blokova arhitektonskog građevinskog kamena iz kojih se dobijaju ploče za oblaganje građevinskih objekata. Svi magmatski kompleksi se nalaze u Eksternoj vardarskoj podzoni.

U grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "velika perspektivnost" spadaju sledeći plutonski magmatski kompleksi: boranjski, bukuljski, kosmajski, kremički i željinski. U prelaznu grupu između velike i srednje perspektivnosti spadaju plutoni Brajkovca i Drenja i subvulkanska masa Slavkovice. U grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "srednja ili ograničena perspektivnost" spadaju vulkaniti Ravnog brda (Borač) i Gradske Gore (Rudnik). U prelaznu grupu između srednje i male perspektivnosti spada cerski pluton. U grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "mala perspektivnost ili neperspektivna" spadaju vulkaniti Talambasa (Borač), Brvenika-Šumnika i Velike Bisine (Ibarski vulkaniti), Čeramida (Rudnik) i Kamenice (Stolovi).

Na osnovu svih prikazanih činjenica, može se doneti zaključak da plutonski magmatski kompleksi Vardarske zone imaju uglavnom veliku perspektivnost sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena, dok vulkanitski imaju vrlo malu ili nikakvu. Njihova svojstva koja su nepovoljna sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena čine ih idealnim za eksploataciju kao tehnički građevinski kamen.

## **Ključne reči**

Arhitektonski građevinski kamen, magmatske stene, Vardarska zona, Srbija

## **Naučna oblast**

Geo-nauke

## **Uža naučna oblast**

Ekonomska geologija

## **UDK broj:**

551.3:552.31:553.5

622.35

(497.11) (043.3)

# POTENTIAL OF TERTIARY MAGMATIC COMPLEXES OF THE VARDAR ZONE IN SERBIA FROM THE ASPECT OF DIMENSION STONE

## **Resume**

The Vardar zone, one of the tectonically most complicated areas of the Balkan Peninsula due to the opening and closing of multiple oceanic domains throughout its geological history and subduction that followed and led to intense magmatic activity, mostly during Tertiary, today contains numerous magmatic complexes.

The subject of this doctoral thesis is defining the geological characteristics of the chosen thirteen magmatic complexes of the Vardar zone of the Tertiary age, and their petrographic and physico-mechanical properties examined in the Stone testing laboratory, important for evaluation of the possibility of their rock mass use as a dimension stone. All the examined magmatic complexes are situated within the External vardar subzone.

The plutonic magmatic complexes of Boranja, Bukulja, Kosmaj, Kremić and Željin fall within the group with high potentiality. The plutonic magmatic complexes of Brajkovac and Drenje and the subvolcanic body of Slavkovića fall within the transitional group between high and moderate potentiality. The volcanic magmatic complexes of Ravno brdo (Borač) and Gradska Gora (Rudnik) fall within the group with moderate potentiality. The plutonic magmatic complex of Cer falls within the transitional group between moderate and low potentiality. The volcanic magmatic complexes of Talambas (Borač), Brvenik-Šumnik and Velika Bisina (Ibar volcanics), Čeramide (Rudnik) and Kamenica (Stolovi) fall within the group with low potentiality to no potentiality.

All presented data lead to a conclusion that most of the plutonic magmatic complexes of the Vardar zone have significant potentiality for dimension stone, while the volcanic complexes have very low potentiality or none. However, their characteristics, unfavourable from the aspect of the dimension stone, make them ideal for exploitation as the technical building stone.

## **Key words**

Dimension stone, igneous rocks, Vardar zone, Serbia

## **Scientific class**

Geosciences

## **Scientific group**

Economic geology

## **UDK No.**

**551.3:552.31:553.5**

**622.35**

**(497.11) (043.3)**

## PREDGOVOR

Nakon završetka i odbrane magistarske teze sa temom "Geološke karakteristike nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina Šumadijskog minerogenetskog rejonu" u novembru 2005. godine i zaposlenja u Institutu za ispitivanje materijala a.d. u Beogradu u januaru 2006. godine, na predlog Generalnog direktora Instituta dr Zagorke Radojević, a u skladu sa Ugovorom o radu, prijavila sam temu doktorske disertacije koja je u okviru delatnosti Instituta. Značajna promena u oblasti naučnog rada do koje je ovo dovelo iziskivala je ulaganje posebnog napora radi kvalitetnog osvajanja nove oblasti znanja. Tema "Potencijalnost tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena" izabrana je u dogovoru sa mentorom prof. dr Vladimirom Simićem, a na osnovu sugestije prof. dr Miloja Ilića. Nakon prihvatanja i odobravanja naučne zasnovanosti teme disertacije od strane Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, usledio je niz godina napornog rada na disertaciji: kabinetska obrada obimnih objavljenih radova i neobjavljenih studija, zatim terenski rad uz nedovoljna materijalna i tehnička sredstva, kao i laboratorijsko ispitivanje prikupljenih uzoraka kamena. Rezultat mojih višegodišnjih napora predstavlja ova doktorska disertacija.

Želim da izrazim najdublju zahvalnost dragim prijateljima, kolegama i članovima porodice, koji su me podržali pri izradi disertacije. Zahvaljujem se članovima komisije, a pre svega mentoru prof. dr Vladimiru Simiću i prof. dr Vladići Cvetkoviću, na primedbama i sugestijama koje su umnogome doprinele kvalitetu disertacije.

Sadržaj	
1.0. UVOD .....	2
2.0. ARHITEKTONSKI GRAĐEVINSKI KAMEN .....	11
2.1. Klasifikacije i definicije.....	11
2.2. Primena kamena kroz istoriju i savremena primena.....	16
2.3. Mogućnost upotrebe različitih facija magmatskih stena kao arhitektonskog građevinskog kamena .....	17
2.4. Svojstva arhitektonskog građevinskog kamena i zahtevi u pogledu njegovog kvaliteta .....	19
2.4.1. Stadijumi istražnog procesa i ocena potencijalnosti nalazišta arhitektonskog građevinskog kamena .....	19
2.4.2. Specifični faktori u oceni potencijalnosti nalazišta arhitektonskog građevinskog kamena .....	29
3.0. TERCIJARNI MAGMATSKI KOMPLEKSI VARDARSKE ZONE	38
3.1. Vardarska zona .....	38
3.2. Razvoj definicije Vardarske zone kroz istoriju geološke nauke u Srbiji.....	38
3.3. Podela Vardarske zone na podzone .....	41
3.4. Geodinamička evolucija Vardarske zone .....	43
3.5. Opšta svojstva tercijarnih magmatita Vardarske zone .....	45
3.5.1. Uzroci magmatske aktivnosti i petrohemijske karakteristike magmatita .....	47
3.5.2. Povezanost tektonske i magmatske aktivnosti .....	48
3.5.3. Starost magmatskih kompleksa .....	50
3.5.4. Oblici magmatskih tela i sklop .....	51
3.5.5. Alteracije .....	52
4.0. GEOLOŠKA GRAĐA MAGMATSKIH KOMPLEKSA VARDARSKE ZONE I NJIHOV PRAKTIČNI ZNAČAJ SA ASPEKTA ARHITEKTONSKOG GRAĐEVINSKOG KAMENA.....	53
4.1. Magmaški kompleks Bukulje .....	53
4.2. Magmaški kompleks Cera .....	65
4.3. Magmaški kompleks Boranje .....	76
4.4. Magmaški kompleks Kosmaja .....	86
4.5. Magmaški kompleks Brajkovca .....	95
4.6. Magmaški kompleks Slavkovice .....	105
4.7. Magmaški kompleks Rudnika .....	115
4.8. Magmaški kompleks Borač-Kotlenik.....	132
4.9. Magmaški kompleks Kremića .....	148
4.10. Magmaški kompleks Željina .....	157
4.11. Magmaški kompleks Drenja.....	165
4.12. Vulkaniti Stolova.....	174
4.13. Ibarski vulkaniti.....	185
5.0. KOMPARATIVNA OCENA POTENCIJALNOSTI MAGMATSKIH KOMPLEKSA .....	200
6.0. ZAKLJUČAK .....	218
LITERATURA.....	236
APENDIKS .....	252
Biografija autora.....	254



## 1.0. UVOD

### Predmet rada

Predmet doktorske disertacije su geološke karakteristike magmatskih kompleksa, mineraloško-petrografska i fizičko-mehanička svojstva magmatskih stena u sastavu tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone (dela koji je u sastavu Srbije bez Kosova i Metohije), značajna za utvrđivanje mogućnosti njihove primene za dobijanje blokova arhitektonskog građevinskog kamena (AGK) iz kojih se dobijaju ploče za oblaganje građevinskih objekata.

Arhitektonski građevinski kamen je nemetalična mineralna sirovina sa širokim opsegom primena u savremenom građevinarstvu i arhitekturi (dekorativne namene) kod kojih estetska svojstva igraju glavnu ulogu, ali kamen mora takođe da poseduje neophodne fizičko-mehaničke osobine i postojanost (Ilić, 1995).

Vardarska zona predstavlja jednu od tektonski najsloženijih oblasti Balkanskog poluostrva, duž čije ose se prostire u vidu izduženog pojasa. Tokom geološke prošlosti područja, Vardarska zona je predstavljala tektonski vrlo aktivan prostor, mobilni pojas u čijem domenu se danas nalaze tragovi otvaranja i zatvaranja okeanskih prostora. Danas ova zona predstavlja tektonski šav kao reliktni nekadašnjeg mobilnog pojasa. U okviru Vardarske zone su, prema Dimitrijeviću (1995a), od zapada ka istoku, izdvojene tri podzone, kao blokovi različitog sastava, geološke istorije i porekla: 1. eksterna, 2. centralna i 3. interna podzona. U njima su zastupljene različite formacije magmatskih stena, nastale pod različitim uslovima i izložene različitom stepenu hidrotermalnih alteracija i površinskog raspadanja, usled čega su njihova mineraloško-petrološka i fizičko-mehanička svojstva različita. Vardarska zona zbog prisustva brojnih magmatskih kompleksa na svojoj teritoriji ima značajnu potencijalnost za proizvodnju AGK. Međutim, s obzirom da se radi o nekadašnjem mobilnom pojasu, intenzivni tektonski pokreti su doprineli smanjenju ove potencijalnosti i, iz ovih razloga, deo geologa Srbije *a priori* odbacuje mogućnost eksploatacije AGK u magmatskim kompleksima Vardarske zone. Mezozojski ultrabazični i bazični magmatski kompleksi zbog visokog stepena tektoniziranosti i alterisanosti imaju manji značaj sa aspekta AGK, a mlađi, tercijarni magmatski kompleksi, odnosno njihova potencijalnost sa aspekta AGK su predmet proučavanja ove disertacije.

Kao AGK, najširu primenu među magmatskim stenama imaju intruzivne, a manje i efuzivne stene, dok je praktični značaj žičnih magmatskih stena ograničen. Genetska svojstva (mineraloški sastav, sklop, svežina odnosno stepen alterisanosti i dr.) ovih stena, kao i stepen tektoniziranosti magmatskih kompleksa, presudni su za mogućnost njihove primene u građevinarstvu.

Vasić (1992) navodi da su u čitavoj Srbiji stenske mase tektonski značajno oštećene, ali u njima postoje i manje ili veće tektonski neoštećene partije, pogodne za eksploataciju i proizvodnju AGK, koje su, međutim, vrlo slabo iskorišćene. U okviru ove disertacije prikazani rezultati ispitivanja pokazuju koji magmatski kompleksi, odnosno koji njihovi delovi imaju potencijalnost sa aspekta AGK i zavređuju ulazak u dalji tok istražnog procesa.

Podaci Zavoda za statistiku Republike Srbije, prikazani u tabelama 1-1 i 1-2, prikazuju odnose između količina AGK proizvedenog u Srbiji i uveženog u Srbiju za nekoliko odabranih godina. Iz prikazanih podataka se može zaključiti da postoji izražena potražnja za kamenom, a da je njegova proizvodnja praktično zamrla.

Tabela 1-1: Podaci Zavoda za statistiku o uvozu i izvozu "granita" u Srbiji

Godina	"Granit", sirov ili grubo tesan		"Granit", sečen u blokove ili ploče	
	uvoz	izvoz	uvoz	izvoz
1990	209 t	0	1388 t	0
2000	40602 t	150 t	326 t	0
2009	32557 t	43 t	1235 t	512 t
2011	34361 t	23 t	13289 t	60 t

Tabela 1-2: Podaci Zavoda za statistiku o proizvodnji "granita" u Srbiji

Godina	"Granitni" blokovi za rezanje	"Granitne" lastre	"Granitne" dimenzionirane ploče debljine do 4 cm
1990	777 m <sup>3</sup>	29591 m <sup>2</sup>	1613 m <sup>2</sup> *
2000	5 m <sup>3</sup>	2128 m <sup>2</sup>	467 m <sup>2</sup>
2009	Vađenje kamena za građevinarstvo 2261 t**		
2011	Bilten još nije izašao		

\*za 1990. i 1991. godinu podatak ne postoji, pa je upotrebljen podatak iz 1992. godine

\*\*od 2004. godine, terminologija je prilagođena međunarodnoj, pa se pređašnje kategorije ne mogu dobiti  
 NAPOMENA: od 2004. godine, proizvodnju blokova prijavljuje samo jedan proizvođač i zabranjeno je objavljivanje ovog podatka.

U ovom trenutku se na nivou države radi na smanjenju nepotrebne administracije i inoviranju zakonskih dokumenata, što nam daje osnova da se nadamo poboljšanju stanja

u oblasti građevinskog kamena i njegove proizvodnje u Srbiji u narednom periodu. Zato je neophodno nastaviti proces geoloških istraživanja u ovim magmatskim kompleksima i sagledati mogućnosti za njihovo proizvodno aktiviranje ili reaktiviranje u sklopu integralnog održivog razvoja Srbije.

### **Ranija istraživanja**

Istraživanja sa sličnom tematikom su već vršena tokom ranijih decenija u okviru geoloških institucija Srbije, međutim, studije koje su nastale kao rezultat prethodnih radova na magmatskim kompleksima Srbije su potpuno nedostupne za korišćenje.

Obimna "Studija o vrstama, kvalitetu i rezervama tehničkog građevinskog kamena u SR Srbiji (van SAP) u postojećim kamenolomima, šljunkarama i potencijalnim nalazištima" u dva toma, koju su izradili S. Cmiljanić i grupa saradnika (1983) iz SOUR za puteve "Srbijaput" – Beograd i RO Institut za puteve – Beograd, uprkos nedostacima, predstavlja značajan izvor podataka o starim majdanima, iako se radi o ispitivanjima vršenim za tehnički građevinski kamen.

Literatura o ispitanim magmatskim kompleksima je veoma obimna, i njen deo koji je upotrebljen tokom izrade disertacije prikazan je u spisku literature.

### **Ciljevi istraživanja**

Arhitektonski građevinski kamen poreklom iz Srbije nije zastupljen na tržištima drugih zemalja, dok je njegovo prisustvo na domaćem tržištu zanemarljivo malo. To se naročito odnosi na AGK magmatskog porekla, koji je za ove namene na svetskom tržištu najviše cenjen. S obzirom na značajne rezerve AGK magmatskog porekla u Srbiji, deluje nelogično činjenica da se ovaj kamen uvozi, naročito kamen niže dekorativnosti, kakvog u Srbiji ima na mnogim lokalnostima. Pored prirodnog, uvozi se čak i veštački kamen. Ovo nam ukazuje na činjenicu da tržište odnosno potražnja za kamenom u Srbiji postoji.

U Evropskoj zajednici je procenjeno da tehnički i arhitektonski građevinski kamen predstavljaju najznačajniji neenergetski mineralni resurs. U Inicijativi Evropske zajednice u oblasti mineralnih sirovina (*Commission of the European communities*, 2008), istaknuta je potreba da se smanji uvoz i zavisnost ekonomije zemalja članica od

uvoznih sirovina. Prvi korak u ovom pravcu je stvaranje baze podataka o rezervama mineralnih sirovina.

Ležišta AGK otvorena u magmatskim stenama koja su bila aktivna do devedesetih godina prošlog veka danas su najvećim delom zatvorena, dok je otvaranje novih u začetku, i eksploatacija se uglavnom vrši nelegalno. Inicijativa za oživljavanje domaće proizvodnje AGK je pokrenuta kroz udruženje "Kamen Srbije", u čiji rad je uključen i Institut IMS. U procesu formiranja (ili obnavljanja) sirovinske baze arhitektonskog građevinskog kamena u Srbiji, polaznu osnovu predstavlja utvrđivanje potencijalnosti stenskih kompleksa Srbije u pogledu mogućnosti proizvodnje AGK, a naročito magmatskih kompleksa, s obzirom da magmatske stene generalno predstavljaju najkvalitetniju sirovinu za ove namene. U tom smislu je od velikog značaja oblast Vardarske zone, u čijem sastavu su zastupljene značajne mase magmatskih stena.

Sa ovom idejom, cilj disertacije je bio da se na osnovu terenskih proučavanja geoloških karakteristika tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone i laboratorijskih ispitivanja mineraloško-petrografskih i fizičko-mehaničkih svojstava prikupljenih uzoraka magmatskih stena, na osnovu kriterijuma propisanih standardima iz ove oblasti, ustanovi mogućnost njihove primene kao arhitektonskog građevinskog kamena za horizontalno i vertikalno oblaganje objekata u enterijeru i eksterijeru, i na osnovu toga donese zaključak o potencijalnosti ispitanih tercijarnih magmatskih kompleksa sa aspekta AGK. Međutim, pošto se pouzdana ocena potencijalnosti ispitivanih magmatskih kompleksa sa aspekta upotrebljivosti kao AGK ni u kom slučaju ne može dati samo na osnovu ovih svojstava, obrađeni su takođe i ostali faktori ocene na osnovu terenskih proučavanja ovih magmatskih kompleksa. Po pitanju ekonomske isplativosti eksploatacije AGK, iskustva malih preduzeća za eksploataciju AGK u Kanadi su pokazala da čak i preduzeća sa godišnjom proizvodnjom AGK od nekoliko hiljada tona mogu biti ekonomski isplativa i opstati na tržištu (Hora, 2007).

### **Metodika rada**

U disertaciji je ocenjivana potencijalnost magmatskih kompleksa sa aspekta AGK u smislu dimenzioniranog kamena, jer za nedimenzionirani kamen ne postoje propisani kriterijumi koje stenska masa treba da ispuni. U skladu sa savremenim pristupom eksploataciji mineralnih resursa zasnovanim na principu kompleksnog iskorišćenja

resursa, delovi stenske mase koji ne ispunjavaju uslove za dimenzionirani kamen (obično u pripovršinskim delovima terena i u zonama intenzivne tektonizacije), koriste se, u manjem obimu, kao kamen za oblaganje manje važnih objekata, obično seoskih, u bližoj pa i daljoj okolini lokaliteta na kojem se kamenolom nalazi, i, u znatno većem obimu, kao tehnički građevinski kamen. Na ovaj način se smanjuje količina jalovine i smanjuje cena osnovnog proizvoda – bloka AGK, a istovremeno poštuje i princip kompleksnog korišćenja mineralne sirovine.

Pri izdvajanju tipova stena u magmatskim kompleksima, prvenstveno su usvojene podele prema Osnovnoj geološkoj karti (OGK) SFRJ 1:100 000 i pratećim Tumačima, jer su u njima magmatski kompleksi obrađeni sa svih aspekata, dok su drugi autori najčešće obrađivali samo pojedine aspekte i delove magmatskih kompleksa. Međutim, zbog zastarelosti podataka iz OGK, uz svaki magmatski kompleks su, kada postoje, navedene i petrološke odredbe prema novijim istraživanjima drugih autora.

U dogovoru sa mentorom, odabran je određeni broj magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije, i oni su u periodu od 2008. do 2010. godine terenski obrađeni i uzorci stenske mase iz njih laboratorijski ispitani. Pored već poznatih i istraženih lokalnosti, proučene su i lokalnosti za koje smatramo da imaju potencijalnost sa aspekta AGK, iako eksploatacija na njima nije do sada vršena. Zbog obima disertacije, iz programa proučavanja su isključeni magmatski kompleksi koji su pokriveni teritorijom nacionalnih parkova (glavna masa kopaoničkog plutona i vulkaniti Fruške Gore), ili su značajno hidrotermalno izmenjeni (Radan i Majdan), čime su radovi svedeni na magmatske komplekse Eksterne vardarske podzone.

Tercijarni magmatski kompleksi Vardarske zone u kojima preovlađuju vulkaniti su najčešće alterisani u promenljivom stepenu, ponegde i sa rudnim mineralizacijama. U njima su plutoniti slabo otkriveni ili nisu otkriveni, već su indicirani aeromagnetometrijskim ispitivanjima i/ili daljinskom detekcijom, i o njihovom kvalitetu sa aspekta AGK se ne može suditi. Manje ili veće mase vulkanita koje se javljaju u bližoj ili daljoj okolini plutona su izostavljene iz postupka ocene kvaliteta sa aspekta AGK, i pažnja je usmerena na kvalitet plutonita, koji je najčešće dobar.

Zbog nemogućnosti vršenja istražnih bušenja i raskopavanja stenske mase do dostizanja nivoa sveže stene, praktično je izvršeno ispitivanje petrografskih svojstava stene i fizičko-mehaničkih svojstava kamena radi ocene kvaliteta stenske mase sa aspekta

AGK, kao i terensko ispitivanje geoloških karakteristika stenske mase na nivou etape prospekcije (po Vakanjcu, 1976), i to najviše stadijuma rekognoscirajuće prospekcije. Analize fizičko-mehaničkih svojstava stenske mase su vršene na uzorcima iz najperspektivnijih (najsvežijih – najslabije alterisanih i najslabije tektonski oštećenih) delova magmatskih kompleksa, ili, u slučaju značajne pokrivenosti, iz dostupnih delova. Dakle, uzimanje uzoraka je bilo ograničeno prirodnom konfiguracijom terena, veličinom i rasporedom izdanaka, kao i aktivnih i neaktivnih kamenoloma. Laboratorijsko ispitivanje je vršeno u vidu kompletnih analiza. Podaci ranijih ispitivanja, za one lokalnosti za koje postoje, obuhvaćeni su radi dobijanja što pouzdanijih podataka. Dobijeni podaci laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava su radi preglednosti prikazani u vidu opsega variranja vrednosti i srednje aritmetičke vrednosti. Kompaktnost stenske mase je sagledana kroz građu stenske mase, karakter lučenja i prisustvo sistema pukotina i prslina.

Krajnji cilj ispitivanja je formiranje rang liste magmatskih kompleksa prema njihovoj potencijalnosti sa aspekta AGK. Upoređivanje i ocenjivanje najperspektivnijih delova stenske mase je izvršeno na osnovu dimenzija, monolitnosti, sklopa, sastava i svežine, odnosno stepena alterisanosti stenske mase, fizičko-mehaničkih svojstava, dekorativnosti i mogućnosti primene kamena.

### **Primenjene metode**

Radi utvrđivanja kvaliteta stenske mase proučavanih magmatskih kompleksa kao cilja disertacije, izvršeno je sledeće:

- kabinetsko proučavanje radi upoznavanja proučavanih objekata. Prikupljeni su postojeći podaci o geološkoj građi magmatskih kompleksa, svojstvima magmatskih stena i o njihovoj eventualnoj ranijoj primeni (tzv. *desktop study*)
- izvršena su terenska proučavanja geoloških karakteristika ovih magmatskih kompleksa u okviru dostupnih izdanaka, pri čemu je najznačajnije utvrditi stepen površinske raspadnutosti stenske mase i hidrotermalne alterisanosti, sklop i ujednačenost svojstava stenske mase, gustinu i elemente pada prisutnih diskontinuiteta, lučenje, veličinu i oblik blokova

- u okviru terenskih proučavanja su takođe prikupljeni uzorci za laboratorijska ispitivanja u skladu sa standardom SRPS B.B0.001, gde god je to bilo izvodljivo. U magmatskim kompleksima koji su intenzivno alterisani i tektonizirani, uzimanje uzoraka u skladu sa propisanim standardom nije bilo moguće. Gde nisu bili dostupni svežiji delovi stenske mase, uzorci su uzeti sa površine terena
- izvršena su laboratorijska ispitivanja mineraloško-petrografskih svojstava stena i fizičko-mehaničkih svojstava stenske mase prema metodama navedenim u standardu B.B3.200:1994, i procedurama važećim u Laboratoriji za kamen i agregat Instituta IMS. Neke od metoda ispitivanja navedenih u standardu B.B3.200:1994 su u međuvremenu zamenjene novijim, a kao metode za ispitivanje svojstava neophodnih za ocenu kvaliteta u skladu sa B.B3.200:1994 koje u SRPS standardima ne postoje, koriste se usvojeni međunarodni standardi
- izvršena je analiza rezultata laboratorijskih ispitivanja u pojedinačnim magmatskim kompleksima i ocenjena njihova potencijalnost sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena u skladu sa propisanim kriterijumima. Ocena kvaliteta kamena na osnovu utvrđenih svojstava izvršena je prema praksi koja se primenjuje u Laboratoriji za kamen i agregat – u skladu sa kriterijumima koji su dati u knjizi “Tehnička petrografija” (Bilbija, 1984), a mogućnost primene u skladu sa propisanim kriterijumima navedenim u standardu B.B3.200:1994
- izvršena je komparativna ocena – poređenje pojedinačnih magmatskih kompleksa, na osnovu jednostavnog i preglednog sistema bodovanja geoloških i fizičko-mehaničkih svojstava stenske mase i dekorativnih karakteristika kamena radi njihovog rangiranja prema potencijalnosti.

Magmatski kompleksi su fotografisani na terenu, uzorci stena iz njih su fotografisani u laboratoriji, pre i nakon ispitivanja. Autor svih fotografija i mikrofotografija je mr Lidja Kurešević. Fotografisanje mikroskopskih preparata je izvršeno na Katedri za Petrologiju i geochemiju Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Svi mikrosnimci su rađeni na objektivu uvećanja 2,5 puta, i stvarna dužina donje ivice mikrosnimka iznosi 6 mm.

### **Praktična primena rezultata istraživanja**

U disertaciji su pruženi brojni novi podaci o geološkoj građi proučavanih magmatskih kompleksa, kao i kvalitetu kamena iz njih, sa aspekta AGK. Ovi podaci se mogu iskoristiti i za određivanje potencijalnosti istih sa aspekta tehničkog građevinskog kamena jer se propisana laboratorijska ispitivanja za ove dve vrste proizvoda razlikuju u svega nekoliko metoda. Izdvojeni su magmatski kompleksi i njihovi delovi koji su perspektivni kao podloga za planiranje, usmeravanje i projektovanje daljih geoloških istraživanja.

### **Ograničenja pri izradi disertacije**

Najveću prepreku u radu su predstavljala materijalna ograničenja, velika pokrivenost terena, kao i nepristupačnost za obično vozilo jer onemogućavaju nesmetano proučavanje svih delova magmatskih kompleksa. Takođe, nemogućnost pristupa studijama iz bliskih oblasti u okviru geoloških institucija Srbije, mogla je dovesti do izostavljanja nekih značajnih podataka.

Realna i pouzdana ocena kvaliteta i potencijalnosti pojedinačnih magmatskih kompleksa, odnosno njihovih delova kao potencijalnih ležišta AGK se može dati samo kada se istraživanjem obuhvate i dublji delovi stenske mase, koji su najčešće i daleko boljeg kvaliteta od površinski izmenjenih delova koji su dostupni proučavanjima od strane pojedinca. Iz ovih razloga je bilo moguće izvršiti samo prospekcijska proučavanja, i dati ocenu perspektivnosti na osnovu dostupnih podataka. Međutim, i pored svih ograničenja, izbor delova ispitanih magmatskih kompleksa koji imaju najveću potencijalnost za dalja istraživanja, uz pregled kompaktnosti stenske mase, njene svežine, kao i rezultati ispitivanja mineraloško-petrografskih i fizičko-mehaničkih svojstava stenske mase u Laboratoriji za kamen i agregat Instituta IMS u Beogradu, daju sasvim jasnu sliku potencijalnosti magmatskih kompleksa Vardarske zone sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena.

Magmatski kompleksi koji se pretežno ili u potpunosti sastoje od plutonita, relativno su ujednačenog sastava i izgleda, što je bitno sa aspekta AGK. S druge strane, u pretežno vulkanitskim magmatskim kompleksima (kao što je npr. rudnički, borački, kotlenički,



Ibarski), zastupljeni su izlivi i vulkanoklastiti različitih faza nastajanja, sastava i izgleda, usled čega je otežano donošenje jednoznačne, zajedničke ocene potencijalnosti ovakvih magmatskih kompleksa sa aspekta AGK. Generalno, njihova potencijalnost je manja već samim tim što homogena stenska masa u njima zauzima manje prostore, a višekratno obnavljana magmatska aktivnost smanjuje kvalitet stenske mase sa aspekta građevinskog kamena zbog višeg stepena alteracija.

Na lokalnostima gde je stenska masa intenzivno alterisana i/ili tektonizirana, nije bilo moguće uzeti uzorke stenske mase u skladu sa standardom SRPS B.B0.001, pa su ovi delovi magmatskih kompleksa, ili čitavi kompleksi bili izuzeti od laboratorijskih ispitivanja.

#### **Skraćenice korišćene u disertaciji:**

AGK – arhitektonski građevinski kamen

def. – definicija

EP – elementi pada

REE – *rare earth elements* (elementi retkih zemalja)

HFSE – *high field strength elements* (elementi visoke valence)

LILE – *large ion lithophile elements* (litofilni elementi sa velikim jonskim radijusom)

M – miocen

Ma – *mega-annum* (lat.), apsolutna geološka starost magmatskih stena izražena u milionima godina

mod. – modifikovano i/ili dopunjeno

OGK – Osnovna geološka karta razmere 1:100 000

Ol – oligocen

oznake strana sveta: I - istok, J - jug, Z - zapad, S – sever, i njihove kombinacije

SAD – Sjedinjene američke države

s.str. – *sensu strictiorem* (lat.), u užem smislu

SGD – Srpsko geološko društvo

TGK – tehnički građevinski kamen

## 2.0. ARHITEKTONSKI GRAĐEVINSKI KAMEN

### 2.1. Klasifikacije i definicije

Stene predstavljaju osnovni građevinski materijal neorganskog porekla prisutan u prirodi. Kada se deo stene prirodnim ili veštačkim putem odvoji od izvorne stenske mase i oblikuje prema ljudskim potrebama, naziva se "kamen" (Winkler, 1994).

Klasifikacije kamena mogu biti genetske, prema nameni, obliku i dimenzijama, vrsti obrade i postupcima završne obrade. Univerzalna i opšte prihvaćena klasifikacija građevinskog kamena ne postoji. Svaka klasifikacija koja se oslanja na promenljive veličine vezane za proizvodnju i tehnologiju prerade kamena je relativna i aktuelna samo u određenom periodu.

Prema genetskoj klasifikaciji (prema poreklu i načinu postanka stene), razlikujemo: magmatske stene, sedimentne i metamorfne. Sedimentne i metamorfne stene imaju veću primenu u industrijskim i tehnološkim procesima (kao sirovine za dobijanje različitih proizvoda) nego kao AGK, dok je kod magmatskih stena obrnuto.

Prvu klasifikaciju nemetaličnih mineralnih sirovina kod nas su dali Janković i Vakanjac (1969). Podelili su ih na ležišta elemenata, ležišta kristala, ležišta minerala i ležišta stena, među kojima su izdvojili ležišta građevinskog kamena. U industrijskoj klasifikaciji nemetaličnih mineralnih sirovina prema Vakanjcu iz 1992. godine, izdvojene su sirovine za građevinarstvo kao zasebna kategorija:

- I METALURŠKE SIROVINE
- II TEHNIČKO-JUVELIRSKE SIROVINE
- III HEMIJSKO-AGRONOMSKE SIROVINE
- IV KERAMIČKO-STAKLARSKE SIROVINE
- V SIROVINE ZA GRAĐEVINARSTVO
  - 1. Tehnički građevinski kamen
    - a) za zidanje
    - b) za krovove
    - c) za puteve
    - d) za temelje i nasipe
  - 2. Arhitektonsko-građevinski kamen
    - a) za oblaganje enterijera i eksterijera: različite monolitne magmatske, metamorfne i sedimentne stene pogodnih fizičko-mehaničkih i dekorativnih svojstava
    - b) skulptorski kamen: različite monolitne magmatske, metamorfne i sedimentne stene zahtevanih dekorativnih svojstava
  - 3. Opekarske sirovine itd.

Ilić (1995, 1997) je dao sledeću industrijsku klasifikaciju nemetaličnih mineralnih sirovina:

- A NEMETALI S.STR. (abrazivi, punila itd.)
- B GRAĐEVINSKI MATERIJALI
  - I Prirodni građevinski materijali
    - 1. Čvrste stene (građevinski kamen)
      - a) Tehnički kamen
      - b) Ukasni (arhitektonski) kamen
    - 2. Poluvezane (plastične) stene
    - 3. Nevezane (rastresite) stene
  - II Sirovine za proizvodnju veštačkih građevinskih materijala

Prema Iliću (1995), građevinskim materijalima se nazivaju one nemetalične mineralne sirovine koje se, bilo neposredno (prirodni geološki građevinski materijali) ili posredno (sirovine za proizvodnju veštačkih građevinskih materijala) koriste za različite potrebe u građevinarstvu.

Građevinskim kamenom se nazivaju komadi dobijeni od čvrstih stena, koji se u građevinarstvu koriste za različite namene. Prema načinu dobijanja i obliku dobijenih komada, građevinski kamen se može podeliti u dve grupe:

i) neoblikovani (nedimenzionirani) kamen, koji se dobija usitnjavanjem čvrstih stena na komade različitog oblika i različitih krupnoća i obuhvata lomljen, drobljen i mleven kamen; i

ii) oblikovani (dimenzionirani) kamen, koji se dobija cepanjem ili sečenjem čvrstih stena na komade pravilnog oblika i precizno utvrđenih dimenzija i obuhvata cepani i sečeni (rezani) kamen. U mnogim zemljama se izjednačava sa pojmom arhitektonskog građevinskog kamena.

Sečeni (rezani) kamen se dobija sečenjem kamena u elemente tačno određenih dimenzija i oblika, pretežno mehaničkim putem. U kamenolomu se vrši primarno sečenje blokova. Primarno isečeni blokovi se transportuju u industrijska postrojenja za obradu, gde se vrši sekundarno sečenje blokova u velike ploče (lastre), a zatim i u manje elemente, zavisno od planirane namene kamena, i vrši se njihova dalja obrada.

Prema Vakanjcu (1976), prirodni građevinski kamen se u zavisnosti od načina obrade deli na lomljeni, drobljeni i obrađeni kamen. Obrađeni kamen obuhvata ukrasni kamen (AGK), skulptorski i tesani kamen.

Prema nameni, građevinski kamen se može podeliti na dve grupe:

i) tehnički kamen i

ii) arhitektonski (ukrasni) kamen.

Tehnički kamen se koristi za one namene u građevinarstvu (hidrogradnja, putogradnja, nasipanje i izgradnja železničkih pruga, betonske konstrukcije, zidane kamene konstrukcije itd.) za koje kamen mora imati određena fizičko-mehanička svojstva (čvrstoću i otpornost, određenu zapreminsku masu, malu poroznost i dr.) i postojanost (fizičku i hemijsku stabilnost u konkretnim uslovima u kojima se koristi), dok njegova estetska svojstva nisu značajna. U grupu tehničkog kamena spada neoblikovani kamen (lomljen, drobljen i mleven) i deo oblikovanog (cepan i sečen) koji se ne upotrebljava za dekorativne namene (Ilić, 1995).

Arhitektonski građevinski kamen je nemetalna mineralna sirovina sa širokim opsegom primena u savremenom građevinarstvu i arhitekturi. Brojni autori su dali definicije arhitektonskog kamena:

- Pod arhitektonskim kamenom se podrazumeva kamen koji pored osnovne funkcionalne uloge ima izraženo dekorativno svojstvo, sadržano u opštem izgledu, obliku i rasporedu bojjenih elemenata površine kamene ploče (Bilbija, 1984).
- Arhitektonski (ukrasni) kamen je kamen koji se koristi za one svrhe u građevinarstvu (dekorativne namene) kod kojih, za razliku od tehničkog kamena, estetska svojstva igraju glavnu ulogu, ali kamen mora takođe da poseduje neophodne fizičko-mehaničke osobine i postojanost (Ilić, 1995).
- Arhitektonski građevinski kamen podrazumeva različite vrste stena i mineralnih masa, različitog načina postanka, koje se koriste u građevinarstvu, odnosno arhitekturi za različite dekorativne namene (Maksimović, 2006a).

Ranije se podrazumevalo da se arhitektonski kamen u vidu ploča različitih dimenzija, polirane vidne površine, koristi za vertikalno i horizontalno oblaganje objekata, u eksterijeru (spoljno oblaganje) i enterijeru (unutrašnje oblaganje), kao i za izradu različitih arhitektonskih dekorativnih elemenata. Tokom vremena, definicija AGK je, prvenstveno pod uticajem autora iz Sjedinjenih američkih država (SAD) modifikovana, i danas se pod AGK podrazumevaju različite vrste dekorativnih stenskih materijala sa različitim vidovima završne obrade ili bez iste. Pored rezanog (dimenzioniranog) kamena, kao AGK se danas koriste i stene koje se u ležištu javljaju u vidu masa

prirodno izdvojenih na ploče (slojeve) i banke (Maksimović, 2006b), i nemaju odgovarajuća fizičko-mehanička svojstva koja se prema standardu zahtevaju od AGK<sup>1</sup>.

U našoj stručnoj literaturi su kao sinonimi korišćeni sledeći termini: ukrasni kamen, dekorativni kamen, kamen za oblaganje i arhitektonski građevinski kamen (AGK). Ovaj poslednji termin je najprecizniji s obzirom na primenu kamena u arhitektonsko-građevinskim radovima za oblaganje vertikalnih i horizontalnih površina objekata u enterijeru i eksterijeru u cilju obezbeđivanja estetskog utiska i produženog trajanja objekta (Vakanjac, 1976). Prema važećem "Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima" (Službeni list SFRJ, broj 53/1979), AGK se naziva "architektonsko-gradjevinski kamen (ukrasni kamen)".

U svojoj klasifikaciji kamena iz 1995. godine, Ilić je za arhitektonski građevinski kamen koristio i termin "ukrasni kamen" kao sinonim, i kao njegove varijetete za specijalne namene, izdvojio je skulptorski i memorijalni (spomenarski) kamen. Međutim, u klasifikaciji iz 2001. godine, pomenute termine je koristio drugačije. Pod ukrasnim kamenom podrazumeva sve vrste kamena čija se primena zasniva na estetskim (dekorativnim) svojstvima, a za arhitektonski građevinski kamen kao sinonime navodi izraze "ukrasni građevinski kamen" i "architektonsko-gradjevinski kamen". Ukrasni kamen je prema nameni podelio na sledeće podgrupe (Ilić, 2001, doradeno):

1. Juvelirski kamen, koji se, najčešće nakon posebne obrade, a krajnje retko u prirodnom obliku, koristi za izradu nakita;
2. Kolekcionarski kamen, koji se koristi kao dekoracija u različitim prostorijama i zbirkama;
3. Galanterijski kamen, koji se upotrebljava za izradu "kamene galanterije", odnosno ukrasno-upotrebni predmeta;
4. Skulptorski (ili kiparski) kamen, koji se upotrebljava za izradu skulptura (kipova);
5. Memorijalni (ili spomenarski) kamen, koji se upotrebljava za izradu nadgrobnih spomenika i mauzoleja;
6. Ukrasni (architektonski) građevinski kamen, koji se koristi za oblaganje različitih građevina, popločavanje, ili za izradu raznih architektonskih elemenata.

U SAD i V. Britaniji se više koristi termin "*dimension stone*" – dimenzionirani kamen (def. "prirodni stenski materijal, koji je sečen, oblikovan ili odabran za upotrebu u

---

<sup>1</sup> Tako se npr. šljakasti, šupljikavi bazalt koristi za izradu ukrasnih elemenata u vrtnoj arhitekturi, i za izradu architektonskih elemenata koji predstavljaju "akcente" u oblaganju fasada (Winkler, 1994).

obliku blokova, ploča ili drugih građevinskih elemenata specificiranih oblika i dimenzija" – Thrush P.W. et al., 1968: *A dictionary of mining, mineral and related terms.*- US Bureau of Mines, 1269 p.; iz: Bates and Jackson, 1980). Dimenzionirani kamen mora da ispunjava određene kriterijume kvaliteta, koji su grupisani u geološke i negeološke faktore, od kojih su najznačajniji izgled, jedrina (postojanost, čvrstoća) i potražnja na tržištu. Najčešće se eksploatiše u vidu krupnih, pravougaonih blokova, koji se zatim seku u ploče za dalju obradu do specificiranih dimenzija i oblika. Na tržište se plasira u vidu blokova ili ploča specificiranih dimenzija i najveći deo se koristi u građevinarstvu, za zidanje, ili za oblaganje, za izradu spomenika, nameštaja, dekorativnih predmeta i dr. Ovaj termin su prvi upotreбили Bauls i Kuns (Bowles and Coons, 1933), radi razlikovanja od agregata.

U mnogim evropskim zemljama se koristi i termin "*ornamental stone*" – ukrasni kamen (def. "mineralna sirovina koja se koristi kao građevinski materijal, sa konstruktivnom i dekorativnom funkcijom"). Obuhvata i kocke, i ploče škriljaca, i krupne stenske blokove koji se vade radi dobijanja ploča za oblaganje, zatim kao skulptorski i memorijalni kamen. Ovi arhitektonski elementi imaju u određenim slučajevima i konstruktivnu funkciju, ali osnovna je ipak dekorativna (Carvalho et al., 2008).

Za mesto u prirodnoj sredini na kojem se vrši vađenje – eksploatacija kamena, koristi se nekoliko termina. Ležište AGK predstavlja nalazište AGK u kojem su vršena geološka istraživanja i eksploatacija, za koje postoji odgovarajuća tehnička dokumentacija o rezervama i kvalitetu sirovine. Pojava predstavlja slabije definisanu koncentraciju sirovine u prirodi – nalazište koje je delimično istraženo i/ili eksploatisano, bez dokumentacije ili sa dokumentacijom na osnovu koje se ne mogu donositi pouzdanije ocene o rezervama, kvalitetu i eksploatabilnosti (Stojković, 1997). Nalazište AGK je termin opšteg karaktera, koji objedinjava sve vrste ležišta i pojava AGK, različitih dimenzija i stepena istraženosti, aktivna ili neaktivna. Majdan je u narodu odomaćen izraz za bilo koje mesto u prirodi na kojem je u manjem ili većem obimu vršena eksploatacija kamena, bez uzimanja u obzir stepena organizovanosti eksploatacije. Stručni termin je kamenolom. Komercijalni blok je paralelopipedni stenski monolit određenog kvaliteta i kategorije utvrđene na osnovu dimenzija (Ilić, 2005).

## ***2.2. Primena kamena kroz istoriju i savremena primena***

Načini primene kamena kao primarnog građevinskog materijala iz Zemljine kore, menjali su se zajedno sa evolucijom ljudskog društva i njegovih potreba. Zbog svojih pogodnih svojstava čvrstoće, otpornosti, trajnosti, kao i vizuelnog utiska (lepote), kamen je korišćen za izradu jednostavnih alatki i oružja (od paleolita), skloništa od kamena kada je čovek prešao sa nomadskog na sedelački način života, a kasnije i spomenika i svetišta (od neolita); danas kamen nalazi nove oblike primene u različitim oblastima ljudske delatnosti, ali je građevinarstvo ostalo najveći korisnik kamena.

Mnoge istorijski značajne građevine su opstale do danas jer su izgrađene od kamena. Obimnija upotreba kamena u građevinskim radovima u istoriji ljudskog društva je počela sa egipatskom civilizacijom. Tokom vremena, kamen kao građevinski materijal je postao simbol bogatstva, moći i statusa. I danas se smatra vrhunskim građevinskim materijalom u smislu estetskih svojstava, trajnosti i jednostavnosti održavanja (Mead and Austin, 2006).

Trend sve raznovrsnijih oblika primene AGK u svetu tokom poslednjih nekoliko decenija, praćen je otvaranjem sve većeg broja kamenoloma i usavršavanjem mašina za eksploataciju i obradu AGK. Pored tradicionalne upotrebe AGK za dobijanje ploča različitih dimenzija za oblaganje u eksterijeru i enterijeru, za koju se i koristi najveći deo AGK, od njega se izrađuju i različiti dekorativni elementi: stubovi, ograde, balusteri, lukovi, portali, kapiteli, a sve se više od AGK izrađuju i ukrasno-upotrebni elementi za enterijer (radne ploče, stolovi, konzole, kade, stone lampe, kamini, lavabo i dr.) i eksterijer (žardinjere, fontane, klupe, stolovi, staze, graničnici za vozila, ukrasne table sa natpisima i dr. – tzv. urbani mobilijar). Za mnoge od navedenih namena nije potrebno da se iz stenske mase mogu dobijati kameni blokovi određenih dimenzija koji su neophodni u proizvodnji ploča za oblaganje. Ovi elementi se najčešće izrađuju od blokova manjih dimenzija od komercijalnih (tzv. tombolona), kao i od delova preostalih nakon obrade komercijalnih blokova, što omogućava kompleksno iskorišćenje stenske mase u ležištima. Takođe, pločasto lučene stene imaju tradicionalnu primenu u mnogim zemljama, naročito u vrtnoj arhitekturi, za pokrivanje objekata i za popločavanje, pri čemu se ne moraju izlagati završnoj obradi brušenjem i poliranjem.

U klasičnim zidanim kamenim konstrukcijama, kakve su ranije preovlađivale, kamen predstavlja osnovni konstruktivno-funkcionalni element gradnje u vidu masivnih

elemenata za zidanje. U savremenim, betonskim i čeličnim konstrukcijama, AGK u vidu tankih ploča za oblaganje predstavlja dekorativnu i zaštitnu oblogu funkcionalnih elemenata od jeftinijih materijala, pružajući im zaštitu, dugotrajnost i lep izgled.

Za razliku od ranijih epoha, kada je mermer imao dominantnu ulogu kao AGK za oblaganje horizontalnih i vertikalnih površina u urbanim sredinama, sve veći uticaj kiselih kiša koje razorno deluju na kalcijum-karbonatne stene primenjene u eksterijeru, uslovio je i sve veću primenu magmatskih stena za ove namene.

U Srbiji, krajem 20. veka i početkom 21. veka, eksploatacija i proizvodnja AGK praktično ne postoji, prvenstveno zbog političkih okolnosti koje su uticale i utiču na privrednu situaciju i podržavaju obiman uvoz (Pajković, 2005). U Srbiji je 1982. godine bilo aktivno oko dvadeset ležišta AGK, a 2004. godine šest ležišta AGK (Ilić, 2005).

### ***2.3. Mogućnost upotrebe različitih facija magmatskih stena kao arhitektonskog građevinskog kamena***

Teoretski posmatrano, sve vrste stena se mogu koristiti kao AGK, pod uslovom da zadovoljavaju zadate parametre kvaliteta. Oblast primene kamena je određena svojstvima stene (mineraloški sastav, sklop, lučenje i monolitnost pre svega), koja zavise od uslova nastajanja stene i različitih uticaja kojima je nakon geneze bila izložena (Vakanjac, 1976). Najpogodnije stene za upotrebu u industriji kamena su silikatne – magmatske stene (Bilbija, 1984), a među njima su najpogodnije intruzivne, u nekim slučajevima vulkanske i subvulkanske, a samo izuzetno žične i vulkanoklastične. Kao arhitektonski građevinski kamen, mogu se koristiti isključivo sveže, jedre, hidrotermalno nepromenjene stene, ako su dekorativne, sadrže malo fenokristala i imaju potpuno kristalizovanu osnovu (Hora, 2007), jer one imaju neophodnu otpornost i trajnost.

Povoljno svojstvo dubinskih magmatskih stena je njihova homogenost – slabije izraženo variranje svojstava kroz stensku masu, pogodni oblici lučenja i povoljna fizičko-mehanička svojstva. Granitoidne stene su podložne površinskom raspadanju u smislu kaolinizacije feldspata i oksidacije bojenih minerala, a pri obradi su visoko abrazivne zahvaljujući sadržaju kvarcnih zrna. Najčešći nedostaci plutonita Srbije su tektonska oštećenost i raspadnutost glavnih sastojaka uz često prisustvo anklava (Rijavec, 1963).



Žične magmatske stene nemaju veći praktični značaj sa aspekta AGK jer se javljaju u manjim masama (u vidu žica, dajkova, silova relativno male debljine), a najčešće su i hidrotermalno promenjene. Lamprofirske stene su, generalno, neotporne na dejstvo atmosferilija.

Primena izlivnih stena može biti identična primeni plutonskih ekvivalenata, zavisno od svežine, fizičko-mehaničkih svojstava i opšteg izgleda. Najčešće se koriste kao tehnički kamen (najviše za proizvodnju agregata), kao cepani kamen za izradu profilisanih elemenata (kocka, ivičnjak i sl.), a vrlo ograničeno kao AGK. Na ograničen značaj sa aspekta AGK utiču njihova svojstva: brze i značajne promene boje i sklopa kroz stensku masu, promenljive količine i veličine fenokristala (što je posledica lokalnih uslova pod kojima se odvijalo hlađenje i očvršćavanje lave), što sve utiče i na promenljivost fizičko-mehaničkih svojstava; često značajnog prisustva ksenolita, poroznosti, prisustva staklaste materije (koja je podložna brzom transformaciji u minerale glina), naročito u matriksu; čestih hidrotermalnih promena i neotpornosti prema uticaju atmosferilija.

S obzirom na način postanka i njihova svojstva time uzrokovana, vulkanoklastične stene u opštem slučaju nisu pogodne za primenu u građevinarstvu. Mogu se koristiti kao AGK samo pod uslovom da su dobro vezane. Kompaktniji tipovi ovih stena se uglavnom koriste lokalno, u oblastima gde nema drugih vrsta stena pogodnih za ove namene. Njihov heterogeni sastav uzrokuje razlike u fizičkim svojstvima; u poređenju sa drugim vrstama prirodnog kamena, pokazatelji fizičkih svojstava su ili viši nego kod drugih vrsta (poroznost, upijanje, širenje usled upijanja vlage) ili niži (pritisna čvrstoća, otpornost prema habanju, Jungov modul elastičnosti, gustina i dr.); iako se lako obrađuju, ne primaju polituru; sadrže odlomke čvršćih vulkanita u trošnom matriksu, koji su pri dejstvu habanja otporniji, i ostaju da štrče na površinama ploča, ili ostaju šupljine nakon njihovog ispadanja; matriks sadrži nestabilne minerale i vulkansko staklo, pa lako prelazi u minerale glina usled čega je stena trošna i podložna raspadanju pod uticajem atmosferilija. Ciklično širenje i skupljanje glina u matriksu (obično montmorionit) dovodi do raslojavanja, ljuskanja i mrvljenja. Vulkanoklastične stene u okviru Vardarske zone su pretežno hidrotermalno i površinski izmenjene, šupljikave, tektonizirane i vrlo trošne.

## ***2.4. Svojstva arhitektonskog građevinskog kamena i zahtevi u pogledu njegovog kvaliteta***

Na osnovu ispitivanja svojstava arhitektonskog građevinskog kamena, donosi se ocena o njegovom kvalitetu i upotrebljivosti. Ispitivanja se vrše na reprezentativnim uzorcima kamena, prema standardima propisanim na nivou države. Prema Jevremoviću (1997, mod.), značajnija svojstva čvrstih stena koje se koriste kao građevinski materijali su:

- A. Petrografska svojstva stena (mineraloški sastav, sklop – struktura i tekstura)
- B. Hemijski sastav stena
- C. Fizička svojstva stena (boja, zapreminska masa sa i bez pora i šupljina, poroznost, vodopropustljivost, vlažnost, upijanje vode, kapilarnost, provetrivost, toplotna svojstva, provodljivost zvuka, električna provodljivost, magnetičnost, radioaktivnost)
- D. Mehanička svojstva stena (čvrstoća, tvrdina, žilavost, habanje, deformabilnost)
- E. Tehničko-tehnološka svojstva (obradljivost, drobljivost, bušivost, razorivost eksplozivom, rastresitost).

Ova svojstva su detaljno opisana u odgovarajućoj literaturi (Bilbija, 1984; Jevremović, 1997, Maksimović, 2006a).

Ova svojstva su jednim delom pokrivena faktorima geološko-ekonomske ocene, međutim, pojedina svojstva zahtevaju posebnu pažnju kada se radi o arhitektonskom građevinskom kamenu, jer postoje specifični uslovi od velikog značaja za njegovu primenu. Pravi značaj određene vrste AGK se može sagledati isključivo uzimanjem svih ovih faktora u obzir.

### **2.4.1. Stadijumi istražnog procesa i ocena potencijalnosti nalazišta arhitektonskog građevinskog kamena**

Prema Vakanjcu (1976), geološko-istražni proces (prospekcijsko-istražni proces) ležišta AGK se može podeliti na etape: 1) prognoziranja (regionalna metalogenetska ispitivanja prema Jankoviću i Milovanoviću, 1985), 2) prospekcije i 3) istraživanja<sup>apendiks1-1</sup>.

1) Prva etapa u pronalaženju i istraživanju ležišta AGK je predstavljena fazom prognoziranja, koje se vrši na osnovu formaciono-mineragenetske analize određene teritorije. Izdvajaju se perspektivna područja (formacije i kompleksi stena) i vrši ocenjivanje perspektivnosti određenih terena sa aspekta mogućnosti nalaženja ležišta AGK. Rezultat ove faze je prognozna ocena, prvenstveno zasnovana na mineragenetskim i geološkim faktorima. U fokusu ove disertacije su tercijarni

magmatski kompleksi Vardarske zone. Facije<sup>2</sup> koje se među njima izdvajaju su plutonska, vulkanska sa subvulkanskom, žična i vulkanoklastična. Analiza mogućnosti primene pojedinih facija tercijarnih magmatskih stena Vardarske zone, pokazala je da plutonska i (sub)vulkanska facija imaju najveću generalnu potencijalnost sa ovog aspekta, a žična i vulkanoklastična vrlo nisku ili nikakvu. Takođe, pošto je cilj prve etape izdvajanje perspektivnih geoloških struktura i usmeravanje prospekcije na prioritetna područja, prospekcija nije vršena u magmatskim kompleksima koji su obuhvaćeni teritorijama nacionalnih parkova (glavna masa kopaoničkog granitoida, Fruška Gora).

2) Cilj etape prospekcije je pronalaženje, registrovanje i odabiranje pojava i delova stenskih masa pogodnih za izvođenje daljih istraživanja. U toku prospekcije se ređe vrše kompletne analize fizičko-mehaničkih svojstava – samo iz delova najperspektivnijih u pogledu izvođenja istražnih radova, i samo pojedinačne probe. U ovoj etapi su najznačajniji geološki faktori ocene (građa ležišta, uslovi zaleganja stenske mase, kompaktnost stenske mase – karakter lučenja, sistemi pukotina i prslina) i prirodni pokazatelji geološko-ekonomske ocene (dimenzije rudnih tela, prisustvo jalovine, sadržaj štetnih komponenata i dr.). Geofizička ispitivanja se koriste pri okonturivanju zona intenzivno ispucalih stena i zona čvrstih, kompaktnih stena (metoda specifičnog električnog otpora) i ispitivanju prostiranja magmatskih stena ispod mlađih stena ili navlaka (gravimetrijska ili geomagnetska ispitivanja) (Hora, 2007). Uzorci za kompletna ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava i mineraloško-petrološkog sastava se uzimaju iz najperspektivnijih delova stenske mase. Etapa prospekcije obuhvata dva stadijuma:

a) stadijum rekognoscirajuće prospekcije (regionalne prospekcije po Jankoviću i Milovanoviću, 1985), u kojem se vrši pronalaženje i registrovanje pojava AGK i ispitivanje njihovih najznačajnijih svojstava. Za proučavanje se koriste prirodni izdanci i eventualno stari (neaktivni) i/ili aktivni kamenolomi. Proučavanja tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone u sklopu ove disertacije su vršena na ovom stadijumu etape prospekcije; i

---

<sup>2</sup> Budući da različiti autori imaju različita shvatanja termina "facija", navodimo shvatanje prema Babović M., 1993: Geološka formacija u okviru organizacije geološke sredine.- Radovi Geoinstituta, knj. 28, str. 5-11: "... facija ima status konceptualnog geološkog modela koji odražava uslove stvaranja" (str. 8 navedenog rada)

b) stadijum detaljne prospekcije, u kojem se detaljnije izučavaju otkrivene pojave i delovi stenske mase u cilju odabiranja onih koje su najperspektivnije za izvođenje prethodnih istraživanja. Na ovom stadijumu se primenjuju i površinski istražni radovi na prirodnim izdancima do otkrivanja sveže, neraspadnute stene i istražno bušenje do predviđenog nivoa otkopavanja. Neophodno je dobiti podatke o uslovima zaleganja, orijentacione kvalitativne karakteristike kamena, postojanost sastava i svojstava.

Upoređivanje i ocenjivanje najperspektivnijih delova stenske mase se vrši na osnovu uslova zaleganja, debljine, građe i sastava stenske mase, stepena raspadnutosti i tektoniziranosti stenske mase, fizičko-mehaničkih svojstava kamena, dekorativnosti i rudarsko-tehničkih uslova otkopavanja kamena.

3) Etapa istraživanja ima za cilj utvrđivanje ekonomski interesantnih ležišta AGK i dobijanje podataka neophodnih za projektovanje i izvođenje eksploatacije.

Ležišta mineralnih sirovina (u ovom slučaju AGK) su geološka tela, određenih morfostrukturnih i kvalitativnih karakteristika, u određenom geografskom i mineragenetskom prostoru. Ta tela se primenom određenih sistema i metoda, kada se pronađu i istraže, mogu otkopavati u konkretnim prirodnim, tehničko-tehnološkim i ekonomskim uslovima (tehničko-eksploatacioni faktori ocene ležišta AGK). Dobijeni sirovi blokovi se obrađuju, i utvrđuje se njihovo optimalno područje primene (tehnoški faktori). Zatim se konkretni proizvodi prodaju na tržištu po odgovarajućim cenama (tržišni faktor) uz ostvarivanje dobiti i različitih ekonomskih, socijalnih i dr. efekata (društveno-ekonomski i dr. faktori). Pri oceni svih navedenih faktora, posebno se moraju imati u vidu problemi vezani za zaštitu životne sredine (geoekološki faktori, Milovanović, 1997).

U geološko-ekonomskoj oceni ležišta AGK u etapi prospekcije (odnosno u oceni perspektivnosti), izdvaja se osam glavnih faktora (Vakanjac, 1976; Janković i Milovanović, 1985; Milovanović, 1997):

1. mineragenetski (kontrolni faktori odnosno zakonitosti prostornog i vremenskog razmeštaja ležišta AGK), relevantni su za sagledavanje potencijalnosti određene formacije<sup>3</sup> (formaciono-mineragenetska analiza), mineragenetske jedinice, ili geografskog područja u odnosu na datu vrstu AGK. U okviru određene mineragenetske jedinice se izdvajaju područja koja su u geološkom, tehničkom i ekonomskom pogledu

---

<sup>3</sup> Geološka formacija je shvaćena kao paragenetska asocijacija geoloških tela tj. kao skup tela nastao u jednom geološkom procesu (Babović M., 1993).

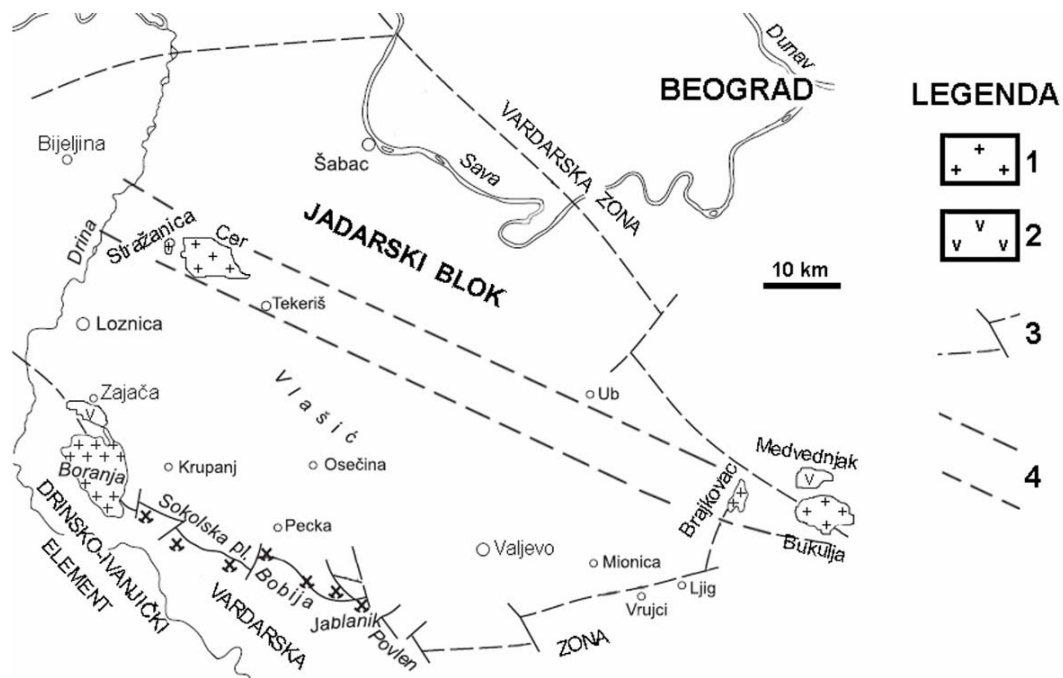
najperspektivnija za izvođenje daljih istraživanja. Izdvajanje delova magmatskih kompleksa perspektivnih sa aspekta AGK se vrši na osnovu kontrolnih faktora. U fokusu disertacije nalazi se Vardarska zona, geotektonska jedinica koja predstavlja deo planetarnog pojasa Tetisa, a u smislu mineragenetske rejonizacije predstavlja deo Srpsko-makedonske mineragenetske provincije (po Jankoviću, 1990). Njena potencijalnost za ležišta AGK magmatskog porekla je značajna, s obzirom da se u okviru nje nalazi veliki broj magmatskih kompleksa čija je geneza prvenstveno vezana sa procesima subdukcije opisanim u narednom poglavlju. Prostorno, ovi magmatski kompleksi su najčešće vezani za presečišta krupnih razlomnih zona sa poprečnim rasedima, međutim, sa aspekta njihove potencijalnosti za otkrivanje ležišta AGK, poželjno je da stenska masa bude što manje tektonski oštećena.

Bukuljski, cerski i boranjski magmatski kompleks su vezani prostorno za Jadarski blok, a genetski za Vardarsku zonu. Bukuljski i boranjski kompleks se nalaze u okviru rasednih zona oboda Jadarskog bloka, dok se cerski nalazi u okviru aeromagnetski indicirane razlomno-magmatogene zone Bukulja-Cer-Motajica-Prosara, u okviru koje su zastupljeni i brojni neotkriveni magmati (Vukašinović, 1976, 1991, sl. 2-1). Štajger i dr. (Steiger et al., 1989) su prvi zapazili specifične karakteristike magmata južnog oboda Panonskog basena, po kojima se oni razlikuju od drugih magmatskih kompleksa Dinarida i Vardarske zone. Njihova zajednička karakteristika je prisustvo S-tipa granitoida (muskovitskih i dvoliskunskih granita) i metalogenetski trend U-Sn-Nb-Ta-Be-REE (Cvetković et al., 2000a). Nastanak neogenih granitoida Bukulje i Cera se vezuje za ekstenziju Panonskog basena. Dok je hlađenje starijih granitoida I-tipa još uvek trajalo, ekstenzija u periodu od 16 do 10 Ma je dovela do utiskivanja mlađih granitoida Cera i Bukulje S-tipa (Cvetković et al., 2007).

Za Centralni dubinski razlom (po Vukašinoviću, 1976, 2005) su vezani šumadijski magmatski kompleksi (kosmajski, brajkovački, slavkovički, rudnički, boračko-kotlenički) i magmatski kompleksi južnosrbijanskog dela Vardarske zone (vulkaniti Stolova, željinski, drenjski, kopaonički, kremički plutoni i Ibarski vulkaniti).

Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000), vulkanska provincija Rudnik-Borač-Kotlenik pripada paleogeno-neogenoj vulkanskoj formaciji centralne ose Balkanskog poluostrva, koja se nalazi u kompozitnom teranu Vardarske zone, gde je Jadarski blok tektonski smešten uz glavni šav Tetisa. U tektonskoj građi oblasti dominiraju krupni

razlomi pravca pružanja SSZ-JJI (Kotlenik-Rudnik), kao i lokalni, tzv. poprečni rasedi pravca pružanja zapad-istok.



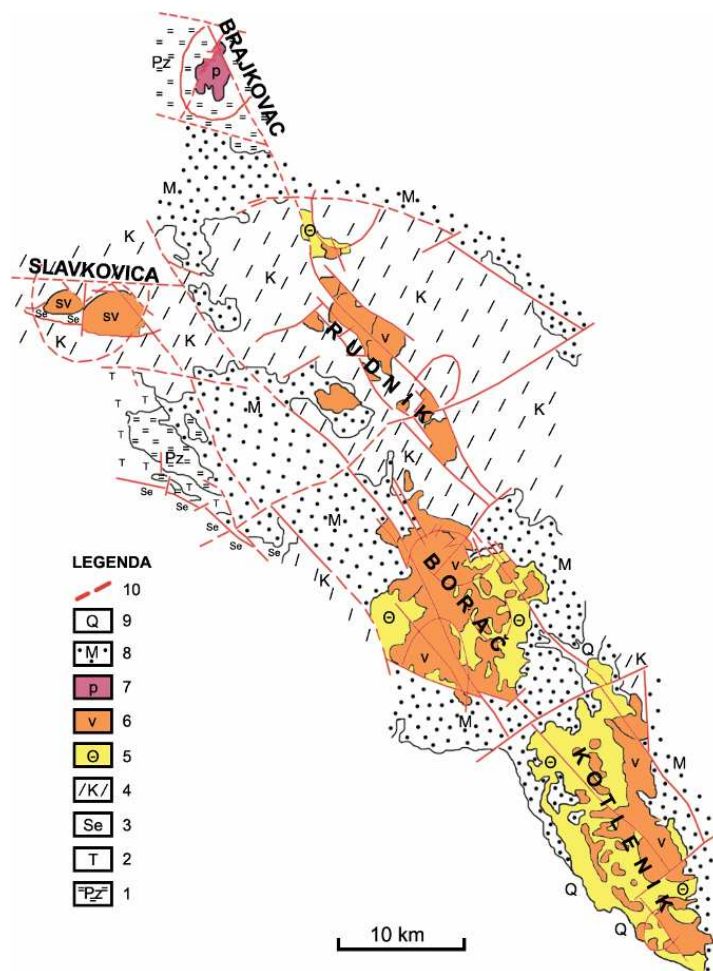
Slika 2-1: Položaj magmatskih kompleksa Bukulje, Cera i Boranje u okviru Jaderskog bloka (prema Filipoviću, 2005 i Vukašiniću, 1991; mod.).

Legenda: 1. plutoni; 2. vulkaniti; 3. rasedne zone; 4. aeromagnetski indicirana razlomno-magmatogena struktura Bukulja-Cer-Motajica-Prosara.

To su pre svega rasedi Rudnik-Rajac i Ljig-Živkovci (Vukašinić, 1976). Upravo mesta njihovog preseka predstavljaju glavne zone intenzivne magmatske aktivnosti. Vrednosti apsolutnih starosti ovih magmatskih kompleksa su bliske. Prema mišljenju Divljana i Cvetića (1991a), u istoj razlomnoj zoni se nalazi i magmatski kompleks Brajkovca. Kompleksi Rudnika i Slavkovice se nalaze na zajedničkoj poprečnoj dislokaciji (Divljan i Cvetić, 1991a; Vukašinić, 1976) (sl. 2-2). Prema podacima aeromagnetnih ispitivanja (Vukašinić, 1970) brajkovački granitoid je nastao utiskivanjem magme duž razloma Kotlenik-Rudnik-Belanovica, dok se prema istom autoru (1976, 2005) na zajedničkoj razlomnoj zoni nalaze Kotlenik, Rudnik, Bukulja i Kosmaj, a ne Brajkovac.

Prema Divljanu i Cvetiću (1991a) i Filipoviću (2005), magmatski kompleksi Bukulje i Brajkovca se nalaze u istoj razlomnoj zoni, mada među njima nema mineraloško-petrološke sličnosti (podaci o apsolutnoj starosti ne daju pouzdan osnov za utvrđivanje genetske veze, jer dobijene vrednosti značajno variraju). Trivić (1992, 1998) smatra da je brajkovački granitoid nastao nešto pre bukuljskog i da je moguće da se radi o

jedinstvenom magmatskom telu koje je nastalo tokom više sukcesivnih magmatskih ciklusa. Pretpostavka o genetskoj povezanosti između Brajkovca i Slavkovice se zasniva na njihovoj mineraloško-petrološkoj sličnosti i sličnim vrednostima apsolutne starosti, što je u skladu i sa mišljenjem Divljana i Cvetića (1991a).



Slika 2-2: Položaj magmatskih kompleksa Brajkovca, Slavkovića, Rudnika, Borača i Kotlenika (prema Divljanu i Cvetiću, 1991a; mod.).

Legenda: 1. paleozojske stene (škriljci i peščari); 2. trijaski sedimenti (krečnjaci, laporci i peščari); 3. serpentiniti; 4. kredni sedimenti (peščari, laporci i krečnjaci); 5. vulkanoklastiti; 6. izlivne magmatske stene – dacito-andeziti, kvarclatiti i trahitoidne stene (v) i subvulkanske stene (sv); 7. pluton Brajkovca; 8. miocenski sedimenti (krečnjaci, laporci i peščari); 9. kvartarne naslage; 10. rasedne zone.

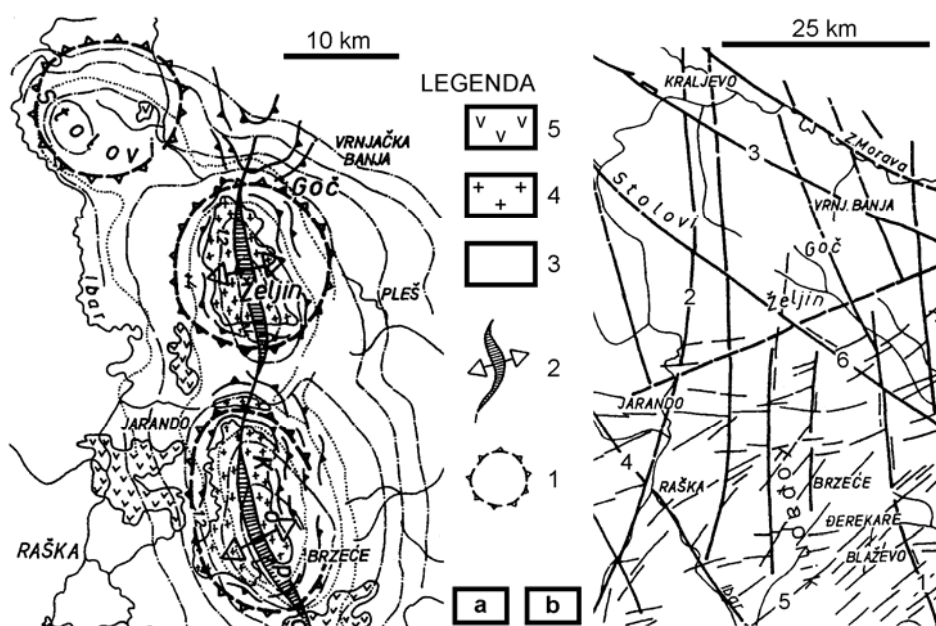
Magmatski kompleksi južnosrbijanskog dela Vardarske zone se javljaju na velikom prostranstvu, i obuhvataju plutonske, žične, vulkanske, subvulkanske i vulkanoklastične stene koje pripadaju Dinaridskoj sviti kalkoalkalne magmatske formacije srpskog dela Balkanskog poluostrva starosti kasni paleogen-rani neogen (Cvetković et al., 2000a),

odnosno oligocenske starosti (Schefer et al., 2011). Mičić (1980) smatra da su i efuzivne i intruzivne stene nastale iz iste magme, pri čemu su petrološke varijacije pojedinih magmatskih masa uslovljene vremenom i prostornim položajem njihovog stvaranja. Intenzivna magmatska aktivnost u ovom području je uzrokovana prostornom bliskošću razlomnih zona koje razgraničavaju podzone Vardarske zone u oblasti Kopaonika (Vukašinović, 2005) (sl. 3-7), kao i prisustvom brojnih rasednih sistema koji ih prate (sl. 2-3). Magmatski kompleksi Kopaonika i Željina, Ibarski vulkaniti i vulkaniti Stolova su prostorno smešteni duž zajedničkih tektonskih struktura: brahiantiklinale Kopaonik-Željina i rasednih zona Stolovi-Željina, Novi Pazar-Raška-Jarando-Studena Plamina, Jarando-Željina, Đerekare-Dren-Rogozna, Ribnica-Stari Trstenik i Ibarski rased (sl. 2-3b), i formiraju karakteristične prstenaste strukture (sl. 2-3a). Glavna plutonska masa Kopaonika, koja se nalazi južno od Jošaničke banje, obuhvaćena je teritorijom nacionalnog parka, usled čega se mora isključiti iz prospekcijsko-istražnog procesa za sve mineralne sirovine, uključujući i AGK. Manje prateće plutonske mase su predstavljene granitoidima Kremića i Drenja. Male plutonske mase Kovača, Crvnja, Kosovića, Ceovišta, Boća, Jošaničke banje i Gvozdaca, utisnute u prostoru između Željina i Kopaonika, i oko Kopaonika, teško su dostupne i pokrivene. Karamata i dr. (1992b) smatraju da su sva granitoidna tela oko kopaoničkog masiva satelitska tela glavne kopaoničke intruzije, nastala u istom periodu – pre oko 30 Ma. Delaloy i dr. (Delaloye et al., 1989) i Dimitrijević (2000) su za drenjski i željinski pluton dobili apsolutne starosti oko 20 Ma. Šefer i dr. (Schefer et al., 2011) su za kopaoničke, željinske i drenjske granitoide dobili apsolutne starosti u veoma uzanom intervalu - od 31,77 do 30,70 Ma. Zelić i dr. (Zelić et al., 2010a) smatraju da su sve plutonske stene kopaoničkog intruzivnog kompleksa donjeoligocenske starosti, a vulkaniti miocenske. Proučene magmatske stene kopaoničke oblasti koje nisu obuhvaćene teritorijom nacionalnog parka su predstavljene plutonima Kremića i Drenja, i efuzivno-vulkanoklastičnim masama na području Ušće-Biljanovac-Raška-Bisina.

2. geološki faktori obuhvataju geološki tip ležišta, morfo-strukturne karakteristike (uslovi zaleganja, debljina rudnih tela, strukturna deformisanost stenske mase), strukturno-teksturne karakteristike stene (sklop), prisustvo varijeteta stene, kvalitet AGK (sadržaj štetnih komponenata, mineraloški sastav). Sve obrađivane lokalnosti sa kojih su uzeti uzorci za ispitivanje u smislu genetske klasifikacije tipova



ležišta, mogu se svrstati u magmatski tip ležišta. Stepen strukturne deformisanosti izrazito varira u okviru svakog magmatskog kompleksa, pri čemu su svojstva stenske mase povoljnija dalje od rasednih zona i pratećih pukotinsko-prslinskih sistema. Najpovoljniji su delovi stenske mase masivno ili bankovito lučeni. Mineraloško-petrološki sastav stena sa ispitivanih lokalnosti i njihov sklop ispitani su u Laboratoriji za kamen i agregat Instituta IMS a građa stenske mase proučena je tokom terenskih izučavanja na svakom magmatskom kompleksu. Ove karakteristike su detaljnije prikazane u poglavljima o pojedinačnim magmatskim kompleksima;



Slika 2-3: a) Prstenaste strukture magmatskih kompleksa kopaoničke oblasti i brahiantiklinala Kopaonik-Željina (prema Đokoviću i dr., 1995a; mod.); b) Razlomne zone i prateći rasedi kopaoničke oblasti (prema Đokoviću i dr., 1995b; mod.).

Legenda: a) 1. prstenaste morfostrukture; 2. brahiantiklinala; 3. okolne nemagmatske formacije; 4. granitoidne plutonske stene; 5. kiseli i srednje kiseli vulkaniti; b) Rasedi: 1. Pleš-Lukovo; 2. Novi Pazar-Raška-Jarando-Studena Plamina; 3. Ribnica-Stari Trstenik; 4. Ibarski rased; 5. Đerekare-Dren-Rogozna; 6. Željina-Stolovi.

3. tehničko-eksploatacioni faktori (sagledavanje optimalnih metoda eksploatacije, iskorišćenja stenske mase, mogućnost kompleksnog iskorišćenja stenske mase u ležištu i dr.) se orijentaciono ocenjuju, a daleko veći značaj imaju u etapi istraživanja i probne eksploatacije. Magmačke stene se zbog tipa lučenja mogu javiti u vidu pločastih, stubastih, kuglastih agregata i nepravilnih oblika. Naročito je stenska masa u obodnim delovima magmatskih tela nepovoljno lučena sa aspekta AGK. Iako su komercijalni blokovi osnovni cilj istraživanja ležišta AGK, u dobro organizovanoj

proizvodnji tokom eksploatacije AGK, moguće je valorizovati i blokove stenske mase nekomercijalnih dimenzija, kamenu drobinu, kao i otpad koji nastaje pri obradi blokova i izradi poliranih ploča. Postupci kompleksne valorizacije sirovine se zasnivaju na tehnologiji "bez ostatka" (Živanović, 1997; Maksimović, 2006a). Sledeći proizvodi se mogu dobijati iz ležišta AGK: ploče za oblaganje (iz nekomercijalnih blokova se mogu dobijati marmete), lomljeni i cepani kamen za gradnju i kamene konstrukcije, profilisani kamen (kocke za kaldrmisanje, ivičnjaci, belezi i dr.). Ako je stena odgovarajućeg sastava, mogu se dobijati i: drobljeni kamen kao agregat za beton, putogradnju, zastore železničkih pruga; za teraco proizvode i fasade od kamenih agregata i mleveni AGK za punila u proizvodima građevinske hemije.

Uobičajena je praksa da se ležišta AGK eksploatišu površinskim metodama, mada je u slučaju značajne površinske izmenjenosti stenske mase neophodno ukloniti značajne mase otkrivke. Jalovina odnosno otpad pri eksploataciji je predstavljena alterisanim, tektoniziranim, raspadnutim delovima stenske mase, zatim delovima stene koji sadrže nehomogenosti kao što su anklave i šlire, kao i sve minerale koji pri raspadanju mogu da proizvedu mrlje (npr. pirit, markasit, halkopirit, neki minerali mangana). Odnos otpada prema bloku komercijalnih dimenzija je značajan ekonomski faktor. On je različit u različitim ležištima, a i u samom ležištu je promenljiv. Ukoliko se sirovina kompleksno iskorišćava, utoliko odnos otpada prema komercijalnom bloku može biti veći. Ležišta običnih granita (bez izrazitih estetskih svojstava) mogu imati oko 20% otpada, a kamen visoke vrednosti (kao labradorit) i do 80% otpada (Hora, 2007).

Ispitani magmatski kompleksi su zbog tvrdine stena slabije erodovani u odnosu na okolne terene i morfološki su istaknuti u reljefu. Iako je prisutno oceđivanje manjih količina atmosfere vode kroz sisteme pukotina u stenskoj masi, postoji vrlo mali rizik da troškovi odvođenja vode iz ležišta predstavljaju ekonomsko opterećenje tokom eksploatacije.

4. tehnološki faktori podrazumevaju fizičko-mehanička svojstva, obradljivost i postojanost kamena. Na osnovu ovih faktora se utvrđuje mogućnost primene kamena – za oblaganje vertikalnih i horizontalnih površina, u enterijeru i eksterijeru. Fizičko-mehanička svojstva kamena sa ispitivanih lokalnosti su ispitana u Laboratoriji za kamen i agregat Instituta IMS u Beogradu u skladu sa važećim Srpskim (i Evropskim)

standardima, i prikazana u odgovarajućim poglavljima o pojedinačnim magmatskim kompleksima;

5. regionalni odnosno ekonomsko-geografski faktori (reljef terena, klima, razvijenost i stanje putne mreže, uslovi i troškovi transporta, snabdevanje vodom, energentima i građevinskim materijalom, mogućnost nalaženja radne snage i dr.) su relativno povoljni za sve magmatske komplekse Vardarske zone, s obzirom da su povezani u mrežu puteva, iako promenljivog kvaliteta, i da danas postoji strujna mreža u svim delovima zemlje gde se nalaze ispitivani magmatski kompleksi. Troškovi transporta imaju značajan udeo u ceni finalnog proizvoda. Obični graniti mogu biti konkurentni samo na lokalnom tržištu, a specijalni varijeteti (crni, crveni, plavi) zbog visokih cena mogu da se transportuju po celom svetu. Klima je tipična za kontinentalne brdsko-planinske predele, sa toplim i sušnim letima i hladnim zimama sa dosta snežnih padavina. Radna snaga je dostupna u svim oblastima. Pošto se pretežno radi o planinskim oblastima, snabdevanje većim količinama vode može biti otežano;

6. tržišni faktori (mogućnost valorizacije i plasmana sirovine i proizvoda od nje na domaćem i inostranom tržištu, očekivana cena sirovine i gotovog proizvoda; mogućnost substitucije). S obzirom na količine arhitektonskog građevinskog kamena koje se uvoze, može se zaključiti da u Srbiji postoji tržište na kojem postoji potražnja za ovom sirovinom i različitim proizvodima od kamena. Velike količine jeftinog kamena se uvoze iz različitih delova sveta, naročito iz Kine, i neophodno je da se postignu konkurentne cene i kvalitet. Pošto je na obrađenim lokalnostima pretežno zastupljen kamen niske do srednje dekorativnosti, ne može se očekivati potražnja za ovim kamenom na inostranim tržištima. Danas se prirodni kamen sve više zamenjuje proizvedenim (veštačkim) kamenom i keramičkim proizvodima čija je prednost niža cena, što ne bi trebalo da ima značajnog uticaja na proizvodnju prirodnog AGK, koji je uvek imao svoje mesto na tržištu;

7. društveno-ekonomsko-politički faktori podrazumevaju društveno-privredne okolnosti koje mogu da utiču na vrednost sirovine; različite oblike dobiti koji mogu nastati vezano za proizvodnju – mogućnost povećane zaposlenosti u nedovoljno razvijenim delovima zemlje, u kojima se obično nalaze ležišta AGK, kao i doprinos ekonomskom razvoju ovih krajeva uopšte. S obzirom na visok procenat nezaposlenosti i siromaštvo stanovništva u oblastima u kojima se ispitivani magmatski kompleksi nalaze

i napuštanje domova koje je time izazvano, otvaranje novih radnih mesta bi za lokalno stanovništvo imalo veliki značaj. Otvaranje ležišta bi značilo i manji uvoz AGK i manji odliv deviznih sredstava sa pozitivnim uticajem i na ekonomsku poziciju zemlje u celini;

8. geokološki faktori podrazumevaju ocenu stanja sredine pre početka istraživanja i procenu mogućih uticaja eksploatacije na okolnu sredinu; metode remedijacije nakon završene eksploatacije; koncentraciju radionuklida u skladu sa domaćim i stranim propisima i dr. U ležištima AGK sa aktivnom eksploatacijom su zastupljene različite vrste zagađenja, pre svega zagađenje prašinom, zatim vibracije i buka. Međutim, pošto su u smislu toksičnosti ovo inertni materijali (Delgado et al., 2006), po završetku eksploatacije, neophodno je samo zapunjavanje izeksploatisanih prostora radi sprečavanja povređivanja ljudi i životinja, kao i pošumljavanje ogoljenih terena.

#### **2.4.2. Specifični faktori u oceni potencijalnosti nalazišta arhitektonskog građevinskog kamena**

U poređenju sa drugim vrstama nemetalnih mineralnih sirovina, metodika istraživanja arhitektonskog građevinskog kamena ima niz specifičnosti. Istraživanje ležišta AGK je usmereno prvenstveno na mogućnost dobijanja paralelopipednih stenskih blokova odgovarajućih dimenzija i kvaliteta, tzv. komercijalnih blokova. Specifični faktori za vrednovanje ležišta AGK (Vakanjac, 1976; Mead and Austin, 2006) su:

1. Strukturna građa stenske mase (veličina i oblik stenske mase, tektoniziranost, kompaktnost, sklop, lučenje, monolitnost). Utiče na mogućnost dobijanja pravougaonih blokova – monolita – odgovarajućih dimenzija i koeficijent iskorišćenja ležišta;
2. Dekorativnost odnosno estetska svojstva kamena i homogenost (obuhvataju vizuelni izgled kamena, boju i šaru, retkost i ujednačenost izgleda);
3. Postojanost odnosno trajnost (zavisi od hidrotermalnih alteracija, mineraloškog sastava odnosno prisustva štetnih minerala, stepena raspadnutosti);
4. Fizičko-mehanička svojstva stenske mase (zajedno sa postojanošću utiču na mogućnost primene kamena);
5. Tehničko-tehnološka svojstva (mogućnost prerade i obrade kamena);
6. Radioaktivnost stena i iz njih dobijenog kamena.

Na sva ova svojstva stenske mase presudno utiču procesi geneze stene i postgenetski procesi. Faktori navedeni pod 1, 2 i 6 su obuhvaćeni geološkim faktorima, a faktori 3, 4 i 5 – tehnološkim faktorima ekonomske ocene ležišta AGK prema Vakanjcu (1976), Jankoviću i Milovanoviću (1985) i Milovanoviću (1997). U donošenju odluke o potencijalnosti stenske mase kao AGK, najveći značaj većina autora pridaje rezultatima ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava (npr. Harben and Purdy, 1991; Mead and Austin, 2006; Ashmole and Motloun, 2008a), monolitnosti stenske mase (npr. Križak i dr., 2005; Carvalho et al., 2008), ili dekorativnosti kamena (npr. Maksimović, 2005). Generalno, ekonomska vrednost ležišta AGK pri visokoj dekorativnosti i zadovoljavajućim vrednostima fizičko-mehaničkih svojstava kamena, određena je stepenom kompaktnosti stenske mase, tj. procentom dobijenih blokova kamena pogodnih za preradu sečenjem i procentom dobijenih ploča čije dimenzije zadovoljavaju zahteve standarda i tržišta.

1. Faktor strukturne građe stenske mase odnosi se na zahtev industrije AGK da se kamen vadi u vidu jedrih monolita koji po dimenzijama odgovaraju preradi u industrijskim pogonima i predstavlja jedan od osnovnih preduslova za ležišta AGK. Zavisí pre svega od gustine i prostorne orijentacije sistema pukotina i prslina. Stenska masa ima potencijal sa aspekta AGK ako se iz nje može dobiti određeni broj krupnih, jedrih blokova sa određenim stepenom homogenosti (sklopa, boje i dr.). Jedrina (kompaktnost) podrazumeva odsustvo mana (pukotina, prslina, pravaca oslabiljenosti koji ograničavaju dimenzije blokova ili ploča). Dimenzije i oblici monolita koji se mogu dobiti iz stenske mase su uslovljeni načinom pojavljivanja stenske mase, postojanjem i međusobnim odnosom pukotina. Od uticaja može biti i priroda stene i njena struktura. Tektonska naprežanja (pritisci, smicanje i oslobađanje napona) kojima je stenska masa bila izložena tokom geološke istorije su uzrokovala pucanje čvrstih stenskih masa. Regionalna ispugalost stenske mase je posledica egzogenih procesa, vezana za površinske delove terena u kojima su procesi površinskog raspadanja imali najveći uticaj, i sa dubinom se smanjuje (Tomić, 1989). Intenzivna tektoniziranost stenske mase doprinosi i povećanom stepenu površinske raspadnutosti stenske mase.

Podela monolita na klase za pravilno oblikovane blokove je data u Službenom listu br. 9/67 – blokovi od prirodnog kamena za industrijsku preradu. Prema dužini su razvrstani u šest komercijalnih kategorija:

Kategorija:	Dužina:
1	300 cm i više
2	250-299 cm
3	200-249 cm
4	150-199 cm
5	100-149 cm
6	do 99 cm

Za male blokove, nepravilnih i subpravilnih formi se u praksi koristi termin "tomboloni". Blokovi većih dimenzija imaju veću vrednost jer je njihova prerada ekonomičnija. Kod manjih blokova pri sečenju do finalnih proizvoda dolazi do nastajanja većeg procenta otpada. Različite vrste pukotina su i površine po kojima se stena najlakše odvaja, pa je najpovoljnije da pukotine budu raspoređene na međusobnim rastojanjima od 1-2 m ili više, u vidu tri međusobno upravna sistema, što omogućava olakšano dobijanje paralelopipednih blokova kamena. Ešmol i Motloug (Ashmole and Motloug, 2008a) navode da su zahtevane dimenzije sečenih blokova (240-330)x(120-190)x(70-180) cm. U prirodi stene najčešće imaju gušću mrežu pukotina, ali se mogu iskoristiti delovi krupnih intruziva koji nisu tektonizirani. Terensko ispitivanje tektoniziranosti stenske mase u fazi prospekcije je ograničeno veličinom, oblikom i položajem izdanaka. S obzirom na to da je prema savremenim definicijama dekorativni kamen svaki koji ima dekorativna svojstva bez obzira na monolitnost, praktično svaka stena se može upotrebiti za ove namene. Neophodno je utvrditi mogućnost upotrebe stene kao AGK sa aspekta dimenzioniranog kamena, jer su stenske mase koje ispunjavaju uslove za ove namene daleko ređe u prirodi. Monolitnost ili "blokovitost" stenske mase, odnosno mogućnost dobijanja komercijalnih blokova iz stenske mase je teško oceniti, čak i kada se izvrše istražno bušenje i površinski istražni radovi. Ocenjivanje "blokovitosti" se sa više sigurnosti može izvršiti tek nakon izrade probne etaže.

Tektonska oštećenost svih magmatskih formacija u okviru Vardarske zone kao nekadašnjeg mobilnog pojasa je značajna, pa je stoga u mnogim kompleksima teško ostvarivanje uslova monolitnosti stenske mase neophodne za primenu stene kao AGK.

2. Dekorativna svojstva kamena obuhvataju zajedničku percepciju niza svojstava kamena – boje, šare (sklopa), njihove homogenosti kroz stensku masu, i prisustva ili odsustva diskontinuiteta i defekata (Ashmole and Motloun, 2008a). Kriterijum dekorativnosti je subjektivne prirode zbog relativnosti percepcije i ocene estetske dimenzije objekta kod pojedinaca. Boja zavisi od boje preovlađujućih minerala, a šara zavisi od sklopa stene. Veoma je značajna postojanost boje, koja je najveća kod magmatskih stena, kad su sveže i bez štetnih minerala. Prema stepenu dekorativnosti, Vakanjac (1976) je podelio AGK na tri osnovne grupe:

A) kamen najviše dekorativnosti (odlikuje se neobičnom i prijatnom bojom, originalnom šarom i prozračnošću);

B) kamen srednje dekorativnosti (odlikuje se jednoobraznom bojom uz preovlađivanje žutih/braon i sivih tonova) i

C) kamen niske dekorativnosti (odlikuje se tamnom bojom, ili svojstvima kao kamen prve i druge grupe, ali sa prisustvom mrkih pega i fleka).

Bilbija (1984) navodi da se granitoidne stene kod nas slabo koriste kao AGK uprkos činjenici da su značajno zastupljene, zbog odsustva dekorativnih varijeteta – krupnozrnih i porfiroidnih varijeteta sa obojenim feldspatima, i preovlađivanja sitnozrnih varijeteta sa sivim feldspatima manje dekorativnosti.

U estetske mane kamena se ubrajaju: promenljivost boje i sklopa na malim rastojanjima (jer je otežano dobijanje homogenih blokova, a zatim i ploča ujednačenog izgleda), prisustvo anklava, aplitskih i lamprofirskih žica, šlira, diferencijata, makro i mikro diskontinuiteta, akcesornih minerala, kontaktnih zona i zona alteracije (Venkat Reddy, 2002). Neki proizvodi alteracije, npr. epidot, mogu da daju lepu boju steni, a da pritom ne pogoršavaju fizička svojstva stene. Pojedini autori smatraju da ksenoliti nisu mane kamena, niti na bilo koji način utiču na njegov kvalitet (Dimes, 1998b). Postoji, međutim, rizik od njihovog ubrzanog raspadanja, naročito ako sadrže štetne minerale (npr. sulfide gvožđa), i kada je završna obrada kamena štokovanje.

3. Postojanost odnosno trajnost kamena se ogleda u njegovoj otpornosti na uticaj različitih agenasa površinskog raspadanja; podrazumeva odsustvo štetnih minerala koji mogu da ugroze otpornost kamena na uticaje atmosferilija (prisustvo štetnih minerala je najčešće posledica hidrotermalnih alteracija, ali i geneze same stene) i stepen površinske

raspadnutosti stene pod uticajem atmosferilija i/ili stepen hidrotermalnih promena koje mogu da olakšaju površinsko raspadanje. Kao arhitektonski građevinski kamen, mogu se koristiti isključivo sveže, hidrotermalno nepromenjene stene bez štetnih minerala. Raspadanje pod uticajem atmosferilija (površinsko raspadanje) je proces alteracije i raspadanja stena na Zemljinoj površini ili blizu nje, fizičkim, hemijskim i biološkim procesima. Na površinsko raspadanje najviše utiču klima, uslovi drenaže, mineraloški sastav i sklop stene. Hemijsko raspadanje se odvija usled raspadanja nestabilnih minerala, od kojih su najštetniji sulfidi gvožđa. Kvalitet površinski raspadnute stene se poboljšava sa dubinom, a hidrotermalno alterisana stena može biti promenjena i na velikoj dubini. Fizičko raspadanje se odvija pod uticajem vode koja mrzne (i kristalizacije soli u urbanim uslovima), i stoga je otpornost kamena na dejstvo mraza i na kristalizaciju soli pokazatelj njegove otpornosti na ovaj vid raspadanja. Trajnost kamena se može proceniti i preko poroznosti, gustine, upijanja vode, zapreminske mase i prisustva sekundarnih minerala, jer rezultati ovih ispitivanja ukazuju na stepen površinskog raspadanja stena. Što je veća razlika u fizičko-mehaničkim svojstvima kamena (pre svega pritiska čvrstoće) u suvom i vlažnom stanju, veći je stepen raspadnutosti kamena. Petrografski sastav ukazuje na prisustvo štetnih i nestabilnih minerala. Minerali treba da budu što stabilniji u vlažnim uslovima. Poželjno je odsustvo sulfidnih minerala (pirit, pirotin, markasit i dr.) i što niži sadržaj liskuna. Najtrajnije su stene izgrađene pretežno od kvarca i feldspata. Međutim, veliki uticaj na trajnost kamena imaju i finalna obrada i način i mesto ugradnje. Zahtev da stena bude čvrsta, homogena, nealterisana, bez štetnih minerala, generalno isključuje stene iz oblasti sa metalničnim mineralizacijama (Hora, 2007).

4. Fizičko-mehanička svojstva magmatskih stena imaju presudan uticaj na područje njihove primene. Za arhitektonski građevinski kamen su najznačajnija sledeća svojstva: pritiska i savojna čvrstoća, otpornost na habanje, poroznost, upijanje vode, postojanost na mraz i toplotno širenje. Svojstva stene koja najviše utiču na fizičko-mehanička svojstva kamena su: mineraloški sastav i karakteristike minerala, sklop (prostorni raspored minerala, njihov oblik i dimenzije), stepen prorastanja zrna, stepen alterisanosti odnosno svežina stene, defekti u mineralnim zrnima i samoj steni,



poroznost. Varijacije petroloških svojstava stene dovode do varijacija u fizičko-mehaničkim svojstvima građevinskog kamena.

Osnovni standard, kojim su propisani uslovi kvaliteta kamena za izradu ploča za oblaganje je SRPS B.B3.200 "Prirodni kamen, ploče za oblaganje – tehnički uslovi" iz 1994. godine, izdat od strane Saveznog zavoda za standardizaciju, kao 2. izdanje, nastalo revizijom 1. izdanja iz 1980. godine. Osim uslova kvaliteta, njime su pokriveni i oblik i mere, vrste obrade i vrste ispitivanja ploča za oblaganje, dobijenih rezanjem blokova prirodnog kamena. Kamen koji ispunjava uslove za upotrebu kao AGK, koji su propisani Srpskim standardima, pored proizvodnje ploča za horizontalno i vertikalno oblaganje u enterijeru i eksterijeru, takođe se može koristiti i za proizvodnju profilisanih elemenata (stubova, portala, konzolnih stepenika, balustrada, prozorskih klupica, ivičnjaka, sitne i krupne kocke i dr.); kao lomljeni kamen različite krupnoće za sva zidanja u niskogradnji, za izradu nožica, temelja i tela regulacionih građevina itd. Kao obrađen kamen u vidu kocki, ivičnjaka, blokova i ploča, može se upotrebiti za kaldrmisanje ulica i puteva, popločavanje trgova, prolaza, podova i drugih površina, izradu postolja i spomen obeležja, ukrasno oblaganje horizontalnih i vertikalnih površina, temeljno zidanje zgrada, izradu tunelskih obzida, ulaznih portala i većih potpornih zidova, oblaganje kejova i obala, utvrda u naseljenim mestima, i kao skulptorski kamen. Za nedimenzionirani ukrasni kamen nisu propisani posebni uslovi kvaliteta.

Standardi koji obuhvataju metode ispitivanja, na koje se poziva standard SRPS B.B3.200:1994 su:

SRPS B.B0.001:1984	Prirodni kamen – Uzimanje uzoraka kamena i kamenih agregata
SRPS B.B8.001:1982	Ispitivanje prirodnog kamena – Otpornost na dejstvo mraza
SRPS B.B8.002:1989	Prirodni kamen – Ispitivanje postojanosti na mrazu, indirektna metoda sa rastvorom Na-sulfata
SRPS B.B8.003:1986	Prirodni kamen – Ispitivanje mineraloško-petrografskog sastava
SRPS B.B8.010:1980	Ispitivanje prirodnog kamena – Određivanje upijanja vode
SRPS B.B8.012:1987	Prirodni kamen – Određivanje pritisne čvrstoće
SRPS B.B8.013:1960	Ispitivanje prirodnog kamena – Ispitivanje postojanosti pod uticajem atmosferilija
SRPS B.B8.015:1984	Ispitivanje otpornosti prema habanju brušenjem
SRPS B.B8.017:1987	Prirodni kamen – Određivanje savojne čvrstoće
SRPS B.B8.032:1980	Ispitivanje prirodnog kamena – Određivanje zapreminske mase sa porama i šupljinama, zapreminske mase bez pora i šupljina i koeficijenta zapreminske mase i poroznosti.

Vrste ploča navedene u ovom standardu su:

- ploče za oblaganje unutrašnjih horizontalnih površina,
- ploče za oblaganje unutrašnjih vertikalnih površina,
- ploče za oblaganje spoljnih horizontalnih površina i
- ploče za oblaganje spoljnih vertikalnih površina.

Kamen koji se koristi za proizvodnju ploča za oblaganje mora da ispunjava uslove iz Tabele 2-1, zavisno od predviđene namene.

Ocena rezultata ispitivanja kamena za izradu ploča za oblaganje može biti:

- kamen upotrebljiv za proizvodnju ploča za sve vrste oblaganja,
- kamen upotrebljiv za proizvodnju ploča za određene vrste oblaganja (uz navođenje vrsta oblaganja)
- kamen neupotrebljiv za proizvodnju ploča za oblaganje.

5. Tehničko-tehnološka svojstva kamena se odnose na njegovu obradljivost i upotrebljivost. Kada se za kamen iz nekog ležišta dobije pozitivna ocena svih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava, ispituje se njegovo ponašanje kroz različite postupke završne obrade i načine korišćenja. Blokovi AGK, zavisno od svojstava, obrađuju se na odgovarajuće načine u različite završne proizvode. Obradljivost kamena je obrnuto proporcionalna njegovoj trajnosti. Zavisi od tvrdine, gustine, sklopa, mineraloškog sastava, prisustva uklopaka i dr. Krupne liske liskuna mogu štetno da utiču na mogućnost poliranja stene. Tip obrade kamena zavisi od njegovih svojstava, ali i od mesta ugradnje. Nekada se smatralo da se kao ukrasni kamen mogu koristiti samo stene koje dobro primaju polituru. Danas je uobičajena primena nepoliranog kamena, pri čemu on i dalje zadržava svoju dekorativnu funkciju (Carvalho et al., 2008).

6. Prirodna radioaktivnost je svojstvo stene koja sadrži prirodno radioaktivne elemente i nestabilne izotope, koji predstavljaju izvore jonizujućeg zračenja ( $\alpha$  i  $\beta$  čestica i  $\gamma$

---

<sup>4</sup> Umesto standarda SRPS EN 14581:2004 - Metode ispitivanja prirodnog kamena - Određivanje linearnog toplotnog širenja, za čiju primenu Institut IMS još uvek nije akreditovan, a zasnivaju se na istom principu, pri čemu su samo dimenzije opitnih tela različite.

zračenja) i stoga predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje. Najčešći radioaktivni elementi u stenama su uran  $U^{238}$ ,  $U^{235}$  i torijum  $Th^{232}$ .

Tabela 2-1 – uslovi koje treba da ispuni arhitektonski građevinski kamen u zavisnosti od vrste i kategorije primene.

Svojstvo	Namena kamena									
	Unutrašnje oblaganje				Spoljno oblaganje					
	Horizontalne površine			Ver. pov.	Horizontalne površine			Vertikalne površine		
	UH-1	UH-2	UH-3	UV	SH-1	SH-2	SH-3	SV-1	SV-2	SV-3
Mineraloško-petrološki sastav	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pritisna čvrstoća, najmanje (MPa)	100	*	*	*	140	120	*	160	140	*
Savojna čvrstoća, najmanje (MPa)	12	8	6	*	18	12	8	18	12	8
Habanje brušenjem, najviše ( $cm^3/50cm^2$ )	14	25	35	*	12	14	18	*	*	*
Poroznost, najviše (%)	*	*	*	*	5	7	*	5	*	*
Zapreminska masa sa šuplinama ( $kg/m^3$ )	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zapreminska masa bez šupljina ( $kg/m^3$ )	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Upijanje vode, najviše (%)	1	3	*	*	1	2	3	1	2	*
Postojanost prema atmosferilijama	#	#	#	#	+	+	+	+	+	+
Postojanost prema dejstvu mraza	#	#	#	#	+	+	+	+	+	+
Postojanost prema dejstvu $Na_2SO_4$ (%)	#	#	#	#	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Toplotno širenje	#	#	#	#	+	+	+	+	+	+
* Uslovi kvaliteta nisu propisani, ali se prilažu rezultati ispitivanja + Zadovoljavajući rezultati ispitivanja prema važećim standardima # Ne ispituje se										

UH-1 Vrlo intenzivan pešački saobraćaj (robne kuće, hoteli, bolnice, javni objekti, poslovne zgrade, industrijski objekti, bioskopi i sl.)

UH-2 Intenzivan pešački saobraćaj (trgovine, stambene zgrade, muzeji, restorani, škole i sl.)

UH-3 Umeren pešački saobraćaj (biblioteke, arhive, knjižare, čekaonice i sl.)

SH-1 Vrlo intenzivan pešački, a povremeno i automobilski saobraćaj (trgovi, pešačke zone, ulice, tržni centri)

SH-2 Intenzivan pešački saobraćaj (parkovi i druga šetališta, terase, pešačke zone u blizini spomenika i sl.)

SH-3 Umeren pešački saobraćaj

SV-1 Objekti preko 30 m visine iznad površine terena

SV-2 Objekti visine 10-30 m iznad površine terena

SV-3 Objekti visine do 10 m iznad površine terena.

Radioaktivnost magmatskih stena je u osnovi vezana za prisustvo akcesornih minerala poput cirkona, monacita, sfena, alanita, kolumbita, tantalita, apatita, u čijim kristalnim

reškama uran i torijum zamenjuju elemente bliskih jonskih radijusa (elemente retkih zemalja, itrijum, cirkonijum, mangan, kalcijum i dr.). Udeo urana i torijuma raste proporcionalno porastu udela silicije i kalije, od ultrabazičnih i bazičnih, preko srednje kiselih i kiselih stena, da bi dostigao maksimum u alkalnim i pegmatitskim stenama (Kobranova, 1986; Johnson, 1991).

Zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti (Službeni glasnik RS br. 36/2009 i 93/2012), kao i Pravilnikom o granicama radioaktivne kontaminacije lica, radne i životne sredine i načinu sprovođenja dekontaminacije (Sl. glasnik SR br. 38/2011), propisana su pravila o ispitivanju radioaktivnosti, ograničenju ili zabrani prometa i korišćenja proizvoda i sirovina za proizvodnju građevinskih materijala koji sadrže radioaktivne nuklide iznad dozvoljene granice. Iz ovog razloga, u odgovarajućim poglavljima navedeni su sadržaji urana i torijuma za ispitivane lokalitete. Merenje propisanog gama indeksa se vrši u Institutu za nuklearne nauke "Vinča" u Beogradu<sup>apendiks2-1</sup>.

Zbir svih navedenih vrednosti za jedno ležište vodi do ocene i rangiranja u ležišta (Crnković i Bilbija, 1984): a) od međunarodnog značaja, b) ograničenog međunarodnog značaja, c) nacionalnog značaja ili d) lokalnog značaja. Za terensku ocenu ležišta AGK tokom procesa njegovog proučavanja, esencijalni kriterijumi su: dimenzije magmatskih masa, homogenost stenske mase, tektoniziranost (deformisanost) stenske mase i stepen alterisanosti stene (Carvalho et al., 2008).

### **3.0. TERCIJARNI MAGMATSKI KOMPLEKSI VARDARSKE ZONE**

#### **3.1. Vardarska zona**

Vardarska zona predstavlja regionalnu geotektonsku jedinicu koja zauzima centralni položaj na Balkanskom poluostrvu i teritoriji Srbije. Kao deo dinaridskog orogena, predstavlja jedan mali deo mezo-kenozojskog kolizionog pojasa Alpi-Himalaji, odnosno reliktni ili šav složenog globalnog mobilnog pojasa Tetisa (Karamata et al., 2000a). Ovaj šav je nastao složenim geološkim procesima u gornjoj kredi nakon zatvaranja okeanskog basena Neotetisa i kolizije Adrija ploče sa kontinentalnim obodom Evroazije (Zelić et al., 2010a). Magmatski kompleksi Vardarske zone koji su u fokusu ove disertacije, produkti su složene tektono-magmatske evolucije Vardarske zone, u zoni subdukcije Afričke ploče pod južni obod Evroazijske ploče.

#### **3.2. Razvoj definicije Vardarske zone kroz istoriju geološke nauke u Srbiji**

Već prvi domaći istraživači su uočili generalno pružanje zona ujednačenih geološko-tektonskih karakteristika u građi Balkanskog poluostrva u pravcu SSZ-JJI. Cvijić (1901a, 1901b, 1904, 1924) je konstatovao da između Rodopske mase i Dinarida postoje "prelazne zone" sa slabo razvijenim sedimentnim pokrivačem. Na osnovu istraživanja geološke građe različitih planina (Avala, Kosmaj, Rudnik, Cer, Fruška Gora), zaključio je da su ove oblasti imale specifičnu geološku evoluciju, i da se po geološkom sastavu i tektonskoj građi razlikuju od okolnih terena – Rodopske mase i Dinarida. Iz tih razloga je smatrao da deo terena od Beograda do Solunskog zaliva, preko centralnog dela Balkanskog poluostrva (obuhvatajući "šumadske planine" zajedno sa planinama na zapadnom obodu Panonskog basena) predstavlja neku vrstu prelazne zone između Dinarida i Karpato-balkanida.

Kosmat (Kossmat, 1924; iz: Dimitrijević, 1995b, 2000) je prvi izdvojio Vardarsku zonu (prvobitno "*Vardar-Kopaonik zone*") kao strukturnu jedinicu pod ovim imenom, između Pelagonijskog i Rodopskog masiva (odnosno Drinsko-ivanjičkog elementa i Srpsko-makedonske mase), obuhvatajući njome oblast od Soluna na jugu, dolinom Vardara preko Skoplja, Skopske Crne Gore, Kosovske Mitrovice, zapadnog Kopaonika, Dragačeva i Jelice do Valjeva (sl. 3-1), pretpostavivši da se produžava ka SZ.



Slika 3-1: Tektonska rejonizacija Balkanskog poluostrva prema Kosmatu (Kossmat, 1924; iz: Dimitrijević, 1982)

Legenda: I - Jadransko-jonski kompleks bora; III - Zapadnocrnogorsko-hrvatska zona Visokog Krša; IVa - Bosansko-unutrašnjalbanska oblast krečnjaka i škriljaca; IVb - Zona mezozojskih ofiolitskih eruptiva i dr.; V - Pelagonija; VI - Vardarska zona; VII - Rodopi; VIII - Balkan.

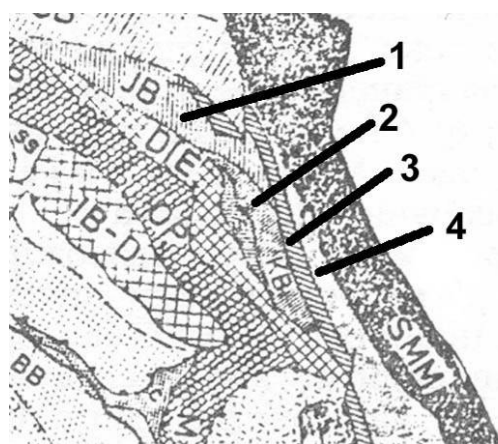
Milovanović (1950) je smatrao da se Vardarska zona produžava ka severu do Beograda i Panonskog basena. Većina istraživača je prihvatila ovo gledište (Bešić, 1951; Grubić, 1958, 1959, 1966, 1975; Ćirić, 1953, 1960/63, 1967a,b; i dr.), dok su pojedini autori smatrali da se Vardarska zona završava kod Skoplja (Cissarz, 1956; Petković, 1958, 1961 i dr.).

Andelković (1960, 1965, 1966) je izdvojio Šumadijsku i Moravsku zonu u sastavu Unutrašnjih Dinarida, kao delimične ekvivalente Vardarske zone i Srpsko-makedonske mase prema današnjim shvatanjima (po Dimitrijeviću, 1997). U kasnijim radovima je izneo mišljenje da Šumadijska zona predstavlja zasebnu tektonsku jedinicu, koja predstavlja graničnu oblast između Dinarida i Karpato-balkanida, i njen produžetak ka severu je video u potonulim terenima južnog Banata, odakle ju je vezao za Murešku zonu u Apuzenima Rumunije.

Stračkov i dr. (1966) su smatrali da je Vardarska zona glavni tektonski element Balkanskog poluostrva koji razdvaja dve krupne orogene oblasti – Dinaride i Karpato-

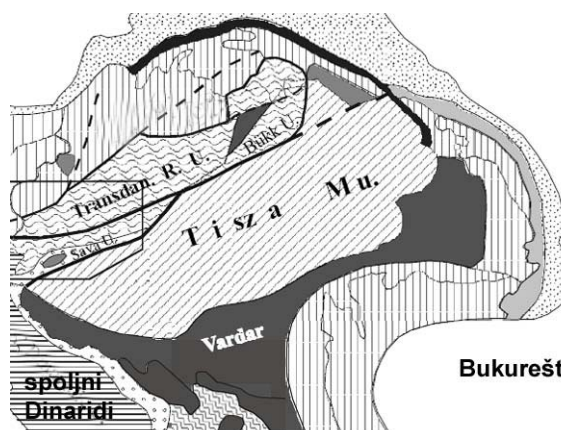
balkanide, da se proteže od Solunskog zaliva do Beograda i da ima jedan ogranak ka SZ, ka centralnoj Bosni.

Prema Hsiju (Hsü, 1971), Vardarska zona je predstavljala domen zatvaranja glavnog basena Tetisa. Dimitrijević (1974) i Aleksić i dr. (1974) su smatrali da je Vardarska zona tokom jure predstavljala zonu subdukcije, a zatim od senona zonu transkurentnog kretanja. Dimitrijević (1974) je postavio osnove svoje tektonske rejonizacije, izdvajajući Vardarsku zonu kao izduženi pojas sa pravcem pružanja JJI-SSZ između Srpsko-makedonske mase na istoku i Drinsko-ivanjičkog elementa na zapadu (sl. 3-2).



Slika 3-2: Model tektonske rejonizacije po Dimitrijeviću (1974).

Legenda: 1. JB - Jadarski blok; 2. KB - Kopaonički blok; 3. Centralna vardarska subzona; 4. Interna vardarska subzona; DIE - Drinsko-ivanjički element; OP - ofiolitski pojas; IB-D - istočnobosansko-durmitorski blok.



Slika 3-3: Prostiranje Vardarske zone ka SZ i severno od Beograda ka ISI (Haas et al., 1999).

Legenda: Tisza Mu - Tisza megajedinica; Bük U - Bik kompozitna jedinica; Transdan R.U. - Transdunavska jedinica; Sava U - Savska jedinica.

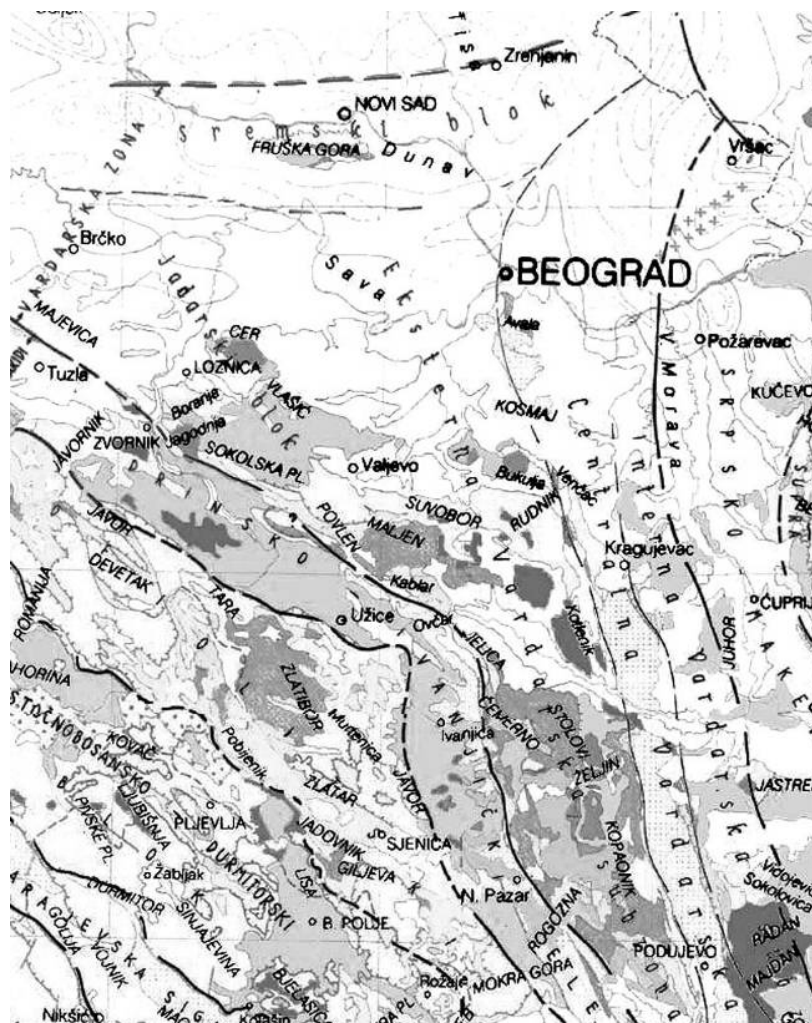
Smatrao je da je geotektonska istorija ovih prostora proticala pod uticajem diferencijalnih kretanja mediteranskih blokova i relativnog kretanja evropskog i afričkog kratona; da zone "serpentinitnog melanža" predstavljaju šavove okeanskih elemenata, zatvorene subdukcijom i/ili transformnim kretanjima, i da je kenozojska magmatska aktivnost uzrokovana topljenjem subdukovane okeanske kore. Ova gledišta predstavljaju temelj savremenih modela geotektonske evolucije.

Prema Jankoviću (1990), dužina Vardarske zone na teritoriji Srbije je preko 350 km, a širina oko 75 km. Prema jugu se nastavlja preko Makedonije, Grčke i centralne Anadolije (zone Izmir-Ankara) na istok, a od Beograda ka severu i severozapadu. Brojni autori su ranijih decenija iznosili dokaze za pružanje Vardarske zone iz Srbije ka SZ ili

SI, dok Haas i dr. (Haas et al., 1999) (sl. 3-3), i Šefer i dr. (Schefer et al., 2011, p. 18, Fig. 9) prikazuju njeno pružanje i ka SZ i ka ISI, što je u skladu i sa podacima aeromagnetometrijskih ispitivanja (Vukašinović, 2005).

### **3.3. Podela Vardarske zone na podzone**

Dimitrijević (1974) i Karamata i dr. (Karamata et al., 1999) su u okviru Vardarske zone izdvojili tri podzone – Dimitrijević prema strukturnim i facijalnim (sedimentološkim) karakteristikama, a Karamata i dr. prema genetskim obeležjima. Dimitrijević (1974) je prihvatio podelu Vardarske zone na tri podzone prema Mersijeu (Mercier, 1966): interna (na istoku), centralna i eksterna (na zapadu) (sl. 3-4).

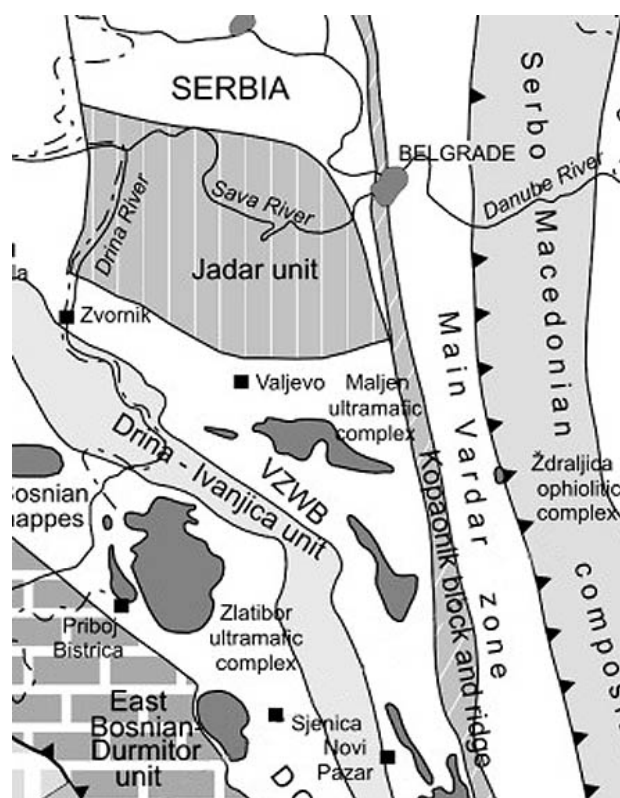


Slika 3-4: Podela Vardarske zone na podjedinice (Dimitrijević, 1992, mod.).



Internu podzonu neki autori smatraju za obod Srpsko-makedonske mase, koji je prerađen tokom ranoalpskih tektonskih kretanja, i tektonski uključen u Vardarsku zonu, a drugi za deo Vardarske zone. Centralna Vardarska podzona se prostire približno pravolinijski od Beograda do Kumanova. Danas je ova zona široka nekoliko desetina kilometara, ali depozicione sredine ispitanih naslaga ukazuju na prvobitnu širinu od najmanje 100 km. Eksterna podzona je najveća, i graniči se sa Dinaridima na zapadu Zvorničkim šavom (Dimitrijević, 1995a, 2000). Sastoji se od tri podjedinice: Sremskog, Jaderskog i Kopaoničkog bloka.

Prema Karamati i dr. (Karamata et al., 1994a), Vardarska šavna zona, odnosno "kompozitni teran Vardarske zone" sastoji se od istočne, centralne i zapadne vardarske subzone, odnosno (1999) od Glavne Vardarske zone, Kopaoničkog bloka i grebena i Zapadnog pojasa (sl. 3-5), i ne obuhvata Jaderski blok<sup>apendiks3-1</sup>.



Slika 3-5: Podela Vardarske zone na podjedinice prema Karamati (Robertson et al., 2009a).

Legenda: *Main Vardar zone* - Glavna vardarska zona; *Kopaonik block and ridge* - Kopaonički blok i greben; *VZWB* - zapadni pojas Vardarske zone; *Jadar unit* - Jaderski blok.

Glavna Vardarska zona ili pojas je izdužena jedinica pružanja SSZ-JJI između Srpsko-makedonskog kompozitnog masiva i Kopaoničke jedinice. Predstavlja relikvitet Tetisa

odnosno glavnog Vardarskog okeana koji je postojao u ranom paleozoiku između Gondvane na jugu i kontinentalnih masa koje su kasnije priključene Evroaziji na severu, a zatvoren je u gornjoj juri. Južno od Beograda je jasno izražena, a severno od Dunava se pruža ka SI ispod kenozojskog pokrivača i izdanjuje u južnim Apuzenima i Transilvanskoj depresiji.

Kopaonički blok i greben je jedinica izdužena u pravcu sever-jug, koja predstavlja relikta dela odvojenog od Drinsko-ivanjičkog terana tokom kasnog trijasa koji je formirao greben koji je razdvajao glavni Vardarski okean na istoku i mlađi, zapadni obodni basen Vardarske zone na zapadu.

Zapadni pojas Vardarske zone je ostatak marginalne okeanske oblasti, odnosno zapadnog Vardarskog okeana, koji je otvoren u gornjem norijskom katu (gornji trijas), verovatno usled subdukcije ka zapadu okeanske litosfere glavnog Vardarskog okeana i postojao je do gornjeg mastrihta (kraj gornje krede) (Karamata, 1995; Karamata et al., 2000b). U centralnoj i južnoj Srbiji, zapadni pojas Vardarske zone ima uzan izdanak između Drinsko-ivanjičke jedinice i Kopaoničke jedinice, a na SZ se širi, okružuje Jadersku jedinicu i pruža se do Zagreba.

Sve gore pomenute jedinice su postale delovi šavne zone koja se razvila između Evroazije i Gondvane. Počevši od mastrihta, ove jedinice su se ponašale kao jedinstveni geološki entitet.

### ***3.4. Geodinamička evolucija Vardarske zone***

Geodinamička evolucija terena Srbije i susednih oblasti je bila veoma komplikovana i još uvek nije potpuno razjašnjena. Uprkos značajnim razlikama u interpretaciji geotektonske evolucije i rejonizacije terena Srbije (i šireg prostora), većina savremenih autora se slaže da Vardarska zona predstavlja šav – domen zatvaranja Tetisa (Robertson & Dixon, 1984; Dercourt et al., 1986; Robertson et al., 1996). Stoga je i geotektonska evolucija terena Srbije vezana sa evolucijom Tetisa, odnosno relativnim odnosima Evroazijske i Afroarabijske ploče i pojedinih njihovih delova. S obzirom da je geološka evolucija Vardarske zone vezana za evoluciju okeanskih subdomena Tetisa, za njene granice se uzimaju Zapadni i Istočni dubinski razlom (prema Vukašinoviću, 1976), koji predstavljaju šavove ovih okeanskih prostora (sl. 3-7).

Nakon karbonske variscijske (hercinske) kinematske faze, u periodu karbon-perm je došlo do razlamanja superkontinenta Pangee i nastajanja okeana Tetisa između Karipske i Himalajske oblasti (Suess, 1885, 1888, 1909; iz O'Brien, 2001). Riftovanja i transkurentna rasedanja dovela su do nastajanja brojnih manjih kontinentalnih fragmenata različitih dimenzija, razdvojenih međusobno plitkim epikontinentalnim morima u okviru Tetisa (Dewey et al., 1973). U oblasti Mediterana, na regionalnu geodinamičku evoluciju je uticalo kretanje okolnih kontinentalnih fragmenata – Apulije i Pelagonije, koje su se riftovanjem odvojile od Gondvane u trijasu (Robertson, 2006). U kredi se promenio pravac kretanja ploča i otpočelo je konvergentno kretanje Afroarabijske ploče (Apulije) i Evroazijske ploče, a glavni okeanski baseni su zatvoreni subdukcijom okeanske kore Tetisa ka severoistoku pod južni obod evropskog kontinenta (pod Srpsko-makedonsku masu i Panonski basen). U oblasti Dinarida, subdukcija dela tetiskog Vardarskog okeana ka istoku se odvijala tokom kasnog mezozoika i ranog paleogena (Karamata and Krstić, 1996). Zatvaranje ogranaka Tetisa (Vardarskog okeana) se u dinaridskom regionu odvijalo tokom gornje krede i donjeg paleocena. Subdukcija i procesi vezani za aktivni obod su završeni zatvaranjem Tetisa putem kolizije Alpskog orogena sa južnim kontinentalnim obodom Evrope pre oko 65 Ma, na granici gornje krede i tercijara (Cvetković et al., 2000a). Okeanski basen čiji je relikv glavna Vardarska zona je zatvoren u periodu srednja-gornja jura, dok je ogranak Vardarskog okeana čiji je relikv zapadni pojas Vardarske zone otvoren u gornjem delu norijskog kata (gornji trijas), i ostao je otvoren, razdvajajući Adrija ploču od Evroazije, do mastrihta (Robertson et al., 2009a).

Nakon zatvaranja poslednjeg tetiskog okeanskog domena, dinaridski deo Alpida je postao oblast postkoliziona tektonike u periodu oligocen-rani miocen, kompresije praćene navlačenjem od miocena, sa brojnim ekstenzionim međuintervalima (Cvetković et al., 2000a). Koliziono-kompresiona kretanja usled utiskivanja Apulije ka SSZ, u Evroaziju, dovela su do zadebljanja litosfere, izdizanja Dinarida i intenzivnog transkurentnog rasedanja duž šavne zone Periadriatik-Sava-Vardar (Pamić and Balen, 2001). Ovo je uzrokovalo uzdizanje gornjeg omotača i "nagrivanje" osnove kore (odnosno, delaminaciju litosferskog korena, konvektivno istanjivanje litosfere), koja je tonula, odvajanje podvučene litosferne ploče i gravitacioni kolaps Dinaridskog orogena u periodu oligocen-donji miocen (Cvetković et al., 2004b). U centralnom delu Balkana,

od oligocena do pliocena, faze ekstenzije za koje su vezani procesi otvaranja Panonskog i Egejskog basena su se smenjivale sa fazama kompresije. Dejstvom ovih tektonskih pokreta, nastali su rasedni sistemi pravca pružanja ISI-ZJZ i reaktivirane su starije dislokacione zone pravca pružanja SSZ-JJI (Marović et al., 1998, 2001, 2002). Sve ove komplikovane interakcije između orogenih procesa i ekstenziona tektonike su uzrokovale i magmatsku aktivnost, a parcijalno topljenje heterogenih domena litosfere je dovelo do nastanka raznorodnih rastopa (Robertson and Karamata, 1994).

Stampfli et al., 1991, Karamata et al., 1994a, 2000a, Karamata and Krstić, 1996, Karamata, 2006a,b, Robertson et al., 2009a i dr. daju detaljniji pregled geoistorijske evolucije Vardarske zone i njenih delova.

### ***3.5. Opšta svojstva tercijarnih magmatita Vardarske zone***

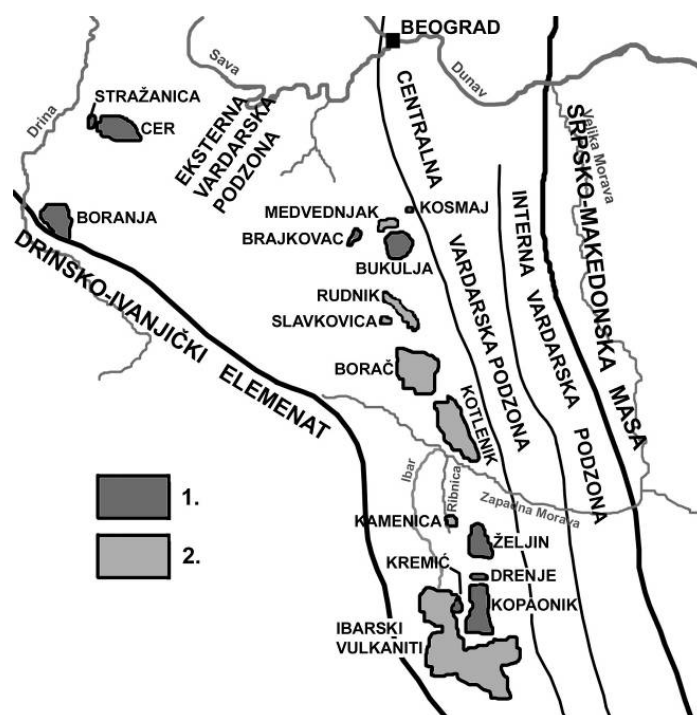
Različiti autori smatraju magmatske komplekse Vardarske zone tercijarne starosti za deo različitih regionalnih pojaseva magmatskih stena<sup>apendiks3-2</sup>. Mišljenja o preciznijoj vremenskoj odrednici ove magmatske aktivnosti variraju, ali se najveći broj autora slaže da se odvijala u periodu od gornjeg eocena do kraja pliocena, a da je najveći deo magmatskih stena nastao tokom oligocena i miocena (Cvetković et al., 2000a). Magmaški kompleksi Vardarske zone Srbije obuhvaćeni proučavanjima u sklopu ove disertacije su prikazani na slici 3-6. Oni se nalaze u okviru Eksterne vardarske podzone. Granitoidi Interne vardarske podzone su retki, malih dimenzija (brojni dajkovi prečnika do nekoliko metara i žice) i jurske starosti. Predstavljani su granitoidima vezanim za ofiolitske komplekse Ždraljice (kod Kragujevca) i Kuršumlije (Šarić et al., 2009). Vulkaniti Radana i Majdana su intenzivno hidrotermalno promenjeni a mestimično i orudnjeni.

Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), nakon završetka subdukcije ka SZ, zatvaranja poslednjeg okeanskog domena u oblasti Balkana (kolizije), i otpočinjanja transpresionih, relaksacionih (postkolizionih) i ekstenzionih tektonskih procesa, nastale su sledeće magmatske formacije tercijarne starosti u Srbiji:

- A. paleogena alkalno-bazaltoidna formacija istočne Srbije (nedovoljno istražene mafične alkalne vulkanske stene koje se javljaju od Donjeg Milanovca do Pirota);
- B. kasnopaleogeno-ranoneogena granitoidna formacija, koja obuhvata podgrupe:

a) magmati dinaridskog granitoidnog pojasa (Boranja, Kosmaj, Željin, Kremići, Drenje, Kopaonik; tonaliti, granodioriti, kvarcmoncodioriti, retko graniti; pretežno kalkoalkalni, geohemijski I-tip; geotektonski afinitet – graniti vulkanskih lukova i postkolizioni graniti; starost kasni eocen-rani neogen) i

b) magmati južnog oboda Panonskog basena (Cer, Brajkovac, Bukulja; normalni i leukokratni graniti, tonaliti, granodioriti, kvarcmonconiti; peralumijski i kalkoalkalni; stariji I-tip je nastao u kasnom eocenu odnosno oligocenu (Cvetković et al., 2002b; Koroneos et al., 2011), a mlađi S-tip je nastao u ranom miocenu; geotektonski afinitet – graniti vulkanskih lukova, sin- i postkolizioni graniti);



Slika 3-6: Magmatski kompleksi Vardarske zone Srbije obuhvaćeni proučavanjima u sklopu ove disertacije (prema Dimitrijeviću, 1992).

Legenda: 1. pretežno plutonski magmatski kompleksi; 2. izlivne, subvulkanske i vulkanoklastične stene.

Magma koja je dala mezokratne stene obe podgrupe je nastala u postkolizionoj fazi, topljenjem donje kore. Primarno tonalitski rastopi su na putu naviše pretrpeli frakcionaciju i izvršili asimilaciju krystalnog materijala. Magme koje su dale leukokratne stene druge podgrupe su nastale uticajem visokog toplotnog fluksa na srednju i gornju koru pri ekstenziji panonske oblasti.

C. kasnopaleogeno-neogena vulkanitska formacija centralne ose Balkanskog poluostrva (Klještevica, oblast Rudnik-Borač-Kotlenik, Kopaonik), koja obuhvata podgrupe:

a) srednje do visoko kalijske kalkoalkalne stene, retko toleitske (bazalti, bazaltni andeziti, andeziti, daciti, kvarclatiti i riodaciti; preovlađuju srednje kisele i kisele stene; po geohemijskim karakteristikama odgovaraju magmatima dinaridskog granitoidnog pojasa) i

b) kalijske do ultrakalijske stene (lamprofiri/lamproiti).

Genetski, stene obe podgrupe su bliske, nastale u postkolizionom tektonskom režimu tokom perioda kasni paleogen-neogen.

D. badenska vulkanitska formacija severne Bačke (debele naslage vulkanoklastita otkrivene istražnim bušenjem u severnoj Bačkoj, nastale tokom ekstenzije Panonskog basena).

Formacije druge i treće grupe, naročito kisele i srednje kisele stene su slične po sastavu i povezane genetski, po vremenu i mestu nastanka. Za ovu disertaciju su značajne grupe B-a, B-b i C-a. S obzirom na realne odnose između stena ovih grupa u prirodi, magmati dinaridskog granitoidnog pojasa (B-a) i kasnopaleogeno-neogena vulkanitska formacija centralne ose Balkanskog poluostrva (C-a) genetski predstavljaju dve facije jedne iste formacije, koje je nemoguće razdvojiti.

### **3.5.1. Uzroci magmatske aktivnosti i petrohemijske karakteristike magmatita**

Magmatska aktivnost u Vardarskoj zoni tokom tercijara je prostorno i vremenski povezana sa kretanjem ploča i tektonskim procesima vezanim za njihovu interakciju, postkolizioni tektonski režim koji je nastupio nakon subdukcije i kolizije – kompresiju, navlačenje i transkurentno kretanje. Kolizija, zadebljanje i izdizanje kore, zatim izdizanje omotača i nagrivanje osnove kore litosfere su doveli do nastanka kalkoalkalnog-šošonitskog rastopa, mešanjem izvora u omotaču sa fluidima/rastopima oslobođenim iz subdukovanog sedimentnog materijala.

Magmatska aktivnost se odvijala u hipoabisalnoj, subvulkanskoj (plitkointruzivnoj), vulkanskoj i vulkanoklastičnoj faciji. Bez obzira na različite nivoe konsolidacije, mineraloško-petrografske i petrohemijske karakteristike ovih tvorevina su slične. Imaju geohemijske karakteristike magmi nastalih u tektonskom okruženju vezanom za subdukciju (obogaćenje LILE i osiromašenje u HFSE, povišeni izotopski odnosi Sr), i

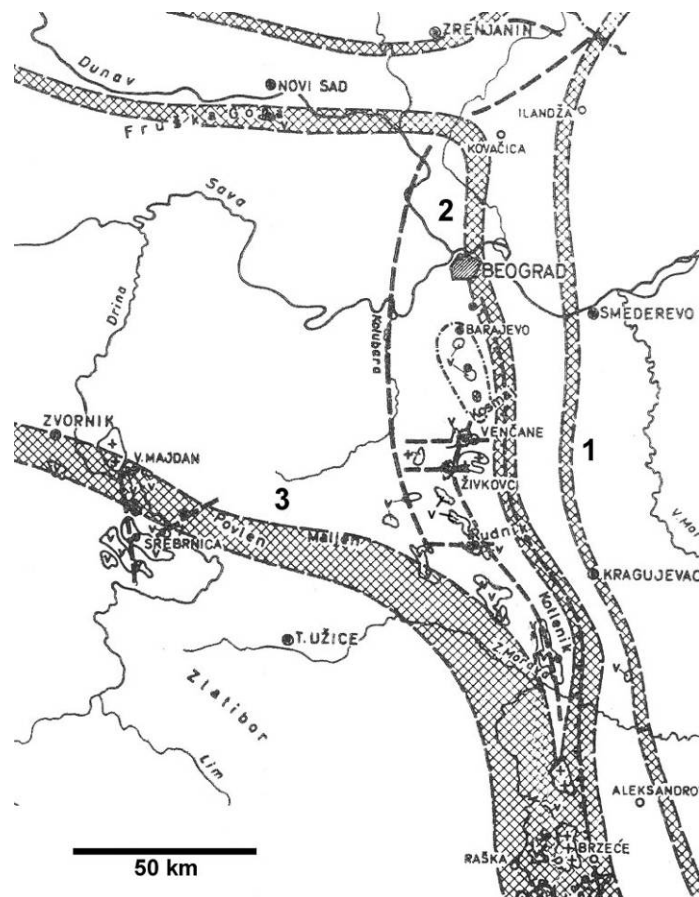
koje ukazuju na metasomatozu izvora (omotača) vezanu za subdukciju i oslobađanje komponenata iz sedimentnog materijala subdukovanog sa okeanskom pločom (Cvetković et al., 2004b). Varijacije odnosa  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  i  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ukazuju na vrednosti između gornjeg omotača i krustalnih vrednosti karakterističnih za aktivne kontinentalne obode odnosno subdukcionu sredinu. Frakciona kristalizacija rastopa gornjeg omotača je bila praćena asimilacijom i/ili topljenjem kontinentalne kore. Pri kretanju naviše, procesima diferencijacije magme, nastajale su porcije magme različite viskoznosti i sastava, a postojanje brojnih magmatskih komora različitih zapremina i sastava je uzrokovano ponavljanjem smena ekstenzione i transkurentne tektonike.

Prema sadržaju silicije, sastav stena tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone varira od kiselih do bazičnih, ali su kisele do srednje kisele stene dominantno zastupljene, dok su bazične retke. Od izlivnih stena su prisutne stene od bazalta do andezita i dacita, retko riolita; najzastupljeniji su daciti, andeziti i kvarclatiti. Ultrakalijske stene – lamprofiri – obuhvataju minete, leukominate, lamproite, kersantite i dr. Izlivne stene su često praćene značajnim masama vulkanoklastita. Među intruzivnim stenama su granodioriti najčešći a kvarcdioriti najređi. Kod nekih plutona zapaža se zonarnost građe – od kvarcdiorita u obodnim delovima do kvarcmonconita u dubljim, centralnim delovima. Svi plutoniti su praćeni žičnim ašistnim (kvarcdioritporfiriti, granodioritporfiriti, kvarcmonconitporfiriti) i diašistnim (apliti, pegmatiti, lamprofiri) stenama.

### **3.5.2. Povezanost tektonske i magmatske aktivnosti**

Prisustvo disjunktivnih tektonskih struktura, a naročito mesta ukrštanja krupnih razloma i poprečnih raseda imala su značajan uticaj na lokalizaciju magmatske aktivnosti, pri čemu transkurentno rasedanje otvara puteve za naglo uzdizanje magme, i u okviru Vardarske zone se jasno uočava prostorna veza magmatske aktivnosti sa razlomnim zonama. Vukašinović (1968, 1970, 1976, 1978a,b, 2005) navodi prisustvo tri razlomne zone između Dinarida i Srpsko-makedonske mase utvrđeno aeromagnetskim ispitivanjima, i koje su značajno uticale na geotektonsko-magmatsku evoluciju ovih prostora. Nazvane su "istočni, centralni i zapadni dubinski razlom Vardarsko-šumadijske tektono-magmatske zone" (sl. 3-7). Istočni razlom se pruža pravcem Dojran-Radoviš-Preševo-Tulare-Orlane-Kuršumlijska banja-Aleksandrovac-Kragujevac-Kolari-Ilandža-Buzijaš (Rumunija). Predstavlja istočnu granicu Vardarske zone, prema

Srpsko-makedonskoj masi. Centralni razlom se pruža u pravcu Đevđelija-Kumanovo-Priština-Lapaštica-Brzeće-Željina-Vrnjci-Stragari-Kosmaj-Avala-Kovačica-Fruška Gora-istočni obod slavonskih planina.



Slika 3-7: Dubinski razlomi i magmatski kompleksi Vardarske zone (prema Vukašiniću, 1976, mod.).

Legenda: "v" – vulkaniti; "+" – granitoidi; šrafirano – osnovni dubinski razlomi (razlomne zone); isprekidane linije – drugi značajni razlomi; 1. Istočni dubinski razlom; 2. Centralni dubinski razlom; 3. Zapadni dubinski razlom.

Zapadni razlom se pruža u pravcu Studena Voda-Skoplje-Goleš-Trnavce-Raška-Mataruška banja-Orlovac-Leušići-Maljen-Zvornik-Ozren-Kozara. Predstavlja zapadnu granicu Vardarske zone prema Drinsko-ivanjičkom elementu.

Na recentnom erozionom nivou otkriveni, kao i aeromagnetometrijski indicirani a prekriveni magmatiti se nalaze najviše u prostoru između Zapadnog i Centralnog dubinskog razloma. U domenu njihovog sučeljavanja se nalaze boračko-kotlenički, i Ibarski vulkaniti. U domenu samog Centralnog dubinskog razloma se nalaze magmatski kompleksi Kopaonika, Željina, Kosmaja, Venčana. Uz Zapadni dubinski razlom se



nalazi magmatski kompleks Boranje. Značajni su i poprečni razlomi nižeg reda na linijama Bogatić-Boranja-Srebrnica, Medvednik-Arandelovac-Rača-Majdanpek, Tutin-Jošanička banja-Vrnjačka banja-Jagodina-Neresnica. Intruzivne mase se nalaze na presečištima dislokacije Kotlenik-Venčane sa poprečnim razlomima Rajac-Rudnik, Ljig-Živkovci i Lazarevac-Venčane; i na presečištima zone Prosara-Bukulja sa strukturama pravca SI-JZ, koje su subparalelne strukturi Boranja-Bogatić. Vulkanske stene su nastajale u pojasu rasednih struktura na pravcima Kotlenik-Rajac, Kotlenik-Rudnik-Belanovica (na ovom razlomu je i brajkovački granitoid), Ljig-Belanovica, V. Crljeni-Orašac i Kosmaj-Avala, kao i u sutoku dislokacija u oblasti Borača.

Takođe, podaci aeromagnetometrijskih ispitivanja (Vukašinić, 1970, 1991) ukazuju da se u dubini, u oblastima G. Milanovac (Brezna-Mlakovac), Rudnik, Živkovci, Venčane, Kosmaj-Barajevo, Srebrnica-Boranja-Bogatić, Gledić-Kotlenik-Borač-Takovo-Rudnik-Belanovica, Gledić-Avala, Kotlenik-Rajac i Prosara-Motajica-Cer-Bukulja, nalaze neotkrivene subvulkanske do plutonske mase magmatskih stena. Značaj ovih neotkrivenih magmatskih kompleksa se pre svega ogleda u njihovom uticaju na pojave hidrotermalnih alteracija i strukturnih deformacija u okolnim starijim stenama, a naročito u magmatskim kompleksima koji su obuhvaćeni ispitivanjima u okviru ove disertacije.

### **3.5.3. Starost magmatskih kompleksa**

Najsigurniji podaci o realnoj geološkoj starosti magmatskih kompleksa se dobijaju kombinovanjem njihovih relativnih vremenskih odnosa sa okolnim stenama, koji se opserviraju na terenu, i određenih apsolutnih starosti magmata. Mada su relativne starosti nekih magmata Vardarske zone ranije određivane kao gornjekredne, noviji podaci određivanja apsolutnih starosti su pokazali da su najstariji od obrađenih magmatskih kompleksa Vardarske zone nastali u gornjem eocenu (Cvetković, 2009). Određivanja apsolutne (izotopske) starosti prema Karamati i dr. (1992b) su pokazala da su granitoidne stene centralne i zapadne Srbije formirane u toku dva glavna perioda:

A. Tokom srednjeg oligocena, pre oko 30 Ma, nastali su granodioritski masivi Boranje, Kopaonika i obližnje manje mase Gvozdaca i Kremića, Željina, Drenja, Kosmaja, Brajkovca i daciti Slavkovice i Rudnika, i andezito-daciti Ibarskog vulkanitskog kompleksa. Svi magmati su I-tipa. Rezultati ispitivanja izotopske starosti ovih magmatskih kompleksa nalaze se u rasponu od 35,6 do 29,1 Ma. Međutim, njihove

srednje vrednosti su vrlo bliske, npr.  $30,7 \pm 0,5$  Ma za granodiorite Boranje i  $30,1 \pm 0,3$  Ma za granitoide Kopaonika i okolnih manjih tela. Na osnovu ovih podataka, Karamata i dr. (1992b) su izveli zaključak da svi magmatski kompleksi oligocenske starosti pripadaju istoj fazi tektonomagmatskih procesa, da potiču iz istih izvora i da su nastali putem istih genetskih procesa.

B. U donjem miocenu, pre oko 20 Ma, nastali su granodioriti Stražanice, kvarclatiti i granitoidi Rudnika i vulkaniti Boračko-kotleničkog kompleksa. Rezultati ispitivanja izotopske starosti ovih magmatskih kompleksa nalaze se u rasponu od 24 do 17 Ma. Na osnovu dostupnih podataka, Karamata i dr. (1992b) su izveli zaključak da su miocenski magmati srodni samo po starosti, i da su nastali pod različitim uslovima od oligocenskih, pri čemu je izražena heterogenost u dubljim delovima kore i u gornjem omotaču, uzrokovana vertikalnim tektonskim pokretima.

O međusobnim vremenskim odnosima tercijskih plutonita i vulkanita postoje podeljena mišljenja: pojedini autori smatraju da su iste starosti (npr. Karamata, 1962), drugi da su plutoniti mlađi od vulkanita (Ilić, 1950a, 1962a) ili, naprotiv, stariji (Rakojević, 1960). Generalno se ovi odnosi plutonita i vulkanita razlikuju od lokalnosti do lokalnosti. Najčešće su približno istih starosti, dok je na nekim lokalnostima (npr. Kremići) utvrđeno da su plutoniti utisnuti u vulkanite. Vulkaniti nastaju kao produkti brojnih faza brze konsolidacije na površini, dok su intruzivi, iako često sinhroni po utiskivanju sa izlivanjem vulkanita, nešto kasnije definitivno konsolidovani, i kao takvi predstavljaju mlađe članove u nizu tercijskih magmata.

#### **3.5.4. Oblici magmatskih tela i sklop**

Tercijske magmatske stene nastale konsolidacijom granodioritskih (kvarcdioritskih do kvarcmonconitskih) magmi se javljaju u vidu intruziva, subvulkanski utisnutih masa, prostranih izliva i manjih dajkova, silova i žica; kao visoki plutoni, bez ili sa prelazima u subvulkanske facije ili kao kompleksi izgrađeni od subvulkanskih i vulkanskih stena. Zavisno od erozionog nivoa ili intenziteta izdizanja ili tonjenja pojedinih tektonskih blokova, mogu da preovlađuju plutonske ili vulkanske facije.

Intruzivne stene su pretežno zrnaste strukture, sa variranjem od sitnozrne do krupnozrne i u okviru jednog intruzivnog tela. Pojava porfiroidnih zrna alkalnih feldspata je česta. Tekstura intruzivnih stena je uglavnom masivna, sa redovnom pojavom uklopaka

(anklava). U nekim granitoidima se opaža paralelna orijentacija bojenih sastojaka (najčešće biotita i/ili amfibola), što ukazuje na konsolidaciju magme pod pritiskom. Planparalelna tekstura je karakteristična za intruzive Drenja, Željina i Boranje, u njihovim obodnim delovima. Subvulkanski odnosno plitkointruzivni eruptivi su pretežno holokristalasto porfirske strukture, sa promenljivom krupnoćom mikrolita. Kod izlivnih stena preovlađuju porfirske strukture, sa različitim odnosima fenokristala i osnovne mase. Tekstura izlivnih stena je uglavnom masivna, a ponekad se zapažaju i pravci tečenja – fluidalna tekstura.

### **3.5.5. Alteracije**

U kasnijim fazama konsolidacije magme, kao i nakon konsolidacije, moguće su pojave hidrotermalnih alteracija. Tokom vremena, pod uticajem atmosferskih agenasa dolazi do površinskog raspadanja formiranih stena. Intenzitet obe vrste promena stenske mase je promenljiv i zavisi od uticaja lokalnih i regionalnih genetskih uslova. Obe vrste promena stenske mase imaju veliki uticaj na mogućnost upotrebe stene kao AGK.

Intruzivne tercijarne stene Vardarske zone su generalno slabije alterisane. Javljaju se lokalne promene usled cirkulacije hidrotermalnih rastvora oko raseda i pratećih pukotinsko-prslinskih sistema. Ekstenzivne hidrotermalne promene su zapažene samo u južnom delu bukuljskog plutona. U efuzivnim i vulkanoklastičnim stenama su hidrotermalne promene ekstenzivne, ali promenljivog intenziteta.

U vezi sa istim magmatskim procesima, nastala su i orudnjenja gvožđa, bakra, molibdena, volframa, olova, cinka, antimona i druga, pretežno skarnovskog i hidrotermalnog tipa, u oblasti Kopaonika (Janković, 1990), Boranje (Mojsilović i dr., 1977), Borača i Kotlenika (Marković i dr., 1968), Rudnika (Filipović i dr., 1978; Brković i dr., 1980), Kremića i Željina (Urošević i dr., 1973a) i Ibarskih vulkanita (Urošević i dr., 1973b), a manje i u oblasti ostalih obrađenih magmatskih kompleksa.

Pod uticajem atmosferilija je došlo do grusifikovanja u površinskim delovima plutona, pri čemu debljina zone grusifikovane stene uglavnom ne prelazi 5-10 m. Svi vulkaniti i vulkanoklastiti su na površini raspadnuti. U čvršćim stenama se na površini zapaža grusiranje, a vulkanoklastiti su uglavnom sprášeni i zaglinjeni. Usled intenzivne ispucalosti vulkanitskih masa, ove promene dosežu do značajnih dubina. Kada su vulkaniti silifikovani, grusifikovanje se ne zapaža.

## **4.0. GEOLOŠKA GRAĐA MAGMATSKIH KOMPLEKSA VARDARSKE ZONE I NJIHOV PRAKTIČNI ZNAČAJ SA ASPEKTA ARHITEKTONSKOG GRAĐEVINSKOG KAMENA**

U narednim poglavljima, opisana je geološka građa pojedinačnih magmatskih kompleksa Vardarske zone Srbije, u stepenu u kojem su njeni određeni aspekti značajni za određivanje mogućnosti primene stenske mase iz ovih magmatskih kompleksa kao AGK.

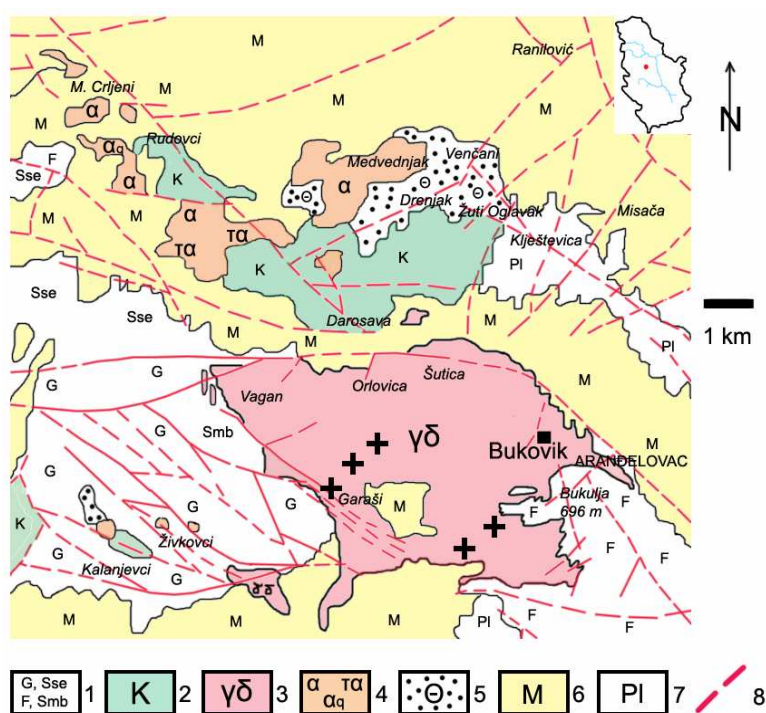
### ***4.1. Magmatski kompleks Bukulje***

Magmatski kompleks Bukulje se nalazi oko 60 km južno od Beograda, zapadno od Arandelovca. Bukuljski pluton je otvoren na površini od oko 40 km<sup>2</sup>. Ima nepravilan sočivasti oblik, izdužen u pravcu istok-zapad. U reljefu se ističu vrhovi: Bukulja (696 m), Šutica (472 m), Orlovica (482 m) i Vagan (473 m). Brojni potoci se ulivaju u rečice Peštan, Bukulja i Kubršnica. Putna mreža je relativno dobra. Ova oblast je asfaltnim putevima povezana sa autoputem Beograd-Kragujevac i Ibarskom magistralom. Na samoj Bukulji su zastupljeni asfaltni putevi nižeg kvaliteta, kao i brojni lokalni, zemljani putevi. Geološka građa oblasti je prikazana na listovima OGK 1:100 000 Kragujevac (Brković i dr., 1980), Smederevo (Pavlović i dr., 1980), Obrenovac (Filipović i Rodin, 1980) i G. Milanovac (Filipović i dr., 1978).

Istraživanjem bukuljskih magmatskih stena sa različitih geoloških aspekata se bavio veliki broj autora: sa aspekta građevinskog kamena Aničić, 1991, 1996, 1998, Aničić i dr., 1997, Dražević, 1999; geodinamički aspekt su obradili Cvetković i dr. (Cvetković et al., 2002b, 2007); strukturnu građu Trivić, 1992, 1993, 1998 i Marović et al., 2007; vezu između regionalnih razloma i magmatske aktivnosti Vukašinović, 1970, 1976, 1991, 2005; mineraloško-petrološki sastav i genezu magmatskih stena Ilić, 1950b, Mihailović-Vlajić i dr., 1976; Divljan, 1980; Divljan i Cvetić, 1991b, Erić, 1999, Erić i dr., 1998, 1999, Knežević-Đorđević i dr., 1993, Knežević et al., 1994; sadržaje radioaktivnih elemenata Omaljev, 1983a, 1984, 1988, 1991a, 1992b, 1993a, 1994; metalogenetski aspekt Višić, 1961, Jelenković, 1987, 1990, 1991, Janković, 1990, Srbljanović, 1991, Karamata i dr., 1994b; podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Knežević et al., 1994, Erić, 1999, Pécskay et al., 2001, Cvetković et al., 2002b, 2007.

## Geološka građa oblasti

Pluton Bukulje je utisnut u niskometamorfisane devonsko-karbonske škriljce na zapadu i gornjekredne sedimente (peskoviti mermeri, glinoviti peščari, krečnjaci) na istoku (sl. 4.1-1). Pod uticajem utisnute magme, nastao je kontaktni oreol od kornita, skarnova i granatita širine oko 3 km. Ove stene su detaljno opisane u Tumačima OGK. Istovremeno, i obodni delovi plutona su endomorfno izmenjeni u promenljivom stepenu. Južni deo plutona je pokriven neogenim sedimentima (peščari, gline i krupnozrni klastiti).



Slika 4.1-1: Geološka građa oblasti Bukulja-Medvednjak-Venčani (prema: Brkoviću i dr., 1980; Pavloviću i dr., 1980; Filipoviću i Rodinu, 1980; Filipoviću i dr., 1978 i Cvetkoviću i dr., 2007).

Legenda: 1. regionalno metamorfisane stene: G - albit-hlorit-muskovitski i sericitski škriljci, peščari i gnajsevi; F - filiti, metamorfisani alevroliti i peščari; Smb - korniti, liskunski škriljci i gnajsevi; Sse - sericit-hloritski škriljci i metapeščari; 2. kredni flišni sedimenti, pretežno peščari, glinci, laporci i alevroliti, manje krečnjaci; 3. granitoidi Bukulje (dvoliskunski graniti; krstići – izdanci hornblenda-biotitskih i biotitskih granita); 4. vulkaniti Medvednjaka: α - fenoandeziti, αq - fenodaciti, τα - latiti; 5. vulkanoklastiti; 6. miocenski sedimenti, pretežno srednji miocen (glinci, laporci, peščari, šljunkovi, konglomerati, gline sa ugljem, manje dolomitični krečnjaci); 7. pliocenski sedimenti - gruboklastična serija; 8. rasedi.

## Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa

Magmatski kompleksi Bukulje, Cera, Motajice i Prosare nalaze se na istoj razlomnoj zoni, i nazivaju se granitoidima južnog oboda Panonskog basena. Bukuljski pluton je nastao na presečištu dubinskih dislokacija koje se pružaju po pravcu Prosara-Bukulja,

Kotlenik-Rudnik-Belanovica i Ljig-Belanovica. Prema Dimitrijeviću (1995a), Bukulja pripada bloku Vagana i Bukulje u okviru Jaderskog bloka Eksterne vardarske podzone.

Osnovna naborna forma u oblasti Bukulje je deka-kilometarska brahi-antiforma, tzv. Bukuljsko-brajkovački horst-antiklinorijum. Od rasednih struktura, prisutni su brojni rasedi sa pravcima pružanja ZSZ-IJI, SSI-JJZ, sever-jug, ZJZ-ISI, SZ-JI i SI-JZ. Dve krupne dislokacije pravca pružanja ZSZ-IJI prostiru se duž linije Vagan-Orlovica-Štica-Bukulja i linije Onjeg-Paun Stena-V. Bukulja. Centralni i severni deo masiva je tektonski slabije poremećen, i izgrađen od kompaktnih granita. Za zone tektonizacije u južnom delu plutona (Cigankulja, Garaši, Paun Stena) su vezane i pojave intenzivne hidrotermalne alteracije.

Granitoidna masa je ispresecana sa tri glavna sistema pukotina: a) (255-260)/8 najizraženije pukotine, primarne – pukotine lučenja i relaksacione. Duž njih nije bilo kretanja niti zapunjavanja; b) (40-50)/(58-80) i 230/60 pukotine smicanja u dva konjugovana pravca. Dužine su najčešće do par metara, nisu zapunjene; i c) (140-165)/(20-50) peraste prsline, tenziona, uglavnom zapunjene pegmatitskim i aplitskim žicama debljine do nekoliko centimetara. Ravni prvog i drugog sistema sa trećim zaklapaju ugao od 70-90° i dele stensku masu na paralelopipedne blokove. Ovakav pukotinski sklop olakšava eksploataciju. Dimenzije blokova su manje pri površini, a ka dubini su sve veće.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop**

Petrološki sastav bukuljskog plutona je vrlo složen. Većina autora razlikuje tri grupe stena: a) dvoliskunski granit; b) hornblenda-biotitski i biotitski granit i c) aplitski granit. Vrednosti dobijenih izotopskih starosti hornblenda-biotitskih i biotitskih granita variraju od 30 do 18 Ma, a dvoliskunskih granita od 20 do 15 Ma.

Dvoliskunski granit je pretežno srednjezrne hipidiomorfne do alotriomorfne strukture, a može biti i sitnozrn ili porfiroidan. Tekstura je masivna. Najviše je zastupljen u otkrivenim površinskim delovima bukuljskog plutona. U centralnim, južnim i istočnim delovima plutona postoje prelazi iz sitnozrnih u srednjezrnih u krupnozrnije i porfiroidne varijetete sa krupnim kristalima K-feldspata. Prema modalnom sastavu, ovi graniti pripadaju monco-granitima. Ređa procentualna variranja sadržaja glavnih minerala pokazuju da postoje i postepeni prelazi od granit-monconita ka granodioritima s jedne

strane, i granitima s druge. Izgrađeni su od kvarca (oko 32%), K-feldspata (pretežno ortoklas; oko 34%), plagioklasa (albit-oligoklas; oko 25%), biotita (oko 5%), muskovita u vidu krupnih liski (oko 3%), retko amfibola. Akcesorni minerali su andaluzit, sfen, alanit, apatit, cirkon, retko epidot, granat, ilmenit, magnetit, rutil. Sekundarni minerali su sericit, hlorit, kaolinit, uranski liskun, epidot, kalcit, retko coisit, dolomit, leukoksen, limonit, psilomelan.

Hornblenda-biotitski i biotitski granit imaju vrlo slična petrohemijska svojstva. To su pretežno hipidiomorfne srednjezne stene. Izgrađene su od kvarca (oko 31%), K-feldspata (oko 30%), plagioklasa (andezin; oko 29%), biotita (oko 8%), amfibola (hornblenda; oko 3%) i sporednih sastojaka (alanit, sfen, apatit, cirkon, metalični minerali). Biotitski granit se javlja na izolovanim izdancima u vidu zona promenljivih dimenzija (od nekoliko decimetara do nekoliko dekametara), a kontakti sa dvoliskunskim granitom su uglavnom pokriveni, negde oštri, a negde postepeni. Hornblenda-biotitski granit je utvrđen u bušotinama, a izdanci dvoliskunskog granita prema izdancima biotitskog granita su u odnosu 95%:5%.

Aplitski granit je redak, sitnozrn. Zapažen je duž zapadnog i SZ oboda plutona. Ima hipidiomorfnu zrnastu strukturu. Po mineraloškom sastavu je skoro identičan sa srednjeznim dvoliskunskim granitom iz centralnog dela masiva, sa kojim je vezan postepenim prelazima. Izgrađen je od kvarca, zonarnog oligoklasa, mikrokлина, biotita i muskovita.

Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), granitoidi Bukulje pripadaju formaciji magmata južnog oboda Panonskog basena kasnopaleogeno-ranoneogene starosti (grupa B-b).

Hemijski sastav bukuljskih granitoida je prikazan u tabeli 4.1-1. Srednji sadržaj urana u granitu Bukulje iznosi 5,31 ppm. Sveži granitoidi sadrže oko 2,95 ppm urana, delom alterisani dvoliskunski graniti u južnom delu plutona sadrže 4-5,6 ppm urana, a izbeljeni graniti južnog dela plutona 5,3-9,4 ppm urana. Srednji sadržaj torijuma u granitu Bukulje iznosi 16 ppm.

Od žičnih stena se javljaju ašistne (granitporfiri, kvarcdioritporfiriti) i diašistne (pegmatiti, aplitopegmatiti i apliti). Prisutne su i kvarcno-feldspatske, kvarcno-turmalinske i kvarcne žice.

Tabela 4.1-1: rezultati hemijskih analiza bukuljskih granitoida (1-4: Filipović i dr., 1978; 5: Dražević, 1999).

komponenta	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	71,38	70,67	71,85	71,82	72,93
TiO <sub>2</sub>	0,25	0,25	0,25	0,05	0,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,12	15,46	14,60	14,67	14,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,95	0,63	0,28	0,59	/
FeO	1,87	2,16	2,48	2,08	0,64
MnO	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
MgO	0,88	0,49	0,56	0,83	0,59
CaO	1,87	2,14	1,90	1,45	2,49
Na <sub>2</sub> O	3,18	3,52	3,45	3,45	3,80
K <sub>2</sub> O	3,95	4,40	4,30	4,90	2,70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,09	0,08	0,12	/
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,65	0,46	0,52	0,47	/
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,10	0,08	0,15	0,13	/
zbir	100,28 %	100,38 %	100,46 %	100,60 %	97,81 %*

1. granit, potok Cigankulja; 2. granit, JI padine Vagana; 3. granit, severne padine Bukulje; 4. granit, severne padine Vagana; 5. granit, selo Bukovik; \*gubitak žarenjem iznosi: 0,30 - 0,45%

Ašistne stene su konstatovane uglavnom na zapadnim padinama bukuljskog masiva. Granitporfiri se sastoje od kvarca, K-feldspata, plagioklasa i hornblende. U kvarcdioritporfiritima K-feldspat izostaje. Ove stene su obično alterisane. Pegmatiti se javljaju najčešće u severnim i SZ delovima granitoidnog masiva, ređe u centralnim i južnim, zatim u istočnom delu i kontaktnom oreolu, u vidu žica i sočiva debljine do 1,5 m. Izgrađeni su od kvarca, K-feldspata, muskovita, albita, turmalina, granata, ređe biotita, uraninita i berila. Pored normalnih, krupnozrnih pegmatita, često se sreću i sitnozrniji varijeteti istog mineralošskog sastava, koji predstavljaju prelazne varijetete između pegmatita i aplita – aplitopegmatite. Povlačenjem liskuna, oni prelaze u kvarcno-feldspatske žice. Apliti su češći od pegmatita i javljaju se u vidu žica debljine do 20 cm. Najviše ih je duž severnog oboda plutona. Sastav: mikroklin, kvarc, albit, muskovit, ređe biotit, turmalin, granat.

Nekoliko kilometara severno od bukuljskog plutona, nalazi se složeni kompleks izlivno-vulkanoklastičnih stena, u oblasti između Rudovaca na zapadu i Venčana na istoku. Ovaj kompleks se naziva i vulkanogeni kompleks Medvednjaka. Prikazan je na listu OGK Obrenovac, a manjim delom i na listu Smederevo. Prema Tumaču OGK Obrenovac, ove stene su predstavljene fenodacitima (Rudovci), fenoandezitima do latitima (Ostenjak-Medvednjak), dacitsko-andezitskim do kvarclatitskim ignimbritima



(Venčani) i kvarclatitima (Živkovci). Sve navedene stene su intenzivno tektonizirane i zahvaćene hidrotermalnim alteracijama (sl. 4.1-2,3).



Slika 4.1-2: Alterisani, dezintegrirani vulkaniti Medvednjaka (Kruševica)



Slika 4.1-3: Ibid., makro izgled zaglinjenih delova

Vulkaniti se odlikuju relativno visokim sadržajem radioaktivnih elemenata i predstavljaju najradioaktivnije stene ovog područja. Koncentracije urana iznose i do 35 ppm (Janković, 1990), odnosno 300 ppm (Jelenković, 1991). Srednja vrednost sadržaja urana (po Jelenkoviću, 1991) iznosi 6,47 ppm.

### **Postmagmatske promene stenske mase**

U pogledu prisustva hidrotermalnih alteracija, generalno se smatra da su granitoidne stene severnog dela plutona sveže, a južnog hidrotermalno promenjene, naročito duž većih dislokacija. Vezano za rasedne zone južnog dela plutona, uočene su kaolinizacija, sericitizacija, hloritizacija, argilizacija, silifikacija, piritizacija, limonitizacija, albitizacija, grajzenizacija, hematitizacija i karbonatizacija. Uzrok hidrotermalnih promena je najverovatnije mlađi pluton, koji je indiciran aeromagnetometrijskim ispitivanjima u oblasti Živkovaca i Venčana (Vukašinić, 2005). Vulkaniti su duž sistema raseda sa pružanjem u pravcu SI-JZ intenzivno hidrotermalno promenjeni – silifikovani, sericitisani, hloritisani, zeolitisani, karbonatisani, limonitisani, kaolinisani, ilitisani, opalisani i sulfatisani.

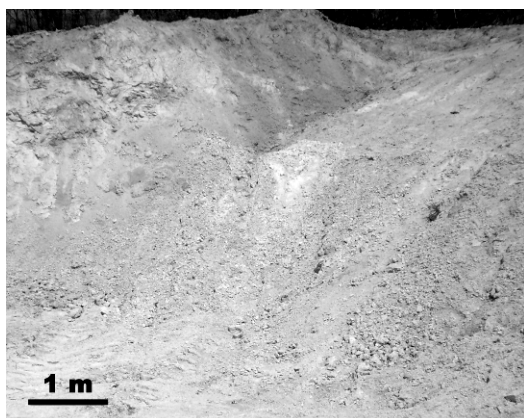
U severnom delu plutona su konstatovani grajzeni sa pojavama kasiterita i volframita (Vagan i dr.), a u južnom delu plutona su prisutna hidrotermalna ležišta urana (Paun stena, Cigankulja-Podgrobje i dr.).

Površinsko raspadanje sa grusifikovanjem je najintenzivnije u južnom i istočnom delu plutona, dok je u ostalim delovima plutona dubina površinskih izmena manja, oko 1-2 m. U ležištu kaolinita Garaši, zabeležena je prosečna debljina kore raspadanja od oko 30 m (Simić, 2004).

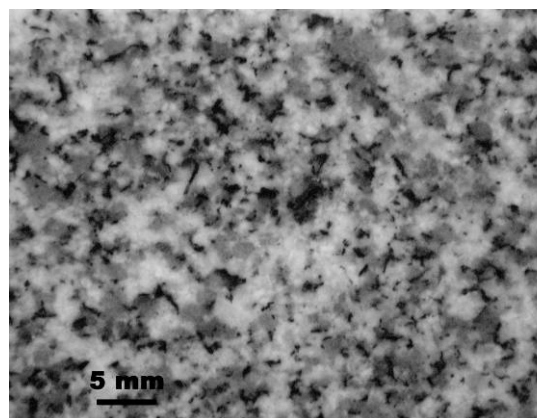
### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Na Bukulji postoji veliki broj manjih i većih kamenoloma, u kojima se kamen i danas eksploatiše prema potrebi: Aleksinački potok (Progoreoci); Babića Rt, Bugarski majdan, Bukovik, Ploča(e) i Čorlija (Bukovik); Glišića majdan i Pločnik (Darosava); Ivovića majdan, Crnogorski majdan, Gerasimov, Tešića majdan, Vagan, Tomića majdan, Šutica, Šutica potok, Mikica (istočne padine Šutice), Orlovica i dr. Granit iz ovih kamenoloma je korišćen za dobijanje blokova AGK, kamena za zidanje, ivičnjaka, izradu spomenika, kocke, kolobrana, geobelega i dr.

Tektonska i hidrotermalna aktivnost bila je intenzivna u južnom delu masiva, što je uzrokovalo intenzivnu tektoniziranost, alteraciju i raspadanje granitoida (sl. 4.1-4).



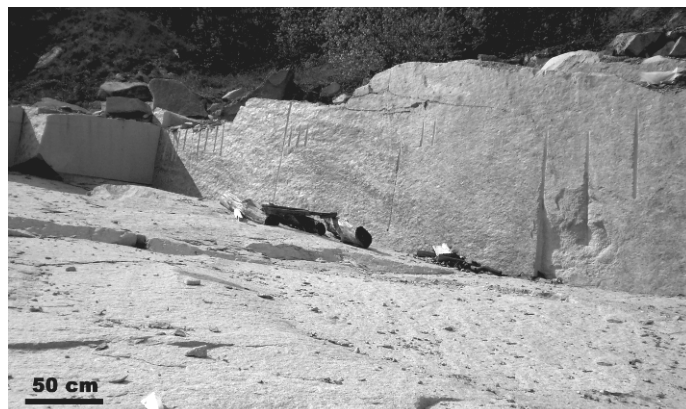
Slika 4.1-4: Alterisani, dezintegrisani granit u južnom delu bukuljskog plutona.



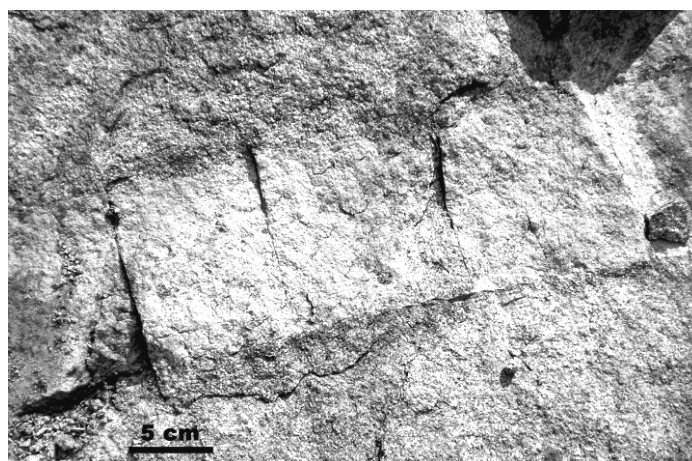
Slika 4.1-5: Makroskopski izgled ravno sečene površine kamena (Bukovik).

Takođe, u južnom delu masiva su granitoidi obogaćeni povišenim koncentracijama urana. Stoga je sa aspekta AGK interesantan isključivo severni deo plutona. Povoljne osobine svežih granita Bukulje su: zrnasta struktura (sitnozrna do srednjezrna), mogućnost dobijanja krupnih blokova i ravnomeran raspored sastojaka (sl. 4.1-5,6). Kamen se dobro seče odgovarajućim mašinama i alatima i zadržava oštrinu ivica. Polira se do visokog sjaja, koji zadržava tokom vremena. Nepovoljne osobine: promenljivost krupnoće zrna – prelaz iz zrnaste u porfiroidnu strukturu, često prisustvo žica

(pegmatitskih, aplitskih, kvarcnih i dr.; sl. 4.1-7), mestimično zaglinjavanje feldspata. Aničić i dr. (1997) su istražnim bušenjem došli do podatka da se sveži graniti blokovite građe nalaze na dubini od oko 5 m i više.



Slika 4.1-6: Masivno lučena jedra stenska masa (Bukovik).



Slika 4.1-7: Ispucala aplitska žica (Tešića majdan).

Granit Bukulje je upotrebljen za popločavanje platoa i stepeništa oko crkve Sv. Marka u Beogradu.

Izgled i boja vulkanita su vrlo promenljivi i na malim rastojanjima, što zbog promene petrološkog sastava, što zbog različitog stepena alteracije. Zbog intenzivne alterisanosti (hidrotermalnih alteracija i raspadanja pod uticajem atmosferilija), ispucalosti, često staklaste osnovne mase, brojnih ksenolita koji su intenzivno alterisani i lako ispadaju, velike heterogenosti (izlivne i vulkanoklastične stene su najčešće izmešane zbog istovremenog nastajanja), šupljikavosti i povišene radioaktivnosti, vulkaniti Medvednjaka nisu perspektivni sa aspekta AGK. Međutim, iz bolje vezanih partija

stena, lokalno stanovništvo koristi ovaj kamen za zidanje, izradu sokli i ograda, zato što je dostupan, lagan i lako se obrađuje prema potrebi.

*Severni delovi plutona (Šutica, Ploče, Čorlija, Bukovik, Braća Glišić, Pločnik, selo Darosava)*

Stenska masa sivog, sitnozrnog dvoliskunskog granita je sveža i jedra. Delimično je izraženo paralelopipedno lučenje, ali su blokovi vrlo krupni. Na površini je prisutan tanak sloj zemljišta, debljine do 30 cm. Zona površinski promenjene stenske mase je do dubine 2-3 m (sl. 4.1-8), i stenska masa se ovde razdvaja u ploče debljine 5-50 cm. Ka dubini tip lučenja prelazi u bankovit i masivan (sl. 4.1-9), u kojem se zavisno od prisutnih sistema pukotina izdvajaju blokovi koji su sve krupniji sa dubinom, paralelopipednih oblika, dužine i do 5 m, visine obično do 1,5 m. Prisutne su aplitske i složene aplitsko-pegmatitske žice.



Slika 4.1-8: Grusifikacija u obodnim delovima plutona.



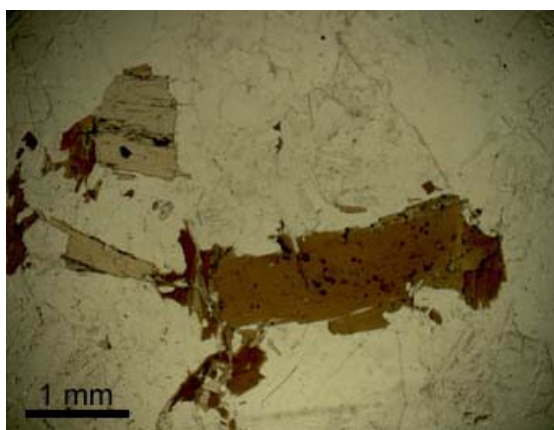
Slika 4.1-9: Pločasto lučenje stenske mase u obodnim delovima plutona, ka dubini prelazi u bankovito i masivno.

Aplitske žice približno istih elemenata pada se nalaze na međusobnim rastojanjima od 5 cm do 10 m, i po njima se u kamenolomima vrši odvajanje blokova. Žice su sveže, bez tragova hidrotermalnih i površinskih izmena. U sastav pegmatitskih i aplitskih žica ulaze kvarc, feldspati, krupan muskovit, sitan biotit, sitni crveni granati i igličasti kristali crnog turmalina. Uklopoci su retki. Nalaze se na međusobnim rastojanjima i po 10 m, i obično su izometrični, veličine do (10x7) cm.

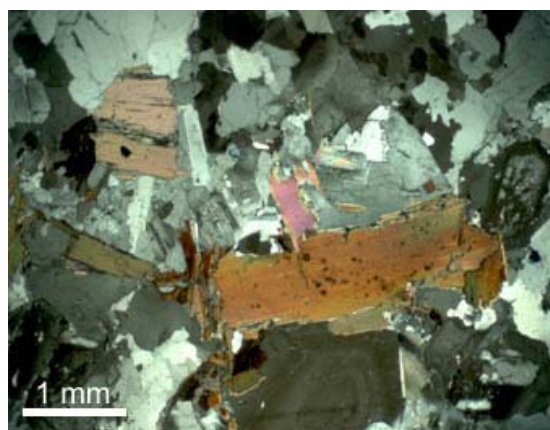
Makroskopski, stena je svetlosive boje, sitnozrna do srednjezrna, ujednačenog izgleda, sa mestimično izraženom planparalelnom teksturom. Sastoji se od kvarca, feldspata,

biotita i muskovita. Zrna kvarca su ispucala, dimenzija najčešće do 3-4 mm. Feldspati su beli. Pojedinačna zrna se ne razlikuju golim okom, već se zapažaju agregati zrna. Biotit je crn, svež, ponegde sa bronzanom nijansom. Veličina liski je najčešće do 3 mm. Muskovita ima vrlo malo. Zapaža se i prisustvo hlorita, u vidu sitnih liski do 1,5 mm, tamnozeleno boje. Hlorit je zapažen samo u jednoj linijskoj formi u jednom uzorku, koja verovatno obeležava napršlinu ili pukotinu.

Mikroskopskim pregledom preparata stene je utvrđeno da je stena izgrađena od kvarca, plagioklasa, ortoklasa, mikroklina i biotita. Od sporednih sastojaka javljaju se apatit, epidot i veoma retko metalni mineral. Ortoklas i plagioklas su sveži. Ortoklas poikilitski uklapa sve ostale sastojke. Ponekad su centralni delovi zrna zamućeni glinovitom materijom i sitnim ljuspicama sericita. Zrna su ksenomorfna do hipidiomorfna. Dimenzije variraju od (0,4x0,6) do (0,9x1,3) mm. Retko se zapažaju kristali veći od (2,5x2,5) mm. Plagioklas tipa oligoklas-andezin je nešto zastupljeniji od ortoklasa, često zonaran. Dimenzije zrna su (0,5x0,7) mm, hipidiomorfni do idiomorfni. Kvarc se zapaža uglavnom u međuprostorima u vidu zupčasto sraslih zrna. Usamljena zrna su retka i ksenomorfna. Biotit i muskovit su sveži. Ponekad uklapaju apatit i epidot. U odnosu na biotit, muskovit je prisutan u maloj količini. Biotit je mestimično hloritisan. Na slikama 4.1-10,11 se vidi izdvajanje metalnog minerala (magnetita) po biotitu. Retko su prisutni sekundarni minerali: hlorit, limonit i glinovita materija.



Slika 4.1-10: Mikrofotografija preparata granita pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.1-11: Mikrofotografija preparata granita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao dvoliskunski granit hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne teksture.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.1-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je malo porozan. Upijanje vode je vrlo malo. Čvrstoća na pritisak je visoka u suvom stanju, a srednje visoka u vodozasićenom i nakon ciklusa mržnjenja-kravljenja. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave i nisu predisponirane elementima sklopa.

Tabela 4.1-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,17-0,6	0,43
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	135-219	170
u vodozasićenom stanju			83-205	146
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			77-195	141
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	7,27-12,54	9,97
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	12,10-19,01	15,71
Zapreminska masa sa šuplinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,620-2,633	2,630
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,650-2,680	2,660
Koeficijent zapreminske mase		-	0,967-0,989	0,980
Poroznost		%	1,1-3,3	1,87
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,510-0,604	0,559
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	6,410-7,680	7,185

Napomena: prikazani podaci potiču iz pet izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1997. i 2008. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Kvalitetniji delovi stenske mase se ne mogu razdvojiti od manje kvalitetnih na osnovu makroskopskog izgleda.

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru. Nešto niža vrednost savojne čvrstoće, međutim, uslovljava mogućnost primene ovog kamena za oblaganja u eksterijeru za horizontalno oblaganje kategorija SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren

pešački saobraćaj), i vertikalno oblaganje kategorija SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad tla).

#### *ZSZ delovi plutona*

U ZSZ delu plutona (Vagan) stenska masa je sveža, kompaktna, jedra, sa izraženim pločastim lučenjem u pripovršinskom delu do dubine od oko 3 m, sa debljinom ploča 4-50 cm. Proces grusifikacije je napredovao do dubine od oko 50 cm. Ispod zone pločastog lučenja je nepravilno do paralelopipedno lučena stenska masa. U najvišem delu ove zone, blokovi su dimenzija (30x60x70) cm do (0,3x0,7x3) m, a u nižim dimenzije blokova dostižu i 5 m. Stena je dvoliskunski granit. Prisutne su aplitsko-pegmatitske žice debljine do 2-3 cm. Biotit, a delimično i muskovit, pokazuju orijentaciju (planparalelna tekstura).

#### *Južni delovi plutona*

U južnom delu bukuljskog plutona (Garaši) stenska masa je intenzivno hidrotermalno i površinski promenjena, zaglinjena, limonitisana, grusifikovana do sprášena i neupotrebljiva sa aspekta AGK.

#### *Istočni delovi plutona*

Iz zone intenzivne hidrotermalne alteracije karakteristične za južni deo plutona, postepeno se ka istoku prelazi u zonu intenzivne površinske izmenjenosti i grusifikacije. Tipično je pločasto lučenje stenske mase. Granit je intenzivno površinski raspadnut, trošan, porfiroidan, sa krupnim zrnima K-feldspata. Osnovna stena je ispresecana brojnim pegmatitskim, aplitskim i kvarcnim žicama, usled čega je stenska masa neupotrebljiva sa aspekta AGK. Česte su sitne anklave izgrađene od tamnih minerala.

#### *Potencijalnost plutona*

Generalno, granitoidna masa je relativno sveža i ujednačenog izgleda u čitavom severnom delu plutona. Mestimično se zapaža planarna orijentacija biotitskih liski, a manje i muskovitskih. Uklopci su retki, naročito u poređenju sa ostalim magmatskim kompleksima Vardarske zone. Najperspektivniji su severni i SI delovi plutona, gde nema izraženih zona tektonizacije i previše zastupljenih žičnih stena.

## **4.2. Magmatski kompleks Cera**

Granitoidni magmatski kompleks Cera se nalazi u zapadnoj Srbiji, oko 20 km JZ od Šapca. Otkrivena površina iznosi oko 67 km<sup>2</sup>. Duža osa masiva iznosi oko 15 km. Sastoji se od dva granitoidna tela. Veće telo koje se nalazi na istoku, pluton Cera, ima ukupnu otkrivenu površinu od oko 60 km<sup>2</sup>. Manje telo koje se nalazi na zapadu, Stražanica, ima otkrivenu površinu od oko 7 km<sup>2</sup>. U reljefu se ističu vrhovi: Cer (689 m), Trojanov Grad (607 m), Kumovac (544 m), Grabovac (502 m), Mirkovača (447 m). Zapadni deo masiva je obuhvaćen listom OGK 1:100 000 Zvornik (Mojsilović i dr., 1977), a manji, istočni, listom Vladimirci (Filipović i dr., 1973). Brojni potoci i rečice Lešnica, Cernica, Stražanica i Milinska reka dreniraju cerski masiv. U oblasti su značajni regionalni putevi Šabac-Loznica i Loznica-Valjevo, zatim putevi nižeg reda Šabac-Krupanj i Tekeriš-Jadarska Lešnica. Putna mreža na samom plutonu i oko njega je slabo razvijena; do njega vode samo lokalni, zemljani putevi.

Istraživanjem cerskih magmatskih stena sa različitih geoloških aspekata se bavio veliki broj autora: geodinamički aspekt su obradili Cvetković et al., 2002b, 2004a; strukturnu građu Simić, 1932, 1935, Aksin i dr., 1981; vezu između regionalnih razloma i magmatske aktivnosti Vukašinović, 1978a, 1991; mineraloško-petrološki sastav i genezu Urošević, 1899, 1900, Žujović, 1900, Karamata, 1953, Nikolić, 1962, 1963, Knežević, 1962, Pavlović i Ristić, 1963, Mojsilović i Avramović, 1966, Divljan i dr., 1978, Karamata i dr., 1990, 1991, Knežević i dr., 1992, 1994, 1997, Knežević-Đorđević i dr., 1994, Jović i dr., 1993, 1995, Koroneos et al., 2011; metalogenetski aspekt i ležišta mineralnih sirovina Antonović i dr., 1978-84, Janković, 1990, Mudrinić i Stajević, 1990, Karamata i dr., 1994b, Simić, 2004, Palinkaš et al., 2008; sadržaje radioaktivnih elemenata dali su Omaljev, 1981, 1983b, Radošević et al., 2002; podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Deleon, 1969, Knežević et al., 1994, Knežević i dr., 1997, Karamata i dr., 1990, 1994b, Cvetković et al., 2002b, Robertson et al., 2009a, Koroneos et al., 2011 i dr.

### **Geološka građa oblasti**

U građi masiva Cera, najstarije su stene devona i karbona, zastupljene na istočnom, severnom i zapadnom obodu plutona. Čine ih škriljci, alevroliti i peščari. Granitoidni pluton predstavlja složeni lakolit utisnut u ove tvorevine. Pri utiskivanju magme, starije



stene su metamorfisane, i nastao je metamorfni oreol širok oko 100 m. Stražanički pluton je na površini odvojen od glavnog cerskog plutona uzanim pojasom metamorfisanih stena. Miocenski sedimenti pokrivaju južni obod cerskog granitoida, a pliocenski sedimenti severni obod.

### **Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa**

Granitoidni plutoni Cera i Stražanice nalaze se na presečištima razlomne zone Prosara-Bukulja sa strukturama pravca SI-JZ, koje su subparalelne strukturi Srebrnica-Boranja-Bogatić. Duž trase Lešničke reke pruža se dislokaciona zona približno pravcem zapad-istok, koja se poklapa sa kontaktom granitoidne mase i okolnih sedimenata. Duž ovog normalnog raseda je teren spušten, kasnije pokriven mlađim sedimentima, ispod kojih se nastavlja cerski pluton. Na zapadnom obodu cerskog plutona pruža se dislokaciona zona koja ga razdvaja od stražaničkog. Dislokaciona zona duž Milinske reke razdvaja masiv Cera na istočni i zapadni blok. U samom plutonu su zastupljeni manji rasedi pružanja pravcem sever-jug, SSZ-JJI, SZ-JI i SSI-JJZ.

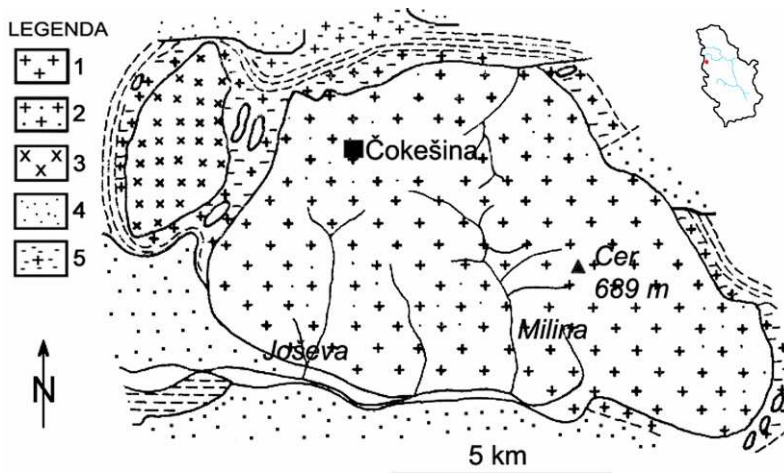
Elementi pada opaženih sistema pukotina u dvoliskunskim granitima: a) 310/42, b) 52/60, c) 175/50 (sva tri sistema bez alteracije i zapune), d) subhorizontalne (duž nekih je bilo tektonskih kretanja, a neke su i ispunjene pegmatitskim žicama); u granodioritima: a) vertikalne, pružanje 172-352°, b) vertikalne, pružanje 113-293°; u aplitoidnom granitu: a) 346/56, b) 90/68.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa - petrološki i mineraloški sastav i sklop**

Većina autora u glavnom cerskom granitoidnom kompleksu (sl. 4.2-1) razlikuje dve faze: a) granodiorite I-tipa i b) dvoliskunske granite S-tipa. Stražanički masiv je izgrađen od granodiorita I-tipa. Vrednosti apsolutne starosti ovih stena variraju: za granodiorite od 35 do 16 Ma, za granite od 23 do 14 Ma, za stražaničke granodiorite od 19 do 14 Ma, za pegmatite  $10,7 \pm 1$  Ma (Deleon, 1969).

Stariji granodioriti I-tipa su u otkrivenim delovima cerskog plutona najviše zastupljeni, oko 60%. Izdvojeni su amfibolsko-biotitski i biotitski tipovi, međusobno vezani postupnim prelazima. Amfibolsko-biotitski granodioriti izgrađuju obodne delove masiva, a prema centru ih smenjuju biotitski granodioriti. U obodnim delovima su relativno krupnozrni i melanokratni, dok se u centralnim delovima veličina sastojaka i

količina bojениh minerala smanjuju. Izgrađeni su od kvarca (oko 27%), plagioklasa (andezin; oko 30%), kalijskog feldspata (ortoklas; oko 26%), biotita (8-18%) i hornblende (0-8%) kao bitnih sastojaka, sa akcesornim apatitom, sfenom, ortitom, cirkonom, epidotom, monacitom, toritom, uraninitom i metaličnim mineralima (magnetit, rutil i ilmenit).



Slika 4.2-1: Geološka građa cerskog i stražaničkog plutona (prema: Karamata et al., 1990).

Legenda: 1. kvarcmonconiti do granodioriti I-tipa; 2. dvoliskunski graniti S-tipa; 3. stražanički granodioriti do kvarcmonconiti; 4. neogeni i kvartarni sedimenti; 5. paleozojski škriljci.

Udeo kalijskog feldspata varira od sadržaja koji odgovaraju kvarcmonconitima do sadržaja karakterističnih za kvarcdiorite. Međutim, u najvećem broju ispitivanih uzoraka, odnos plagioklasa prema kalijskom feldspatu odgovara granodioritima. Strukture su alotriomorfno do hipidiomorfno zrnaste, neujednačeno zrnaste, porfiroidne i kataklastične. U obodnom delu, prisutna je planparalelna tekstura izražena kroz usmerenost liski biotita i izduženih kristala plagioklasa i hornblende.

Mlađi dvoliskunski graniti S-tipa se javljaju u vidu masa nepravilnog oblika u okviru granodiorita, pretežno u južnom i severnom delu cerskog plutona (sl. 4.2-1). Izgrađeni su od kvarca (29-41%), kalijskog feldspata (ortoklas; 27-38%), plagioklasa (14-32%), muskovita (5-15%), biotita (obično do 5%) i akcesornih apatita, cirkona, granata, turmalina i rutila. Ponegde sadrže porfiroblaste muskovita. Strukture su hipidiomorfno zrnaste i masivne teksture. Povlačenjem biotita i muskovita, uz pojavu potiskivanja plagioklasa kalijskim feldspatom, prelaze u aplitoidne granite.

Aplitoidni i turmalinski graniti se javljaju u vidu žica i manjih masa u starijim granitoidima. Izgrađeni su od kvarca, kalijskog feldspata, oligoklasa, muskovita kao

glavnih sastojaka, i biotita, granata, turmalina, apatita, cirkona i rutila kao akcesornih. Retko su prisutni i coisit, titanit, pirit, arsenopirit i kasiterit. Zrna kvarca su relativno izometričnih formi, prozračna, veličine do 4 mm. Zrna feldspata su bela, delimično prozračna. Zrna turmalina su igličasta, najčešće (0,1x3) mm, retko krupnija, do (2x6) mm, različitih orijentacija. Sitna, euhedralna zrna granata su crvene boje i manja od 0,5 mm. Turmalinski graniti su najrasprostranjeniji u JJI delu, a aplitoidni u severnom i SZ delu cerskog plutona. Strukture su hipidiomorfno zrnaste i kataklastične.

Rezultati hemijskih ispitivanja ovih stena su prikazani u tabeli 4.2-1. Srednji sadržaj urana u granodioritima iznosi 4,7 ppm, a u dvoliskunskim granitima 4,5 ppm. Srednji sadržaj torijuma u granodioritima iznosi 14 ppm, a u granitima 13 ppm.

Granodioriti do kvarcmonconiti Stražanice su leukokratne, uglavnom krupnozrne stene, u čiji sastav ulaze kvarc (oko 25%), plagioklas (oko 47%), kalijski feldspat (ortoklas do mikroklin; oko 15%) i biotit (oko 10%), kao i akcesorni cirkon, apatit, epidot, ortit, muskovit i sfen. Sekundarni minerali su sericit, hlorit, kaolin, oksidi gvožđa i kalcit. Udeo kalijskog feldspata varira u širokim granicama, tako da postoje svi prelazi od granodiorita do kvarcdiorita.

Tabela 4.2-1: rezultati hemijskih analiza magmatskih stena Cera (1-3: Mojsilović i dr., 1977; 4: Knežević i dr., 1997).

komponenta	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	66,13	73,42	70,59	68,58
TiO <sub>2</sub>	0,26	-	0,05	0,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,24	15,59	17,80	16,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,40	1,10	0,48	1,11
FeO	3,37	0,18	0,22	1,67
MnO	0,11	0,04	0,10	1,27
MgO	2,21	0,16	0,15	0,06
CaO	3,55	0,67	0,70	2,98
Na <sub>2</sub> O	3,25	4,65	3,13	3,66
K <sub>2</sub> O	3,10	3,67	6,01	2,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29	0,16	0,43	0,10
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,46	0,37	0,54	0,53
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,06	-	-	0,19
zbir	100,43 %	100,01 %	100,20 %	99,53 %

1. granodiorit - potok Milina; 2. aplitoidni granit; 3. turmalinski granit; 4. granodiorit Stražanice.

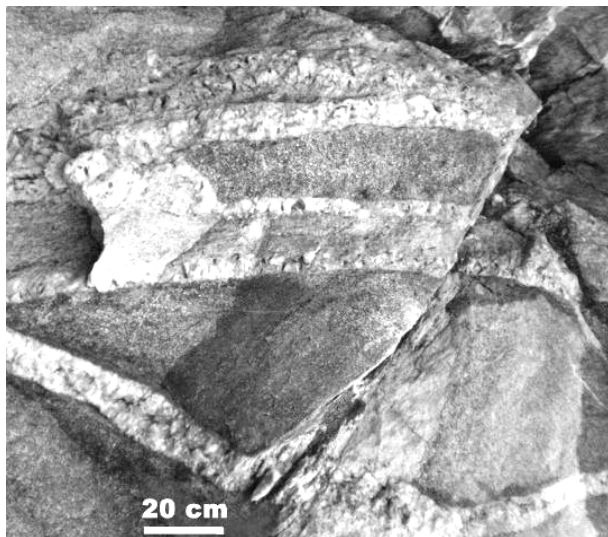
Strukture su alotriomorfno do hipidiomorfno zrnaste, srednjezrne do krupnozrne. Sklop je ujednačen kroz stensku masu. Lučenje stene je kuglasto u otkrivenim delovima. Ove

stene pokazuju izvesne razlike u mineraloškom sastavu u odnosu na cerske granitoide (odsustvo amfibola, vrsta i količina kalijskog feldspata i prisustvo epidota), što ukazuje na drugačije uslove konsolidacije u prisustvu povećane količine vodene pare.

Žične stene su predstavljene ašistnim i diašistnim. Ašistne stene – granitporfiri su svetle stene, porfirske strukture sa fenokristalima kvarca, kalijskog feldspata i plagioklasa, i uglavnom alterisane. Granitoidi prve faze su isprobijani mnoštvom pegmatitskih i aplitskih žica koje su naročito zastupljene u JI i SI delu cerskog plutona. Pegmatitska tela su sočivastog oblika ili žična, debljine 0,2-2 m, retko do 5 m. Odlikuju se izrazito krupnim sastojcima, čija veličina dostiže i 10 cm (sl. 4.2-2). Izgrađeni su od kvarca, feldspata, muskovita, biotita, berila i turmalina. Apliti su ređi od pegmatita. Izgrađeni su od kvarca, plagioklasa i kalijskog feldspata, sa veoma retkim liskama muskovita. Strukture su aplitske – panidiomorfno zrnaste. Lamprofiri su zastupljeni pretežno u JI i JZ delovima plutona. Izgrađeni su od amfibola, plagioklasa, kalijskog feldspata, biotita, veoma male količine kvarca, sfena, ortita, apatita, epidota i coisita.

Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), granitoidi Cera, i I-tipa i S-tipa, pripadaju formaciji magmata južnog oboda Panonskog basena.

Vulkanske stene najbliže cerskom granitoidu su male mase jako raspadnutih dacita Zavlake.



Slika 4.2-2: Pegmatitske žice sa krupnim liskama biotita.

### **Postmagmatske promene stenske mase**

Kasnomagmatskim izmenama cerskih granitoida nastale su zone grajzeniziranih granita, odnosno kvarc-liskunskih stena sa kasiteritom.

Površinsko raspadanje je na različitim mestima doprlo do različitih dubina: u SZ delu plutona Cera do dubine 1-2 m, u južnom delu do nekoliko metara, u granodioritu Stražanice 2-6 m. Maksimalna debljina kore raspadanja je zabeležena u Jaderskoj Lešnici. Makroskopski, dvoliskunski graniti izgledaju intenzivnije promenjeni nego granodioriti i pegmatiti.

### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

U 20. veku je, u različitim vremenskim periodima, granitoidna masa Cera eksploatisana u brojnim kamenolomima, uglavnom za potrebe lokalnog stanovništva: Konjuša, Miloševac, Dulov majdan (u istočnom i JI delu plutona), Njivarica, Veliki majdan, Babića Stena, Ilića potok, Đukanovića majdan, Kovačevića Kik (u JZ i centralnom delu plutona), Jasenje i Čokešina (u severnom i SZ delu plutona) i dr. Organizovana proizvodnja kocke i ivičnjaka je vršena u kamenolomu Čokešina. Pokrivenost terena je velika, usled čega se stenska masa može osmatrati isključivo u kamenolomima. Prisutan je šumski pokrivač, debeli sloj zemljišta, a značajna površina se nalazi i pod lovnim gazdinstvom koje je nepristupačno.

Povoljna svojstva stenske mase sa aspekta AGK su srednja krupnoća zrna i jedrina. Nepovoljne osobine stenske mase su brojne: površinska raspadnutost, intenzivna tektoniziranost, prisustvo anklava, mestimično izbeljivanje oko prslina, veliki udeo liskuna, česte pegmatitske i aplitske žice (sl. 4.2-2,3,4), usmerenost sastojaka i izrazita heterogenost sastava i izgleda (prožimanje različitih tipova stena sa različitim fizičko-mehaničkim karakteristikama na vrlo kratkim rastojanjima; sl. 4.2-5) koji onemogućavaju dobijanje krupnijih blokova homogene stenske mase. Intenzivna pokrivenost terena onemogućava precizno izdvajanje delova stenske mase u kojima je njena građa homogena i u kojima bi bila moguća selektivna eksploatacija različitih tipova stena (starijih I-tipa i mlađih S-tipa).

Stražanički pluton je homogene građe (nema varijeteta kao u cerskom plutonu), ali je lučenje stene kuglasto.

Terenska opažanja su pokazala da se u svim delovima cerskog plutona granodioriti i dvoliskunski graniti prožimaju, čime je onemogućena njihova selektivna eksploatacija. Cela stenska masa je ispresecana relativno gustom mrežom pegmatitskih, a ređe i aplitskih žica (sl. 4.2-2); javljaju se i feldspatske i kvarcne žice. Stenska masa je

intenzivno tektonizirana, i na većini lokalnosti grusifikovana do značajne dubine. Sadrži manje uklopaka od ostalih magmatskih kompleksa koji su ispitivani u okviru Vardarske zone. Lučenje stene je nepravilno do paralelopipedno. Uprkos tektoniziranosti, na južnim padinama, gde je bilo moguće vršiti osmatranja, zapažena je pojava krupnih blokova jedre stene, ali heterogenog izgleda.



Slika 4.2-3: Nehomogen izgled stenske mase i krupna anklava.



Slika 4.2-4: Nepravilno lučenje i ispucalost stene (Čokešina).



Slika 4.2-5: Nehomogen izgled stenske mase.



Slika 4.2-6: Planparalelna tekstura granodiorita.

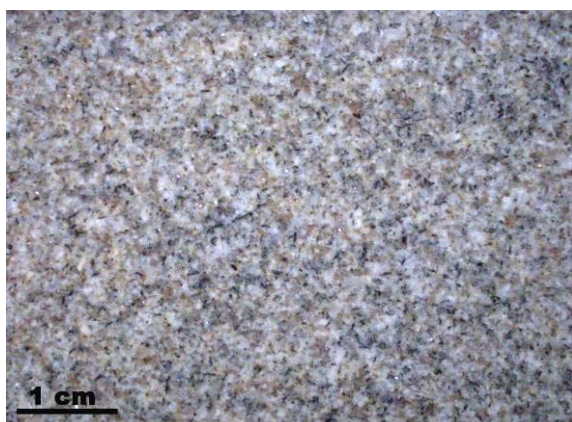


Slika 4.2-7: Masivna tekstura granodiorita.

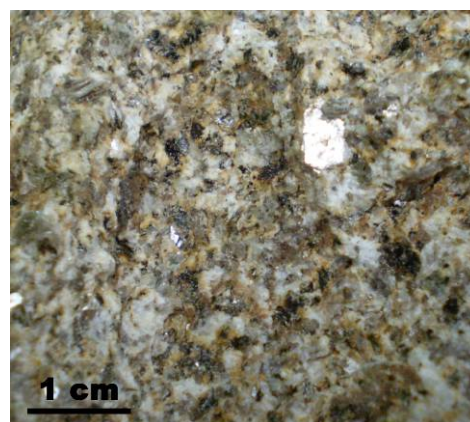
Granodiorit Cera je vrlo sličan boranjskom, s tom razlikom što boranjski granitoid pokazuje slabo izraženu usmerenost sastojaka samo u obodnom delu, a cerski jasno izraženu i u skoro svim delovima (sl. 4.2-6 i 7). U stenskoj masi iz istočnog dela plutona se zapažaju sledeće nehomogenosti: tanke žice svetlijih minerala debljine 5-8 mm; naprsline duž kojih su feldspati zamućeni, a bojeni minerali hloritisani; lokalne koncentracije svetlih minerala, veličine (1x2) do (5x7) cm, nepravilnih kontura, jasnih ali postepenih granica prema okolnoj steni. Izgrađene su od kvarca, feldspata, manje i sitnih granata i bojenih minerala; porfiroidna zrna bližnjjenih feldspata, veličine do nekoliko cm. U SZ delovima plutona, granodiorit pokazuje slabije izraženu planparalelnu teksturu, i neznatno je krupnozrniji. Porfiroidna zrna kalijskog feldspata u granodioritu se jasno zapažaju tek na ravno sečenim površinama (sl. 4.2-8). U dvoliskunskim granitima postoje prelazi između sitnozrnih dvoliskunskih granita i dvoliskunskih granita sa krupnim muskovitima koji se javljaju u centralnim delovima plutona (sl. 4.2-9,10).



Slika 4.2-8: Izgled ravno sečenog uzorka granodiorita.



Slika 4.2-9: Ravno sečen uzorak sitnozrnog dvoliskunskog granita.



Slika 4.2-10: Dvoliskunski granit sa porfiroidnim zrnima muskovita.

Dvoliskunski graniti su često prožeti pegmatitskim žicama debljine 15 mm, izgrađenim od svežih minerala. Struktura granita je zrnasta sa elementima porfiroidne (krupne liske muskovita), i sa jasno izraženom planparalelnom teksturom. Graniti nisu potpuno sveži – svi sastojci su načeti procesima površinskog raspadanja. Bojeni minerali su delimično oksidisali.

Turmalinski granit je daleko manje zastupljen – opažen je samo u istočnom delu plutona, i s obzirom na način javljanja, slabu zastupljenost i sastav, nije interesantan sa aspekta AGK.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.2-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je malo porozan. Upijanje vode je vrlo malo. Čvrstoća na pritisak je srednje visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Pri razmatranju ove ocene, treba uzeti u obzir da su uzorci uzeti sa površine terena, gde su bili izloženi uticaju atmosferilija, što je uticalo na pogoršanje njihovih fizičko-mehaničkih svojstava. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Nisu predisponirane elementima sklopa, pa čak ni prisutnim naprslinama (kod jednog opitnog tela starijeg granodiorita).

Zbog nemogućnosti selektivnog eksploatiranja različitih tipova stena, i ispitivanje njihovih uzoraka je vršeno zajedno. Uzorci dvoliskunskog granita su imali neznatno bolje rezultate pritisne čvrstoće od uzoraka granodiorita (tabela 4.2-3).

#### Makroskopski opis stena

Granodiorit: biotitski do biotit-amfibolski granodiorit je svež, jedar, izgrađen od kvarca, feldspata i biotita. Kvarc je anhedralan, bezbojan, ispucao, do 5-6 mm, poikilitiski zahvata sitne tamne minerale. Liske biotita su sveže, veličine do 6 mm, subhedralne i grade koncentracije nepravilnih kontura, do 1 cm x 4 mm. Liske pokazuju usmerenost i deformisanost pod dejstvom pritiska. Za neke od ovih koncentracija tamnih minerala, vezana je pojava svežih, anhedralnih zrna pirita veličine do 2-3 mm. Feldspati su relativno sveži, beli, slabo prozračni, grade agregate, a pojedinačna zrna se ne razaznaju golim okom. Struktura je zrnasta, sa izraženom planparalelnom teksturom.

Dvoliskunski granit: zapažaju se zrna feldspata, kvarca, muskovita i biotita. Najkrupniji sastojak je muskovit. Zrna kvarca su anhedralna, najčešće oko 2 mm, ređe do 1 cm, ispucala, prozračna. Feldspati su beli, subhedralni, često bližnjeni, i veličine preko 2 cm,



ispucali, slabo zamućeni. Granice pojedinačnih zrna se ne opažaju golim okom. Liske biotita i muskovita su najčešće prečnika do 2 mm, vrlo retko se zapažaju liske (7x3) mm, oba liskuna. U granitu sa krupnim liskama muskovita, te liske su dimenzija do (10x14) mm, a najčešće (8x6) mm, u agregatima debljine 5-6 mm. Biotit se najčešće javlja u vidu sitnijih liski (do 4-5 mm), koje su anhedralne, pokazuju slabo izraženu orijentaciju, crne boje, ali načete oksidacijom usled čega zadobijaju braon nijansu.

Tabela 4.2-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava (Čokešina)

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,35-0,52	0,44
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			104-229	147
u vodozasićenom stanju			100-207	134
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			106-193	131
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	8,85-11,53	9,64
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	7,54-19,80	14,83
Zapreminska masa sa porama i šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,610-2,670	2,628
Zapreminska masa bez pora i šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,640-2,700	2,666
Koeficijent zapreminske mase		-	0,978-0,992	0,986
Poroznost		%	0,8-2,2	1,42
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,432-0,622	0,540
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	5,83-8,40	7,345

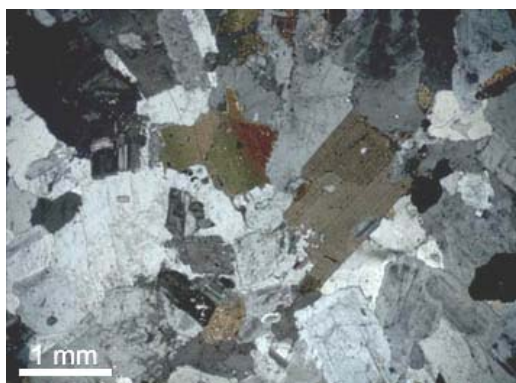
Napomena: prikazani podaci potiču iz šest izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1966. i 1985. godine (nakon čega je eksploatacija obustavljena), i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine.

Tabela 4.2-3: razlike u rezultatima fizičko-mehaničkih svojstava za granodiorite i granite

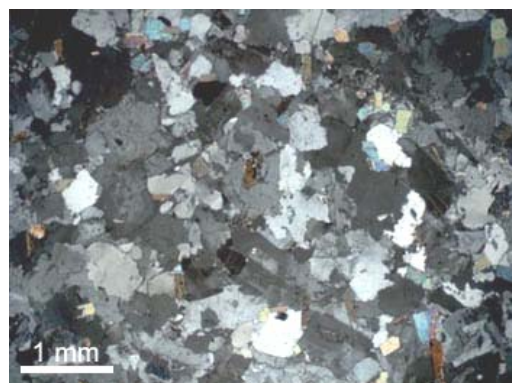
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	granodiorit	108-142	124
		granit	104-182	132
Toplotno širenje	ISO 10545-8	granodiorit	0,432-0,556	0,473
		granit	0,596-0,622	0,607
Koeficijent linearnog toplotnog širenja	8	granodiorit	5,83-7,51	6,42
		granit	8,17-8,40	8,27

### Mikroskopski opis stena

Granodiorit je izgrađen od feldspata i kvarca kao glavnih sastojaka, biotita, amfibola, apatita i metaličnog minerala (magnetita) kao sporednih, i kalcita, sericita, hlorita i glinovite materije kao sekundarnih sastojaka. Javlja se i sfen u krupnim idiomorfim zrnima i epidot. Feldspati su predstavljeni plagioklasom i ortoklasom. Plagioklas preovlađuje. Javlja se u vidu hipidiomorfih zrna, veličine oko (1x0,5) mm, a dostiže i (2x3) mm. Bližnjen je polisintetički, retko lamelarno, ali se često javljaju zonarna zrna. Sericitizacija je u početnoj fazi, a kod nekih zrna je izraženo kataklaziranje. Sericitizacija je izraženija u unutrašnjosti zrna, i razvija se ka obodnim delovima nezavisno od ravni cepljivosti i bližnjenja. Ortoklas pokazuje niži stepen idiomorfizma od plagioklasa, ali sličan stepen sericitizacije. Kvarc se javlja u ksenomorfim zrnima različitih veličina, od (0,1x0,1) mm do (3x3) mm. Ponegde je kataklaziran, naročito krupnija zrna u kojima se ponegde javljaju otvorene mikropukotine. Biotit se javlja u tabličastim do prtkastim oblicima. Hloritizacija je prisutna u promenljivom stepenu. Uglavnom je u početnoj fazi. Potpuno hloritisana zrna su retka. Amfibol je predstavljen hornblendom, prtkastih formi. Zahvaćena je hloritizacijom u promenljivom stepenu (sl. 4.2-11). Apatit i metalični mineral se javljaju u okruglastim, ređe pravougaonim zrnima, veličine ispod (0,1x0,2) mm.



Slika 4.2-11: Mikrofotografija preparata granodiorita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.



Slika 4.2-12: Mikrofotografija preparata granita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Dvoliskunski granit je izgrađen od kvarca i feldspata kao glavnih minerala, liskuna (oko 10%), apatita, coisita i magnetita kao sporednih. Maksimalna veličina zrna je 2,8 mm, a preovlađuju zrna do 1 mm. Kvarc se javlja u vidu ksenomorfih do hipidiomorfih zrna,

veličine oko (1x1) mm. Zrna često imaju vrlo nepravilne, resorbovane ivice, i slabo su kataklazirana (sl. 4.2-12). Ređa su zrna sa undulatornim pomračenjem. Feldspati su predstavljeni ortoklasom i plagioklasima. Ortoklas se ređe javlja u vidu idiomorfnih zrna. Krupna zrna ortoklasa pokazuju blagu sericitizaciju. Plagioklas se javlja uglavnom u zrnima hipidiomorfnih formi, koja su polisintetički bližnja, i blago sericitisana. Pojedina zrna plagioklasa su u centralnim delovima zahvaćena sericitisanjem i kaolinisanjem. Liskuni su predstavljeni biotitom i muskovitom.

Biotit se javlja u vidu zrna igličastih, pritkastih do nepravilnih formi, ponegde udružen sa muskovitom. Muskovit se javlja u vidu zrna tabličastih, kvadratičnih, ređe nepravilnih formi, višeg stepena idiomorfizma od biotita. Takođe je iskrzanih ivica. Apatit se javlja retko, u zrnima okruglastih formi, veličine do 0,2 mm. Step en alteracije feldspata i hloritisanja biotita je vrlo nizak. Vrlo mali broj zrna biotita je zahvaćen početnim fazama hloritizacije.

Struktura stena je hipidiomorfno zrnasta, a tekstura homogena sa elementima planparalelne.

### ***Potencijalnost plutona***

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru, a u eksterijeru je njegova primena zbog nešto nižih vrednosti pritiska i savojne čvrstoće za horizontalna oblaganja ograničena na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), a za vertikalna na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad terena). Zbog prisustva pirit, primena u eksterijeru se ne preporučuje. Uzorci su uzeti sa površine terena, što je svakako negativno uticalo na rezultate laboratorijskih ispitivanja.

### ***4.3. Magmatski kompleks Boranje***

Boranski magmatski kompleks se nalazi u zapadnoj Srbiji, istočno od M. Zvornika i 115 km JZ od Beograda. Granitoidni pluton je oko 7 km širok i 12 km dugačak, otkrivene površine oko 70 km<sup>2</sup>. Ima oblik fakolita. U reljefu terena se ističu vrhovi Košutnja Stopa (939 m), Mačkov Kamen (924 m), Crni vrh (856 m) i Turski Grob (784 m). Brojni potoci dreniraju masiv Boranje (Radalj, Ravnaja, Boranjska reka, Čadavica i dr.), i većina se uliva u Drinu. Manji, južni deo boranjskog granodioritskog masiva sa

efuzivima, prikazan je na OGK 1:100 000 list Ljubovija (Kubat, 1977), dok je severni, veći deo, prikazan na listu Zvornik (Mojsilović i dr., 1977). Putna mreža je relativno dobro razvijena – pored regionalnog asfaltnog puta Loznica-Bajina Bašta, zastupljeni su i asfaltni putevi manjeg značaja i promenljivog, uglavnom nižeg kvaliteta, kao i brojni lokalni, zemljani putevi.

Istraživanjem boranjskih magmatskih stena sa različitih geoloških aspekata se bavio veći broj autora: geodinamički aspekt su obradili Karamata i dr., 1994a, Karamata and Krstić, 1996, Karamata et al., 1997, Cvetković et al., 2000a; strukturnu građu Simić, 1935; vezu između regionalnih razloma i magmatske aktivnosti Vukašinović, 1962a, 1975, 1976, 1978a; mineraloško-petrološki sastav i genezu Urošević, 1902, Karamata, 1953, 1955, 1957a,b, 1962, Mojsilović i Avramović, 1966, Karamata i Divljan, 1980, Divljan, 1983, Karamata et al., 1990, Karamata i dr., 1992b; metalogenetski aspekt i ležišta mineralnih sirovina Tomić, 1962, Janković, 1990, Filipović, 2005; sa aspekta građevinskog kamena Marčeta i dr., 2009; sadržaje radioaktivnih elemenata dali su Omaljev, 1982, 1986, Radošević et al., 2002, a podatke o apsolutnoj geološkoj starosti Ramović, 1966, Deleon, 1969, Delaloy et al., 1989, Karamata i dr., 1992b, 1994a,b, Prelević et al., 2001, Pamić, 2002, Robertson et al., 2009a.

### **Geološka građa oblasti**

Boranjski pluton je utisnut u kompleks paleozojsko-mezozojskih stena koje su promenjene pod toplotnim i hemijskim uticajem magme na različite načine. Širina kontaktnog pojasa varira od nekoliko stotina metara do blizu 2 km. Konstatovani su različiti tipovi kornita, škriljaca i skarnova. Na lokalnosti Ravnaja se, pored skarnova, javljaju i endomorfno promenjeni granitoidi. Na zapadnom, a delom i severnom obodu intruziva, nalaze se tvorevine jurske dijabaz-rožnačke formacije (breče, peščari, rožnaci, glinci, dijabazi i dr.). Na SI delu oboda intruziva su zastupljene devonsko-karbonske tvorevine (peščari, argilo-filiti i filiti); na istočnom obodu su zastupljene srednjekarbonske tvorevine (glineni škriljci i kvarcni peščari). Devonsko-karbonske i srednjekarbonske tvorevine pripadaju tzv. jaderskoj faciji. U južnom obodnom delu intruziva je zastupljen kompleks stena tzv. drinske facije: kompleks trijaskih stena (kvarcni peščari, konglomerati, breče, glinci; laporoviti krečnjaci; krečnjaci i dolomiti) i kompleks paleozojskih stena, koje su na listu Zvornik neraščlanjene (peščari, kvarciti,

filiti i škriljci) a na listu Ljubovija im je dodeljena karbonska starost. Manje i veće mase vulkanita tercijarne starosti su prisutne u široj oblasti oko boranjskog plutona.

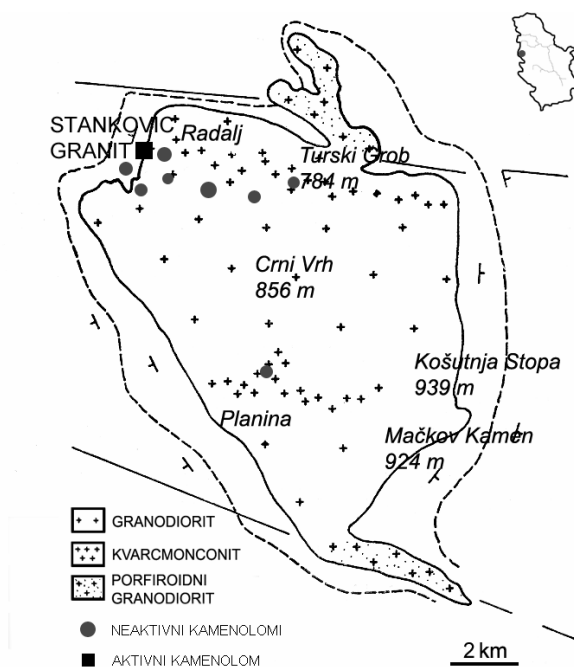
### Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa

Boranjski magmatski kompleks se nalazi na granici tri terana – Jaderskog blok-terana, kompozitnog terana Vardarske zone i terana Drina-Ivanjica (Karamata and Krstić, 1996). Magma je utisnuta u domenu presečišta dubinskog razloma Zvornik-Raška i poprečnih razlomnih struktura (Srebrnica-Boranja-Bogatić i Srebrnica-Bobija), u antiklinalu koja tone ka jugu.

Terenski su opaženi sledeći sistemi pukotina: a) 106/45, b) 190/50, c) 92/75 (sa slabom limonitizacijom duž pukotina), d) vertikalne, sa pružanjem po pravcu 160-340°.

### Geološka građa magmatskog kompleksa - petrološki i mineraloški sastav i sklop

Granitoidna masa je najvećim delom izgrađena od granodiorita (amfibolsko-biotitskih, manje biotitskih), koji prelaze u kvarcmonconite, i od kvarcdiorita, koji su zastupljeni u južnom obodnom delu. U najdubljim delovima su otkriveni kvarcmonconiti (sl. 4.3-1). Hemijski sastav je prikazan u tabeli 4.3-1. U kvarcdioritima izostaju ortoklas ili ortoklas i kvarc, a kvarcmonconiti sadrže porfiroblaste kalijskih feldspata.



Slika 4.3-1: Geološka građa boranjskog magmatskog kompleksa (prema Karamati i dr., 1990, mod.).

Srednji sadržaj urana u granodioritima Boranje iznosi 6,14 ppm. Vešan je za petrogene minerale, kao i torijum. Centralni deo masiva je osiromašen uranom, a povišeni sadržaji urana se javljaju u JI delu masiva i, lokalno, u SZ delu. Srednji sadržaj torijuma je oko 17 ppm.

Struktura granitoida je hipidiomorfno zrnasta (u centralnim delovima plutona) do porfiroidna, izuzetno i holokristalasto porfiriska sa opacitskim rubom oko amfibola (u obodnim delovima plutona) što ukazuje na plitki nivo konsolidacije.

Tabela 4.3-1: Rezultati hemijskih analiza granitoida Boranje (1,2 – Karamata, 1957a; 3 – Kubat, 1977)

komponenta	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	65,52	62,01	67,16
TiO <sub>2</sub>	0,30	0,36	0,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,69	16,21	16,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,68	2,21	1,33
FeO	1,67	2,68	1,96
MnO	0,09	0,11	0,09
MgO	1,55	3,67	1,31
CaO	4,11	4,68	4,05
Na <sub>2</sub> O	3,60	3,31	2,91
K <sub>2</sub> O	3,86	4,63	3,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	0,21	0,20
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	0,52	0,29	0,48
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	0,34	0,05	0,39
zbir	100,16 %	100,42 %	100,48 %

1. Granodiorit, Čavčići; 2. Kvarcononit, Ravnaja; 3. Granodiorit, Mala Reka

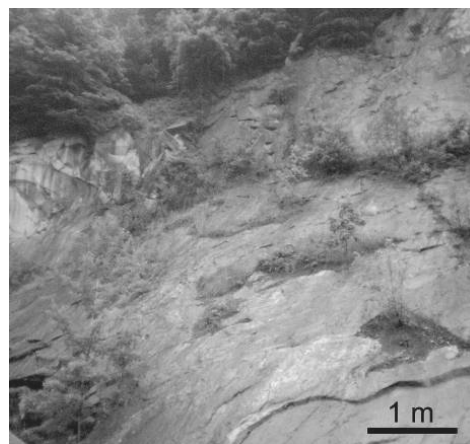
Uz obod mase, stena je lučena pločasto i poliedarski (sl. 4.3-2). Debljina ploča se kreće od par do 20 cm. Poliedarsko lučenje stene sa dubinom prelazi u masivno (sl. 4.3-3) sa izdvajanjem prirodnih blokova zavisno od prisutnih sistema pukotina. Blizu kontakta plutona sa okolnim stenama, granitoid sadrži brojne slabo resorbovane anklave kornitisanih sedimenata, pretežno sitnije, do 2 cm, ređe do 5-6 cm, nepravilnog oblika. Dobijene vrednosti apsolutne starosti intruzivnih stena variraju od 33,7 do 24 Ma. Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), granitoidi Boranje pripadaju formaciji magmata dinaridskog granitoidnog pojasa.

Žične stene su predstavljene ašistnim (granodiorit-porfiriti) i diašistnim stenama (apliti, pegmatiti i lamprofiri). Javljaju se pretežno uz obod plutona i u kontaktno-metamorfnom oreolu. Granodiorit-porfiriti su izgrađeni od kvarca, ortoklasa,

plagioklasa, biotita i amfibola. Strukture su holokristalasto-porfirske, sa mikrogranitskom osnovnom masom. Pegmatiti i apliti su izgrađeni od kvarca, mikroklina, plagioklasa, biotita, muskovita i akcesornih minerala – sfena i turmalina. Pegmatiti su često pisano-pegmatitske strukture. Lamprofiri su vrlo retki.



Slika 4.3-2: Poliedarsko lučenje.



Slika 4.3-3: Masivno lučenje.

Intruziv je praćen vulkanoklastitima i efuzivima (daciti i andeziti, retko kvarcelatiti) u vidu subvulkanskih intruzija i izliva debljine i do 100 m. Detaljno su opisani u Tumačima OGK. Često su hidrotermalno promjenjeni (propilitisani, sericitisani, zaglinjeni), orudnjeni i intenzivno tektonizirani. Dobijene vrednosti apsolutne starosti izlivnih stena variraju od 34 do 27 Ma.

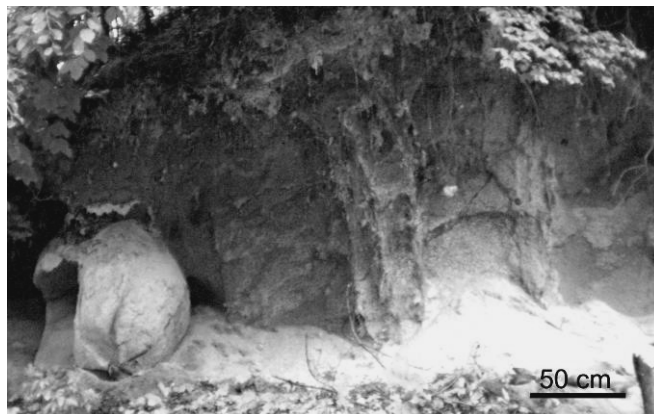
### **Postmagmatske promene stenske mase**

Uprkos čestim orudnjenjima u oblasti, veći deo masiva je izgrađen od svežih stena.

U južnom delu, u blizini Velike reke i lokalno duž SZ kontakta, kvarcdioritske i/ili granodioritske stene su hloritisane i epidotisane, sa impregnacijama pirita i, ređe, molibdenita. Na istočnom obodu su nešto rasprostranjeniji produkti hidrotermalnih promena. Rudna mineralizacija je zastupljena u severnim, istočnim i južnim delovima oboda plutona, dok su centralni delovi i zapadni deo oboda sterilni u pogledu orudnjenja i perspektivni sa aspekta AGK. Efuzivne i vulkanoklastične stene su intenzivno hidrotermalno promenjene – sericitisane, hloritisane, ređe epidotisane, kaolinisane, silifikovane i karbonatisane. U okolini plutona su poznate brojne pojave i ležišta mineralnih sirovina: skarnovska ležišta gvožđa, olova, cinka i volframa (Majdani-

Pećine, Duga Njiva, Vranovac i dr.) i hidrotermalna ležišta olova, cinka, antimona i fluorita (V. Cip-Košević-Biljeg, Brasina, Zajača, Ravnaja i dr.).

Pod uticajem atmosferilija je došlo do grusifikovanja u površinskim delovima plutona, pri čemu debljina grusifikovane zone ponegde dostiže i 5 m (sl. 4.3-4). Usled hidrotermalne promenjenosti, površinsko raspadanje vulkanita je intenzivnije od plutonita.



Slika 4.3-4: "Samac" u grusifikovanoj okolnoj steni.

#### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Eksploatacija kamena na Boranji je tokom proteklih decenija vršena u nekoliko većih i u većem broju manjih kamenoloma: Ravnaja, Stanković granit, Okuka, Kik, Radaljska banja, Stave (SZ deo plutona), Crni Radalj, Raskršće (severni deo plutona), Crni Vir (centralni deo plutona), Krš (dacit), V. Majdan (andezit) i dr. Granitoid u obodnim delovima plutona ima paralelnu orijentaciju sastojaka (planparalelnu teksturu) koja olakšava obradu cepanjem, usled čega je decenijama ovaj kamen korišćen za izradu kocke i ivičnjaka.

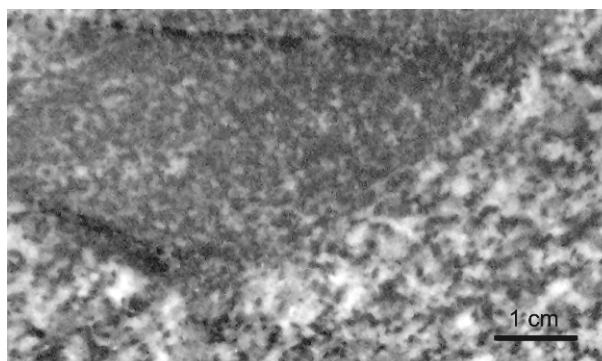
Kao AGK, boranjski granitoid ima brojna povoljna svojstva koja su se pokazala kroz dugi niz godina eksploatacije u upotrebi: svežina, srednja krupnoća zrna, ponekad sitnozrna, mogu se dobiti krupni blokovi, otpornost odnosno vremenska trajnost (u zavisnosti od završne obrade kamena i mesta ugradnje), obradljivost.

Nepovoljne osobine stenske mase su sledeće: a) u obodnim delovima plutona: nehomogen izgled (u nekim delovima stenske mase su K-feldspati porfiroidni), koncentracije metaličnih minerala (pirita), prisustvo anklava i planparalelne teksture odnosno orijentacije bojenih minerala, mestimično izbeljivanje oko prslina (sl. 4.3-

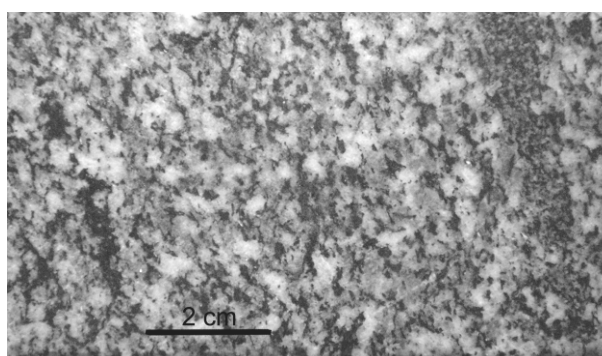


5,6,7,8); b) u centralnim delovima plutona: mestimično se javljaju krupnije liske biotita (10x5) mm.

Slika 4.3-5: Nehomogen izgled ravno sečenih površina boranjskog plutonita (deo šlire).



Slika 4.3-6: Ibid. (izdužene šlire, planparalelna tekstura manifestovana kroz orijentaciju bojenih minerala).



Delovi granitoidne mase bliže centru plutona su daleko kvalitetniji kao AGK, a bliže obodu su bolji za cepani kamen. Boranjski granitoid je upotrebljen za zidanje zgrade Glavne pošte u Beogradu, i pokazao je zadovoljavajuću otpornost na uticaj atmosferilija kroz dugi niz godina. Osim toga, lako se seče i obrađuje, zadržava oštrinu ivice, može se polirati do visokog sjaja, a kroz eksploataciju ovog kamena u upotrebi, pokazalo se da je politura postojana u dugom vremenskom periodu.

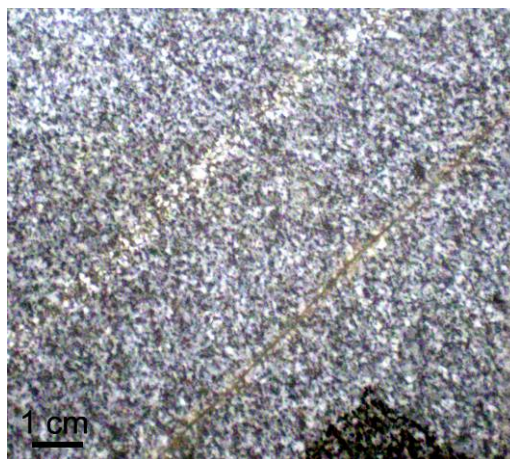
#### *Severni deo plutona (Stanković granit, Ravnaja, Radalj)*

Na površini terena je zemljasti pokrivač debljine do 20 cm, sa listopadnom šumom. Stenska masa je retko dostupna promatranju usled pokrivenosti terena. U obodnim delovima plutona, stena je tamnosiva, jedra, sveža, vrlo tvrda. Zapažene su koncentracije metaličnih minerala veličine pesnice (sl. 4.3-7). U pojedinim delovima stenske mase feldspati su porfiroidni i blede ljubičaste boje. Oko nekih prslina je došlo do izbeljivanja stene (sl. 4.3-8), pri čemu su porfiroidna zrna K-feldspata duž ovih prslina neizmenjena. U pojedinim delovima stenske mase, grusifikovanje je napredovalo do dubine od oko 5 m, uz zaostajanje kuglastih komada jedre stene u

nevezanoj masi zrna (sl. 4.3-4). Ovde su feldspati beličasti, zamućeni, a tamni minerali su oksidisali uz nastajanje limonita. Oksidacija je vrlo uočljiva u anklavama, zbog većeg udela bojenih minerala. U obodnim delovima plutona, stena pokazuje slabo izraženu paralelnu orijentaciju zrna bojenih minerala, ali se pravac menja u različitim delovima stenske mase i na malim rastojanjima. Dalje od oboda plutona, planparalelna tekstura se ne zapaža.



Slika 4.3-7: Metalni minerali.



Slika 4.3-8: Pukotine i žice.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.3-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je kompaktn. Upijanje vode je vrlo malo. Čvrstoća na pritisak je visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Pri razmatranju ove ocene, treba uzeti u obzir da su uzorci uzeti sa površine terena, gde su bili izloženi uticaju atmosferilija, što je uticalo na pogoršanje njihovih fizičko-mehaničkih svojstava. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Generalno nisu predisponirane elementima sklopa, čak ni planparalelnom teksturom koja je ponegde prisutna. Samo je na jednom opitnom telu zapaženo da se na ravni preloma javlja šlira sa povećanim udelom biotita.

Makroskopski, stena je sitnozrna, sveža, jedra, izgrađena od salskih i femskih minerala, lokalno sa aplitoidnim žilicama. Makroskopski se zapažaju kvarc, feldspati, biotit i amfibol. Kvarc je veličine od (3x4) do (7x8) mm. Feldspati su beli, nepravilnih oblika, veličine od (0,5x0,5) do (4x5) mm. Siva, porfiroidna zrna K-feldspata dostižu veličinu i do 1 cm. Femski minerali se javljaju samostalno ili u vidu manjih nagomilanja. Amfibol je veličine (1,5x5) do (7x2,5) mm. Prisutna su zrna sfena žute boje, prozračna, do 2 mm. Prelom je nepravilan sa vrlo hrapavim prelomnim površinama. Česte su sitnozrne

anklave, veličine 2-3 cm, a ima i krupnijih, nepravilnih oblika, relativno jasnih kontura, vrlo sitnozrne građe, izgrađene pretežno od tamnih minerala. Zapaža se slabo izražena paralelna orijentacija bojjenih sastojaka (planparalelna tekstura), a negde oni grade trake i sočiva. Na terenu, u stenskoj masi, kao i na objektima u koje je ovaj kamen ugrađen, zapaženo je prisustvo krupnih agregata metaličnog minerala (pirita).

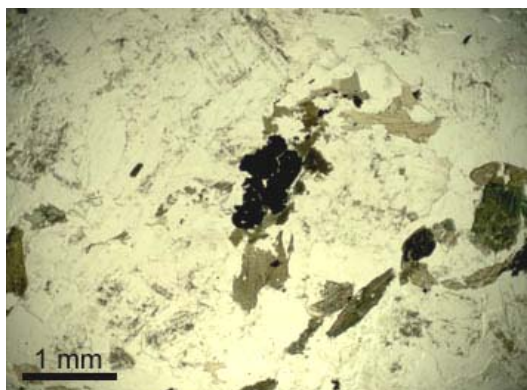
Tabela 4.3-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,16-0,48	0,31
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			128-283	227
u vodozasićenom stanju			132-256	202
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			106-254	189
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	6,53-10,69	8,24
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	14,30-34,16	16,84
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,651-2,730	2,691
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,686-2,750	2,716
Koeficijent zapreminske mase		-	0,988-0,996	0,991
Poroznost		%	0,37-1,30	0,92
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,476-0,685	0,576
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	6,340-9,130	7,775

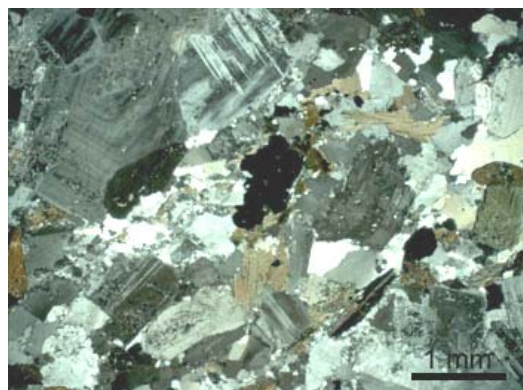
Napomena: prikazani podaci potiču iz jedanaest izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1964. i 2008. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Najbolje vrednosti su dobijene prvih godina eksploatacije, a kasnije sve lošije, što je verovatno posledica primene miniranja. Kvalitetnije partije stenske mase se ne mogu razlikovati makroskopski ni mikroskopski od lošijih.

Mikroskopskim pregledom stene je utvrđeno da su glavni sastojci kvarc, plagioklasi, K-feldspati (ortoklas i retko mikroklin), biotit i hornblenda. Ponegde se javljaju i metalični minerali u vidu nepravilnih zrna (sl. 4.3-9,10, centralni deo). Zrna plagioklasa su hipidiomorfni, prizmatični, ređe nepravilnih oblika, sa dobro razvijenom lamelarnom, ređe zonarnom građom i veličine zrna od (0,2x0,5) do (0,5x3) mm. Preovlađuju u odnosu na ortoklas. Grade polisintetičke blizance. Prema optičkim karakteristikama,

plagioklas odgovara andezinu-oligoklasu. Zrna plagioklasa su delimično zahvaćena procesima alteracije. Produkti alteracije su sericit i kaolinit (sl. 4.3-9,10, gornji levi ugao). Zrna ortoklasa su relativno sveža. Usled delovanja procesa alteracije se zapažaju manje promene u kaolinit i sericit u sredini zrna.



Slika 4.3-9: Mikrofotografija preparata granodiorita pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.3-10: Mikrofotografija preparata granodiorita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Dimenzije zrna su 1-4 mm. Alotriomorfna zrna kvarca zapunjavaju prostor između plagioklasa i K-feldspata, gradeći veća ili manja nagomilanja, a sasvim retko se kvarc javlja u individualnim, krupnim zrnima. Hornblenda preovlađuje među bojenim sastojcima. Gradi prizmatična do nepravilna zrna veličine (8x4) mm, a ima i sitnijih, (1x5) mm. Idiomorfno i hipidiomorfno razvijena zrna se odlikuju savršenom cepljivošću. Zelene su boje, uglavnom sveža. Alteracijom prelaze u hlorit. Neka zrna hornblende sadrže zrna pirita ispod 1 mm. Biotit se javlja u hipidiomorfnim liskama smeđe boje, veličine 3-4 mm (ređe do 8 mm), debljine agregata oko 1 mm. Uglavnom je svež, a pojedina zrna su slabo hloritisana. Liske biotita grade manja nagomilanja sa zrnima epidota i amfibola. Među sporednim mineralima su zastupljeni sfen, apatit, epidot, ortit, cirkon, pirit, pirotin, halkopirit i magnetit. Sfen se javlja kao primaran mineral u krupnim idiomorfnim zrnima oblika romba i koverta. Magnetit se javlja u sitnijim zrnima i nagomilanjima i produkt je magmatske faze kristalizacije. Sekundarni minerali su sericit, epidot, hlorit, kaolinit i kalcit.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao hornblenda-biotitski granodiorit hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne teksture sa elementima planparalelne.

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru. Međutim, zbog prisustva pirita, primena boranjskog granitoida u eksterijeru se ne preporučuje.

#### *Centralni delovi plutona*

Stenska masa je vrlo sličnog izgleda kao u obodnim delovima plutona, vrlo sitnozrna, ali bez planparalelne teksture. Na površini je stenska masa grusifikovana do dubine od oko 5 m, a ispod ove zone su krupni blokovi, preko 2 m. Prisutne su anklave poluzaobljenih formi. Opažanje je otežano usled slabe otkrivenosti.

#### *Južni delovi plutona*

Obodni delovi plutona su tektonizirani. Stena je siva do svetlosiva, slabo grusifikovana u površinskim delovima. Lučenje je poliedarsko, u obodnim delovima pločasto, a sa dubinom blokovi postaju sve krupniji. Ka centralnim delovima stenske mase, sadržaj anklava je daleko manji nego u obodnim delovima i one su pretežno sitnije (1x4) cm. Stenska masa je slična kao u severnim delovima plutona, uz manji sadržaj tamnih minerala. Tekstura je masivna, i nema paralelne orijentacije bojenih minerala. Svi sastojci su makroskopski sveži.

#### *Potencijalnost plutona*

Generalno, stenska masa je relativno slabo tektonizirana, i dobijanje krupnih blokova ne predstavlja problem. Kamen je svež, jedar. Pegmatitske i/ili aplitske žice su ekstenzivno prisutne samo u obodnim delovima plutona. Manu stenske mase predstavlja prisustvo brojnih, pretežno sitnih anklava i koncentracije metaličnih minerala (pirita) u obodnim delovima plutona. Izgled stene je nehomogen usled neravnomernog koncentrisanja bojenih minerala. Delovi bliže centru granitoidne mase su daleko kvalitetniji sa aspekta AGK jer nema planparalelne teksture, anklave su ređe i sitnije, i nije zapažen pirit.

### **4.4. Magmatski kompleks Kosmaja**

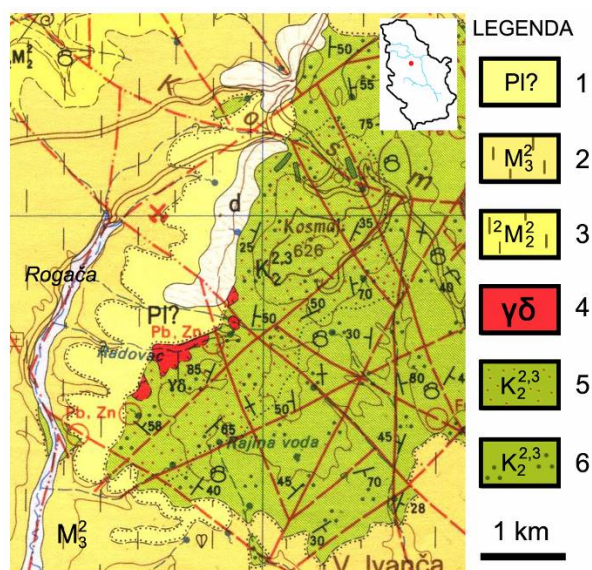
Granitoidni pluton Kosmaja je slabo otkriven na JZ padinama planine Kosmaj u potoku Radovac u ataru sela Rogača. Izdanci su prikazani na listu OGK 1:100 000 Smederevo (Pavlović i dr., 1980) u vidu četiri male mase. U morfologiji terena se ističe vrh planine Kosmaj (626 m). Veći broj potoka koji drenira Kosmaj uliva se u reku Turiju. Putna

mreža u oblasti je relativno dobro razvijena, ali do samog izdanka ne postoji ni zemljani put.

Istraživanjem geologije kosmajske oblasti se bavio relativno manji broj autora: strukturnu građu su obradili Luković 1958, Anđelković 1960, 1967; vezu između regionalnih razloma i magmatske aktivnosti Vukašinić, 1970, 1972, 1973, 1974, 2005; mineraloško-petrološki sastav i genezu Milojević i Protić, 1927, Jovanović, 1936, 1938a,b, Luković, 1936, 1953/54, 1955a,b, 1958, Pavlović i Ilić, 1937, Anđelković, 1952, 1953, Vuković, 1962, Mihailović, 1981, Mihailović i Žolnaj, 1982, Vasković, 1987; metalogenetski aspekt i ležišta mineralnih sirovina Janković, 1990, Karamata i dr., 1994b, a podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Karamata i dr., 1994b, Lovrić, 1982/83 (iz: Vasković, 1987).

### Geološka građa oblasti

Granitoid Kosmaja je utisnut u sedimente gornjekrednog fliša (glinci, laporci, peščari i krečnjaci), koji su pri tome intenzivno kontaktno metamorfisani (sl. 4.4-1), i nastali su piroksenski, piroksen-granatski i epidotski korniti.



Slika 4.4-1: Geološka građa terena oko izdanka kosmajskog plutona (prema Pavloviću i dr., 1980).

Legenda: 1. pliocenska "gruboklastična serija"; 2. peskovi, peskovite gline i peščari gornjeg miocena (panon); 3. gline, peskovi, peščari i šljunkovi (gornji torton); 4. granitmonconiti Kosmaja; 5. kontaktno metamorfisani flišni sedimenti turon-senona; 6. fliš: peskoviti laporci, peščari i krečnjaci (turon-senon).

Tercijarne vulkanske stene su predstavljene pretežno dajkovima kvarclatita, koji se javljaju severnije, u oblasti Babe-Stenička Bara, utisnuti u gornjekredne sedimente.

Najveći deo terena je pokriven sedimentima miocena i pliocena. Sedimenti gornjeg miocena su predstavljeni peskovima, peskovitim glinama, ređe i peščarima, a pliocenski sedimenti konglomeratima.

### **Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa**

Kosmajski granitoid pripada nizu magmatskih kompleksa tercijarne starosti koji su vezani za centralni dubinski razlom Vardarske zone Srbije, čije se pružanje može pratiti od Kopaonika na jugu, preko Željina do Avale na severu. Oblast Kosmaja ima složenu tektonsku građu u kojoj se ističu reversni rasedi pružanja SSZ-JJI, kao i rasedi nižeg reda koji se ukrštaju sa njima. Rased Stragari-Kosmaj-Ripanj-Beograd je delimično reversan, sa navlačenjem prema zapadu. Pravac pružanja ovog raseda je oko 175°. Rased Rogača-V. Ivanča-Jagnjilo je deo zone Ostružnica-V. Ivanča-Rača-Bagrđan, pravca pružanja oko 130°, preko JZ padina Kosmaja. Kosmajsko-mladenovački rased ima azimut pružanja oko 105°.

Usled specifičnog položaja plutona, odnosno slabe otkrivenosti, osmatranje pukotinskih sistema je otežano. Zapažen je sistem pukotina sa elementima pada 279/(56-82) i subvertikalnih pukotina sa azimutom pružanja 130°.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop**

Danas otkriveni delovi granitoida Kosmaja predstavljaju apikalne delove skrivenog plutona. Granitoidne stene Kosmaja su predstavljene moncogranitom I-tipa koji u različitim delovima otkrivene plutonitske mase prelazi u kvarcdiorite i granodiorite, ređe kvaremonconit, monconitski granit, ili granitmonconit. Ove stene su sive boje, krupnozrne do srednjezrne, porfiroidne strukture – sa krupnim idiomorfnim zrnima ortoklasa u hipidiomorfno zrnastoj osnovi (sl. 4.4-2). Vrednosti apsolutne starosti ovih stena variraju od 30 do 29 Ma. Rezultati hemijskih analiza moncogranita su prikazani u tabeli 4.4-1. Sadržaj radioaktivnih elemenata u granitoidu Kosmaja do sada nije ispitan (usmeno saopštenje, V. Omaljev, 2010.). Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), kosmajski granitoid pripada formaciji magmata dinaridskog granitoidnog pojasa kasnopaleogeno-ranoneogene starosti (grupa B-a).

U granitoidu su zapaženi ksenoliti i šlire (sl. 4.4-3). Ksenoliti, pretežno kornitisani sedimenti su tamnosive boje, od 5 mm do oko 10 cm u prečniku, ovalnog ili

nepravilnog oblika. Nalaze se na međusobnim rastojanjima od po par desetina cm. Šlire su dimenzija od nekoliko mm do (2x5) cm, tamnosive do sivozelene boje. U svežijim delovima stenske mase se retko zapaža prisustvo pločastog lučenja, a ostali delovi sveže stenske mase pokazuju masivno lučenje (sl. 4.4-4).



Slika 4.4-2: Krupna zrna ortoklasa (lokalnost: potok Radovac).



Slika 4.4-3: Uklopci u monocgranitu (ibid.).



Slika 4.4-4: Masivno lučenje stene.

Među žičnim stenama, javljaju se ašistne (granitporfir) i diašistne (apliti i lamprofiri). Aplitske žice imaju debljinu najčešće od nekoliko cm, i pružanje pravcem SSI-JJZ i ZSZ-IJI. Boje su svetlosive do bele, alotriomorfno zrnaste strukture. Izgrađene su od ortoklasa, plagioklasa, kvarca, ređe biotita, sfena, apatita i cirkona. Veličina zrna varira



0,2-1,5 mm. Lamprofiri zapunjavaju dva sistema pukotina, pružanja SSZ-JJI i ISI-ZJZ, u vidu žica debljine i do 20 m, i potpuno su alterisani.

Tabela 4.4-1: rezultati hemijskih analiza moncogranita iz potoka Radovca (Vasković, 1987)

komponenta	udeo (%)
SiO <sub>2</sub>	63,77
TiO <sub>2</sub>	0,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,07
FeO	2,56
MnO	0,05
MgO	1,98
CaO	4,46
Na <sub>2</sub> O	3,28
K <sub>2</sub> O	4,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24
H <sub>2</sub> O <sup>+110</sup>	0,57
H <sub>2</sub> O <sup>-110</sup>	0,84
zbir	100,01 %

Vulkanske stene – kvarclatiti do rioliti javljaju se u oblasti Babe-Stenička Bara kao žice debljine 5-15 m, koje pravcem sever-jug, ređe istok-zapad, presecaju kredne sedimente i vulkanoklastite istog sastava. Intenzivno su silifikovane. Vrednosti apsolutne starosti kvarclatita variraju od 26 do 23 Ma. Vulkanoklastiti – vulkanske breče, koje su ranije određivane kao brečasti rioliti, izgrađeni su od nesortiranih fragmenata krednih sedimenata, vezanih vulkanskim materijalom kvarclatitskog sastava. Mestimično su orudnjene, silifikovane i limonitisane.

#### **Postmagmatske promene stenske mase**

Intenzitet alteracija u području Kosmaj-Babe je promenljiv. Duž sistema raseda i pukotina, došlo je do cirkulacije hidrotermalnih rastvora, koji su uzrokovali silifikaciju, sericitizaciju, limonitizaciju, kaolinizaciju vulkanita, kao i nastajanje hidrotermalnih Pb-Zn orudnjenja, dok je sâm pluton slabo istražen zbog pokrivenosti. Sastojci stene su uglavnom sveži. Feldspati su slabo sericitisani, a hornblenda biotitisana, hloritisana, kalcitisana.

Delovi granitoida dostupni ispitivanju zahvaćeni su samo površinskim raspadanjem.

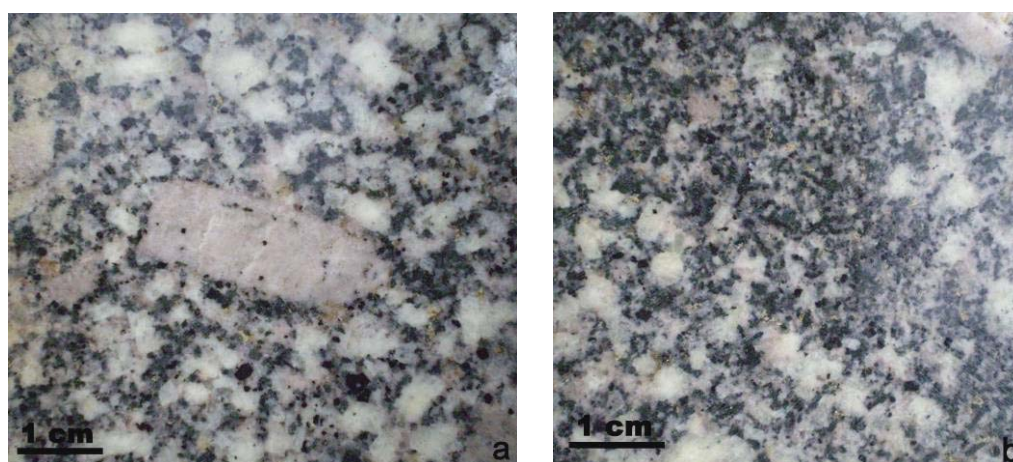
U potoku Radovac je granitoid izložen ubrzanom površinskom raspadanju (sl. 4.4-5), dok je iznad nivoa potoka svež i vrlo jedar (sl. 4.4-4).

### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Zbog male otkrivene površine, i to u nivou površinskih voda, eksploatacija ove granitoidne mase nije vršena. Prema izgledu, granitoid Kosmaja je vrlo blizak porfiroidnom granitoidu iz centralnih delova kopaoničkog plutona, koji su nedostupni za eksploataciju jer je kopaonički pluton obuhvaćen teritorijom nacionalnog parka. Ovo je jedini varijetet granitoidnih stena Vardarske zone koji ima bolje estetske karakteristike – prisustvo krupnih porfiroidnih zrna K-feldspata blede ljubičaste boje. Stenska masa je relativno homogene građe u pogledu izgleda i mineraloškog sastava, ali je ova procena nesigurna zbog slabe otkrivenosti plutona. U nekim "samcima" je izgled stene homogen, a u nekim nehomogen (sl. 4.4-6a,b)



Slika 4.4-5: Površinsko raspadanje i grusiranje granitoida u domenu potoka.



Slika 4.4-6: Variranje izgleda stene koje se jasno zapaža na uzorcima ravno sečenih površina.

Kao AGK, kosmajski granitoid, odnosno njegovi svežiji, površinski neizmenjeni delovi imaju sledeća povoljna svojstva: svežina, jedrina, žilavost, homogenost, dekorativnost, masivno lučenje. Nepovoljne osobine stenske mase su porfiroidna struktura koja može da utiče na efektivnost obrade i trajnost, prisustvo anklava, ponegde zapažene žice izgrađene od krupnih zrna feldspata. Generalno, stenska masa je slabo otkrivena da bi se mogla dati kompletna ocena povoljnih i nepovoljnih svojstava stenske mase.

Na OGK list Smederevo su označena četiri izolovana izdanka granitoidne mase. Terenskim proučavanjem je utvrđeno da se duž korita potoka Radovac smenjuju partije granitoidne mase i manje zone kornita. Pri tome se zapaža da je granitoidna masa alterisana u veoma promenljivom stepenu – od delimične mehaničke dezintegracije (grusiranja) stenske mase sa relativno očuvanim mineralnim zrnima, do dezintegrisane stene sa potpuno promenjenim mineraloškim sastavom, u kojem slučaju se u potpuno zaglinjenom matriksu zapažaju samo još sitna zrna kvarca i sitna, nepravilna, vrlo promenjena zrna feldspata. U centralnim delovima otkrivene mase se nalazi partija neizmenjene stene koja se nalazi van potoka i stoga je očuvala kompaktnost i svežinu. Odvajanje komada kamena od ove mase čekićem i špicom je nemoguće.

Mestimično se zapaža prisustvo pločastog lučenja, sa debljinom ploča oko 10 cm. Takođe, zapažen je sistem pukotina sa elementima pada 279/(56-82) i subvertikalnih pukotina sa azimutom pružanja 130°. U drugopomenutom sistemu pukotina se zapaža, mestimično, prisustvo limonitske ispune. Ove pukotine su na međusobnim rastojanjima od oko 50 cm.

Stenska masa je relativno homogene građe u pogledu izgleda i mineraloškog sastava celom otkrivenom dužinom – nema varijeteta AGK, osim po krupnoći biotitskih ljuspica – od ispod 1 mm do oko 5 mm. Zapažaju se uklopci kornitisanih sedimenata u granitoidnoj masi, dimenzija 2-10 cm, manje ili više resorbovani. Uklopci se nalaze na međusobnim rastojanjima od po nekoliko desetina centimetara.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.4-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je malo porozan. Upijanje vode je malo. Čvrstoća na pritisak je srednje visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je tvrd. Fizičko-mehanička svojstva su lošija zbog površinske izmenjenosti stenske mase iz koje su uzorci uzeti. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave.

Generalno nisu predisponirane elementima sklopa. Od pet opitnih tela za ispitivanje savojne čvrstoće, tri su pukla po naprslinama duž kojih se odvijala cirkulacija descendentnih rastvora sa limonitom.

Tabela 4.4-2: Rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	nema vidljivih promena	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	gubitak mase 0-0,05%	0,03 postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,40-0,50	0,46
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	110-182	147
u vodozasićenom stanju			96-151	121
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			96-135	119
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	9,49-11,04	10,15
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	14,12-16,35	15,05
Zapreminska masa sa porama i šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,648-2,700	2,670
Zapreminska masa bez pora i šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,703-2,727	2,719
Koeficijent zapreminske mase		-	-	0,982
Poroznost		%	-	1,8
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,505-0,543	0,525
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	6,560-7,270	6,940

Napomena: prikazani podaci potiču iz izveštaja o ispitivanju izvršenog 2010. godine.

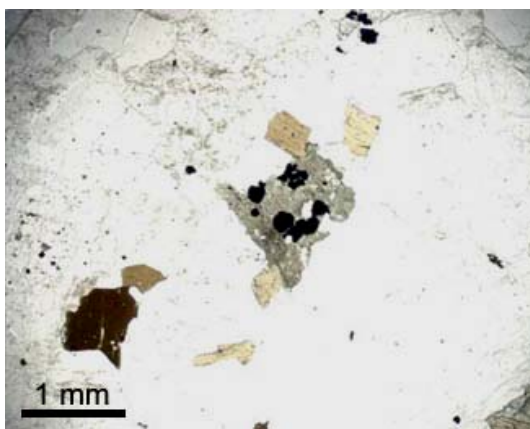
S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za horizontalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, ali je upotreba za vertikalno oblaganje u eksterijeru ograničena na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m) a za horizontalno na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj). Pri razmatranju ove ocene, treba uzeti u obzir da je uzorak nepoznato vreme bio u potoku, pod intenzivnim uticajem atmosferilija, i da je to uticalo na pogoršanje njegovih fizičko-mehaničkih svojstava, dok je svež kamen bilo nemoguće odvojiti od stenske mase.

Makroskopski, stena je pretežno sive boje sa primesama blede ljubičaste ili roze. Izgrađena je od salskih i femskih minerala, koji su uglavnom ravnomerno raspoređeni

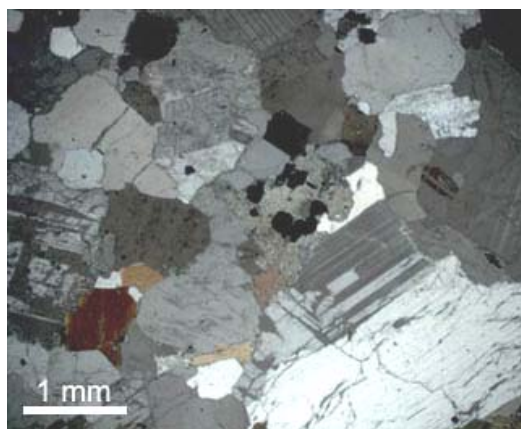
po steni. Na ravnim površinama vide se manji delovi mase sa sitnozrnijom strukturom. Kalijski feldspati su krupniji od svih ostalih sastojaka, prozračni, blede roze-ljubičaste boje, zonarne građe, bližnjeni, ispucali. Najčešće su veličine do 1 cm, ali se javljaju i zrna do (5x2) cm koja steni daju porfiroidan izgled. Uklapaju sitna zrna bojjenih minerala. Plagioklasi su beli, ispucali, zamućeni, pretežno nepravilnih oblika, veličine najčešće do (10x6) mm. Zrna kvarca su prozračna i ispucala. Biotit je dosta zastupljen, svež. Zapažaju se dva oblika biotita – jedan čije su ljuspice idiomorfne, prečnika do 5 mm, i drugi čije su ljuspice sitnije, do 2 mm i nepravilnih oblika. Amfiboli su nepravilnog oblika, retko prtkasti, sveži ali ispucali. Zapaža se često prisustvo sitnih, žutih, prozračnih zrna, verovatno sfena. Prelom je nepravilan sa oštrim ivicama i grubo hrapavim površinama. U kontaktu sa hladnom 5% HCl, stena ne pokazuje reakciju. Ne može se parati čeličnom iglom.

Mikroskopskim pregledom stene je utvrđeno da je izgrađena od feldspata i kvarca kao glavnih minerala, dok se kao sporedni i akcesorni javljaju hornblenda, biotit, metalični minerali (magnetit), apatit, alanit i cirkon. Sekundarni sastojci su sericit, hlorit, kalcit, epidot, magnetit, sfen i kaolinit. Feldspati su predstavljeni ortoklasom i plagioklasima. Redovno su sericitisani do kaolinisani u različitom stepenu, ređe kataklazirani. Zrna plagioklasa su idiomorfna do hipidiomorfna, polisintetički bližnjena, veličine od (0,4x0,2) do (10x5) mm. Imaju lamelarnu i zonarnu građu. Ortoklas se javlja u idiomorfnim do alotriomorfnim zrnima veličine od (0,4x0,2) do (5x4) mm. Porfiroidna zrna su daleko krupnija. Kvarc se javlja u vidu hipidiomorfnih do ksenomorfnih zrna. Ponekad je slabo ispucalo i undulatoran, uglavnom intersticijski. Amfibol je predstavljen zelenom hornblendom, hipidiomorfnih do ksenomorfnih izduženih formi, veličine do (5x3) mm (sl. 4.4-7,8). Kasnomagmatski procesi su usloveli pojavu biotitizacije hornblende, koja je naročito izražena na periferiji zrna. Usled alteracije, hornblenda prelazi u hlorit, kalcit, sfen, magnetit i epidot. Biotit se javlja u tabličastim, ređe prtkastim zrnima sa brojnim inkluzijama apatita, ređe cirkona i magnetita. Kada je jako hloritisan, sadrži sekundarno izdvojen magnetit i sagenit. Metalični mineral (magnetit) je veličine oko (0,1x0,1) mm, okruglastih formi, dok se apatit javlja često u idiomorfnim heksagonalnim oblicima. Sfen se javlja u vidu idiomorfnih do hipidiomorfnih zrna, veličine do 2 mm. Gradi 1,45-4,53% stene.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao granit hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne teksture.



Slika 4.4-7: Mikrofotografija preparata granita pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.4-8: Mikrofotografija preparata granita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

### ***Potencijalnost plutona***

Stenska masa kosmajskog granitoida u površinski neizmenjenim delovima ima povoljnu svežinu, jedrinu, žilavost, homogenost, dekorativnost i lučenje. Generalno, stenska masa je slabo otkrivena da bi se mogla dati kompletna ocena povoljnih i nepovoljnih svojstava stenske mase. Otežavajući faktor za eventualnu primenu kosmajskog granitoida kao AGK predstavlja položaj granitoida ispod žilavih kornita.

### ***4.5. Magmatski kompleks Brajkovca***

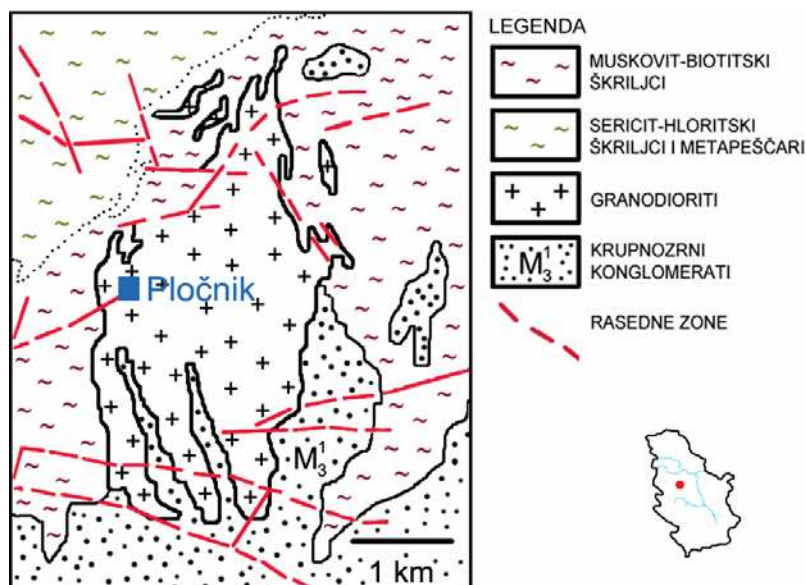
Granitoidna masa Brajkovca se nalazi oko 7 km zapadno od Bukulje, 6 km južno od Lazarevca i oko 60 km južno od Beograda. Na površini je otkrivena oko 8 km<sup>2</sup>. Geološka građa oblasti je prikazana na OGK 1:100.000, listovi Obrenovac (Filipović i Rodin, 1980) i G. Milanovac (Filipović i dr., 1978). Na zapadnom obodu plutona protiče rečica Pločnik, a inače je registrovan manji broj izvora i potoka. Reljef terena je slabo izražen. Putna mreža oblasti je dobro razvijena, međutim, do plutona vode samo lokalni nasuti i zemljani putevi koji se vezuju za asfaltni put Lazarevac-Brajkovac.

Istraživanjem brajkovačkih magmatskih stena sa različitih geoloških aspekata se bavio relativno mali broj autora: sa aspekta građevinskog kamena Vučković, 2003, 2004, Vučković i dr., 2007; strukturnu građu je obradio Anđelković 1960, 1967; vezu između regionalnih razloma i magmatske aktivnosti Vukašinović, 1970, 1972, 1974;

mineraloško-petrološki sastav i genezu Kostić i Pavlović, 1978, Karamata i Divljan, 1980, Divljan i Cvetić, 1991a,b; metalogenetski aspekt i ležišta mineralnih sirovina su obradili Mihailović, 1982, Topalović, 1990, Karamata i dr., 1994b; sadržaje radioaktivnih elemenata su dali Omaljev, 1990, Radošević et al., 2002; podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Mihailović i dr., 1982, Karamata i dr., 1994b.

### Geološka građa oblasti

Brajkovački pluton je utisnut u paleozojske stene. Intrudovanje je izvršeno na dubini od 1-2 km (hipoabisalni nivo). Duž kontakta su starije stene metamorfisane. U neposrednom kontaktu su registrovani korniti, mikašisti, gnajsevi, a dalje od kontakta skarnovi, hloritsko-sericitski škriljci, filiti i metapeščari (sl. 4.5-1). Površina plutona je delom pokrivena mladim tvorevinama, koje su predstavljene gornjemiocenskim konglomeratima.



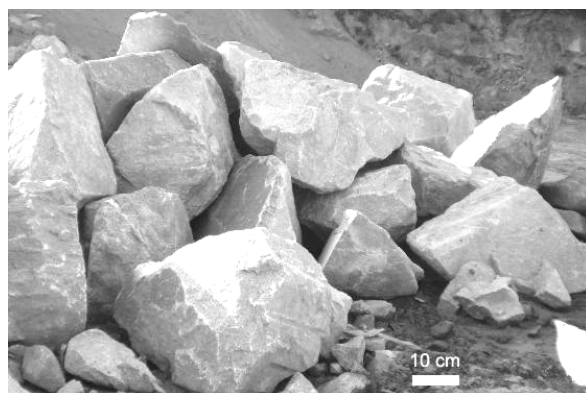
Slika 4.5-1: Geološka građa terena u oblasti brajkovačkog magmatskog kompleksa (prema Filipoviću i Rodinu, 1980; i Filipoviću i dr., 1978).

### Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa

Prema Dimitrijeviću (1995a), brajkovački magmatski kompleks pripada bloku Vagana i Bukulje u okviru Jaderskog bloka Vardarske zone. Osnovna naborna forma u oblasti Brajkovca je deka kilometarska brahi-antiforma, tzv. Bukuljsko-brajkovački horst-antiklinorijum, čiji je položaj uslovljen prisustvom krupnih transverzalnih razloma, koji u oblasti Brajkovca imaju pružanje pravcem istok-zapad do ZSZ-IJI. U severnom delu plutona, zastupljeni su rasedi pružanja SI-JZ, ISI-ZJZ i SZ-JI. Prema podacima

aeromagnetnih ispitivanja brajkovački granitoid je nastao utiskivanjem magme duž razloma Kotlenik-Rudnik-Belanovica.

Elementi pada registrovanih sistema pukotina (zapadni deo plutona): a) (116-144)/(10-15) pukotine ovog sistema dele stensku masu na subhorizontalne ploče debljine od 30 cm do nekoliko metara, i zapunjene su žicama vrlo sitnozrnog turmalina sa piritom, debljine 1-7 mm; duž ovih pukotina je vršena alteracija okolne stene, na udaljenosti do 10 cm oko žice; b) 260/80 ove pukotine su praćene slabom limonitizacijom okolne stene uz stvaranje tankih limonitskih skrama; c) subvertikalne pukotine sa pružanjem pukotinske ravni po pravcu (60-71)-(240-251). U njima su utisnute žice izgrađene od feldspata i kvarca sa piritom i epidotom; d) (330-342)/(80-85) ispunjene žicama sa epidotom i piritom, praćene alteracijom okolnog granitoida. U istočnom delu plutona su zastupljeni sistemi pukotina sa elementima pada 124/80 i 160/55. Sistemi pukotina dele stensku masu na komade nepravilnih oblika (sl. 4.5-2), koji su na površini dimenzija do 50 cm, a sa dubinom postaju sve krupniji. U ležištu Pločnik je otkopavanjem otkrivena jedra stenska masa blokovite građe. Na dubini od oko 10 m, dimenzije blokova dostižu više od 5 m.



Slika 4.5-2: Nepravilni oblici izvađenih blokova.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop**

Najvećim delom, pluton je izgrađen od biotitskog granodiorita, odnosno biotit-hornblenda granodiorita sa mestimičnim prelazima u kvarcmonconit, u tonalit, a ređe i u aplitski granit. Mineraloški sastav granitoida je interesantan zbog učešća zrna epidota u građi stene i do 10 %, i prisustva krupnih (agregata) zrna kvarca. Povećane količine pirita karakterišu pretežno apikalne delove intruziva, i izrazito se koncentrišu u uskim endokontaktima delovima. Određivanja izotopske starosti granodiorita variraju od 31 do



18 Ma. Hemijski sastav granitoida Brajkovca je prikazan u tabeli 4.5-1. Sadržaji radioaktivnih elemenata u brajkovačkom granitoidu iznose: 4,70-5,85 ppm U i 9,30-9,60 ppm Th. Najviši sadržaji urana se nalaze u aplitskim stenama.

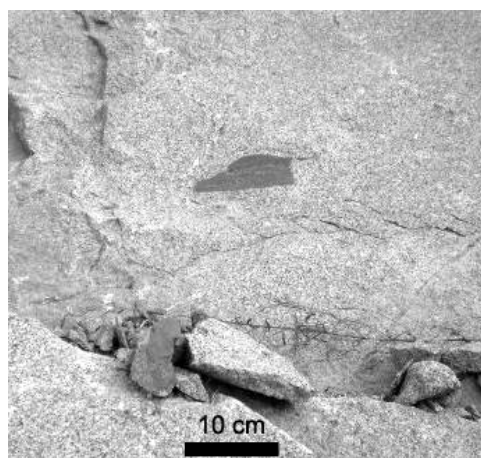
Tabela 4.5-1: rezultati hemijskih analiza granodiorita (Filipović i Rodin, 1980).

komponenta	1	2
SiO <sub>2</sub>	67,00	64,24
TiO <sub>2</sub>	0,45	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,30	17,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,13	1,44
FeO	0,79	2,69
MnO	0,05	0,09
MgO	1,37	2,11
CaO	2,87	5,02
Na <sub>2</sub> O	3,18	4,10
K <sub>2</sub> O	3,10	1,88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,32	0,30
zbir	98,56%	99,59%

Kalkoalkalnog je karaktera i pokazuje odlike I-tipa granitoida. Prema mineraloškom sastavu, stena pripada grupi granita, a prema odnosu sadržaja K-feldspata i plagioklasa je u graničnom području između granita i granodiorita. Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), brajkovački granitoid pripada formaciji magmata južnog oboda Panonskog basena. Stena je hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne teksture. Lučenje stenske mase je u obodnim delovima nepravilno – poliedarsko do paralelopipedno (sl. 4.5-3), a ka dubini postepeno prelazi u masivno.



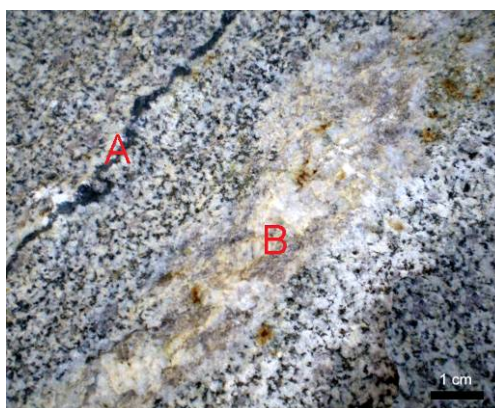
Slika 4.5-3: Nepravilno lučenje stenske mase u obodnim delovima brajkovačkog plutona.



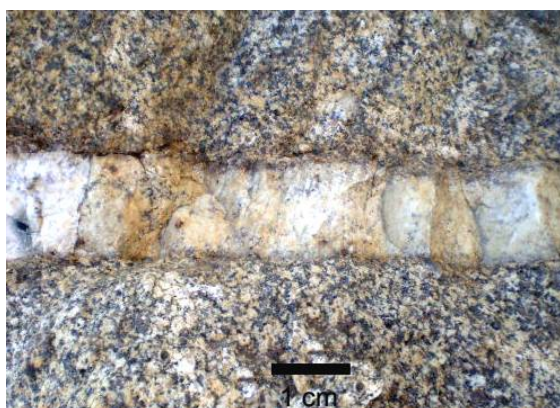
Slika 4.5-4: Ksenolit nepravilnog oblika u stenskoj masi masivnog lučenja.

Ne zapaža se prisustvo varijeteta stenske mase, litaža niti planparalelne teksture. U stenskoj masi se zapažaju uklopci na međusobnim rastojanjima od 10 cm do preko 1 m. Izgrađeni su pretežno od bojanih minerala, i imaju različite forme – izdužene i nepravilne od (2x1) do (15x7) cm i izometrične, prečnika od 2-4 cm do 15-20 cm (sl. 4.5-4).

Od žičnih stena su zastupljene ašistne (granodioritporfiriti, ređe dioritporfiriti i monconitporfiriti) i diašistne (aplitsko-pegmatitske). Prisutne su i kvarcno-feldspatske žice debljine do 0,5 m i subhorizontalne žice izgrađene od sitnozrnog turmalina, debljine do par centimetara (sl. 4.5-5). Granodioritporfiriti se javljaju oko 5 km SZ od brajkovačkog plutona u vidu žica i najčešće su intenzivno hidrotermalno alterisani. Plagioklasi, kao i biotit i hornblenda, često su izmenjeni pod dejstvom hidrotermalnih rastvora u hlorit, limonit, sericit, minerale glina i dr. Određena izotopska starost granodioritporfirita iznosi 25 Ma. Aplitsko-pegmatitske žice (sl. 4.5-6) su izgrađene od feldspata i kvarca, debljine oko 5-40 mm. Feldspat je beo, neprovidan, a zrna kvarca su ispucala, prozirna, nepravilnih oblika.



Slika 4.5-5: Kvarc-turmalinska (A) i kvarc-feldspat-piritska žica (B).



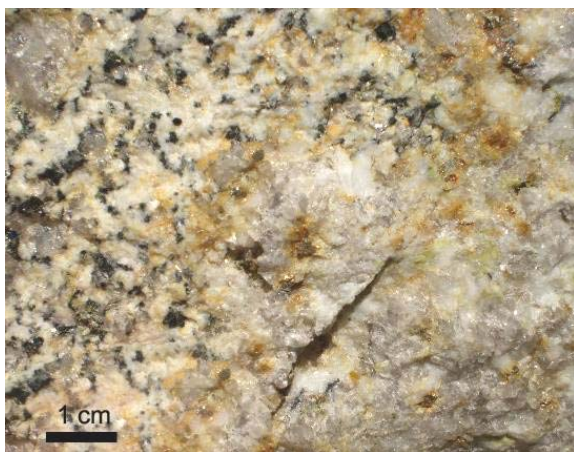
Slika 4.5-6: Aplitska žica.

Prisutne su i žice izgrađene od bojanih minerala i epidota, sa elementima pada 150/68; od kvarca i epidota, vidljive dužine 1,5 m, debljine do 7 mm, sa elementima pada 29/55; od epidota i pirita, vrlo tanke i duge preko 1,5 m, retke. U istočnom delu plutona, žice sa piritom su na međusobnim rastojanjima od 10 cm i više.

### Postmagnatske promene stenske mase

Pirit, čije je prisustvo veoma značajno kada se razmatra mogućnost upotrebe stenske mase kao AGK, u brajkovačkom granitoidu je prisutan u dva oblika: a) u vidu zrna raspoređenih po čitavoj stenskoj masi, uz biotit, u vidu anhedralnih, subhedralnih pa i euhedralnih, vrlo sitnih zrna, ili kao agregati većeg broja zrna; b) u aplitskim i hidrotermalnim žicama sa feldspatom, kvarcem i epidotom, kao subhedralna zrna najčešće do 2 mm, pojedinačna, ređe u vidu agregata nepravilnog oblika i kontura, preko 1 cm. Uprkos tome što se javlja u kristalnom obliku, koji je otporniji na uticaj atmosferilija, već *in situ* se zapaža da su zrna pirita načeta procesima oksidacije (sl. 4.5-7). U granodioritporfiritima su zastupljene sericitizacija, argilizacija, hloritizacija, karbonatizacija, albitizacija, ređe epidotizacija. Divljan i Cvetić (1991a) smatraju da su alteracioni procesi uzrokovani uticajem mlađeg, krupnijeg, neotkrivenog plutona. Ovakav pluton je indiciran aeromagnetometrijski u oblasti Živkovaca.

Površinski delovi stenske mase su grusifikovani u promenljivom stepenu, do dubine 1-5 m. Jedriji delovi stenske mase tada zaostaju u grusifikovanoj masi u vidu "samaca" (sl. 4.5-8). Grusifikaciji su slabije podložne aplitske žice koje ostaju da štrče iz grusifikovane granodioritske mase. U dubljim delovima, stenska masa je sveža.



Slika 4.5-7: Oksidacija pirita *in situ* (Milosavljevića majdan).



Slika 4.5-8: "Samac" u grusifikovanoj okolnoj masi granitoidne stene.

### Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK

Brajkovački magmatski kompleks je dosta pokriven. Na površini je prisutan šumski pokrivač, debeli sloj zemljišta, poljoprivredne površine, kao i naselja. Stenska masa se može osmatrati praktično isključivo u kamenolomima.

Eksploatacija brajkovačkog granodiorita je vršena u dva veća kamenoloma, i oko 15 manjih, prema potrebama stanovništva: ležište Pločnik (jedino u njemu se vrši organizovana eksploatacija), Bistrička reka (zapadni deo plutona), Milosavljevića majdan (istočni deo plutona), Stanića majdan (centralni deo), i drugi, manji, koji nemaju nazive.

Kao arhitektonski građevinski kamen, brajkovački granitoid ima sledeća povoljna svojstva: svežina, homogenost, srednja krupnoća zrna, ponekad sitnozrna, mogu se dobiti krupni blokovi. Nepovoljne osobine stenske mase: prisustvo porfiroidnih, ispucalih zrna kvarca, veličine do 2 cm, koncentracije pirita, prisustvo anklava, mestimično izbeljivanje oko prslina, veliki udeo biotita koji pri obradi u izvesnom stepenu ispada.

Od brajkovačkog granodiorita izgrađeni su obaloutvrda Save u Beogradu, postolje spomenika neznanom junaku na Avali, pešačke staze i stepeništa na Mostarskoj petlji u Beogradu i brojni objekti u Lazarevcu i okolini.

#### *Zapadni delovi plutona (ležište Pločnik)*

Granodiorit je u nekim delovima tektoniziran i grusifikovan do dubine od 2-5 m, naročito uz kontakt sa kornitima i škriljcima. Ponegde je prisutna silifikacija i pojave impregnacija i žilica pirita. Dalje od kontakta, stena je sveža i kompaktna, ali sadrži mnoštvo ksenolita. U nekim delovima se zapažaju žice debljine oko 1,5-5 cm, izgrađene od kvarca, feldspata i pirita (sl. 4.5-5), zatim žice debljine 3-6 mm od kvarca i feldspata, kao i subhorizontalne žice sitnozrnog turmalina, debljine do nekoliko cm. Oko ovih žica se ponegde zapažaju piritne impregnacije. Stenska masa je intenzivnije prožeta epidotom i piritom oko turmalinskih žica. Oko pojedinih pukotina je došlo do limonitizacije bojenih minerala i zamučivanja feldspata.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.5-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je malo porozan. Upijanje vode je malo. Čvrstoća na pritisak je visoka u suvom stanju, a srednje visoka u vodozasićenom stanju i nakon ciklusa mržnjenja i kravljenja. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Nisu predisponirane elementima sklopa.

Tabela 4.5-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,14-0,85	0,53
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	100-217	154
u vodozasićenom stanju			58-198	118
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			53-146	117
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	7,70-11,39	9,04
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	10,09-24,90	18,00
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,610-2,672	2,639
Zapreminska masa bez šupljina		gcm <sup>3</sup>	2,678-2,702	2,685
Koeficijent zapreminske mase		-	0,975-0,985	0,983
Poroznost		%	1,5-2,5	1,7
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,38-0,44	0,41
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	5,40-6,06	5,74

Napomena: prikazani podaci potiču iz osam izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1989. i 2006. godine. Najlošije vrednosti su dobijene prvih godina eksploatacije, a kasnije sve bolje, što je posledica ulaska u kvalitetnije, dublje delove stenske mase.

Upotrebljivost kamena: s obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za horizontalno oblaganje u enterijeru i eksterijeru i vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, međutim, zbog nešto nižih vrednosti pritisne čvrstoće, upotreba za vertikalno oblaganje u eksterijeru je ograničena na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m). S obzirom na prisustvo pirita, ne preporučuje se primena ovog kamena u eksterijeru, kao ni u enterijeru na mestima gde će biti izložen produženom uticaju vlage.

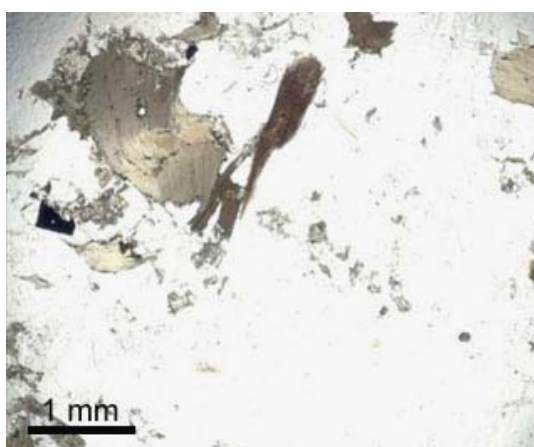
Makroskopski, stena je sive boje, izgrađena od salskih i femskih minerala preovlađujuće veličine 3-5 mm. Salski minerali grade oko 85% stene, a femski oko 15%. Zrna kvarca se izdvajaju po dimenzijama kao najkrupnija, do (2,5x1) cm, i daju steni porfiroidan

izgled. Ispucala su, nepravilnih do izometričnih formi, sive boje. Ponekad sadrže vrlo sitne šupljine. Zrna feldspata su bela, nepravilnih oblika, ispucala, neprovidna do slabo prozračna, makroskopski izgledaju sveže. Agregati zrna dostižu 1 cm. Od bojjenih minerala se zapažaju hornblenda i biotit. Biotit je svež, crn. Javlja se u vidu agregata liski debljine do 4-5 mm. Zrna hornblende su maksimalne debljine ispod 2 mm i dužine do 7-8 mm, ali najčešće do 3 mm. Kroz čitavu otkrivenu stensku masu, naročito oko bojjenih minerala (prvenstveno biotita) su česta zrna epidota, vrlo sitna. Ponegde su ovi agregati praćeni i sitnim, nepravilnim zrnima pirita, najčešće ispod 1 mm. Pirit je zastupljen kroz čitavu stensku masu. Pod udarom čekića, stena se lomi nepravilno, gradeći grubo hrapave površine oštrih ivica. Salski minerali se ne mogu parati čeličnom iglom, dok se femski lako paraju.

Mikroskopskim pregledom preparata stene je utvrđeno da je izgrađena od plagioklasa (andezina), kvarca, alkalnih feldspata (ortoklasa i mikroklina), biotita i amfibola kao glavnih sastojaka. Plagioklas je najzastupljeniji. Uglavnom je svež, ređe zamućen glinovitom materijom. Zrna plagioklasa su hipidiomorfna do alotriomorfna, dimenzija od (0,10x0,17) do (1,5x2,0) mm. Javljaju se kao polisintetički ili lamelarno bližnji kristali, često zonarne građe i redovno sericitisani. Čine 40-50% stene. Alkalni feldspati čine do 15% stene. Ortoklas je prisutan u vidu hipidiomorfnih zrna ujednačene veličine, od oko (0,4x0,6) do (0,9x1,3) mm. Slabo je zamućen glinovitim česticama. Delovi nekih zrna zahvaćeni su mikroklinizacijom. Mikroklin je ksenomorfan i bistar, i uglavnom zajedno sa kvarcem ispunjava međuprostore ostalih zrna. Poikilitiski uklapa sve ostale minerale. Kvarc gradi oko 10-20% stene, i javlja se u dve forme, kao krupniji – hipidiomorfan, porfiroidan, 1-1,5 cm u prečniku; i kao ksenomorfan sitniji intergranularan mineral. Biotit preovlađuje nad hornblendom (u steni je zastupljen 10-15%), i često je udružen sa mineralima epidotsko-coisitske grupe. Zrna su hipidiomorfna. Dimenzije liski variraju od veoma sitnih, koje se zapažaju kao inkluzije u salskim sastojcima do najviše (2x4) mm. Preovlađuju sveže liske, ali se kod nekih zapaža i transformacija u hlorit, epidot i metalični mineral. Sadržaj hornblende je najčešće ispod 1%, a mikroskopski se zapaža zamenjivanje hornblende biotitom. Epidot se javlja u okviru sitnih, gnezdastih agregata sa biotitom i metaličnim mineralom, ređe samostalno, u krupnim, usamljenim, hipidiomorfnim zrnima, veličine 1-2 mm. Stiče se utisak da je nastao transformacijom biotita. Zastupljen je više nego hornblenda –

zauzima do 10% stene. Od sporednih minerala prisutni su alanit, apatit, sfen, metalični mineral (sl. 4.5-9,10, uz levu ivicu), retko cirkon. Apatit je često idiomorfan, u vidu sitnih kristala do (0,08x0,13) mm. Sekundarni minerali su malo zastupljeni (do 2% stene). Javljaju se hlorit, praškasti epidot i metalični mineral kao produkti transformacije biotita; sericit, kalcit i retko glinovita materija kao produkti transformacije feldspata (plagioklasa i ortoklasa).

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao biotit-hornblenda granodiorit do granit, hipidiomorfno zrnaste strukture sa elementima porfiroidne, i masivne teksture.



Slika 4.5-9: Mikrofotografija preparata pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.5-10: Mikrofotografija preparata pod ukrštenim Nikolovim prizmama.



Slika 4.5-11: Masivno lučena stenska masa (Milosavljevića majdan).

*Istočni deo plutona (Milosavljevića majdan)*

Stenska masa je jedra, homogena, bez izraženih varijeteta.

Blokovi stenske mase bez jako izraženih pukotina dostižu dimenzije od preko 5 m (sl. 4.5-11). Prisutne su aplitske žice sa naknadno prinetim epidotom i piritom (4.5-7). I stenska masa oko žice je prožeta sitnim, relativno retkim, euhedralnim zrnima pirita veličine ispod 0,5 mm. Ova pojava se zapaža oko svih pukotina, različitih elemenata pada, a ne samo oko jednog sistema pukotina.

Zrna svežeg pirita, koja su relativno česta, jasno se vezuju za agregate biotita, veličine su ispod 1 mm, ali se javljaju i agregacije zrna pomešanih sa bojenim mineralima, čije dimenzije dostižu i 7-8 mm. Na krupnijim zrnima pirita se uočava oksidacija.

#### *Centralni delovi plutona*

Prisutne su žilice turmalina i kvarc-feldspatske žice. Debljina sloja grusa iznosi 1,5-5 m. Stena je tektonizirana u promenljivom stepenu. Negde je jedra i sveža, a negde izmenjena (izbeljena), verovatno oko raseda.

#### *Potencijalnost plutona*

Generalno, stenska masa je jedra i kvalitetna, javlja se u krupnim blokovima, nema litaža ni varijeteta, međutim, zbog pojave različitih žica (aplitskih, hidrotermalnih) sa nestabilnim mineralima (pirit), pogodna je samo za primenu u enterijeru. Primenjen u eksterijeru, ovaj kamen se pokazao kao nestabilan i podložan brznoj oksidaciji pirita usled čega na fasadi nastaju rđaste fleke. Međutim, danas su otvoreni samo apikalni delovi plutona, i moguće je da su ove žice sa štetnim mineralima u dubljim delovima manje zastupljene ili odsutne.

### **4.6. Magmatski kompleks Slavkovice**

Slavkovički magmatski kompleks se nalazi oko 70 km južno od Beograda, i oko 10 km južno od Ljiga. Prikazan je u celini na listu OGK 1:100 000 Gornji Milanovac (Filipović i dr., 1978). Magmaške stene se na površini javljaju u vidu dve, prostorno bliske magmaške mase relativno homogene građe, od kojih je istočna oko 5 puta veća u odnosu na zapadnu. Otvorena površina magmaškog kompleksa je oko 18 km<sup>2</sup>. Mreža vodenih tokova je relativno dobro razvijena; čine je Slavkovička reka, Paležnička reka, Marica, i brojni potoci koji dreniraju padine slavkovičkog masiva. Putna mreža je slabo razvijena. Pored loših asfaltnih puteva Ljig-Slavkovic, Ljig-Ba i Kadina Luka-



Slavkovića-Rajac, koji se vezuju za Ibarsku magistralu, u ovoj su oblasti zastupljeni samo lokalni, zemljani putevi.

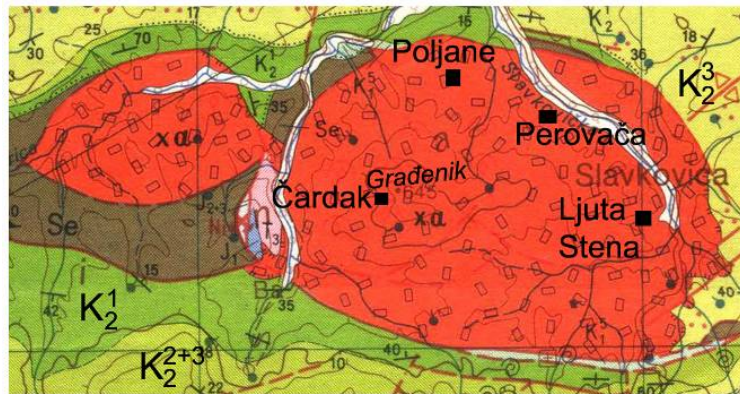
Istraživanjem slavkovičkih magmatskih stena sa različitih geoloških aspekata se bavio relativno manji broj autora: sa aspekta građevinskog kamena Atanacković, 1976, Tojagić i dr., 1984, Bulaja i Matić, 1993, 1997, Bulaja, 1995, Pajković i dr., 1997; strukturnu građu su obradili Maksimović i Maksimović, 1952, Maksimović, 1953, Anđelković, 1955; vezu između regionalnih razloma i magmatske aktivnosti Vukašinović, 1970; mineraloško-petrološki sastav i genezu Ilić, 1940b, Karamata, 1956, Aksin i dr., 1981, Terzić i Vukov, 1984, Divljan i Cvetić, 1991a,b; sadržaje radioaktivnih elemenata dao je Omaljev, 1993b, a podatke o apsolutnoj geološkoj starosti Lovrić (iz: Divljan i Cvetić, 1991a).

### **Geološka građa oblasti**

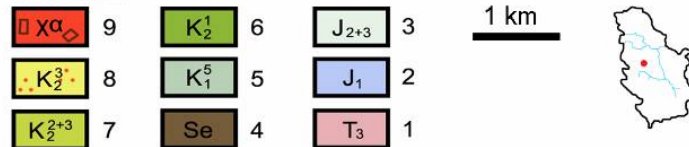
Prema Tumaču OGK Gornji Milanovac, slavkovički magmatski kompleks je izgrađen od kvarc-latita. Oko magmatskog kompleksa su zastupljeni gornjetrijaski masivni krečnjaci, donjejurski krečnjaci, jurski serpentiniti, sedimenti srednje i gornje jure (peščari, glinci, rožnaci, konglomerati i krečnjaci), gornjekredni sedimenti (konglomeratični krečnjaci i peščari) i tvorevine tzv. ljiškog fliša (liskunoviti peščari, alevroliti i konglomerati kampana i mastrihta; sl. 4.6-1). Pri utiskivanju magme u okolne serpentinite, nastao je slabo razvijen oreol metamorfnih promena u serpentinitima, kao i zona endometamorfnih promena u vulkanitima.

### **Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa**

Prema geotektonskom položaju, magmatski kompleks Slavkovića pripada Eksternoj vardarskoj podzoni, podjedinici Jaderskom bloku (Dimitrijević, 1995a). Slavkovički magmatski kompleks se nalazi na dubinskoj dislokaciji koja se pruža pravcem Kotlenik-Savinac-Rajac, i može se pretpostaviti na osnovu rezultata aeromagnetometrijskih ispitivanja da predstavlja jedan od brojnih izdanaka neotkrivenog plutona u oblasti Gledići-Kotlenik-Borač-Takovo-Rudnik-Belanovica. Rasedi u oblasti slavkovičkog magmatskog kompleksa imaju pružanje približno istok-zapad, zatim SI-JZ, SSZ-JJI i SSI-JJZ. Opažena su tri glavna sistema pukotina sa elementima pada (Ljuta Stena): 1) 320/75, 2) 80/35 i 3) vertikalne pukotine sa pružanjem u pravcu 220-40°.



LEGENDA



Slika 4.6-1: Geološka građa terena u oblasti slavkovičkog magmatskog kompleksa (prema Filipoviću i dr., 1978).

Legenda: 1. masivni krečnjaci gornjeg trijasa (norički i retski kat); 2. krečnjaci donje jure (lijas); 3. peščari, glinci, rožnaci, konglomerati i krečnjaci (dijabaz-rožnačka formacija); 4. serpentiniti; 5. glinci i peskoviti laporci donje krede (alb); 6. konglomeratični krečnjaci i peščari gornje krede (cenoman); 7. krečnjaci i laporci gornje krede (turon-senon); 8. "ljiški fliš" gornje krede: liskunoviti peščari, alevroliti, konglomerati (kampan, mastriht); 9. daciti (kvarclatiti).

### Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop

Stene koje izgrađuju magmatski kompleks Slavkovića, Tomić (iz: Ilić, 1940b) je odredio kao granit-porfir sa biotitom; autori Tumača OGK Gornji Milanovac i Dimitrijević (1995a) nazivaju subvulkanski očvrslulim kvarclatitima odnosno dacitima (Aksin i dr., 1981); Terzić i Vukov (1984) intruzivnim dacitima; Divljan i Cvetić (1991a,b) plitko-intruzivnim biotitskim granodiorit-porfiritima; u praksi se najčešće nazivaju dacitima. Ove stene su sive boje, homogene građe. Geohronološkim analizama određena je izotopska starost slavkovičkih magmata od 31 Ma. Hemijski sastav stene je prikazan u tabeli 4.6-1. Srednji sadržaj urana u dacitima Slavkovića iznosi 3,06 ppm, a torijuma 8,7 ppm. Uran je vezan za akcesorne minerale. Radiometrijskim analizama izvršenim za potrebe AGK je ustanovljeno da koncentracija prirodnih radionuklida ne prelazi maksimalnu granicu radioaktivne kontaminacije građevinskog materijala i nisu konstatovani radionuklidi veštačkog porekla.

U obodnim delovima magmatskog tela, lučenje stenske mase je pretežno pločasto (debljina ploča je najčešće do 20 cm) (sl. 4.6-2), a sa dubinom preovlađuje nepravilno do masivno lučenje (sl. 4.6-4). Dimenzije prirodnih blokova se povećavaju sa dubinom.

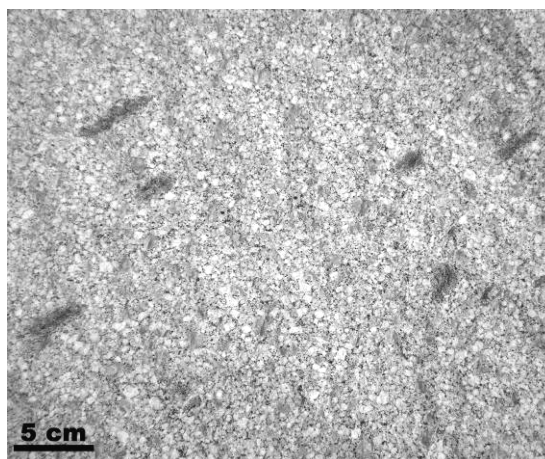
Ksenoliti se javljaju dosta često, na međusobnim rastojanjima od 5 do preko 30 cm. Oblici uklopaka su različiti, izometrični do izduženi, dimenzija od ispod 1 cm do preko 5 cm (sl. 4.6-3).

Tabela 4.6-1: rezultati hemijskih analiza dacita Slavkovice (Filipović i dr., 1978).

komponenta	udeo (%)
SiO <sub>2</sub>	64,24
TiO <sub>2</sub>	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44
FeO	2,69
MnO	0,09
MgO	2,11
CaO	5,02
Na <sub>2</sub> O	4,10
K <sub>2</sub> O	1,88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	0,55
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	0,40
zbir	100,54 %



Slika 4.6-2: Pločasto lučenje u obodnim delovima magmatskog tela.



Slika 4.6-3: Sitne anklave sa zajedničkom orijentacijom.

### Postmagnatske promene stenske mase

Makroskopski se ne zapažaju hidrotermalne promene stene – ona izgleda potpuno sveže. Međutim, mikroskopski se zapaža da su primarni minerali delimično alterisani pod uticajem slabih hidrotermalnih promena, prvenstveno duž prslina. Biotit je svež, ili alterisan u hlorit, magnetit i epidot. Plagioklasi su slabo argilisani i kalcitisani. Ponegde

(najviše u zapadnim delovima istočne magmatske mase) se zapaža pojava pirita, koja je ređa u dubljim delovima stenske mase.

Površinsko raspadanje dopire maksimalno do 7 m u dubinu (sl. 4.6-5), ali najčešće do 1-2 m. Na većoj dubini se samo duž većih pukotina zapaža infiltracija limonita i gline. Grusifikacija površinskih delova stenske mase je slabo izražena, maksimalno do 1 m dubine.



Slika 4.6-4: Nepravilno do masivno lučenje u dubljim delovima mase.



Slika 4.6-5: Procesi površinskog raspadanja.

### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

U magmatskom kompleksu Slavkovice je tokom 20. veka u različitim periodima bio otvoren veliki broj kamenoloma: Ljuta Stena, Zvekara, Strmenjača, Perovača, Jagnjilo, Slavkovića, Kojića majdan, Petrovića majdan, Radovića majdan i Đukavac (u oblasti Slavkovice); Poljane, Vrletni Breg, Duboko, Radovića brdo, Resava, Vodice, Zvečnica, Lipova Ravan, Rasoje, Jasikovac (u oblasti Kadine Luke); Građenik, Ba, Pećina, Kamalj i Kadina Luka (u oblasti sela Ba). Najviše su zastupljeni u istočnoj magmatskoj masi. Iz ovih kamenoloma se najviše dobijala kocka, ivičnjaci, lomljeni kamen i tucanik. Ova stenska masa je do 1965. godine bila najviše eksploatisana na čitavom prostoru bivše Jugoslavije. U zapadnoj masi su postojala svega tri kamenoloma (Jovića Stena, Mašičin majdan i Dragin Do) iz kojih je kamen vađen samo za potrebe vlasnika zemljišta.

Kao AGK, slavkovički magmati imaju sledeća povoljna svojstva: jedrinu, homogen izgled, povoljno lučenje i monolitnost. Međutim, mikroskopska ispitivanja su pokazala da je stena u izvesnom stepenu hidrotermalno promenjena, što je verovatno razlog zašto se ovaj kamen loše pokazao nakon ugradnje na više lokalnosti u Beogradu. Takođe, mikroskopska ispitivanja su pokazala da stena sadrži pirit (utvrđeno samo u zapadnom delu istočne mase), koji je štetan mineral, naročito za primenu u eksterijeru. Nepovoljna karakteristika stenske mase je i ispucalost zrna kvarca i plagioklasa, a krupna zrna kvarca otežavaju sečenje i obradu kamena. Još je Ilić (1940b) zapazio da su petrografske karakteristike vrlo ujednačene u svim delovima slavkovičkog magmatskog kompleksa, ali da fizičko-mehanička svojstva jako variraju. Daciti su duž kontakata sa serpentinitima i u zoni širine oko 10 m od kontakta intenzivno endotermalno promenjeni i vrlo podložni površinskom raspadanju, pa pri eventualnoj proizvodnji AGK ove delove stenske mase treba izbegavati.

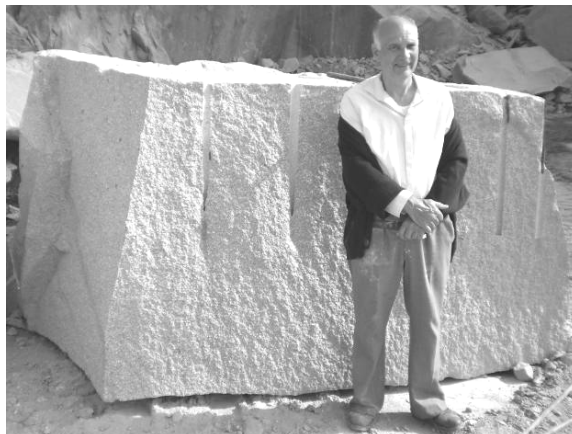
Slavkovičkim magmatima su obloženi brojni objekti u Beogradu: fasada Etnografskog muzeja, Sava centar, muzej "25. maj" i dr. Takođe, nekoliko ulica u centru Beograda u pešačkoj zoni je izvesno vreme bilo popločano slavkovičkim kamenom, ali su usled pucanja ovih ploča one ubrzo nakon ugradnje morale biti zamenjene.

#### *Istočna masa slavkovičkog magmatskog kompleksa*

Na površini terena se nalazi sloj zemljišta debljine do 1 m, pokriven listopadnom šumom. Ispod ovog sloja je neznatno površinski raspadnuta stenska masa, a zatim i jedra, nepromenjena stenska masa. Takođe, u površinskim delovima je prisutan i jedar dacit, koji je usled difuzije limonita zadobio oker nijansu. U obodnim delovima magmatske mase, lučenje stene je pločasto, sa debljinom pojedinačnih ploča koja varira od nekoliko do preko 20 cm (sl. 4.6-2). Do dubine od oko 5 m, stenska masa je brojnim pukotinama različitih orijentacija izdeljena na blokove najveće dimenzije do 0,5 m. Na dubini od oko 5 do oko 10 m, stenska masa je svežija i manje ispucala. Iz ove zone se vade blokovi dimenzija do 1-2 m. Ispod 10 m dubine, vade se blokovi dimenzija preko 2 m (sl. 4.6-6).

Makroskopski se ne zapažaju hidrotermalne promene stene. U kamenolomu Ljuta Stena, do dubine od oko 5 m je slabije površinski izmenjena, a dublje se samo duž većih pukotina zapaža infiltracija limonita i zemljišta. Feldspati su mestimično zahvaćeni

kalcitisanjem i kaolinisanjem. Nije zapažena pojava grusiranja. Izvan kamenoloma, može se opaziti da je stenska masa u pripovršinskom delu dosta površinski izmenjena i grusirana (sl. 4.6-5).



Slika 4.6-6: Blok dimenzija (1,5x1,5x2) m.

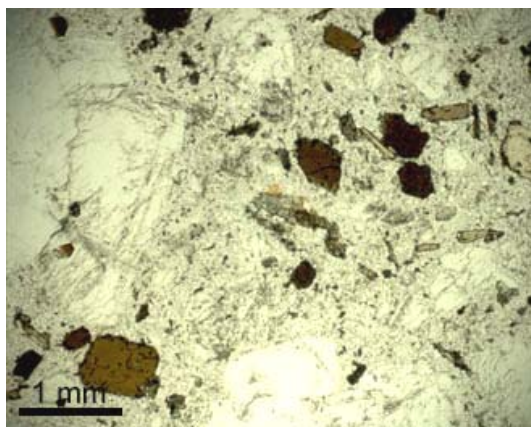
Debljina rezidualnog tla je oko 1 m, a prelaz iz površinski izmenjene stene u rezidualno tlo je postepen. Plagioklasi su potpuno zamućeni, bojeni minerali skoro potpuno promenjeni, a zrna kvarca lako ispadaju. Može se zaključiti da otkriveni delovi stenske mase pokazuju promenljiv stepen površinske izmene sa promenljivim stepenom grusiranja, dok su dublji delovi stenske mase jedri, nealterisani. Uklopoci iz površinski izmenjenih delova stenske mase sadrže žilice limonita, u kojima se mestimično zapažaju zrna pirita. U površinski izmenjenim delovima stenske mase, zapaža se prisustvo sitnih šupljina, koje su verovatno ostale nakon limonitizacije pirita i ispiranja limonita. Anklave se javljaju dosta često, na međusobnim rastojanjima od 5 do preko 30 cm. Oblici anklava su različiti – od izometričnih do izduženih, dimenzija od ispod (1x1) do (2x5) cm. Krupnije anklave su ređe od sitnijih. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Nisu predisponirane elementima sklopa.

Makroskopski, stena je svetlosive boje, sveža, bez vidljivih znakova uticaja atmosferilija. Izgrađena je od fenokristala i osnovne mase. Fenokristali su kvarc, feldspati i biotit. Kvarc se javlja u vidu zaobljenih porfiroblasta 1-1,5 cm u prečniku, a ponegde i u vidu bipiramidalnih zrna, i najkrupniji je sastojak (sl. 4.6-7). Uklapa sitna zrna bojenog minerala. Feldspati su najzastupljeniji, bezbojni do beličasti u svežoj steni, ispucali, veličine do oko 8 mm. Sitna zrna biotita, najčešće do 1 mm, jako su zastupljena, dok su krupnija, do 3 mm dosta ređa. Biotit izgleda potpuno sveže. Lokalno

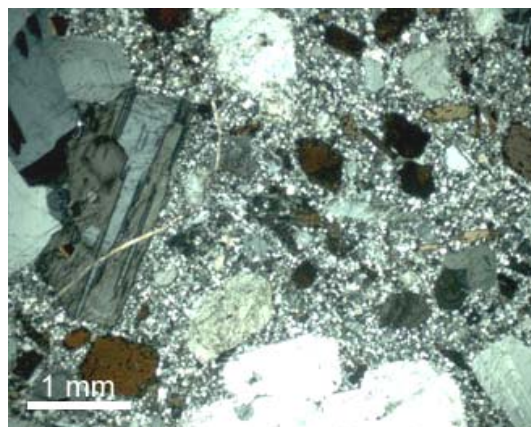
se zapažaju uklopci biotitskih škriljaca. Prelom je nepravilan sa grubo hrapavim površinama. U uzorcima koji potiču iz površinski delimično alterisanih delova, na sveže prelomljenim površinama su feldspati potpuno bez sjaja. Uočljive su i sitne limonitske pege.



Slika 4.6-7: Krupan agregat kvarca (levo) i anklava/šlira (desno).



Slika 4.6-8: Mikrofotografija preparata dacita pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.6-9: Mikrofotografija preparata dacita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Mikroskopskim pregledom je utvrđeno da se u krupnozrnoj osnovnoj masi nalaze fenokristali kvarca, plagioklasa i biotita. Najzastupljeniji sastojci su plagioklasi, pa biotit i kvarc. Odnos osnovne mase i fenokristala je približno 1:1. Sastojci su uglavnom sveži do slabo alterisani (sl. 4.6-8,9). Osnovna masa je holokristalasta mikrolitska, izgrađena od sanidina, kvarca i plagioklasa. Sadrži malo sekundarnog kalcita i hlorita. Sporedni minerali su magnetit, apatit i cirkon, a sekundarni hlorit i kalcit. Među fenokristalima je najzastupljeniji andezin, a u osnovnoj masi kvarc. Kvarc je uglavnom ksenomorfan, ponekad i hipidiomorfan. Fenokristali kvarca su ispucali i na rubovima delimično resorbovani. Plagioklas (andezin) se javlja u vidu hipidiomorfnih i ksenomorfnih zrna. Ponekad su fenokristali plagioklasa izgrađeni od više sraslih

individua koje su nekad lamelarne, a nekad zonarne. Dosta su ispucali, i u manjoj meri zahvaćeni hloritisanjem, argilisanjem i kalcitisanjem, naročito duž prslina. Biotit je najčešće svež ili sa neznatnim tragovima hloritisanja i mehaničkih deformacija. Sporedni sastojci su magnetit, apatit i cirkon. Sekundarni sastojci su hlorit, kalcit, sericit, epidot, limonit, magnetit i glinovita materija. Hlorit i magnetit su produkti transformacije biotita, i uglavnom se javljaju po obodu liski biotita. Prisustvo kalcita u vidu "gnezda" ukazuje na slabu hidrotermalnu alteraciju koja je zahvatila stenu. Epidot je najčešće prisutan uz biotit i "gnezda" kalcita.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao biotitski dacit holokristalasto porfirske strukture i masivne teksture.

Tabela 4.6-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava (istočni deo istočne mase – Ljuta Stena, Perovača)

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,41-1,50	0,81
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			52-273	187
u vodozasićenom stanju			50-270	163
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			53-250	154
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	6,59-13,87	9,05
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	11,70-24,44	19,31
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,449-2,691	2,591
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,616-2,702	2,675
Koeficijent zapreminske mase		-	0,930-0,981	0,969
Poroznost		%	1,90-7,00	3,15
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,520-0,829	0,685
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	6,780-10,90	8,895

Napomena: prikazani podaci potiču iz devetnaest izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1963. i 2009. godine. Kvalitetniji delovi stenske mase se ne mogu razdvojiti od manje kvalitetnih na osnovu makroskopskog izgleda.



Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.6-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je umereno porozan. Upijanje vode je malo. Čvrstoća na pritisak je visoka u suvom stanju, a srednje visoka u vodozasićenom stanju i nakon ciklusa mržnjenja i kravljenja. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Zapaženo je značajno rasipanje rezultata, što se može sagledati kroz opsege variranja pojedinih parametara. Ovo može biti posledica uzimanja uzoraka iz različitih delova profila, sa različitim stepenom alteracije stenske mase ili masovnog miniranja, koje je jedno vreme korišćeno u kamenolomu.

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru, a u eksterijeru za horizontalno oblaganje, kategorije SH-2 i SH-3 (umeren i intenzivan pešački saobraćaj), a za vertikalno oblaganje za kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad terena).

#### *Zapadna masa slavkovičkog magmatskog kompleksa*

Stenska masa je u značajnom stepenu pokrivena. Na retkim otkrivenim delovima se zapaža da je površinski izmenjena. Osnovna masa je usled koloracije limonitom zadobila žućkastu nijansu; plagioklasi su zamućeni i ispucali, zahvataju sitna zrna biotita. Biotit makroskopski izgleda svež, ali se pod lupom zapaža početak obezbojavanja. Kvarc je ispucao. Zapažaju se isti uklopci delimično asimiliranih okolnih stena kao u istočnoj masi. Mestimično se zapaža mnoštvo sitnih šupljina, koje su verovatno nastale ispiranjem limonita nastalog oksidacijom pirita. Ponegde se u ovim šupljinama mogu naći ostaci limonita. U dubljim, svežijim delovima, stena je po svim karakteristikama slična istočnoj masi. Lučenje stene je pločasto do bankovito, sa debljinom ploča (banaka) 0,5-3 m. Ispucala kvarcna zrna su sitnija nego u istočnoj masi, ali krupnija od ostalih sastojaka. Jedini vidljivi bojeni mineral je biotit. Svež je, sjajan, veličine do 2 mm. Stena je vrlo jedra, i ne može se odlomiti čekićem.

#### *Potencijalnost plutona*

Generalno, stenska masa slavkovičkog magmatskog kompleksa je makroskopski jedra i kompaktna. Alteracije čiji se produkti ne zapažaju makroskopski ali su mikroskopski jasno uočeni su mogući uzrok lošijih vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava kamena iz slavkovičkog magmatskog masiva (niže vrednosti savojne i pritisne čvrstoće i povećana

poroznost i upijanje). S obzirom da je stepen alterisanosti promenljiv kroz stensku masu, neohodno je proveriti fizičko-mehanička svojstva iz svih delova mase pre početka proizvodnje. Neophodno je takođe obratiti pažnju na sporadičnu pojavu piritita.

#### ***4.7. Magmatski kompleks Rudnika***

Magmatski kompleks Rudnika se nalazi oko 70 km južno od Beograda. Mase magmatskih stena na površini prostorno razdvojene mezozojskim i kenozojskim sedimentnim stenama se pružaju u vidu pojasa izduženog u pravcu SZ-JI, na dužini od oko 20 km. Krupnije mase su Gradska Gora-Ostrovica (ili Grajska Gora-Ostrvica), Čeramide-Rudnik, Beli Kamen i Šilopaj-Mutanj, nešto manje Krasojevci, Jovičići, Nevade i masa JI od Ugrinovaca, a oko njih je zastupljen i niz sasvim malih masa. Vulkanoklastične stene su manje zastupljene od izlivnih, a na nekim mestima su delom otkrivene i plutonske stene. SZ deo pojasa je prikazan na OGK 1:100 000 list G. Milanovac (Filipović i dr., 1978), a JI deo na listu Kragujevac (Brković i dr., 1980). Reljef terena je pretežno planinski, sa zaobljenim vrhovima i duboko usečenim dolinama potoka i rečica. Istaknuti vrhovi su Veliki Šturac (Cvijičev Vrh) (1132 m), Veliki Laz (909 m), Ostrovica (758 m), Straževica (622 m), Gradska Gora (Vidačevica) (612 m), Mali Kik (407 m); rečice: Jasenica, Raslova, Srebrnica, Kamenička reka, Dragobilj, Despotovica. Putna mreža je slabo razvijena. Pored same planine Rudnik je trasa Ibarske magistrale, a kvalitetni asfaltni putevi nižeg reda su na Rudniku retki.

Istraživanjem rudničkih magmatskih stena sa različitih geoloških aspekata se bavio veliki broj autora: sa aspekta građevinskog kamena Atanacković, 1977, Živadinović, 1996, Joksimović i Živadinović, 1997, Bulaja i Matić, 1997; geodinamički aspekt su obradili Cvetković et al., 2000b; strukturnu građu Anđelković, 1957, 1960, 1967, Marković i Pavlović, 1992; vezu između regionalnih razloma i magmatske aktivnosti Vukašinović, 1976, 1983, 2005; mineraloško-petrološki sastav i genezu Žujović, 1900, Dimitrijević, 1937, 1938a,b, Dimitrijević i Ilić, 1938, Ilić, 1961, 1962a, Rakojević, 1960, Terzić i Ristić, 1963, Vuković, 1964/65, Maksimović i Terzić, 1965, Pavlović i Marković, 1966, Terzić i Milojković, 1967, Terzić, 1969a,b, Terzić i Terzić, 1972, Pavlović, 1972, Nikolić i dr., 1980a,b, Mičić, 1986, Terzić i dr., 1988, Prelević et al., 2000, 2001, Cvetković, 2009; metalogenetski aspekt i ležišta mineralnih sirovina Omaljev, 1959, Simić, 1965, Milić i dr., 1972, Janković, 1990, Tošović, 1997, 2000;

sadržaje radioaktivnih elemenata je dao Omaljev, 1991b, 1992c; podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Divljan i Cvetić, 1991a, Cvetković et al., 2000b, 2004b, Cvetković, 2009 i dr.

### **Geološka građa oblasti**

U geološkoj građi planine Rudnik, pored tercijarnih magmatskih stena, zastupljene su i kredne i miocenske sedimentne stene. Kredni sedimenti su predstavljeni pretežno flišem. U okviru fliša se javljaju peščari, argilošisti, filiti, laporci, pločasti do masivni krečnjaci, alevroliti, glinci i dr. Sedimenti srednjeg miocena su predstavljeni peščarima, laporovitim krečnjacima, glincima i laporcima. Magmatska aktivnost je uzrokovala i kontaktno-metamorfne promene na krednim sedimentima i vulkanitima. Na južnim padinama Rudnika su kontaktno-metasomatske tvorevine delom otkrivene na površini. Za njih su vezane i pojave različitih vrsta orudnjenja. Najviše su rasprostranjeni produkti termometamorfizma – metamorfisani laporovito-glinoviti sedimenti kornitskog habitusa, silifikovani peščari i konglomerati, dok su pravi korniti ređi. Skarnovi su otkriveni u jamskim radovima.

### **Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa**

Magmatski kompleks Rudnika se nalazi u okviru "vulkanske provincije Rudnik-Borač-Kotlenik", koja se diskontinuirano pruža od Kraljeva na jugu, do Ljiga na severu (Cvetković et al., 2000b). Rezultati aeromagnetskih ispitivanja ukazuju na postojanje kontinuirane mase pokrivenih magmatskih stena u zoni Rudnik-Rajac, kao i da je u oblasti Rudnika došlo do nastajanja vulkanskih stena na mestu ukrštanja dve rasedne zone: Borač-Rudnik i Rudnik-Rajac. Dislokacija Malo Selo-Rudnik, koja predstavlja najverovatnije jednu od grana razloma koje se odvajaju od regionalne razlomne zone Avala-Stragari-Kamenica-Brzeće, nastavlja se ka Boraču i Kotleniku. Prema Dimitrijeviću (1995a), Rudnik pripada Jadarskom bloku Vardarske zone, i nastao je duž Rudničkog raseda, duž kojeg je vulkanska aktivnost bila vezana za niz manjih vulkanskih centara (Krnja Jela, Gradska Gora, Ostrovica, Đajino brdo, Gradina i dr.). Tektonska građa rudničke oblasti je izuzetno složena, zbog prisustva velikog broja krupnih raseda i pratećih raseda nižeg reda. Dominiraju tri sistema regionalnih razloma, pružanja pravcem SZ-JI (SSZ-JJI), SI-JZ (SSI-JJZ) i sever-jug. Lokalni rasedi imaju pravac pružanja ISI-ZJZ. Četiri glavna sistema pukotina formiraju sitne blokove, do 50

cm, nepravilnih oblika (Gradska Gora, Čeramide): a) (300-307)/40; b) 25/83 pukotine ovog sistema su na međusobnim rastojanjima 30-60 cm i često sa slabom limonitskom pigmentacijom stene oko pukotina; c) 103/80 duž ovih pukotina je stenska masa limonitisana do oko 6 mm od pukotine; d) (128-130)/(38-63) duž ovog sistema su nastale žice sekundarnih minerala.

### Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop

Na osnovu vulkanološko-petrografskih karakteristika, Cvetković (2009) je u užoj oblasti magmatskog kompleksa Rudnika izdvojio sledeće litološke članove (sl. 4.7-1): 1) dacite ekstruzivne facije, 2) andezite (dacitoandezite) facije dajkova, 3) kvarclatite a) ekstruzivne facije i b) plitkointruzivne facije, i 4) granodiorite. Pored ovih magmata, zastupljene su i manje mase bazalta, lamprofirskih stena (trahibazalti, minete, leukominate, lamproiti), kao i vulkanoklastične stene. Sve magmatske stene rudničkog kompleksa nastale su u magmatskim procesima koji su se odvijali od granice eocen-oligocen do donjeg miocena. Prisutne magmatske stene su preovlađujuće kiselog do intermedijarnog karaktera, sa izuzetkom lamprofirskih i bazaltnih stena koje pokazuju bazični, a samo retko intermedijarni hemizam. Hemijski sastav magmatskih stena Rudnika je prikazan u tabeli 4.7-1.

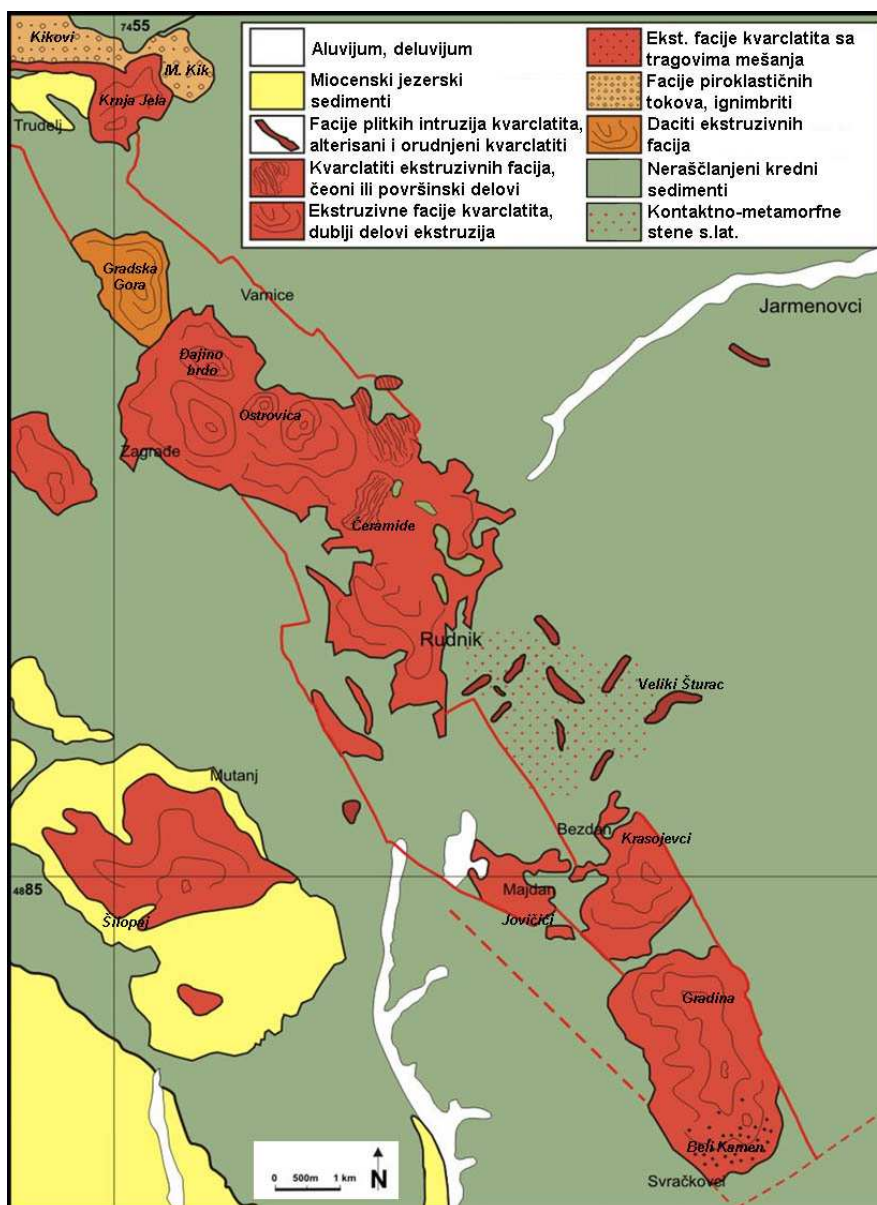
Tabela 4.7-1: rezultati hemijskih analiza vulkanita Rudnika (Cvetković, 2009).

komponenta	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	64,02	67,44	70,19	65,86
TiO <sub>2</sub>	0,40	0,43	0,23	0,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,58	15,03	14,80	14,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4,50	4,97	2,80	4,59
MnO	0,11	0,05	0,04	0,08
MgO	1,93	0,80	0,90	1,62
CaO	4,52	2,79	2,31	2,44
Na <sub>2</sub> O	4,31	3,49	3,17	3,35
K <sub>2</sub> O	2,10	3,62	3,09	4,86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,19	0,12	0,26
gubitak	1,10	1,00	2,30	1,80
zbir	99,71 %	99,81 %	99,95 %	99,69 %

1. daciti, Vidačevica ("R-02", Gradska Gora), 2. kvarclatiti, Đajino brdo ("R-07"), 3. kvarclatiti, Čeramide ("R-12"), 4. kvarclatiti, Gradina ("R-15"); \* ukupni sadržaj gvožđa izražen kao Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Daciti ekstruzivne (izlivne) facije su zastupljeni u SZ delu kompleksa, gradeći brdo Gradska Gora. Magmačko telo koje grade je doma ili nepravilna kupola. Stene su

svetlosive boje, masivne teksture i najčešće holokristalasto porfirske strukture. Lučenje je nepravilno, sa pojavom pločastog lučenja u obodnim delovima magmatskog tela. Daciti su izgrađeni od fenokristala plagioklasa, kvarca, biotita i hornblende, koji su okruženi holokristalastom osnovnom masom izgrađenom od istih sastojaka, uz neznatnu količinu vulkanskog stakla.



Slika 4.7-1: Geološka građa terena u oblasti rudničkog magmatskog kompleksa (prema Cvetkoviću, 2009, mod.).

Kao akcesorni minerali prisutni su apatit i cirkon, a kao sekundarni male količine sericita i oksida i hidroksida gvožđa. Ukupna količina fenokristala je preko 50%. Plagioklasi i bojeni minerali pokazuju slabe znake alteracije (sericitizacije i opacitizacije, respektivno). Daciti često sadrže ksenolite sedimentnih i metamorfnih

stena. Određena je apsolutna starost ovih stena od  $35,30 \pm 1,09$  Ma (kraj eocena-početak oligocena).

Andeziti (dacitoandeziti) facije dajkova su retki na površini terena, i uglavnom intenzivno alterisani, te stoga nemaju potencijalnost sa aspekta AGK.

Kvarclatiti ekstruzivne facije preovlađuju u rudničkom magmatskom kompleksu. Javljaju se u krupnim masama koje se pružaju pravcem SZ-JI: Đajino brdo-Ostrvica-Rudnik, Krasojevci, Gradina-Beli Kamen, Jovičići i dr. Stene su sive boje, hipokristalasto porfirske strukture i masivne do fluidalne teksture. Lučenje je nepravilno do pločasto. Izgrađene su od fenokristala kvarca, plagioklasa, sanidina, amfibola i biotita, čiji udeli i međusobni odnosi variraju. Kao akcesorni minerali prisutni su sfen, apatit, cirkon i metalični minerali, a kao sekundarni sericit i praškasti oksidi i hidroksidi gvožđa. Na plagioklasima se zapaža slaba sericitizacija i epidotizacija. Osnovna masa kvarclatita je hipokristalastog karaktera, izgrađena od mikrolita kvarca, plagioklasa i bojenih sastojaka uz promenljiv udeo vulkanskog stakla. Određene apsolutne starosti ovih stena su u intervalu od  $20,44 \pm 0,67$  do  $19,02 \pm 0,59$  Ma (kraj oligocena-početak miocena).

Kvarclatiti plitkointruzivne facije imaju slične petrografske karakteristike kao kvarclatiti efuzivne facije. Na površini su ređi, a najviše su zastupljeni u samom rudniku Rudnik, u vidu dajkova prečnika do nekoliko desetina metara koji su kontaktno-metamorfisani i mestimično orudnjeni. Izgrađeni su od fenokristala kvarca, plagioklasa, sanidina, biotita i amfibola u osnovnoj masi od mikrolita istih sastojaka bez ili sa malim udelom stakla. Sveži primerci ovih stena se ne mogu petrografski razlikovati od kvarclatita dublje ekstruzivne facije. Varijeteti sa sitnozrnim, holokristalastom osnovnom masom grade prelaze ka porfiroidnim, a zatim i ka zrnastim granodioritima u jami. Određena je apsolutna starost ovih stena od  $22,97 \pm 0,72$  Ma.

Dubinske magmatske facije (granodioriti) su otkrivene na više lokaliteta na površini terena (greben zapadno od Azne, Vijulj, Sige, Belo polje – Tošović, 2000) i u jami rudnika Rudnik. Najčešće su srednjezrne, hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne teksture. Izgrađeni su od kvarca, plagioklasa, kalijskog feldspata i biotita, retko amfibola. Kao akcesorni minerali prisutni su metalični minerali, apatit, sfen, cirkon i ortit. Sekundarni minerali su hlorit, najčešće razvijen po biotitu i amfibolu, kalcit koji uglavnom ispunjava tanke prsline u steni, retki minerali glina i sericit kao produkti

alteracija kalijskog feldspata i sitnozrni epidot koji je nastao na račun plagioklasa. Određena je apsolutna starost ovih stena od  $23,14 \pm 0,73$  Ma.

Lamprofirske stene se javljaju u vidu manjih dajkova, silova i kao fragmenti u piroklastičnim stenama. Određene apsolutne starosti trahibazalta, minete i lamproita su u opsegu od 31 do 29 Ma, dok je određena starost leukominete i bazalta u opsegu od 25 do 24 Ma.

Vulkanoklastična serija Rudnika je prisutna u SZ delu Rudničkog magmatskog kompleksa (Gornje brdo, Kikovi, Mali Kik). Najvećim delom je vezana za donjemiocenske kvarclatite i pripada faciji piroklastičnih tokova i ignimbrita. Debljina serije mestimično iznosi i do 400 m. Struktura im je vitroklastična do kristaloklastična, tekstura šupljikava. Ignimbriti su intenzivno ispucali. Sadržaj stakla u ignimbritima dostiže 60%, ređe i više. Intenzivno su hidrotermalno i površinski alterisani.

Sadržaji urana i torijuma u različitim tipovima vulkanskih stena Rudnika su detaljno ispitani (tabela 4.7-2). Najveća masa magmata (Rudnik-Ostrovica-Gradska Gora) ima najniži srednji sadržaj U i Th, a najviši je u magmatima sa lokalnosti Nevade.

Tabela 4.7-2: sadržaji urana i torijuma u vulkanitima Rudnika (Omaljev, 1991b).

Lokalnost	Sadržaj U (ppm)	Sadržaj Th (ppm)
Krnja Jela	4,70	31,90
Reljinci	7,06	24,86
Rudnik-Gradska Gora	5,85	18,07
Majdan-Beli Kamen	6,86	24,34
Šilopaj	6,22	25,80
Nevade	7,36	28,97
Srednji sadržaj u nealterisanim dacitima	6,73	21,59
Srednji sadržaj za vulkanite Rudnika	6,27	21,46

### Postmagmatske promene stenske mase

Magmati Rudnika su u značajnoj meri zahvaćeni hidrotermalnim alteracijama, a delom su i orudnjeni, naročito u zoni Rudnik-Majdan i Beli Kamen. Poznata su skarnovska i hidrotermalna ležišta olova i cinka sa zlatom, bizmutom, bakrom (Rudnik). Nastanak orudnjenja vezuje se za drugu fazu magmatske aktivnosti, u kojoj su nastali i kvarclatiti i granodioriti. U području rudnika "Rudnik", hidrotermalne promene su najintenzivnije, a ka severu i jugu su sve slabije, vezane za prostore duž dislokacija. Najčešći tipovi

hidrotermalnih alteracija su silifikacija, zeolitizacija, sericitisanje, kaolinisanje, karbonisanje, hloritisanje, hematitisanje, piritizacija. U kvarclatitima, fenokristali plagioklasa su zahvaćeni sericitisanjem i argilizacijom, dok je hornblenda zamenjena agregatom kalcita i neobiotita, ili hloritom, kalcitom, epidotom i limonitom, a biotit je hloritisan. Silifikacija i zeolitizacija javljaju se pretežno kao promene u osnovnoj masi. Hidrotermalne promene su obično praćene impregnacijom sulfidnih minerala.

Hidrotermalne alteracije i intenzivna tektoniziranost vulkanita ubrzavaju i procese površinskog raspadanja. Debljina površinski promenjenih vulkanita dostiže 6 m i više (sl. 4.7-2). Površinske promene u vulkanitima se ogledaju u zamućenju feldspata i bojenih minerala i promeni boje osnovne mase u žućkastu usled difuzije limonita. Sanidin u kvarclatitima prelazi u kaolinit, halojzit, ilit i sericit.



Slika 4.7-2: Površinsko raspadanje vulkanita (Mutanj).

### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

U oblasti Rudnika, u 20. veku su bili otvoreni brojni kamenolomi, iz kojih se kamen zbog tipa lučenja i intenzivne tektoniziranosti koristio kao TGK: Bogojevića majdan, Riđinac, Stojića majdan, Veliki i Mali majdan (Gradska Gora – dacit); Brezovica, Čeramide, Damjanića brdo, Đurevica, Karaulića majdan, Kelja, Salaši (Zagrađe-Rudnik – kvarclatit). Za potrebe lokalnog stanovništva se koriste i vulkanoklastiti iz kamenoloma Bela Stena, Dićka Glavica, Moravci, Kik, Ambarište i dr. Organizovana proizvodnja TGK se danas vrši u ležištu Čeramide.

Sa aspekta AGK, magmatske stene Rudnika su uglavnom nepogodne. Plutonske i žične stene su slabo otkrivene, pa je teško i utvrditi njihovu potencijalnost sa ovog aspekta. Vulkanoklastične stene sadrže dosta stakla, intenzivno su alterisane i ne ispunjavaju



osnovne uslove za primenu kao AGK – jedrinu stenske mase i stabilnost minerala. Izlivne stene ponekad sadrže staklo u osnovnoj masi, hidrotermalno su promenjene i vrlo podložne uticaju atmosferilija. Sadrže dosta uklopaka. Uglavnom su intenzivno tektonizirane, i retko se javljaju blokovi stenske mase dovoljno krupni za proizvodnju AGK. Bojeni minerali su transformisani u hlorit, epidot i kalcit, a plagioklasi u opal, karbonate i minerale glina. Česte su žice sulfida. U selu Nevade, kvarclatiti su delom interstratifikovani sa tercijarnim glinama, a delom ih prosecaju i uklapaju, a imaju i povišen sadržaj radioaktivnih elemenata. Bazalti se javljaju u vidu malih masa i dajkova (oko 2-4 m<sup>2</sup>) kod Šilopaja, intenzivno alterisani, sa izraženim kuglastim raspadanjem, i mandolama kalcita. Jedino u efuzivima Gradske Gore i Čeramida, stene su manje alterisane, i na većoj dubini su zapaženi krupniji blokovi stenske mase, mada i oni sadrže dosta prslina, naročito u oblasti Čeramida gde je miniranje uzrokovalo dodatna oštećenja stenske mase.

*Dacitska masa Gradske Gore (Vidačevica, V. Majdan, Riđinac, Stojića majdan, Varnice, Skakavac, Čipurin majdan)*

Brdo Gradska Gora je lokalnost nekadašnjeg centra vulkanske aktivnosti, u kojoj su nastale mase biotit-hornblenda dacita. Prema Joksimoviću i Živadinoviću (1997), debljina izliva je 20-80 m. Na površini terena je prisutan humusni pokrivač debljine do 50 cm sa listopadnom šumskom vegetacijom. U delu stenske mase bliže površini je došlo do alteracije pod uticajem atmosferilija. Osnovna masa je pri tome zadobila oker nijansu od limonita. Kolorisanje limonitom se javlja naročito oko krupnijih zrna biotita. Debljina raspadnutog stenskog materijala na površini je 1-4 m. Lučenje stene je pločasto do bankovito, poliedarsko, a ređe i paralelopipedno (sl. 4.7-3,4). Debljina ploča je u površinskom delu mala (do 10 cm), i sve veća ka dubini. Ispod dubine od oko 1-2 m, stenska masa je izdeljena na manje blokove. Na dubini od oko 10 m počinje zona krupnijih blokova (do 1,5 m), ali sa dosta pukotina. Kroz centralni deo brda se prostire rased po pravcu istok-zapad, duž kojeg se odvijala hidrotermalna alteracija. Stenska masa je intenzivno ispucala. Pukotine su najčešće zatvorene. Glavni sistemi pukotina imaju elemente pada (1-10)/(65-80), (84-104)/(67-70) i 308/65.

Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), daciti Gradske Gore pripadaju formaciji kasnopaleogeno-neogenih vulkanita centralne ose Balkanskog poluostrva

(grupa C), podgrupa srednje do visoko kalijskih kalkoalkalnih stena (C-a) oligocenske starosti.



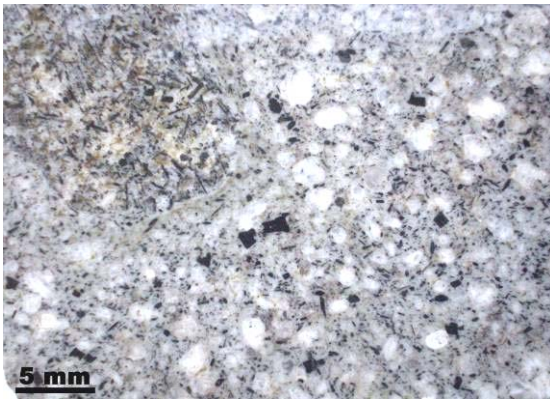
Slika 4.7-3: Pločasto do nepravilno lučenje u obodnim delovima magmatskog tela.



Slika 4.7-4: Bankovito do masivno lučenje u dubljim delovima magmatskog tela.

Na terenu je konstatovano da je sveža stena svetlosive boje, a u alterisanim zonama je osnovna masa bledo ljubičasta ili žućkasto-zelenkasta. Zapaža se variranje u udelu i krupnoći pojedinih fenokristala (hornblende, feldspata i kvarca; sl. 4.7-5). Slaba oker pigmentacija se javlja lokalno, u vidu traka promenljive širine. Ponegde je slabo izražena orijentacija zrna hornblende (planparalelna tekstura). Sveža stena je jedra, teško se lomi. Često sadrži odlomke okolnih stena zahvaćenih pri prodiranju magme ka površini. Ove anklave su izgrađene pretežno od bojenih minerala, nepravilnog su oblika, dimenzija najčešće 0,5-6 cm, a maksimalno do 15 cm, na međusobnim rastojanjima od 50-80 cm, najčešće oštih kontakata prema okolnoj vulkanskoj steni. Mogu biti i izometričnih formi (sl. 4.7-6).

Laboratorijskim makroskopskim pregledom uzoraka stene je konstatovano da je izgrađena od beličastih fenokristala feldspata i idiomorfnih kristala bojenih minerala (hornblende i biotita). Najkrupniji fenokristali su feldspati (6-7 mm). Ispucali su, izometričnih do pravougaonih preseka. Uklapaju sitna zrna bojenog minerala. Zrna hornblende su pritkasta, dužine do 8 mm, debljine do 1 mm. Krupnija zrna su ređa. Biotit se javlja u vidu heksagonalnih liski, svež, veličine do 3 mm, ali najčešće do 2 mm. U pojedinim uzorcima se zapažaju retka, ispucala zrna kvarca, približno kvadratnog preseka na površini preloma. Prelom stene je poluškoljkast do nepravilan, sa hrapavom površinom.

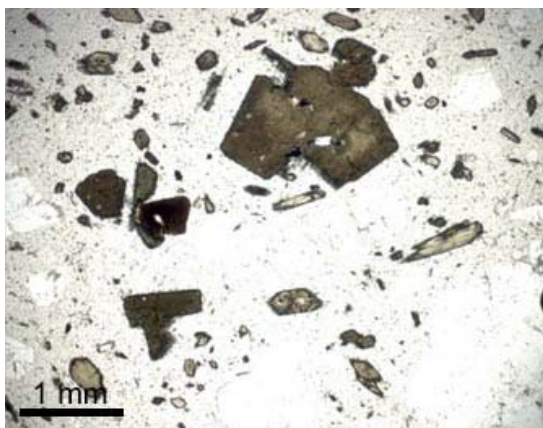


Slika 4.7-5: Izgled ravno sečene površine kamena.

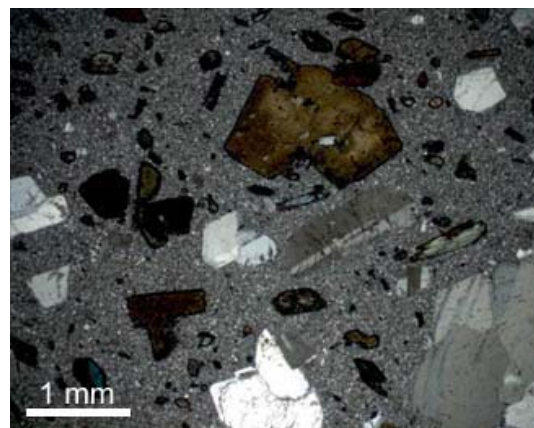


Slika 4.7-6: Anklava izometrične forme.

Mikroskopskim pregledom preparata stene je utvrđeno da se u osnovnoj masi nalaze fenokristali intermedijarnog plagioklasa (andezina), hornblende i biotita, retko kvarca i piroksena (augit). Prema veličini fenokristala se može zaključiti da su nastali u dve generacije. Pored krupnih, javljaju se i sitni fenokristali, nešto krupniji od mikrolita. Sporedni sastojci su magnetit, apatit, cirkon, sfen, ređe epidot. Osnovna masa je holokristalasta, sitnozrna, izgrađena od mikrolita kvarca, plagioklasa, biotita, hornblende i metalčnih minerala. Čini oko 62% stene. Plagioklasi su uglavnom sveži, dok bojene sastojke prati hloritizacija i slabije izdvajanje magnetita (sl. 4.7-7,8). Fenokristali plagioklasa imaju zonarnu ili lamelarnu građu.



Slika 4.7-7: Mikrofotografija preparata andezita pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.7-8: Mikrofotografija preparata andezita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Krupniji plagioklasi su ispucali, zamućeni u centralnim delovima, sa slabim znacima sericitisanja i kaolinisanja. U centralnim delovima zrna plagioklasa se lokalno nalazi kalcit. Nepravilne koncentracije sekundarnog kalcita se nalaze i u osnovnoj masi.

Hornblenda i biotit su uglavnom sveži, a lokalno, naročito krupnija zrna, imaju magnetitski rub. Biotit je prisutan u vidu subhedralnih do euhedralnih liski tabličastog oblika. Hornblenda je najzastupljeniji bojeni mineral, čini oko 7% stene, a biotit oko 3%. Lokalno se nalaze pojedinačni fenokristali kvarca sa tragovima magmatske resorpcije, usled čega su zrna smanjena na polovinu ili trećinu prvobitne veličine.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao andezit sa malo kvarca, holokristalasto porfirne strukture i masivne teksture.

Tabela 4.7-3: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	postojan	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	gubitak u masi: 0-8,63	postojan gubitak u masi 2,07
Upijanje vode	B.B8.010	%	1,15-2,89	2,03
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	95-332	198
u vodozasićenom stanju			89-310	178
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			76-294	168
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	9,29-26,91	12,16
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	27,59-31,60	29,80
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,400-2,550	2,474
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,630-2,710	2,694
Koeficijent zapreminske mase		-	0,889-0,969	0,918
Poroznost		%	3,1-11,1	8,18
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,439-0,600	0,525
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	5,63-7,59	6,73

Napomena: prikazani podaci potiču iz devet izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1968. i 1981. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Opitna tela izrađena iz istog terenskog uzorka imaju veoma širok opseg vrednosti parametara, što znači da se kvalitetniji delovi stenske mase ne mogu razdvojiti od manje kvalitetnih.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.7-3): prema zapreminskoj masi, kamen je srednje težak. Prema poroznosti, kamen se svrstava u dosta porozan. Upijanje vode je umereno. Čvrstoća na pritisak je visoka. Prema

otpornosti na habanje, kamen je tvrd. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Nisu predisponirane elementima sklopa.

Prema rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, ali zbog povišene poroznosti i upijanja vode, za horizontalno oblaganje u enterijeru samo kategorije UH-2 i UH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), zatim za horizontalno oblaganje u eksterijeru kategorije SH-3 (umeren pešački saobraćaj), i vertikalno oblaganje u eksterijeru kategorije SV-3 (objekti visine do 10 m iznad tla).

*Kvarclatitska masa Đajino brdo-Ostrovica-Rudnik (Zagrađe, Čeramide, Đurevica)*

Prema Cvetkoviću (2009), stena zastupljena u čitavoj ovoj oblasti je kvarclatit efuzivne facije, koji prema podeli Cvetkovića i dr. (Cvetković et al., 2000a), pripada formaciji kasnopaleogeno-neogenih vulkanita centralne ose Balkanskog poluostrva (grupa C), podgrupa srednje do visoko kalijskih kalkoalkalnih stena (C-a) miocenske starosti.

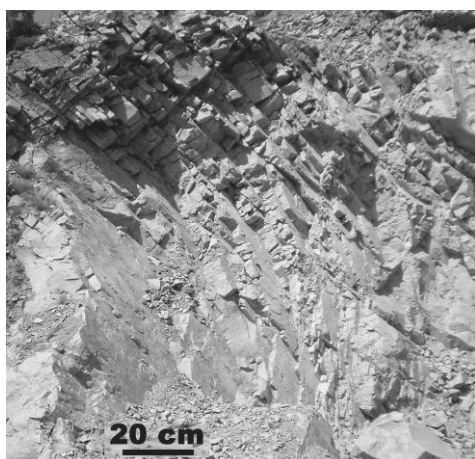
Čeramide-Rudnik: stenska masa je najvećim delom pokrivena, dostupna posmatranju samo u kamenolomima. Izgled stene varira (sl. 4.7-9).



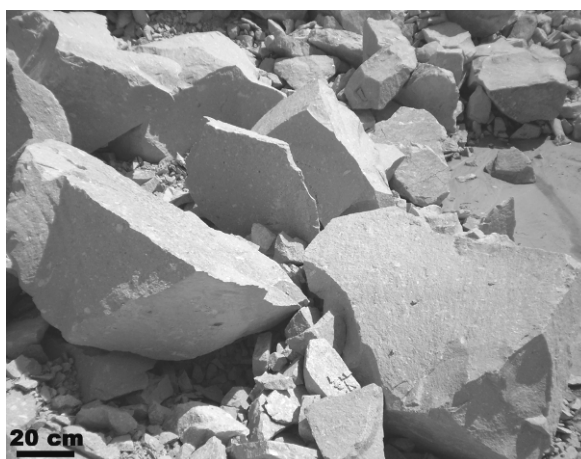
Slika 4.7-9: Variranje izgleda stene iz različitih delova stenske mase (Čeramide).

Terenskim proučavanjem je konstatovano da je stena duž raseda pružanja SZ-JI hidrotermalno promenjena i izbeljena. Duž svih pukotina su sastojci oksidisali i zapaža se limonitska koloracija. U obodnim delovima, lučenje stene je pločasto do nepravilno (sl. 4.7-10), ređe kuglasto, a u dubljim delovima magmatskog tela nepravilno. Debljina ploča varira od 3 do preko 30 cm. Stenska masa je tektonizirana do sitnih komada. Duž pukotina su nastale skrame limonita i manganskih oksida. Svi minerali su promenjeni.

Uočavaju se zrna kvarca nepravilnog oblika. Feldspati su veličine do nekoliko centimetara, zamućeni, mestimično sa limonitskom koloracijom. Najkrupniji su prizmatičnih oblika, dok su sitnija zrna nepravilnih oblika. Osnovna masa je zelenkasto-sive boje sa limonitskim flekama. Debljina površinski raspadnutog materijala je oko 1,5 m, a zemljanog pokrivača 0,5-1 m. U pripovršinskim delovima stenske mase, alterisani bojani minerali su isprani, tako da su u osnovnoj masi stene ostale sitne šupljine i izražena je koloracija limonitom, do dubine od oko 2 m. Fenokristali feldspata su zamućeni i ispucali. Oksidacija biotita je jasno uočljiva, a hornblende slabije izražena. Dalje od raseda, stena je svežija, svetlosive boje, sa krupnim fenokristalima feldspata. Ispod intenzivno ispucale stenske mase pri vrhu, nešto dublje je izdijeljena na sitne blokove (do 50 cm), do dubine od oko 5 m. Na većoj dubini se zapažaju nešto krupniji blokovi, do 1,5 m, ali sa dosta pukotina (sl. 4.7-11).



Slika 4.7-10: Pločasto lučenje u obodnim delovima (Čeramide).



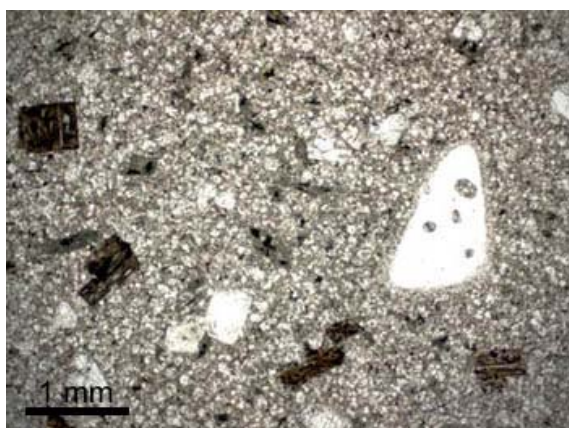
Slika 4.7-11: Oblici komada stenske mase dobijenih miniranjem (Čeramide).

Laboratorijskim makroskopskim pregledom uzoraka stene je konstatovano da je stena svetlosive boje, ponekad sa zelenkastom nijansom. Izgrađena je od osnovne mase i fenokristala. Među fenokristalima su najkrupniji feldspati. Javljaju se u vidu zrna veličine od nekoliko mm do nekoliko cm, koja su ispucala, sa izraženom cepljivošću, staklastog sjaja, bezbojna do bela, zaobljenih kontura (sl. 4.7-12). Izgledaju sveže. Sadrže brojne sitne šupljine (ispod 1 mm), a poneki i anhedralna zrna pirita koji (pirit i šupljiniće) se inače ne zapažaju u ostalim delovima stene. Sitniji feldspati su beli, nepravilnih formi, ispucali, na pojedinim mestima čak i praškasti. Zrna su veličine do oko 1 cm. Biotit je vrlo sitan, do 2 mm. Hornblenda je znatno manje zastupljena od

biotita, i to u vidu sitnih igličastih zrna, dužine do 2 mm. Kvarc je manje zastupljen nego feldspati. Javlja se u vidu zrna do 2 mm, koja pretežno imaju kvadratne preseke, i krupnijih (do oko 1 cm), koja su ispucala. U stenskoj masi su prisutni uklopci veličine i do 10 cm, izometričnih i izduženih oblika, zaobljenih ivica. Krupni uklopci su dosta ređi od sitnijih. Pod binokularnom lupom se primećuje da u kontaktu sa 5% HCl pojedini fenokristali pokazuju umerenu reakciju. Prelom stene je nepravilan, lokalno iverast, sa hrapavim prelomnim površinama. Kamen je prožet žilicama belog kalcita ili ređe tamnozelenog hlorita, duž kojih se pri udaru lakše razdvaja. Duž ravni pucanja opitnih tela za savojnu čvrstoću, zrna piritu su oksidisala u limonit, a biotit je braon boje. Moguće je da su prikrivene naprsline predisponirale ravan pucanja, ali je moguće i da je samo prisustvo krupnih fenokristala feldspata predisponiralo ravan pucanja.



Slika 4.7-12: Izgled ravno sečene površine kamena (Ćeramide).



Slika 4.7-13: Mikrofotografija preparata dacita pod paralelnim Nikolovim prizmama.

Mikroskopskim pregledom je utvrđeno da je osnovna masa krupnozrna do mikrokristalasta. Fenokristali grade manje od 50% stene. Kao fenokristali javljaju se plagioklasi, kvarc, biotit, amfibol. Sporedni sastojci su pirit, magnetit, apatit i cirkon, a ređe i epidot. Plagioklasi su hipidiomorfni do idiomorfni, bližnjeni lamelarno, nekad polisintetički, često zonarne građe. Redovno su zahvaćeni albitizacijom u različitom stepenu. Neka zrna su potpuno sveža, a neka, sitnija, su ispucala i delimično argilisana, sericitisana, epidotisana, opalisana, i ređe kalcitisana. Kvarc se javlja u zaobljenim okruglastim do elipsastim oblicima, skoro redovno korodovanih ivica usled magmatske resorpcije (sl. 4.7-13). Veći deo bojenih minerala je zamenjen hloritom, kalcitom, magnetitom i epidotom. Biotit je predstavljen pritkastim do tabličastim zrnima, redovno

zahvaćen alteracijom, nekad i potpuno hloritisan, sa lokalnim izdvajanjima kalcita i epidota. Amfiboli su igličastih do rombičnih formi, zahvaćeni hloritizacijom i teško raspoznatljivi. Metalni minerali i apatit se javljaju samostalno ili poikilitiski zahvaćeni od strane biotita. Osnovna masa pored mikrolita lokalno sadrži kalcit, epidot i hlorit, i nepravilne koncentracije epidota sa hloritom. Mikroliti plagioklasa su nešto više zahvaćeni kaolinisanjem.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao dacit holokristalasto porfirske strukture i masivne teksture.

Tabela 4.7-4: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojtvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	postojan	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	gubitak u masi: 0-0,42 %	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,38-1,15	0,91
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			94-343	187
u vodozasićenom stanju			102-341	183
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			119-322	176
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	6,48-9,18	8,14
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	32,08-34,30	33,19
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,520-2,550	2,541
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,586-2,700	2,645
Koeficijent zapreminske mase		-	0,940-0,986	0,961
Poroznost		%	1,4-6,0	3,94
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,630-0,647	0,637
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	7,87-8,23	8,10

Napomena: prikazani podaci potiču iz sedam izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1970. i 2009. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Najlošije vrednosti su dobijene 2009. i 2010. godine, verovatno usled intenzivnog miniranja kojem je stenska masa poslednjih godina izložena.

Ocena kvaliteta kamena pokazala je sledeće (tabela 4.7-4): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je umereno porozan. Upijanje vode je malo. Čvrstoća na pritisak je visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd.



Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Nisu predisponirane elementima sklopa. Na prelomnoj površini svakog opitnog tela se zapaža prisustvo krupnog zrna feldspata.

Prema rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru. Međutim, zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje. Neophodno je naglasiti da su stene oko raseda i pratećih pukotinsko-prslinskih sistema intenzivno alterisane, što utiče na trajnost kamena, i ove partije stenske mase se moraju izbegavati. Takođe, dimenzije blokova su male sa aspekta AGK, a i unutar njih su prisutne pukotine i naprsline uzrokovane miniranjem kao načinom eksploatacije koji je do sada primenjivan radi dobijanja TGK.

Na lokalitetu Đajino brdo-Ostrovica stena je hidrotermalno intenzivno promenjena, a pri površinskom raspadanju prelazi u rezidualno tlo crvene boje. Fenokristali feldspata su nepravilnih oblika, zamućeni, žućkasto-zelenkasti, raspadnuti, ispucali, i u površinskim delovima se sprasuju i ispadaju. Bojeni minerali koje uklapaju su limonitisani. Fenokristali biotita su crni, heksagonalnih formi, neznatno zamućeni i obezbojeni, liske do 2 mm. Vrlo su retka zrna kvarca. Osnovna masa je bledo ljubičasta, alterisana, kolorisana limonitom duž pukotina. Po celoj osnovnoj masi su prisutne impregnacije limonita. Komadi stene koji nisu ispucali se vrlo teško lome, uprkos alterisanosti, verovatno usled silifikacije. Stenska masa na ovoj lokalnosti nema potencijalnost sa aspekta AGK, usled intenzivne alterisanosti, ispucalosti i prisustva pirita.

#### *Manje vulkanitske mase Rudnika*

Sve male vulkanitske mase obuhvaćene ispitivanjem su izgrađene od kvarclatita ekstruzivne facije prema Cvetkoviću (2009).

Šilopaj-Mutanj: stenska masa je dostupna posmatranju samo u kamenolomu. U sprasenoj osnovnoj masi bledo ljubičaste boje se nalaze zaobljeni komadi hidrotermalno promenjenih vulkanita i zrna feldspata (beli, ispucali, praškasti, negde isprani), promenjenih bojnih minerala (oksidisala hornblenda), vrlo retko ispucala zrna kvarca. Duž pukotina se javlja limonit. Sa aspekta AGK, stenska masa sa ove lokalnosti je neupotrebljiva zbog tektoniziranosti i alterisanosti.

Gradina-Beli Kamen: stenska masa je tektonizirana i potpuno alterisana. Nalazi se na krupnom rasedu koji se pruža pravcem SZ-JI. Osim toga, zapažaju se i brojni manji rasedi istog pravca, na međusobnim rastojanjima od nekoliko metara do nekoliko desetina metara. Oko njih se zapaža vrlo intenzivna hidrotermalna alterisanost stenske mase, a u delovima stenske mase dalje od raseda je stepen alteracije niži. Zapažena su tri glavna pukotinska sistema sa elementima pada: a) (0-12)/(40-44); b) 24/55 i c) subvertikalne do vertikalne, sa azimutom pružanja 262-82°. Između raseda, na pojedinim mestima se zapaža pločasto lučenje, sa debljinom ploča od nekoliko do 20 cm. U osnovnoj masi sive boje se nalaze fenokristali feldspata (ispucalo, bezbojan do beličast, veličine do 4 cm), kvarca (čest, zaobljena ispucala zrna, do 5 mm), biotita (sjajne liske, do 3-4 mm), hornblende (zrna debljine do 1 mm, dužine do 3 mm). Sa aspekta AGK, stenska masa sa ove lokalnosti je neupotrebljiva zbog tektoniziranosti i alterisanosti, kao i prisustva krupnih, ispucalih fenokristala feldspata.

Jovičići: stena je intenzivno ispucala, tako da formira sitne blokove nepravilnih oblika. Mestimično se zapaža i pločasto lučenje, sa debljinom ploča do 10 cm. Zbog intenzivne ispucalosti se jasno izdvaja samo jedan sistem pukotina sa EP 100/75 – pukotine koje formiraju ploče. Osnovna masa je sive boje, sadrži fenokristale feldspata (krupna, ispucala, beličasta zrna, do (5x3) cm; sitniji feldspati su beli, promenjani, mestimično praškasti, ispucali), kvarca (zrna do 5-6 mm, zaobljena, ispucala), bojanih minerala (intenzivno oksidisali i hloritisani). Stenska masa je površinski izmenjena, sa brojnim sitnim šupljinama zaostalim nakon ispiranja raspadnutih minerala. Duž pukotina su prisutne tanke limonitsko-manganske skrame. Sa aspekta AGK, stenska masa sa ove lokalnosti je neupotrebljiva zbog tektoniziranosti i alterisanosti.

Krasojevci: stena je intenzivno ispucala, tako da formira vrlo sitne blokove nepravilnih oblika, i potpuno je izbeljena hidrotermalnim alteracijama. Nalazi se na rasedu pravca SZ-JI. Sa aspekta AGK, stenska masa sa ove lokalnosti je neupotrebljiva zbog tektoniziranosti i alterisanosti.

### ***Potencijalnost magmatskog kompleksa***

Izuzev dubljih delova stenske mase dacita Gradske Gore, vulkaniti Rudnika su zbog mnoštva nepovoljnih svojstava – alterisanosti, tektoniziranosti, nepovoljnog lučenja, prisustva rudnih minerala – generalno neupotrebljivi sa aspekta AGK.

#### **4.8. Magmatski kompleks Borač-Kotlenik**

Boračko-kotlenički magmatski kompleks nalazi se u centralnoj Srbiji, između Kraljeva i G. Milanovca, oko 100 km južno od Beograda. Površine je oko 120 km<sup>2</sup>. Najveći deo je obuhvaćen listom OGK Kraljevo (Marković i dr., 1968), a manji delovi su prikazani na listu Kragujevac (Brković i dr., 1980), Gornji Milanovac (Filipović i dr., 1978) i Čačak (Brković i dr., 1978). Oblast Borača je ranije nazivana i oblast Ješevca ili Vujetinsko-ješevički kompleks. Teren se odlikuje planinskim reljefom sa istaknutim vrhovima Ješevac (902 m), V. Vujan (856 m), Bukovik (851 m), Oštrica (802 m), V. vrh (671 m), Glavica (658 m) u oblasti Borača i V. vrh (749 m), Cerje (731 m), Lipov vrh (404 m) u oblasti Kotlenika. Putna mreža je slabo razvijena. Od asfaltnih puteva Kragujevac-Bare-G. Milanovac, Kragujevac-Knić-Mrčajevci i Kragujevac-Gruža-Vitanovac, do Borača i Kotlenika postoje samo lokalni, zemljani putevi ili vrlo loši asfaltni putevi.

Istraživanjem magmatskog kompleksa Borač-Kotlenik sa različitih geoloških aspekata se bavio veći broj autora: sa aspekta građevinskog kamena Joksimović, 1980, Ilić i Joksimović, 1989, Rajičić, 2010; mineraloško-petrološki sastav i genezu su obradili Žujović, 1900, Tomić, 1926, 1928, Dimitrijević i Ilić, 1938, Dimitrijević, 1939, 1952, Dimitrijević i Štokler, 1940, Ilić, 1940a, Terzić i Milojković, 1969, Pavlović i dr., 1969, Vujanović i Teofilović, 1974, 1975, Divljan, 1982, Divljan i dr., 1986, Ilić, 1990, Cvetković, 1997, 2002, Cvetković et al., 2000b, 2001a; sadržaje radioaktivnih elemenata dali su Omaljev, 1989, 1992a, 1996a, Radošević i dr., 2002; podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Cvetković and Pécskay, 1999, Cvetković et al., 2001a, Cvetković et al., 2004b.

#### **Geološka građa oblasti**

Magmatski kompleks je sa svih strana oivičen tektonskim depresijama odnosno neogenim basenima – Zapadnomoravskim, Gornjemilanovačkim i Gružanskim, koji su ispunjeni sedimentima miocena i pliocena (konglomerati, peščari, krečnjaci, gline sa ugljem i dr.). Svi vulkaniti od kojih je izgrađen ovaj magmatski kompleks neposredno su pokriveni srednjemiocenskim sedimentima. U predelu Bumbarevog brda, boračko-kotlenički masiv je potolinom sa tankim pokrivačem od neogenih sedimenata na površini podeljen u dve morfološke celine: Borač na SZ i Kotlenik na JI. Slično je i sa

delovima na površini razdvojenim u predelu doline Gruže i Južne Morave. Zapadno od magmatskog kompleksa su zastupljeni kredni sedimenti (peščari, peskoviti laporci i krečnjaci alb-cenomana), a u južnom delu Kotlenika su prisutni alterisani serpentiniti i donjekredni sedimenti.

### **Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa**

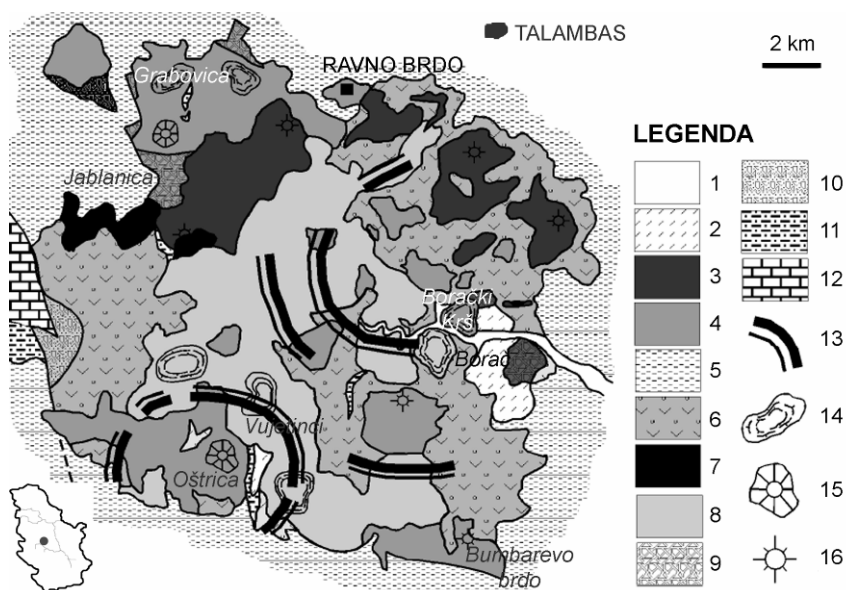
Boračko-kotlenički magmatski kompleks predstavlja deo vulkanske provincije Rudnik-Borač-Kotlenik, koja pripada paleogeno-neogenoj vulkanskoj formaciji centralne ose Balkanskog poluostrva (Cvetković et al., 2000b). Magmaška aktivnost se odvijala na mestima ukrštanja dubinskih razloma i pratećih raseda različite orijentacije. Borač je nastao na preseku dubinske dislokacije Kotlenik-Savinac-Rajac sa rasedima koji se pružaju po pravcima SI-JZ i SSZ-JJI, a Kotlenik na preseku dubinskih dislokacija po pravcu Kotlenik-Savinac-Rajac i Kotlenik-Rudnik-Belanovica. Sistem paralelnih ruptura duž kojih se odvijalo izlivanje lave, predstavlja deo Rudničko-kotleničke dislokacije i ima pružanje u pravcu SZ-JI, odnosno SSZ-JJI na Boraču. Manji rasedi imaju pravce pružanja SI-JZ i ZSZ-IJI odnosno zapad-istok na Boraču.

Elementi pada glavnih sistema pukotina: a) (8-18)/(65-82); b) (334-342)/(65-83) i 180/84 – tenzione pukotine, otvorene, sa zevom od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara; c) (274-299)/(83-85); d) 293/25; e) subvertikalne, azimut pružanja (132-141)-(312-321°) duž ovih pukotina je mestimično zastupljeno milonitisanje – sprušivanje i zaglinjavanje stene. U severnom obodnom delu Borača su zastupljeni još i sistemi: a) (247-259)/(36-54), b) vertikalne, pružanje (28-34)-(208-214°), c) 231/78, a u SI delu Borača i istočnim delovima Kotlenika: a) (52-73)/(60-70), b) 197/47, c) vertikalne, pružanje u pravcu 163-343°.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop**

Prema Pavloviću i dr. (1969), Markoviću i Pavloviću (1967) i Markoviću i dr. (1968), magmatski kompleks izgrađuju vulkaniti tri faze vulkanske aktivnosti: dacito-andeziti, kvarclatiti i latiti, i bazaltoidne stene – andezitbazalti, trahibazalti, leucit-trahibazalti, bazalti i dr. Cvetković (1997), Cvetković i Pečak (Cvetković and Pécskay, 1999), Cvetković i dr. (Cvetković et al., 2001a) su dali nešto drugačiju podelu vulkanita ove oblasti i sukcesiju njihovog nastanka (sl. 4.8-1): najstariji su dacitski izlivi kaldere

Oštrica; nedugo nakon njih, nastali su riodacitsko-riolitski vulkanoklastiti kaldere Borača, zatim izlivi kvarclatita i na kraju andezitski izlivi i hijaloklastiti.



Slika 4.8-1: Geološka karta boračkog magmatskog kompleksa (prema: Cvetković and Pécskay, 1999; mod.).

Legenda: 1. aluvion; 2. deluvijum; 3. andeziti; 4. kvarclatiti; 5. sedimenti srednjeg miocena; 6. riodacitsko-riolitski piroklastiti; 7. lamprofiri; 8. daciti; 9. autoklastiti *in situ*; 10. pretaloženi autoklastiti; 11. sedimenti donjeg miocena; 12. kredni sedimenti; 13. relikti kaldere; 14. lavične dome; 15. vulkanski nekovi; 16. pretpostavljeni centri vulkanske aktivnosti.

Napomena1: na slici iz Cvetković et al., 2001a, neke od ovde prikazanih jedinica su izostavljene.

Napomena2: kvarclatiti na ovoj slici obuhvataju aglomeratične kvarclatitske klastolave prema OGK G. Milanovac, normalne kvarclatite i kvarclatitske klastolave prema OGK Kragujevac i kvarclatite i dacite prema OGK Kraljevo; daciti na ovoj slici obuhvataju andezin-labradorske andezite i hijaloandezite, dacite i andezite i deo labradorskih andezita prema OGK Kraljevo; lamprofiri na ovoj slici obuhvataju latite prema OGK Čačak i trahitoide prema OGK Kraljevo; andeziti na ovoj slici obuhvataju labradorske andezite prema OGK Kraljevo i piroksenske hijalokvarclatite i deo kvarclatitskih klastolava prema OGK Kragujevac; riodacitsko-riolitski piroklastiti obuhvataju piroklastite prema OGK Čačak, piroklastite labradorskih andezita i kvarclatita i piroklastite andezita i dacita prema OGK Kraljevo.

Tokom ove vulkanske aktivnosti sporadično su nastajale i male mase lamprofira. Celokupna magmatska aktivnost odvijala se u miocenu, u periodu od gornjeg egerijana do donjeg egenburgijana (23-20 Ma). Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), boračko-kotlenički vulkaniti pripadaju formaciji kasnopaleogeno-neogenih vulkanita centralne ose Balkanskog poluostrva, podgrupi srednje do visoko kalijskih kalkoalkalnih stena (C-a) i, manjim delom, podgrupi kalijskih do ultrakalijskih stena (C-b).

Najstariji daciti se javljaju u vidu izliva (u centralnim delovima Borača) i doma (u južnom delu Borača) i praćeni su autoklastitima istog sastava (na zapadnom obodu Borača). Na Kotleniku su zastupljeni skoro čitavom dužinom istočne padine masiva.

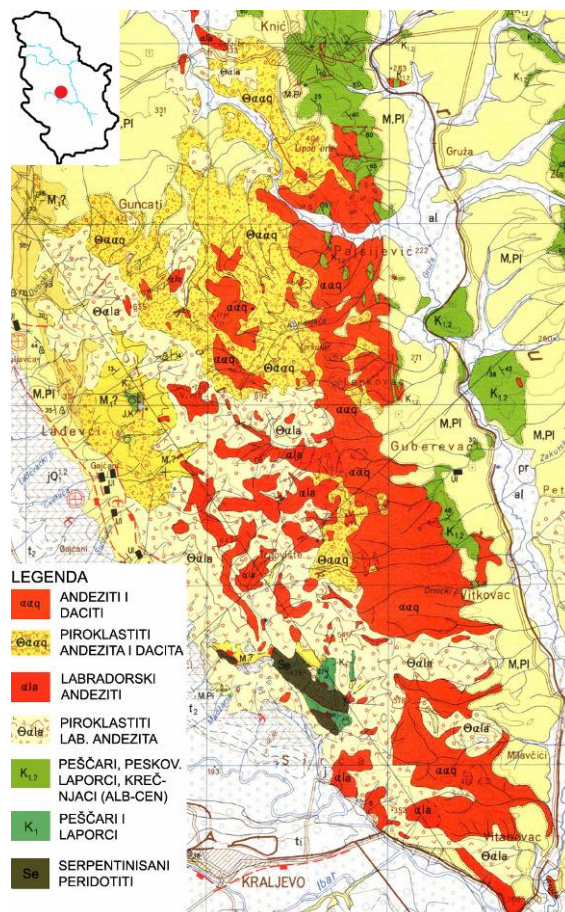
Najzastupljeniji su piroksenski, hornblenda, hornblenda-biotitski i biotitski daciti. Daciti imaju hipokristalastu do holokristalastu porfirsku strukturu, a osnovna masa je uglavnom hijalopilitska, kriptokristalasta, ili staklasta. Pločasto su lučeni. Mineraloški sastav: plagioklasi (andezin-labrador), hornblenda, biotit, piroksen (hipersten), ređe kvarc. Kao akcesorni minerali prisutni su augit, ortit, sfen, apatit, titanomagnetit i cirkon. Najčešće su intenzivno alterisani. Plagioklasi su retko potpuno sveži, a bojeni sastojci su, izuzev piroksena, intenzivno opacitirani.

Riodacitsko-riolitski vulkanoklastiti obuhvataju piroklastite i ignimbrite. Oni su na površini zastupljeni na zapadnim, istočnim i JI padinama Borača i skoro čitavom dužinom zapadne padine Kotlenika. Pokrivaju oko 2/3 površine kotleničkog kompleksa (sl. 4.8-2). Piroklastiti su na površini veoma podložni eroziji. Ignimbriti su izgrađeni od vulkanskog pepela i klasta različitog porekla i sastava (plovuća, kvarclatita, fenokristala kvarca, plagioklasa, sanidina, biotita, retko hornblende, zatim metasedimenata i starijih dacita). Sa aspekta AGK su vulkanoklastiti bez potencijalnosti zbog nedostatka kohezije – alterisani su i sprašeni, a usled različite otpornosti klasta i veziva, javlja se diferencijalno površinsko raspadanje.

Kvarclatiti se javljaju u vidu izliva i doma praćenih autoklastitima u obodnim delovima Borača. Najzastupljeniji su biotitski, hornblenda-biotitski i augit-hornblenda-biotitski kvarclatiti. Imaju holokristalastu do hipokristalastu porfirsku strukturu, retko sa staklastom osnovnom masom. Tekstura je najčešće masivna, a ređe fluidalna. Kao fenokristali, zastupljeni su kvarc, sanidin, plagioklasi (oligoklas-andezin), biotit, hornblenda i augit. Kao akcesorni minerali prisutni su apatit, sfen, ortit, cirkon i metalični minerali. Osnovna masa se sastoji od mikrolita istih minerala, često sa produktima devitrifikacije vulkanskog stakla (kvarc, feldspat ± sericit). Ove stene su često intenzivno alterisane. Zeolit je čest sekundarni sastojak, i obično ispunjava pukotine i šupljine.

Andeziti su na površini najviše zastupljeni u severnim i istočnim delovima Borača. Na Kotleniku se javljaju duž ose masiva, na zapadnim i južnim padinama. Javljaju se kao proboji u starijim vulkanitima i sedimentima, ili kao izlivi u vidu skladova, ploča različitih debljina i ogolelih nekova. Strukture su hipokristalasto do holokristalasto porfirske sa hijalopilitskom do kriptokristalastom, delimično fluidalnom osnovnom masom. Tekstura je često trakasta. Najviše su zastupljeni dvopiroksenski, piroksen-

hornblenda i hornblenda andeziti. Izgrađeni su od fenokristala labradora, hornblende, enstatita i augita u osnovnoj masi od istih minerala, sa promenljivim udelom stakla. Kao akcesorni minerali, prisutni su sfen, apatit i metalični minerali. Često su duž pukotina slabije ili jače alterisani u zeolit i karbonat. Pirokseni su najčešće delimično transformisani u hlorit, karbonate i sekundarni amfibol.



Slika 4.8-2: Geološka karta kotleničkog magmatskog kompleksa (prema: Marković i dr., 1968, mod.) Za analogiju jedinica videti Napomenu 2 uz sliku 4.8-1.

Lamprofiri su zastupljeni u vidu dajkova i silova male površine, od kojih je najveći na SZ padinama Borača. Izgrađeni su od diopsida, flogopita, idingsitiziranog olivina u osnovnoj masi od sanidina, oligoklasa i ponekad leucita sa sekundarnim epidotom, hloritom i kalcitom. Akcesorni minerali su hrom-spinel, apatit i cirkon. Struktura stene je holokristalasto do hipokristalasto porfiriska. Lučenje je pločasto do masivno.

Sve navedene stene često sadrže ksenolite vulkanita, sedimenata (alevrolita, glinaca, peščara), veličine do 10 cm, i monomineralnih zrna. Lučenje stena je pločasto do

nepravilno u obodnim delovima magmatskih tela, a retko se u dubljim delovima javlja čak i masivno. Hemijski sastav izlivnih stena je prikazan u tabeli 4.8-1.

Tabela 4.8-1: rezultati hemijskih analiza izlivnih stena oblasti Borač-Kotlenik (1,2,5: Cvetković et al., 2001a; 3: Marković i dr., 1968; 4: Ilić i Joksimović, 1989)

komponenta	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	67,17	55,04	60,11	61,22	67,09
TiO <sub>2</sub>	0,49	0,97	0,75	0,22	0,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,66	13,26	16,38	13,70	15,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,01	6,20*	3,09	5,04	3,43
FeO	1,52	-	3,16	3,30	0,37
MnO	0,07	0,08	0,05	0,05	0,08
MgO	1,31	5,89	3,97	2,15	0,69
CaO	2,99	8,21	5,86	2,68	2,59
Na <sub>2</sub> O	3,86	2,24	2,60	3,99	3,68
K <sub>2</sub> O	3,91	5,32	2,57	2,96	4,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,69	0,36	0,35	0,24
gubitak žarenjem	1,85	3,18	1,06	3,13	1,23
zbir	100,01%	101,08%	100,62%	99,41%	100,00%

1. daciti ("T12"), Borač; 2. lamprofiri ("BK-2"), Borač; 3. andeziti, Kotlenik; 4. andeziti, Borač (Cekovića Glavica); 5. kvarclatiti ("B230"), Borač. \*-ukupno Fe izraženo kao Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Na osnovu rezultata aeromagnetometrijskih ispitivanja, sve magmatske mase u boračko-kotleničkoj oblasti predstavljaju izdanke neotkrivenog plutona u oblasti Gledići-Kotlenik-Borač-Takovo-Rudnik-Belanovica. Intruzivne i subvulkanske stene su otkrivene u dubljim delovima terena: granodiorit- do kvarcmonconit-porfiriti na severnom obodu Borača; mikroznasti granodioriti do kvarcmonconiti na Kotleniku; mikrodioriti na Kotleniku; sitnozrni dioriti na istočnim padinama Kotlenika. Ove stene su slabo otkrivene.

Sadržaji radioaktivnih elemenata u vulkanskim stenama Borača i Kotlenika su sledeći:

a) Borač: kvarclatit: 7,8 ppm U, 29,7 ppm Th; andezit 6,9 ppm U, 26,3 ppm Th; vulkanoklastiti 10,5 ppm U, 30,1 ppm Th; b) Kotlenik: andezit 2,4 ppm U, 9,2 ppm Th; vulkanoklastiti 4,3 ppm U, 12,5 ppm Th. Uran se javlja duž prslina i pukotina, a sa dubinom njegov sadržaj opada.

### Postmagmatske promene stenske mase

Vulkaniti Borača i Kotlenika su hidrotermalno alterisani u promenljivom stepenu. Daciti su intenzivno propilitisani, oksidisali, limonitisani, kalcitisani, hloritisani, argilisani, neobiotitisani, talkitisani, vermikulitisani, zeolitisani, albitisani. Kvarclatiti su



najčešće zeolitizirani; neka zrna hornblende su hematizirana a neka zaglinjena. Zrna nekih bojenih minerala potpuno su promijenjena u hlorit, epidot i druge minerale. Izbeljivanje stena i zaglinjavanje je intenzivnije bliže pukotinama. U tim delovima je samo kvarc nepromenjen. Od bojenih minerala su ostale šupljine sa limonitom i glinom. Na andezitima severnog Borača se zapaža naizmenično smenjivanje svežijih i promenjenih partija. Hidrotermalne alteracije, kao i pojave Pb-Zn orudnjenja se vezuju uglavnom za krupne razlomne zone. Ponegde se javljaju i silicijske žice (sl. 4.8-3).



Slika 4.8-3: Silicijske žice i sočiva u kvarclatitu (JZ padine Borača).

Uprkos ekstenzivnom rasprostranjenju hidrotermalnih alteracija, nisu poznata značajna rudna ležišta: u boračkim vulkanitima je konstatovano prisustvo infiltracionih mineralizacija urana, a u kotleničkim vulkanitima hidrotermalne mineralizacije olova i cinka (Kulinac, Konopište i dr.).

Svi vulkaniti, a naročito vulkanoklastiti su na površini raspadnuti. U čvršćim stenama se na površini zapaža grusiranje, a vulkanoklastiti su sprašeni i zaglinjeni. Usled intenzivne ispucalosti vulkanitskih masa, ove promene dosežu do značajnih dubina – i do 10 m.

#### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

U magmatskom kompleksu Borač-Kotlenik je u prošlosti tehnički građevinski kamen eksploatisan u kamenolomima: Cekovića majdan, Ždreban, Jalak, Desivojevića majdan; Ploča, Igrišta, Ratina-Vrba i dr., i korišćen je u putogradnji.

Teren je velikim delom pokriven, a na mestima gde je stena ogoljena na površini, u velikom stepenu je hidrotermalno i površinski izmenjena. Stene su bolje dostupne proučavanju oko seoskih puteva i u starim kamenolomima. Na površini terena je

zemljište debljine do 20-30 cm, obraslo zeljastom i šumskom vegetacijom. Ispod se nalazi zona površinski izmenjenih stena debljine 0,5-10 m. Prema Joksimoviću (1980), istražno bušenje u kamenolomu Cekovića majdan, vršeno do dubine od 390 m, pokazalo je da su u dubini zastupljene iste stene.

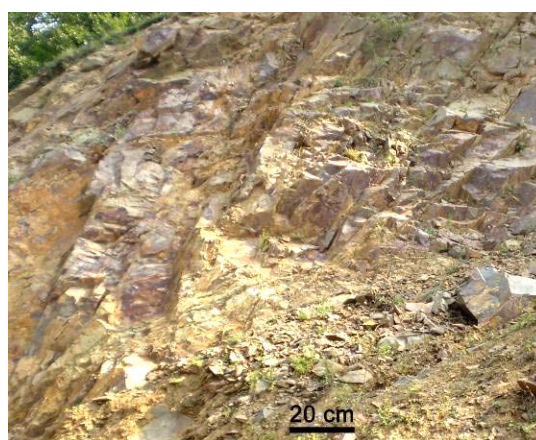
Primena vulkanita ove oblasti kao AGK je problematična, praktično i nemoguća zbog njihovih brojnih mana sa ovog aspekta. Zbog često staklaste osnovne mase, vulkaniti su podložni ubrzanom raspadanju pod uticajem atmosferilija. Pored toga, svi vulkaniti su intenzivno ispucali i hidrotermalno alterisani, ponegde i silifikovani, i to neujednačeno – neki delovi stenske mase više, a neki manje. Radioaktivnost boračkih vulkanita je povišena, naročito u oblasti sela Vujetinci. Uprkos tome, lokalno stanovništvo koristi ovaj kamen za oblaganje kuća, zidanje temelja, ograda, staja, spomenika i drugih objekata. Jedine lokalnosti na kojima je tokom terenskog rada bilo moguće uzeti uzorke stenske mase za laboratorijsko ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika u skladu sa standardom B.B0.001 su Ravno brdo i Talambas.

#### *Severoistočni deo Borača (Talambas)*

Na lokalnosti Talambas u selu Vračevšnica se nalazi dajk čije dimenzije je zbog pokrivenosti teško proceniti. Njegov prečnik verovatno ne prelazi 100 m. Stena je makroskopski dosta tamnija u odnosu na glavnu masu boračkih vulkanita (sl. 4.8-4). Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), vulkanit Talambasa pripada formaciji kaspaleogeno-neogenih vulkanita centralne ose Balkanskog poluostrva (grupa C), podgrupi kalijskih do ultrakalijskih (lamprofirskih) stena (C-b).



Slika 4.8-4: Makroskopski izgled stene (Talambas).



Slika 4.8-5: Nepravilno lučena, ispucala stenska masa (Talambas).

Lučenje stene je nepravilno (sl. 4.8-5). Intenzivno je ispucala do komada veličine najviše 20 cm, duž pukotina oksidisala, sitnozrna, teška i tvrda (silifikovana) – lomi se samo duž pukotina. Na dubini od oko 10 m od površine terena se javljaju i retki krupniji blokovi veličine 50-150 cm, ali nepravilnog oblika i ispucali.

Tabela 4.8-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,12-1,04	0,45
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			176-230	202
u vodozasićenom stanju			119-196	166
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			101-212	166
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	12,63-18,35	14,96
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	20,40-31,41	24,77
Zapreminska masa sa porama i šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,574-2,708	2,665
Zapreminska masa bez pora i šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,678-2,715	2,701
Koeficijent zapreminske mase		-	0,982-0,991	0,987
Poroznost		%	0,9-1,8	1,3
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,444-0,608	0,521
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	5,70-7,89	6,72

Napomena: prikazani podaci potiču iz dva izveštaja o ispitivanju, izvršenih 2006. i 2009. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Kvalitetniji delovi stenske mase se ne mogu razdvojiti od manje kvalitetnih na osnovu makroskopskog izgleda.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.8-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je malo porozan. Upijanje vode je vrlo malo. Čvrstoća na pritisak je visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je tvrd. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Generalno nisu predisponirane elementima sklopa. Kod jednog opitnog tela, površina pucanja je predisponirana

prisustvom žice koja je ispunila tanku pukotinu, tako da je ova površina pokrivena vrlo tankom belom skramom.

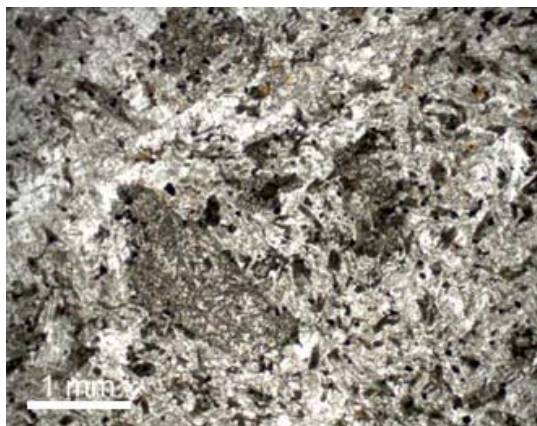
Makroskopski, stena je tamnosive do zeleno-sive boje. Izgrađena je od zrna salskih i femskih minerala veličine ispod 2 mm. Kada se komad stene preseče, zapaža se da je centralni deo elipsastog oblika svetlije boje od obodnog, koji je debljine 3-6 cm. Granica između ove dve zone je ponekad praćena jasnim mehaničkim diskontinuitetom debljine oko 2 mm, zapunjenim gvožđevito-oksidsnim materijalom. Salski minerali mestimično grade elipsasta nagomilanja veličine od (5x5) do (6x20) mm. Javljaju se i bele žilice, debljine 1-4 mm. Pri udaru čekića, stena se lomi nepravilno, gradeći fino-hrapave prelomne površine, vrlo oštih ivica. Pod binokularnom lupom se primećuje blaga reakcija pojedinih salskih zrna u kontaktu sa 5% HCl. Ne može se parati čeličnom iglom.

Mikroskopskim pregledom preparata stene utvrđeno je da je izgrađena od piroksena i plagioklasa kao glavnih minerala. Retko je prisutan i olivin. Kao sekundarni i akcesorni javljaju se K-feldspat, amfibol, epidot, biotit, hlorit, kvarc i metalični minerali. Olivin, kada je prisutan, javlja se u vidu fenokristala i u osnovnoj masi, veličine 0,2-2 mm, zahvaćen jakom alteracijom. Monoklinični pirokseni se javljaju u osnovnoj masi i kao fenokristali (sl. 4.8-6,7). Predstavljeni su zrnima okruglastih, prtkastih, ređe i nepravilnih formi. Zahvaćeni su uralitizacijom, koja je kod manjih zrna potpuna. Mestimično grade manja nagomilanja. Plagioklasi se javljaju uglavnom u osnovnoj masi, kao prtkasta, igličasta, tabličasta, ređe nepravilna zrna, veličine (0,05-0,5) mm. Bližnjani su lamelarno, zahvaćeni sosiritizacijom, nekad u potpunosti. K-feldspat se javlja u osnovnoj masi, izrazito ksenomorfan i intergranularan, sericitisan i prenitisan. Amfibol, biotit, hlorit i epidot su nastali transformacijom piroksena. Metalični mineral se javlja u praškastim agregatima.

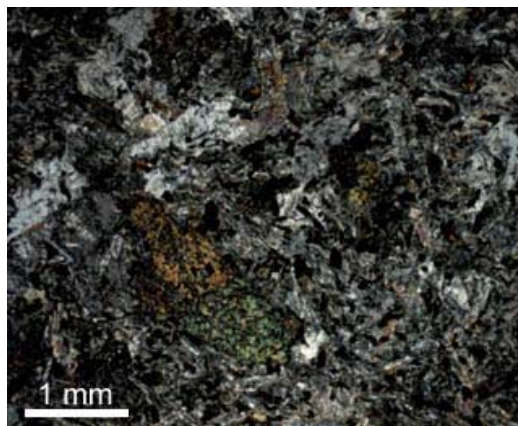
Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao trahiandezit do trahibazalt holokristalasto porfirske strukture i masivne teksture.

Prema rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za vertikalno oblaganje u enterijeru i eksterijeru bez ograničenja, ali zbog nedovoljne otpornosti prema habanju brušenjem, primena za horizontalno oblaganje u enterijeru je ograničena na kategorije UH-2 i UH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), a u eksterijeru na kategoriju SH-3 (umeren pešački saobraćaj).

Međutim, terenska proučavanja su pokazala da na dubini do koje je danas stenska masa otvorena ne postoje uslovi za dobijanje blokova komercijalnih dimenzija, što praktično onemogućava primenu kamena sa ove lokalnosti kao AGK.



Slika 4.8-6: Mikrofotografija preparata pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.8-7: Mikrofotografija preparata pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

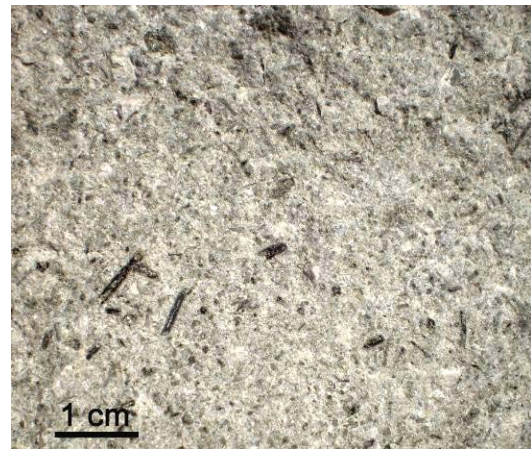
#### *Severni deo Borača (Ravno brdo)*

Ravno brdo je naziv za jedno od lokalnih uzvišenja na severnom obodu Borača. Lokalnost kamenoloma iz kojeg su uzeti uzorci za laboratorijska ispitivanja nalazi se u okviru kvarclatitskih izliva (sl. 4.8-1).

Stenska masa je jedra, pretežno pločasto do paralelopipedno lučena u obodnim delovima magmatskog tela. Debljina ploča je 1-50 cm. U dubljim delovima lučenje postepeno prelazi u masivno (sl. 4.8-8). Ima blokova i preko 10 m, ali preovlađuju blokovi do 1-2 m, nepravilnog oblika. Nije zapažena pojava litaža ni planparalelne teksture. Stenska masa je relativno homogenog izgleda (sl. 4.8-9), osim što je na SZ strani brda stena intenzivnije alterisana i površinski izmenjena nego na JI. Stena je sive boje u zonama gde je svežija (makroskopski izgleda sveže), a zadobija braon do zelenkastu nijansu u zonama gde je više izmenjena. U svežijoj stenskoj masi se duž pukotina zapaža limonitska koloracija. Od površine terena i površinski izmenjenog i potpuno raspadnutog materijala, dubina do jedre stene je oko 5 m. Stena sadrži uklopke kružnog oblika, prečnika do 10 cm, sa povišenim udelom bojjenih minerala. Na zidovima pukotina je deponovan kalcit. Ovo je jedina lokalnost u boračko-kotleničkom magmatskom kompleksu gde stenska masa barem delom ispunjava uslov monolitnosti.



Slika 4.8-8: Masivno lučenje stene i oblici prirodnih blokova (Ravno brdo).



Slika 4.8-9: Makroskopski izgled stene (Ravno brdo).

Tabela 4.8-3: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	gubitak mase 0,00-0,02	gubitak mase 0,01% postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	nema vidljivih promena gubitak mase 0,04-0,27%	gubitak mase 0,17% postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	1,57-2,00	1,71
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	113-183	145
u vodozasićenom stanju			97-137	120
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			70-150	102
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	16,19-16,98	16,65
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	21,63-24,34	22,84
Zapreminska masa sa porama i šuplinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,481-2,569	2,525
Zapreminska masa bez pora i šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,655-2,678	2,670
Koeficijent zapreminske mase		-	-	0,946
Poroznost		%	-	5,4
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,419-0,472	0,437
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	5,18-5,98	5,49

Napomena: prikazani podaci potiču iz izveštaja o ispitivanju izvršenog 2010. godine.

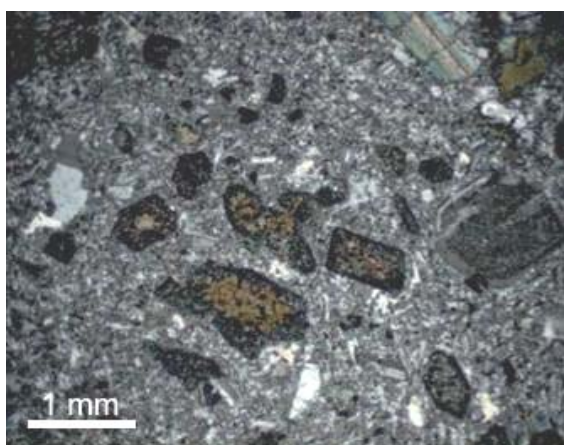
Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.8-3): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je dosta porozan. Upijanje vode je umereno. Čvrstoća na pritisak je srednje visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je tvrd. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Na svim površinama pucanja, svih opitnih tela, zapaženo je prisustvo sitnih šupljina (od kojih neke sadrže metalni mineral), ali je teško utvrditi da li je njihovo prisustvo predisponiralo pravce pucanja. Kod jednog opitnog tela za ispitivanje pritisne čvrstoće je došlo do pucanja duž skrivene naprsline. Pri ispitivanju savojne čvrstoće, opitna tela su pukla približno po sredini prizme, pri čemu je jedno puklo na mestu gde se nalazi šlira sa oksidiziranim tamnim mineralima i piritom.

Makroskopski, stena je heterogenog izgleda zbog različitih udela pojedinih fenokristala u različitim delovima stenske mase i različitih nijansi sive boje osnovne mase stene. Izgrađena je od osnovne mase i fenokristala salskih i femskih minerala. Feldspati su prisutni u dva oblika: a) beli, šupljikavi, zamućeni, veličine do (7x9) mm, subhedralni do anhedralni; b) bezbojni do beli, subhedralni, javljaju se i u vidu koncentracija od nekoliko zrna, istih dimenzija. Pirit se javlja u vidu nepravilnih zrna u sitnim šupljinama i u vidu gustih impregnacija kroz čitavu stensku masu. Amfiboli i pirokseni se javljaju kao pritkasta, subhedralna zrna, crne boje, veličine do (2x12) i (4x7) mm. Ređe se javljaju i u vidu agregata izometrične forme, prečnika oko 1 cm, nepravilnog oboda, šupljikava, u kojima se ne razaznaju pojedinačna zrna. Liske biotita su retke, veličine do 5 mm. Kvarc je vrlo redak, veličine 7-8 mm, verovatno agregacija nekoliko sitnijih zrna. Sitne šupljine su dosta česte, na međusobnim rastojanjima od nekoliko mm pa naviše, a prečnika do 7-8 mm. U tim šupljinama se javljaju subhedralna do idiomorfna zrna pirita, veličine do par mm, koja izgledaju sveže, i kristali kvarca. Retko se sreću anklave veličine (10x20) mm, tamnije boje od okolne stene i sitnozrnije. Pri udaru čekića, uzorak se lomi nepravilno, gradeći grubo hrapave prelomne površine, vrlo oštih ivica. U kontaktu sa hladnom 5% HCl, pod lupom se ponegde mogu videti reakcije sa pojedinim salskim mineralima. Stena se ne može parati čeličnom iglom.

Mikroskopskim pregledom je utvrđeno da je stena izgrađena od holokristalaste osnovne mase i fenokristala. Fenokristali grade oko 30% stene. Kao salski minerali javljaju se plagioklas (labrador) i kvarc, dok se od femskih javljaju amfibol (hornblenda) i piroksen. Plagioklasi su eu- do anhedralni, bližnjeni lamelarno i polisintetički, često

zonarne rađe. Kod krupnijih zrna javlja se sericitizacija, dok su ostala zrna uglavnom ispucala i blago alterisana. Kvarc se javlja u nepravilnim, ređe u elipsastim oblicima, često intergranularno. Takođe gradi osnovnu masu. Hornblenda je zahvaćena jakom alteracijom u različitom stepenu, nekad i potpuno. Redovno je opacitirana (sl. 4.8-10). Pirokseni su monoklinični. Javljaju se u svežim zrnima. Metalični minerali se javljaju u vidu sitnih okruglastih zrna.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao dacit holokristalasto porfirske strukture i masivne teksture.



Slika 4.8-10: Mikrofotografija preparata dacita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.



Slika 4.8-11: Pločasto do nepravilno lučenje (Cekovića majdan).

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može ograničeno koristiti kao AGK, za izradu ploča za vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, a za horizontalno samo za kategorije UH-2 i UH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj); u eksterijeru, za horizontalno oblaganje samo kategorije SH-3 (umeren pešački saobraćaj), a za vertikalno kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad terena). Međutim, zbog prisustva piritu, primena u eksterijeru se ne preporučuje.

#### *Severozapadni delovi Borača (Ždreban)*

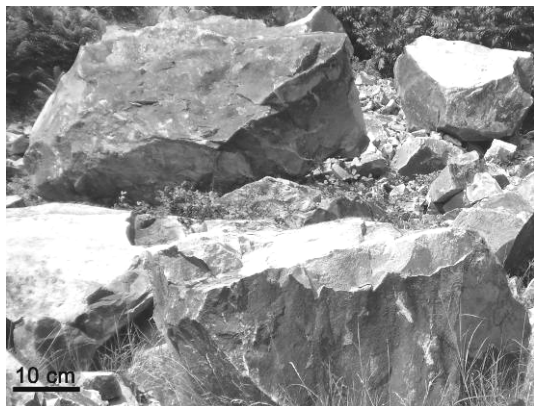
Kvarclatiti su šupljikavi, alterisani. Komadi iskorišćeni za zidanje objekata su raspadnuti.

#### *Severoistočni delovi Borača*

Cekovića Glavica: kvarclatiti su intenzivno alterisani i ispucali. Lučenje stene je pločasto do nepravilno (sl. 4.8-11). Najkrupniji blokovi su veličine oko 1 m, retko do 2



m, ali su nepravilnog oblika i ispucali (sl. 4.8-12). Preovlađuju komadi do 20 cm, koji su kompaktni i ne mogu se slomiti (silifikovani su).



Slika 4.8-12: Najkrupniji prirodni blokovi (Cekovića majdan).



Slika 4.8-13: dezintegracija pločasto lučenih dacita (Oštri Klik).

Ljuljaci: riodacitsko-riolitski vulkanoklastiti su potpuno alterisani, izbeljeni i limonitisani. Na površini je prisutna intenzivna grusifikacija do dubine od 2-3 m. O ovim stenama je detaljnije pisao Ilić (1940a).

#### *Istočni delovi Borača*

Jalak-Bečevica: andeziti su alterisani, šupljikavi, naknadno silifikovani. Stena je ispucala tako da su komadi veličine najviše do 10 cm. Efuzivi su izmešani sa vulkanoklastitima.

Borački Krš: svežije partije kvarclatita su sive boje, i smenjuju se postepeno sa zonama izbeljenih kvarclatita, koji preovlađuju. Izbeljivanje je naročito izraženo duž pukotina, gde su prisutne i metalične mineralizacije. Stenska masa je intenzivno ispucala, lučenje je nepravilno. Delovi stenske mase svežijeg izgleda se teže lome usled silifikacije.

#### *Južni (Oštri Klik) i centralni (Bukovik) delovi Borača*

Pločasto lučeni daciti (u praksi nazvani "šareni andezitski tuf"), sa debljinom ploča do 30 cm su šupljikavi, sa oksidisanim tamnim mineralima i limonitisanim bojenim mineralima. Stenska masa je ispucala, trošna i lako se sprasuje (sl. 4.8-13). Tuf iz kamenoloma Bukovik u selu Vujetinci je upotrebljen za fasadu hrama Sv. Save u Kragujevcu i pokazao se kao postojan (Rajičić, 2010).

### *Jugozapadni delovi Borača (Kremenjača)*

Kvarclatiti su površinski izmenjeni, šupljikavi, često sa tankim silicijskim skramama i žicama (sl. 4.8-3). Na površini su sprášeni. Na hipsometrijski nižem nivou je vulkanska stena potpuno alterisana – zaglinjena, beličasto-sive boje.

### *Severni delovi Kotlenika (Veliko brdo)*

Vulkanoklastiti su intenzivno površinski raspadnuti, zaglinjeni, ispucali. Iz njih ispadaju klasti – zaobljeni komadi čvršćih vulkanita (sl. 4.8-14). Odlomci su heterogenog izgleda, svi alterisani.



Slika 4.8-14: Diferencijalno raspadanje vulkanoklastita (V. brdo – Kotlenik).



Slika 4.8-15: Vulkanoklastiti (Desivojevića majdan – Kotlenik).



Slika 4.8-16: Pločasto lučena, ispucala i alterisana stena (Pajsijević – Kotlenik).

### *Severoistočni delovi Kotlenika (Desivojevića majdan)*

Vulkanoklastiti su alterisani i lako se sprášuju (sl. 4.8-15).

### *Južni delovi Kotlenika (Ratina-Vrba)*

Daciti su nepravilno i pločasto lučeni (ploče debljine do 25 cm).

Propilitisani su, površinski izmenjeni, intenzivno ispucali. Pojedinačni komadi se teško lome zbog silifikacije.

#### *Istok-severoistočni delovi Kotlenika (Pajsijević)*

Lučenje dacita je pločasto, debljina ploča do 25 cm (sl. 4.8-16). Stena je alterisana, zaglinjena, ispucala do komada veličine najviše do 30 cm.

#### *Istočni delovi Kotlenika (Igrište)*

Andeziti su šupljikavi, alterisani, ispucali (komadi su najčešće do 10 cm, retki su komadi do 50 cm, i nepravilnog su oblika), naknadno silifikovani.

### ***Potencijalnost magmatskog kompleksa***

Generalno, sastav, kvalitet i izgled stenske mase je vrlo promenljiv u čitavom boračko-kotleničkom magmatskom kompleksu. Svi tipovi stena su neperspektivni sa aspekta AGK jer su stene raspadnute, tektonizirane do sitnih komada, nepravilno lučene, alterisane, neke i silifikovane, a pored toga je na Boraču povišen sadržaj urana, a na Kotleniku se javljaju Pb-Zn mineralizacije. Izuzetak predstavlja lokalnost Ravno brdo jer ostvaruje uslov monolitnosti stenske mase, međutim, usled alterisanosti i šupljikavosti, fizičko-mehanička svojstva stene su lošija.

### ***4.9. Magmatski kompleks Kremića***

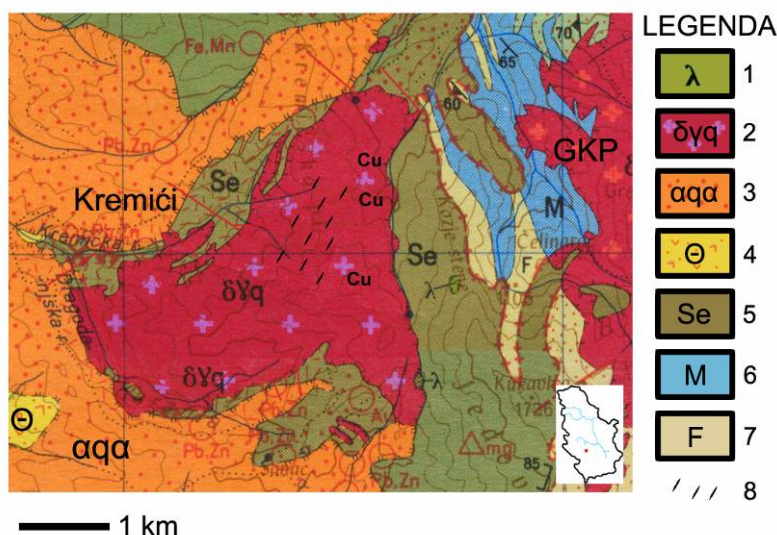
Kremićka granitoidna masa se nalazi 2 km zapadno od kopaoničkog plutona, od kojeg je na površini odvojena uskom zonom serpentinita i kontaktno-metamorfnih stena, JI od sela Kremići. Genetski je vezana za kopaonički granitoidni masiv. Ima oblik dajka čiji je presek nepravilnog oblika, sa otvorenom površinom od oko 5 km<sup>2</sup>. Urošević i dr. (1973b) smatraju da kremićki pluton predstavlja obodnu, endomorfno promenjenu faciju kopaoničkog plutona. Prikazan je na OGK 1:100 000, listovi Vrnjci (Urošević i dr., 1973a) i Novi Pazar (Urošević i dr., 1973b).

Proučavanjem granitoida Kremića sa različitih geoloških aspekata se bavio relativno manji broj autora: sa aspekta građevinskog kamena Kurešević, 2010; geodinamički aspekt i strukturnu građu su obradili Topalović, 1966, Komarnicki i Stanić, 1991, Karamata, 1995, Dimitrijević 1995a,b, Đoković i dr., 1995a,b, Cvetković et al., 2000a, 2001b, Zelić, 2005, 2006, Zelić i dr., 2010a,b,c; vezu između regionalnih razloma i

magmatske aktivnosti Vukašinović 1962b; mineraloško-petrološki sastav i genezu Pančić, 1859, 1869, Pavlović, 1949, Stefanović i Pavlović, 1960, Ćirić i Karamata, 1962, Mičić, 1966, 1969, 1980, Dimitrijević i Karamata, 1969, Mičić i dr., 1972, Knežević i dr., 1995, Cvetković et al., 2002a; metalogenetski aspekt i ležišta mineralnih sirovina Janković, 1990, 1995; sadržaje radioaktivnih elemenata su ispitali Omaljev, 1988a, 1996b, Nikolić, 1993, Popović, 1996; podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Karamata i dr., 1992b.

### Geološka građa oblasti

Kremička granitoidna masa je najvećim delom utisnuta u jurske serpentinite tzv. Ibarskog ultramafitskog kompleksa i dacito-andezite – tzv. Ibarske vulkanite (sl. 4.9-1).



Slika 4.9-1: Geološka građa terena u oblasti kremičkog plutona (prema Uroševiću i dr., 1973a,b; i Jeremiću i Nićetinu, 1972, iz: Janković, 1990; mod.).

Legenda: 1. lamprofiri; 2. sitnozrni granodioriti i kvarcdioriti; 3. dacito-andeziti, hidrotermalno promenjeni; 4. vulkanoklastiti dacito-andezita; 5. serpentiniti (sa tačkicama - hidrotermalno alterisani; sa crticama - kontaktno metamorfisani); 6. kalkšisti i mermeri; 7. serija sericit-hloritskih škriljaca i metamorfisanih peščara (6,7 - "Centralnokopaonička serija"); 8. kvarc-turmalin-magnetitske žice sa halkopiritom; Cu - pojave mineralizacije bakra; GKP - glavni kopaonički pluton.

Ultramafitski kompleks čine najvećim delom serpentinisani harzburgiti, manje lertzoliti, duniti i pirokseniti. Manjim delom, u SI delu, kremički pluton je utisnut i u "Centralnokopaoničku seriju" odnosno "paleozojsku metamorfnu seriju Goča, Željina i centralnog Kopaonika" (Urošević i dr., 1973a,b) odnosno "kopaonički metamorfni kompleks" (Zelić et al., 2010a). Mičić i dr. (1972) su na osnovu konodontne faune utvrdili da je ova serija trijasko starosti. Izgrađena je od sericitsko-hloritskih škriljaca,

metapeščara, epidot-aktinolitских škrljaca, metabazita, mermerisanih krečnjaka, mermera i kalkšista. Prilikom utiskivanja magme koja je formirala kremički pluton, došlo je do intenzivnih kontaktno-metamorfniх i metasomatskih promena na svim okolnim stenama. Najizraženije su promene na vulkanitima. Ogledaju se u nastanku kornitisanih piroksenskih andezita najbliže kontaktu do biotit-hornblenda kornitisanih andezita i epidotisanih andezita najdalje od kontakta. Na kontaktu između serpentinita i granitoida, serpentinit je termički promenjen i sprашen.

### **Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa**

Tercijarne granitoidne stene kopaoničke oblasti u geotektonskom smislu pripadaju podjedinici Vardarske zone – Kopaoničkom blok-teranu (Karamata, 1995), odnosno Kopaoničkom bloku koji je u sastavu Eksterne vardarske subzone (Dimitrijević, 1995a). U tektonskoj građi oblasti se ističe željinsko-kopaonički antiklinorijum (brahiantiklinala) kao najkрупnija naborna struktura. Teren je intenzivno tektoniziran, izdjeljen na blokove i sub-blokove. Rasedi se pružaju pravcem SZ-JI (310-320°) i upravno na njih SI-JZ (30-50°), zatim istok-zapad (80-90°) i upravno na njih sever-jug (350-360°). Elementi pada opaženih sistema pukotina: a) 127/56 dele stensku masu na ploče; b) 198/50; c) 30/53 i d) 147/84 dele ploče na sitnije komade.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop**

Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), granitoidi Kremića pripadaju kasnopaleogeno-ranoneogenoj granitoidnoj formaciji magmata dinaridskog granitoidnog pojasa (B-a). Najviše su zastupljeni sitnozrni kvarcdioriti i granodioriti (amfibolsko-biotitski, retko amfibolski varijeteti), a u centralnom delu kremičkog plutona se javljaju manje partije biotitskih kvarcmonconita. Glavni minerali granitoida su: kvarc, andezin, K-feldspat (ortoklas do mikroklin), hornblenda i biotit. Struktura je hipidiomorfno zrnasta, a do oboda neujednačeno zrnasta, bliska porfiroidnoj. Lučenje stene je pločasto u obodnim delovima plutona, a bliže centru prizmatično do nepravilno (sl. 4.9-2). Hemijski sastav granitoida je prikazan u tabeli 4.9-1. Ispitivanje izotopske starosti kremičkog granitoida je dalo vrednost od  $31,88 \pm 0,72$  Ma. Prema mineraloškom i hemijskom sastavu granitoidi Kremića su I-tipa.

U sitnozrnim granitoidima Kremića, sadržaj urana varira od 3,07 do 4,80 ppm a torijuma od 15,86 do 19,70 ppm. Srednji sadržaj je 3,95 ppm U i 17,71 ppm Th.

Sadržaji urana su koncentrisani najvećim delom u toritu, uraninitu, sfenu, amfibolu i magnetitu.

Tabela 4.9-1: rezultati hemijske analize granodiorita Kremića (Mičić, 1980).

komponenta	udeo (%)
SiO <sub>2</sub>	60,56
TiO <sub>2</sub>	0,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,85
FeO	3,05
MnO	0,06
MgO	3,17
CaO	5,75
Na <sub>2</sub> O	1,94
K <sub>2</sub> O	2,96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup>	1,22
H <sub>2</sub> O <sup>-110°</sup>	0,09
zbir	100,34 %

Intruzivne stene su praćene ašistnim (granodioritporfiri, kvarcdioritporfiriti, dioritporfiriti) i diašistnim (apliti, pegmatiti, lamprofiri) žičnim stenama. Žice ašistnih stena presecaju granitoide i stene njihovog kontaktnog oreola. Prema mineraloškom sastavu su vrlo slične osnovnoj steni (ortoklas, andezin, kvarc, biotit, hornblenda).



Slika 4.9-2: Pločasto lučenje u obodnim delovima plutona. Slika 4.9-3: Aplitska žica.

Struktura im je holokristalasto porfiriska sa krupnozrnomo osnovnom masom. Diašistne stene, naročito pegmatiti, retke su i neznatne debljine. Apliti su izgrađeni od kvarca, alkalnih feldspata, plagioklasa (albioklasa) i muskovita. Vrlo su sitnozrni (sl. 4.9-3). Debljina žica varira 1-15 cm. Elementi pada aplitskih i pegmatitskih žica obrazuju statistički maksimum na 80/70; žice su ispunile jedan sistem pukotina, i nastale su u

jednoj istoj aplitsko-pegmatitskoj fazi. Lamprofiri su po sastavu amfibol-kersantiti i spesartiti. Utisnuti su u okolne serpentinite i metamorfite.

### **Postmagnatske promene stenske mase**

Uprkos čestim orudnjenjima u kopaoničkoj oblasti, veći deo kremičkog plutona je izgrađen od svežih stena. Hidrotermalne promene su vezane za rasedno-pukotinske strukture duž kontakata granitoida sa serpentinitima i u centralnim delovima plutona, koje su poslužile kao kanali za cirkulisanje rastvora, iz kojih su na nekim mestima nastale hidrotermalne mineralizacije gvožđa, bakra, olova i cinka (Kremička reka, na SZ obodu plutona).

Pod uticajem atmosferilija je došlo do grusiranja u površinskim delovima plutona. Usled pokrivenosti plutona, dubina otvorenih profila ne prelazi 2 m, i u nekim slučajevima je stenska masa grusirana čitavom visinom profila. Grusiranje je intenzivnije u delovima stenske mase bliže kontaktu sa serpentinitima.

### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Brojne metalične mineralizacije prisutne u kopaoničkoj oblasti su najverovatniji razlog zašto je u ovom području slabo eksploatisan, inače vrlo kvalitetan građevinski kamen. U centralnim delovima kopaoničkog plutona su zastupljeni granitoidi sa krupnim zrnima kalijskog feldspata, koji predstavljaju kamen sa najboljim estetskim svojstvima u Vardarskoj zoni Srbije sa aspekta AGK. Međutim, čitav kopaonički pluton je danas obuhvaćen teritorijom nacionalnog parka i time je eksploatacija kamena onemogućena. Izvan teritorije nacionalnog parka, nalazi se kremički pluton. Ocenu kvaliteta stenske mase (pre svega monolitnost i dimenzije blokova) u njemu je teže izvršiti usled njegove pokrivenosti. Povoljne osobine stenske mase sa aspekta AGK su: jedrina, svežina, sitnozrna do srednjezrna stenska masa. Nepovoljne osobine stenske mase: nehomogen izgled, prisustvo anklava i, mestimično, planparalelne teksture, kao i nepravilni oblici i male dimenzije prirodnih blokova (sl. 4.9-4,5). Međutim, ova ocena je data na osnovu malog dela stenske mase pristupačnog proučavanju na površini terena.

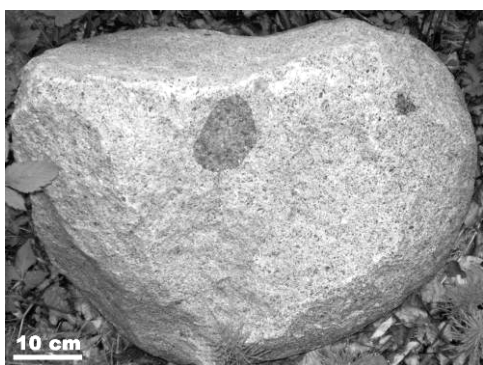
#### *Centralni delovi plutona*

Granitoid je najvećim delom pokriven. Na površini terena se nalazi sloj zemljišta debljine 20-80 cm, sa gustom šumskom vegetacijom. U obodnim delovima plutona

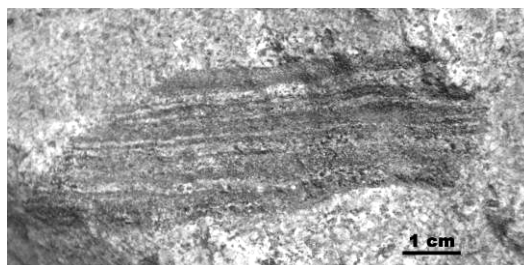
dostupnim proučavanju, stenska masa je izmenjena u promenljivom stepenu – od potpuno grusirane do sveže i jedre koja se vrlo teško lomi. Na nekim mestima (bliže kontaktu sa okolnim serpentinitima), grusifikacija dostiže dubinu od 2 m, kolika je i visina otvorenog profila. Stena je poliedarski i pločasto lučena. Ploče su debljine do 40 cm, i ispucale u manje komade pretežno do 50 cm. Bliže površini, komadi stene ne prelaze 50 cm. Sa povećavanjem dubine rastu i dimenzije prirodnih blokova.



Slika 4.9-4: Prirodni blok stenske mase.



Slika 4.9-5: Izometrična anklava.



Slika 4.9-6: Izdužena anklava.

Stena je sive boje, uz variranje od tamnosive do svetlosive, i može imati braon nijansu u obodnim delovima. Po izgledu je slična obodnim delovima kopaoničkog intruziva. Površinski delovi stenske mase su obrasli lišajevima i algama, pa se teško mogu osmatrati litaž i prisustvo žičnih stena, ali se po komadima na tlu zapaža da je stena heterogenog izgleda i da su prisutne aplitsko-pegmatitske žice, mada ređe nego u drenjskom i željinskom granitoidu. U površinski više izmenjenim delovima se zapaža oksidacija bojenih minerala i njihovo postepeno ispadanje, zamućenje feldspata i limonitska koloracija. Stena sadrži uklopke različitih oblika i dimenzija. Najčešće su



izometrični, veličine 2-5 cm ili pak izduženi i najveće dimenzije do 12 cm (sl. 4.9-5,6). Uklopici su najčešće sitnozrni. Izgrađeni su od sitnih plagioklasa i bojanih minerala, veličine do 1 mm.

Tabela 4.9-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

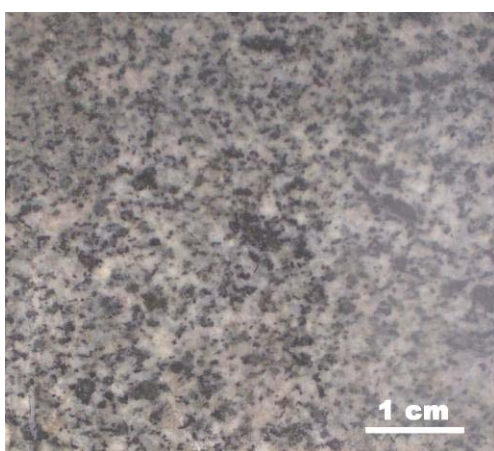
Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	nema vidljivih promena	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	nema vidljivih promena - gubitak mase 0,03%	gubitak mase 0,018% postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,23-0,68	0,40
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	153-189	169
u vodozasićenom stanju			100-164	136
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			95-154	134
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	9,71-10,59	10,01
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	31,06-32,51	31,97
Zapreminska masa sa porama i šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,660-2,698	2,678
Zapreminska masa bez pora i šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,703	2,703
Koeficijent zapreminske mase		-	0,991	0,991
Poroznost		%	0,9	0,9
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,466-0,544	0,499
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	5,76-6,88	6,21

Napomena: prikazani podaci potiču iz izveštaja o ispitivanju izvršenog 2010. godine.

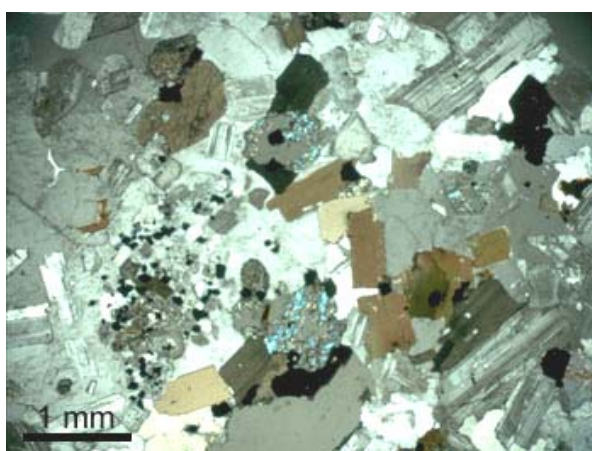
Ocena kvaliteta kamena pokazala je sledeće (tabela 4.9-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je kompaktn. Upijanje vode je vrlo malo. Čvrstoća na pritisak je visoka u suvom stanju, a srednje visoka u vodom zasićenom stanju i nakon ciklusa mržnjenja i kravljenja. Prema otpornosti na habanje, kamen je tvrd, na granici prema vrlo tvrdom. Stenska masa je vrlo slabo otvorena a u njenim svežim delovima je nemoguće odlomiti komade dovoljnih dimenzija za laboratorijska ispitivanja, pa su uzorci uzeti sa površine, gde su bili izloženi uticaju atmosferilija, što je uticalo na pogoršanje njihovih fizičko-mehaničkih svojstava. Kocke za ispitivanje pritisne čvrstoće u vodozasićenom stanju i posle mržnjenja imaju dosta pukotina, kao i prizme za ispitivanje savojne čvrstoće. Opitna tela pretežno pucaju duž naprslina.

Opitna tela koja nisu sadržavala naprsline su pucala bez predisponiranja ravni pucanja elementima sklopa, a površine pucanja su neravne i hrapave.

Makroskopski, u steni se zapažaju svetli i tamni minerali (sl. 4.9-7). Svetli minerali su feldspati, beličasto-sivkaste boje, sub- do anhedralni. Zrna su prozračna do zamućena, dužine do 7-8 mm, ali se granice pojedinačnih zrna teško razaznaju golim okom. Imaju slabu sivo-zelenu nijansu. Najkrupnija zrna feldspata su blede ljubičasta, i što su krupnija, njihove konture su sve nepravilnije. Ova zrna su veličine i preko 1 cm. Zrna kvarca su retka, približno izometričnog oblika, providna, ispucala. Zrna tamnih minerala su veličine pretežno do 1-2 mm. Zapažaju se hornblenda i biotit.



Slika 4.9-7: Izgled ravno sečene površine kamena.



Slika 4.9-8: Mikrofotografija preparata granodiorita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Zrna hornblende su subhedralna, sa izraženim ravnima cepljivosti, dimenzija do (9x2,5) mm, a najčešće do (5x1,5) mm. Relativno su sveža, ponegde sa znacima oksidacije duž ravni cepljivosti. Zrna su najčešće izdužena, ali ima i zdepasto-prizmatičnih (4x3) mm. Blago je izražena orijentacija izduženih zrna hornblende. Biotit je zastupljen manje od hornblende. Liske su crne boje, sjajne, sveže, i uglavnom imaju nepravilne konture. Najčešće su prečnika do 1 mm, retko do 4 mm. Debljina agregata biotitskih liski može biti i do 5-6 mm. Stena je heterogenog izgleda usled ređe i gušće raspoređenih bojanih minerala.

Mikroskopskim pregledom preparata je utvrđeno da je stena izgrađena od plagioklasa (andezin), kvarca, ortoklasa do mikroklina, biotita, amfibola i piroksena. Plagioklasi su zastupljeni oko 50% u steni. Zrna su najčešće prizmatična, ređe rombična i ksenomorfna. U manjem stepenu su zahvaćena alteracijom; samo su pojedina zrna jače

alterisana. Kod krupnijih zrna se zapaža poikilitsko uklapanje metaličnih minerala, u manjoj meri biotita. Plagioklasi su sintetički i lamelarno bližnjeni. Kvarc se javlja intergranularno, izraženo ksenomorfan, retko sa pojavom kataklaziranja. U steni je zastupljen oko 20%. Ortoklas je najmanje zastupljen od salskih minerala. Najčešće se javlja u vidu krupnih, ksenomorfnih do elipsastih zrna, veličine najviše oko (3x3) mm. Redovno je zahvaćen sericitizacijom (kao posledica površinskog raspadanja). Ponegde se zapaža izdvajanje glinovitih minerala (sl. 4.9-8, gornji levi ugao). Poikilitski obuhvata sitnija zrna plagioklasa i femskih minerala. Biotit je uglavnom svež, tabličast, iskrzanih ivica. Retko je hloritisan. Amfibol je predstavljen hornblendom, čija su zrna ksenomorfna do hipidiomorfna, u različitom stepenu zahvaćena alteracijom. Boja u zavisnosti od hemizma varira od zelene do braon. Klinopiroksen se javlja u vidu okruglastih zrna, veličine oko (0,3x0,2) mm. Zahvaćen je alteracijom, često skoro potpuno, a sveža zrna se retko javljaju. Akcesorni minerali su sfen, ilmenomagnetit, apatit, epidot, cirkon, magnetit i ortit, a sekundarni su kaolinit, sericit, hlorit, epidot i kalcit. Metalični minerali se javljaju kao sitna zrna ispod 0,1 mm, okruglastih, ređe uglastih formi, i mestimično grade manja nagomilanja (sl. 4.9-8). Apatit se javlja retko u vidu samostalnih zrna, obično je poikilitski zahvaćen od strane krupnijih zrna drugih minerala.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao granodiorit hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne teksture.

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK za izradu ploča za horizontalno i vertikalno oblaganje u enterijeru i eksterijeru bez ograničenja (uz napomenu da je zapažen pad vrednosti pritiskne čvrstoće u vodozasićenom stanju u odnosu na suvo stanje od 19,53%).

### ***Potencijalnost plutona***

Generalno, stenska masa je na ovom erozionom nivou sveža, ili površinski izmenjena u promenljivom stepenu. Teško je oceniti homogenost stenske mase zbog slabe otkrivenosti, ali po odlomcima dostupnim proučavanju, može se zaključiti da su sklop i izgled stene slabo nehomogeni, sa prisustvom tankih aplitsko-pegmatitskih žica. Nije zapažena pojava hidrotermalnih alteracija. Verovatno je na većoj dubini stena svežija i sa povoljnijim lučenjem i dimenzijama prirodnih blokova.

#### **4.10. Magmatski kompleks Željina**

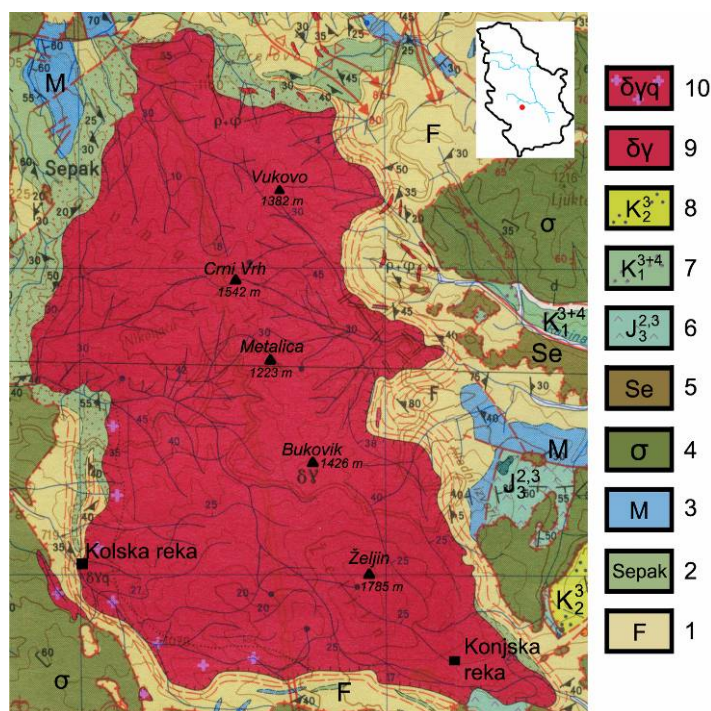
Željinski granitoidni pluton se nalazi oko 160 km južno od Beograda, a 12 km severno od Jošaničke banje. Prikazan je na OGK 1:100 000, list Vrnjci (Urošević i dr., 1973a). Njegov oblik odgovara štoku, čiji deo otkriven erozijom ima površinu od oko 56 km<sup>2</sup>. Oblast se karakteriše planinskim reljefom, sa najvišim vrhovima: Željina (1785 m), Crni Vrh (1542 m), Bukovik (1426 m), Vukovo (1382 m) i Metalica (1223 m). Prolećni bujični tokovi nastali topljenjem snega, preko leta presušuju i ostaju samo retki, manji vodeni tokovi. Putna mreža je slabo razvijena. Loš asfaltni put Biljanovac-Jošanička banja-Aleksandrovac vezuje oblast Željina sa Ibarskom magistralom. Na samom plutonu postoje samo lokalni, zemljani putevi.

Proučavanjem granitoidnih stena Željina se bavio relativno manji broj autora: Pavlović, 1949, Maksimović i Divljan, 1953, Mičić, 1966, 1969, 1980, 1986, Mičić i dr., 1972, Vukov, 1988, 1989, 1990, 1995a,b, Forizs et al., 1989, Janković, 1990, Vukov i Terzić, 1992, Maksimović et al., 2006; sadržaje radioaktivnih elemenata dali su Omaljev i Vukov, 1987, Popović, 1996, Radošević et al., 2002, a podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Deleon i dr., 1961, Perić i Milivojević, 1986, Vukov, 1989, 1995a, Schefer et al., 2010.

#### **Geološka građa oblasti**

Osnovu terena čini trijaska niskometamorfna "Centralnokopaonička serija" (Dimitrijević, 1995a, 2001) odnosno serija Goča, Željina i centralnog Kopaonika (Urošević i dr., 1973a). Izgrađena je od sericitsko-hloritskih škriljaca, metapeščara, epidot-aktinolitских škriljaca, metabazita, mermerisanih krečnjaka, mermera i kalkšista. Granitoid je utisnut u ovaj trijaski kompleks, ali su kontakti fenomenom relativno slabo izraženi. Pretežno su metasomatskog tipa, a ređe termometamorfno tipa. U građi terena oblasti Željina su zastupljeni i dacito-andeziti, dijabaz-rožnačka formacija i serpentinit. Tercijarni vulkaniti Željina su predstavljeni pretežno alterisanim andezitima koji se javljaju u vidu dajkova, žica i manjih izliva, kao i vulkanoklastitima. Na zapadnim, JZ i južnim padinama Željina se može pratiti pojas kontaktno-metamorfno i metasomatski promenjenih vulkanita piroksenske (najbliže kontaktu), amfibolske i epidotske (najdalje od kontakta) metamorfne facije. Serpentinisani harsburgiti, ređe lerzolit, duniti i pirokseniti, predstavljaju deo "Ibarskog ultramafitskog kompleksa". Dijabaz-rožnačka

serija gornjejurske starosti je izgrađena od glinaca, laporaca, peščara, rožnaca, dijabaza i dr. (sl. 4.10-1).



Slika 4.10-1: Geološka građa terena u oblasti željinskog plutona (prema Uroševiću i dr., 1973a, mod.).

Legenda: 1. serija sericit-hloritskih škriljaca i metamorfisanih peščara; 2. hlorit-epidot-aktinolitiski škriljci i metabaziti; 3. kalkšisti i mermeri; 4. harburgiti (serpentinisani); 5. serpentiniti; 6. glinci, laporci, peščari, rožnaci i dijabazi (dijabaz-rožnačka formacija); 7. fliš: alevroliti, glinci i peščari (barem, apt); 8. fliš: peščari, alevroliti i laporci (senon); 9. normalno zrnasti granodioriti; 10. sitnozrni granodioriti i kvarcdioriti; 1,2,3 - "Centralnokopaonička serija".

### Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa

Željinski pluton je utisnut u severni deo željinsko-kopaoničkog antiklinorijuma. Ova struktura je praćena razlomnim zonama: plansko-badanjskom (pružanje u pravcu sever-jug, markira kontakt sa serpentinitima; duž nje se odvijala intruzivna i izlivna magmatska aktivnost – nastali su granodioriti Kremića i Plane, dacito-andeziti, kao i hidrotermalna aktivnost), Vrnjačka banja-Pleš-Radmanovo (pružanje u pravcu SSZ-JJI; za ovu razlomnu zonu je vezana hidrotermalna aktivnost), i Ploče (pružanje u pravcu SI-JZ do ISI-ZJZ).

Zapaženi su sistemi pukotina sa sledećim elementima pada: a) 121/20, b) (350-360)/(50-55), c) vertikalne, pružanje pravcem 221-41°, d) (90-104)/(35-45) duž ovih pukotina se izdvajaju ploče debljine 2-40 cm, e) 316/83. Pukotine sistema b i d razdvajaju paralelopipedne blokove dimenzija oko (100x70x80) cm.

### Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop

Željniški granitoidni pluton je izgrađen najvećim delom od granodiorita, a javljaju se i prelazi ka kvarcmonconitima (centralni deo masiva), kvarcdioritima (obodni delovi masiva), retko dvoliskunskim granitima. Rezultati hemijskih analiza željinskih granitoida su prikazani u tabeli 4.10-1. Noviji rezultati određivanja izotopske starosti dali su vrednosti od 31,8 do 23 Ma. Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), granitoidi Željina pripadaju kaspaleogeno-ranoneogenoj granitoidnoj formaciji magmata dinaridskog granitoidnog pojasa (B-a). Prema većini kriterijuma, željniški granitoidi su I-tipa.

Struktura, mineraloški i hemijski sastav granitoida su relativno ujednačeni u čitavom plutonu, uz neznatno variranje udela pojedinih minerala. Struktura je hipidiomorfno zrnasta, sitnozrna do srednjezrna, sa elementima poikilitske i kataklastične. Na istočnom obodu plutona su zastupljeni porfiroidni varijeteti. U plutonu je jasno izražen litaž (izražen kroz promenljivu koncentraciju bojjenih minerala), kao i planparalelna tekstura (sl. 4.10-2,3,4).

Tabela 4.10-1: rezultati hemijskih analiza željinskih granitoida (Vukov, 1989).

komponenta	kvarcdiorit-tonalit	granodiorit
SiO <sub>2</sub>	59,40	62,35
TiO <sub>2</sub>	0,75	0,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,94	15,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,39	2,41
FeO	4,47	3,86
MnO	0,03	0,06
MgO	2,48	2,65
CaO	5,25	5,25
Na <sub>2</sub> O	2,82	2,48
K <sub>2</sub> O	2,15	3,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,00
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,36	0,65
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,31	0,09
zbir	99,36 %	99,61 %

Prisutne su anklave nepravilnih oblika (sl. 4.10-5), dimenzija do 50 cm; sočivaste šlire lamprofirskog sastava i žice aplita i pegmatita. Deformacije pojedinih sastojaka stene su zapažene u čitavom masivu, i ukazuju na dejstvo pritiska tokom konsolidacije magme.

Stena je pretežno poliedarski do paralelopipedno lučena. U obodnim delovima plutona javlja se i pločasto lučenje (sl. 4.10-6,7). Debljina ploča je 2-50 cm.



Slika 4.10-2: Litaž i planparalelna tekstura (Kolska reka).



Slika 4.10-3: Litaž.



Slika 4.10-4: Nehomogen izgled usled planparalelne teksture i litaža (Šumska kuća).



Slika 4.10-5: Anklava (Konjska reka).



Slika 4.10-6: Prirodni blok nepravilnog oblika (Šumska kuća).



Slika 4.10-7: Pločasto do nepravilno lučenje u obodu (Kolska reka).

Uran i torijum su vezani za petrogene minerale. Srednji sadržaj urana iznosi 4,43 ppm. Sitnozrni i porfiroidni granitoidi se razlikuju po prosečnom sadržaju urana (u sitnozrnom 2,88-4,43 ppm, u porfiroidnom 4,86 ppm). Srednji sadržaj torijuma iznosi 15,59 ppm.

Intruzivne stene su praćene brojnim pojavama ašistnih (granodioritporfiri, kvarcdioritporfiriti, dioritporfiriti) i diašistnih (apliti, pegmatiti, lamprofiri) žičnih stena. Ašistne su predstavljene žicama u paleozojskoj metamorfnoj seriji i serpentinitima oko granitoida. Prema mineraloškom sastavu su vrlo slične osnovnoj steni (andezin, kvarc, biotit, hornblenda), a razlikuju se po sadržaju ortoklasa. Struktura je holokristalasto porfiriska sa krupnozrnom osnovnom masom. Pegmatitske žice su izgrađene od feldspata (mikrokлина, albiklasa), kvarca, liskuna, turmalina, granata i berila. Najveća koncentracija pegmatitskih žica i sočiva je zapažena na vrhu Bukovik (debljine od 2 cm do 4 m), Crni Vrh, Metalica i na Nikoljači. Apliti su izgrađeni od kvarca, alkalnih feldspata, plagioklasa (albiklasa) i muskovita, retko i turmalina. Vrlo su sitnozrni. Debljina žica varira 1-20 cm. Aplitske i pegmatitske žice su nastale u jednoj fazi i ispunile su jedan sistem pukotina sa elementima pada 80/70. Lamprofiri su po sastavu amfibol-kersantiti i spesartiti. Utisnuti su u serpentinite i metamorfnu seriju oko granitoida. Strukture su holokristalasto porfiriske.

Vulkanske stene (dacito-andeziti) u oblasti Željina su potpuno hidrotermalno, a zatim i površinski promenjene, što na OGK nije prikazano. Intenzivno su tektonizirane, do sitnih komada, veličine do 10 cm. Ove stene nisu perspektivne sa aspekta AGK.

### **Postmagmatske promene stenske mase**

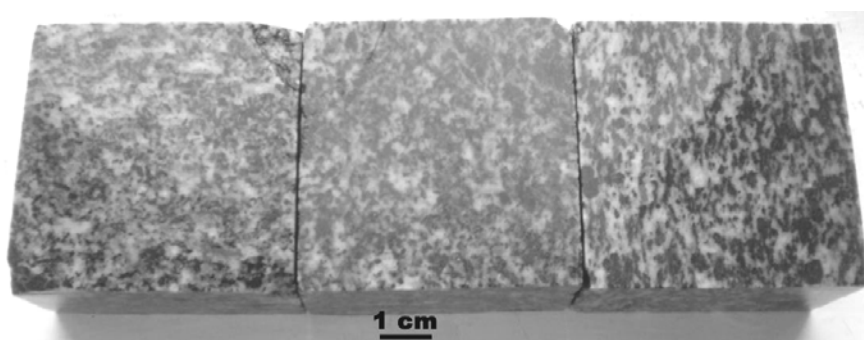
Granitoidne stene Željina nisu bile izložene intenzivnim postmagmatskim promenama pod uticajem pneumatolitskih i hidrotermalnih fluida. Okolni vulkaniti i serpentiniti su hidrotermalno promenjeni, ponegde i orudnjeni, pri čemu je hidrotermalnu aktivnost uzrokovao toplotni uticaj magme koja je dala željinski pluton. Na južnim padinama i u okolnim stenama plutona konstatovane su pojave hidrotermalnih mineralizacija gvožđa, olova, cinka sa manganom (Plana), arsenom i bakrom (Gokčanica) i dr.

Stena je slabo površinski izmenjena do dubine od oko 1 m. Blokovi stene su slabo površinski promenjeni duž oboda, a u centralnim delovima bloka je stena sveža.



### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Teren je najvećim delom pokriven zemljištem, livadskom i šumskom vegetacijom. Granitoidne stene Željina nisu perspektivne sa aspekta akumulacije radioaktivnih i rudnih elemenata, niti su bile izložene hidrotermalnim alteracijama, što uvećava njihovu potencijalnost sa aspekta AGK. Na površini terena je sloj zemljišta debljine 20-30 cm. Ispod ovog sloja je zona visine oko 1 m, u kojoj je stena ispucala na sitne komade poliedarskih formi. Komadi su dimenzija pretežno 5-20 cm. Ispod ove zone je granitoidna masa lučena u vidu poliedarskih blokova veličine pretežno 1-3 m, a na dubini od oko 10 m dimenzije blokova prelaze 10 m. Stenska masa je generalno sveža, jedra, čvrsta, i teško se lomi. Litaž, koji se manifestuje u vidu zona različitog izgleda koje se smenjuju u vidu traka, jasno je izražen (sl. 4.10-2,3,4). U jednoj zoni su zastupljena krupnija zrna hornblende (do (7x4) mm), a u drugoj sitnija (do (5x3) mm). Odnos svetlih minerala prema tamnim je 50:50 do 60:40 u prvoj zoni, a u drugoj 50:50 do 40:60. Između ove dve zone je prelaz postepen. Zbog izražene planparalelne teksture, sečenjem i obradom u pravcima normalno na ravan orijentacije listastih i izduženih sastojaka i paralelno sa njom, mogu se dobiti dva varijeteta AGK različitog izgleda. Povoljne osobine željinskog granitoida: zadovoljavajuća svežina, srednja krupnoća zrna, mestimično sasvim sitna, pravilno lučenje, mogućnost dobijanja krupnih blokova. Nepovoljne osobine: česte pegmatitske i aplitske žice, nehomogenost izgleda stenske mase (sl. 4.10-8), izražena planparalelna tekstura.



Slika 4.10-8: Izgled ravno sečene površine kamena.

Makroskopski, stena je nehomogenog izgleda, izgrađena od kvarca, feldspata, biotita, amfibola i epidota. Kvarc se javlja u vidu sitnih, ispucalih, anhedralnih zrna, veličine do 2-3 mm. Feldspati su beli, slabo prozračni, grade agregate zrna u kojima se granice pojedinačnih zrna makroskopski ne razaznaju. Ponegde se javljaju zrna K-feldspata

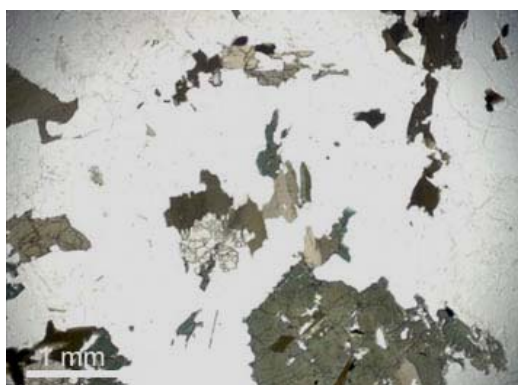
krupnija od ostalih. Prozračna su, anhedralna, beličasta sa roze nijansom. Amfiboli su crni, sa jasno izraženim pravcima cepljivosti duž kojih se zapaža neznatna oksidacija. Zrna su usmerena u približno istom pravcu, subhedralna, od vrlo sitnih do (15x7) mm, ali preovlađuju zrna veličine (2x4) mm. Zrna biotita se javljaju u vidu liski neravnih oboda, do (3x5) mm, najčešće prečnika 2-3 mm. Obično liske grade lokalna nagomilanja. Zrna epidota su prozračna, ispucala, svetlozelene boje, ispod 2 mm, prostorno vezana za zrna bojenih minerala. Zapažaju se anklave u čiji mineraloški sastav ulaze biotit, hornblenda, epidot, manje i feldspati. Izduženog su oblika (10x1,5) cm. Na ravno sečenim površinama primećuje se blago do jasno izražena planparalelna tekstura manifestovana kroz orijentaciju femskih minerala. Pri udaru čekića čuje se jasan i zvonak zvuk, stena se lomi nepravilno, a prelomne površine su grubo hrapave i oštih ivica. Stena se ne može parati čeličnom iglom, a na delovanje 5% HCl je rezistentna.

Mikroskopskim pregledom preparata stene je utvrđeno da je izgrađena od plagioklasa (andezina), kvarca, kalijjskih feldspata, biotita, hornblende, piroksena i epidota. Epidot je primarni mineral. Sporedni sastojci su sfen, ortit, magnetit, apatit, cirkon. Sekundarni minerali su sericit, hlorit i minerali glina. Kvarc se javlja u obliku izometričnih, prizmatičnih do alotriomorfnih zrna i čini oko 24% stene. Prisutan je uglavnom u međuprostoru drugih minerala, ponekad i u vidu prožilaka i masa, sa čestim pojavama mikropukotina (sl. 4.10-9,10, uz desnu ivicu). Andezin je hipidiomorfan, prizmatičnih, ređe nepravilnih oblika i veličine zrna od (0,2x0,5) do (2x3) mm. Zonarne je građe, sa čestim i tankim polisintetičkim bliznim lamelama. Relativno je svež, a ponegde se javlja slabija alteracija u minerale glina i sericit. Alkalni feldspati su predstavljeni ortoklasom, retko mikroklinom. Javljaju se u vidu okruglastih, retko alterisanih i često kataklaziranih zrna, veličine oko (0,5x1,0) mm. Monoklinični piroksen se javlja u vidu prizmatičnih do nepravilnih zrna različitih veličina. Hornblenda je redovno prisutna. Veličina kristala je neujednačena, do 10 mm. Često se javlja u nagomilanjima, u asocijaciji sa biotitom, sfenom i epidotom. Zastupljena je ispod 10%. Biotit je prisutan u obliku liski veličine obično ispod 1 mm, retko preko 5 mm. Obično čini 5-10%, retko i do 18% stene. Može biti iskrzanih ivica i zahvaćen hloritizacijom. Epidot se redovno javlja, u količinama do 3 % stene. Često simplektitski srasta sa drugim mineralima, posebno sa hornblendom. Apatit se javlja retko, u sitnim okruglastim zrnima.

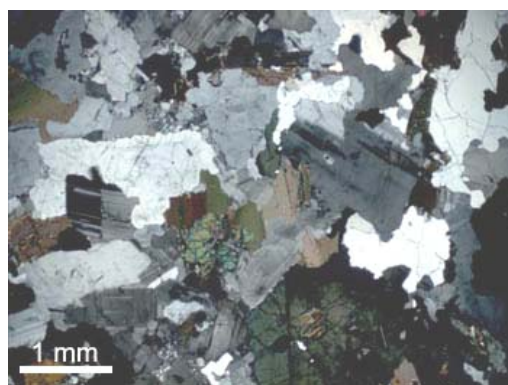
Tabela 4.10-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,11-0,71	0,29
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			133(II folijaciji)-205	189
u vodozasićenom stanju			124-175	145
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			80-189	145
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	8,83-12,30	11,00
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	10,48(II folijaciji)-21,18	15,62
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,680-2,735	2,701
Zapreminska masa bez šupljina		gcm <sup>3</sup>	2,747-2,760	2,752
Koeficijent zapreminske mase		-	-	0,983
Poroznost		%	-	1,7
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,589-0,644	0,620
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	7,56-8,05	7,88

Napomena: prikazani podaci potiču iz izveštaja o ispitivanju izvršenog 2010. godine.



Slika 4.10-9: Mikrofotografija preparata granodiorita pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.10-10: Mikrofotografija preparata granodiorita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao granodiorit hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne do planparalelne teksture.

Ocena kvaliteta kamena pokazala je sledeće (tabela 4.10-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je malo porozan. Upijanje vode je vrlo malo. Čvrstoća na pritisak je visoka u suvom stanju, a srednje visoka u vodozasićenom i nakon ciklusa mržnjenja i kravljenja. Prema otpornosti na habanje, kamen je tvrd. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Generalno nisu predisponirane elementima sklopa uprkos mestimičnom prisustvu planparalelne teksture. Jedno opitno telo je puklo duž skrivene naprsline a na površini pucanja drugog tela se nalazi krupna šlira sa povišenim udelom epidota.

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za oblaganje u enterijeru bez ograničenja, međutim, upotreba za oblaganje u eksterijeru je zbog nešto niže savojne čvrstoće za vertikalno oblaganje ograničena na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m), a za horizontalno na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj). Neophodno je napomenuti da su uzorci za ova laboratorijska ispitivanja uzeti sa površine terena i da su samim tim njihove fizičko-mehaničke karakteristike iskazane kroz laboratorijska ispitivanja lošije od realnih u dubljim delovima masiva.

### ***Potencijalnost plutona***

Željinski granitoid je pokazao zadovoljavajuću svežinu i jedrinu stenske mase, povoljnu strukturu i lučenje, uz mogućnost dobijanja krupnih blokova na dubini preko 10 m. Njegova nepovoljna svojstva sa aspekta AGK su česte pegmatitske žice i nehomogenost izgleda stenske mase (litaž) uz izraženu planparalelnu teksturu. Nepostojanje odgovarajuće putne infrastrukture i udaljenost od metropole su najverovatnije razlozi zašto je do sada stenska masa željinskog granitoida korišćena samo za potrebe lokalnog stanovništva.

### ***4.11. Magmatski kompleks Drenja***

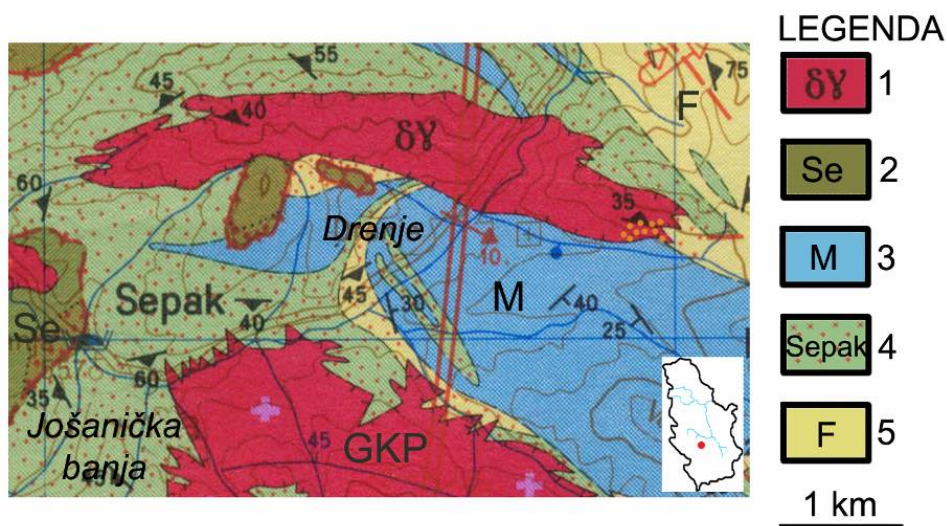
Drenjski granitoidni pluton se nalazi u južnoj Srbiji, oko 4 km SI od Jošaničke banje, severno od sela Drenje. Pluton izdanjuje u vidu sočiva izduženog u pravcu istok-zapad, na površini od oko 4 km<sup>2</sup>. Prikazan je na OGK 1:100 000, list Vrnjci (Urošević i dr., 1973a). Reljef terena je planinski, sa strmim uzvišenjima i duboko usečenim koritima rečica i potoka. Putna mreža je slabo razvijena – pored asfaltnog puta Jošanička banja-

Aleksandrovac duž Drenjske klisure, zastupljeni su samo lokalni, zemljani putevi. Duž Drenjske klisure teče reka Jošanica. Na ovom mestu je stenska masa zbog otvorenosti najpogodnija za izučavanje i eksploataciju.

Istraživanjem drenjskih magmatskih stena se bavio mali broj autora: Žujović, 1900, Pavlović, 1961, Vukašinović, 1973, 1978b, 2005, Ilić, 1976, Jovović i Danilović, 1995. Sadržaje radioaktivnih elemenata su dali Omaljev, 1988a, Nikolić, 1993, Popović, 1996.

### Geološka građa oblasti

Osnovu terena prema OGK Vrnjci čini "Centralnokopaonička" odnosno "paleozojska serija Goča, Željina i centralnog Kopaonika" – niskometamorfna serija srednjetrijaske starosti, izgrađena od sericitsko-hloritskih škriljaca, metapeščara, epidot-aktinolitskih škriljaca, metabazita, mermerisanih krečnjaka, mermera i kalkšista. Ove stene izdanjuju i na Goču i Željenu. Serpentinisani harburgiti, manje lerzoliti, duniti i pirokseniti, predstavljaju deo "Ibarskog ultramafitskog kompleksa". Iako su na OGK Vrnjci predstavljeni kao sveži, oni su serpentinisani u visokom stepenu. Granitoid je utisnut u "Centralnokopaoničku seriju", a delom i u serpentinite (sl. 4.11-1). Od kontaktno-metamorfnih stena oko intruzije su registrovani korniti, mikašisti sa granatom, epidotsko-amfibolitski i biotitski škriljci. Širina zone kontaktno-metamorfnih stena varira, najčešće iznosi do 10 m.



Slika 4.11-1: Geološka građa drenjskog plutona (prema Uroševiću i dr., 1973a i Pavloviću, 1961).

Legenda: 1.  $\delta\gamma$  - granodioriti (tačkice označavaju zone hidrotermalnih promena); 2. serpentiniti; 3. kalkšisti i mermeri; 4. hlorit-epidot-aktinolitski škriljci i metabaziti; 5. serija sericit-hloritskih škriljaca i metamorfisanih peščara; GKP - glavni kopaonički pluton; (3,4,5 - "Centralnokopaonička serija").

### Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa

U geotektonskom smislu, intruziv pripada podjedinici Vardarske zone – Kopaoničkom blok-teranu odnosno Eksternoj podzoni (Karamata, 1995; Dimitrijević, 1995a), i nizu granitoida Vardarske zone koji su vezani za tzv. centralni dubinski razlom "Vardarsko-šumadijske tektono-magmatske zone" (Vukašinović, 1973, 1978b, 2005). Magma je utisnuta u jezgro kopaoničko-željinskog antiklinorijuma pružanja pravcem sever-jug.

Zapaženi se sledeći sistemi pukotina: a) (2-8)/(45-50); b) (190-210)/(35-40); c) 145/82 stisnute pukotine, ponekad sadrže prevlake epidota, a na površinama su mestimično izraženi i tragovi slabijih kretanja; d) slabije izražene vertikalne pukotine, sa pružanjem u pravcu 90-270° i e) 86/70 ispunjene pegmatitskim žicama.

### Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop

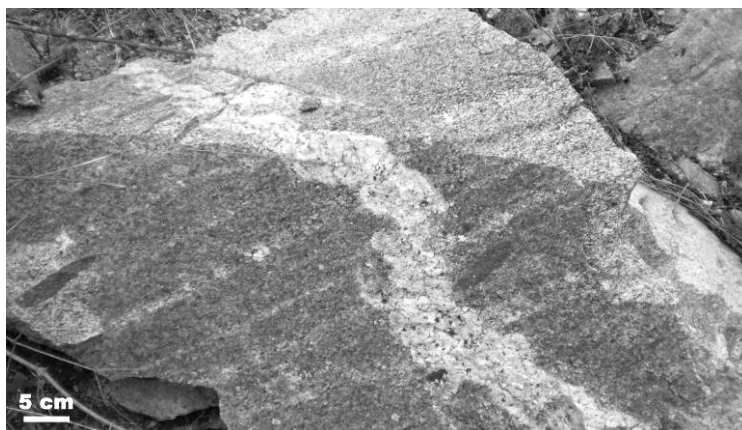
Drenjski granitoid je izgrađen pretežno od srednjeznog granodiorita. U obodnim zonama se zapažaju i manje pojave stena nastalih asimilacijom okolnih amfibolskih škriljaca, koje odgovaraju kvarcdioritima tamnosive boje, sa jasno izraženom orijentacijom mineralnih zrna. Prelaz između asimilaciono promenjenog i normalnog granodiorita je postepen. Rezultati hemijske analize granodiorita su prikazani u tabeli 4.11-1. Vrednosti dobijenih apsolutnih starosti drenjskog granitoida variraju u uzanom intervalu 31,7-31,2 Ma (Schefer et al., 2010)<sup>apendiks4-11</sup>. Prema Cvetkoviću i dr. (2000a), granitoid Drenja pripada kasnopaleogeno-ranoneogenoj granitoidnoj formaciji magmata dinaridskog granitoidnog pojasa (B-a).

Tabela 4.11-1: rezultati hemijske analize granodiorita Drenja (Pavlović, 1961).

komponenta	udeo (%)
SiO <sub>2</sub>	61,66
TiO <sub>2</sub>	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,80
FeO	2,63
MnO	0,10
MgO	1,99
CaO	5,72
Na <sub>2</sub> O	2,63
K <sub>2</sub> O	3,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13
H <sub>2</sub> O <sup>-110</sup>	0,09
H <sub>2</sub> O <sup>+110</sup>	0,66
zbir	99,99 %

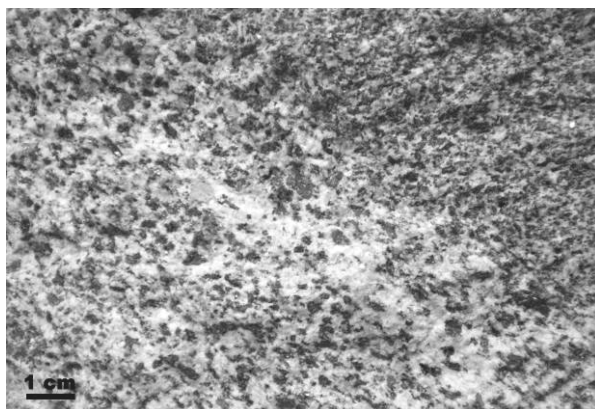
U drenjskom granitoidu zrnaste strukture, sadržaj urana varira od 2,80 do 6,35 ppm, dok je srednji sadržaj 4,51 ppm U. Sadržaj torijuma varira od 7,70 do 20,50 ppm, dok je srednji sadržaj 15,08 ppm Th. U granitoidu porfiroidne strukture, dobijeni su sadržaji urana 7,0 i 8,9 ppm, a torijuma 29,1 i 32,7 ppm. Srednji sadržaj urana iznosi 7,95 ppm, a torijuma 30,9 ppm.

Anklave zaobljenih do subuglastih formi su prisutne u čitavom plutonu, a naročito su krupne u obodnom delu (do 50 cm), a imaju uglavnom izdužen oblik (sl. 4.11-2).

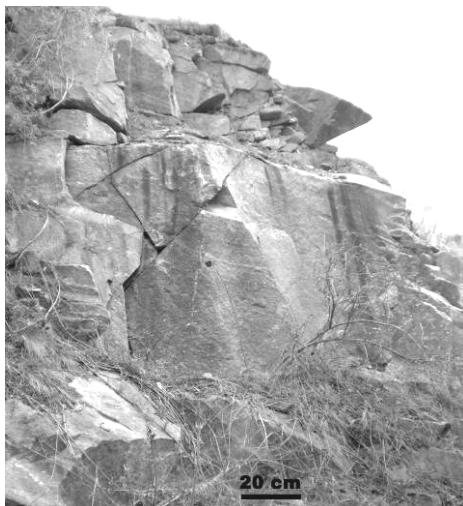


Slika 4.11-2: Izdužene anklave, žice, litaž i planparalelna tekstura doprinose nehomogenom izgledu stene.

Nešto su mafičnijeg sastava od okolne stene – kvarcdioritskog. Anklave su delimično ili potpuno resorbovane granitoidnom magmom. Litaž je jasno izražen (sl. 4.11-3). Struktura granodiorita je hipidiomorfno zrnasta, ređe porfiroidna. Tekstura je planparalelna, obeležena planarnom orijentacijom biotita i prizmatičnih kristala hornblende, naročito na SZ obodu. Uz obod intruzije je lučenje stene poliedarsko i pločasto (sl. 4.11-4). Sa povećanjem dubine, blokovi stenske mase su sve krupniji (sl. 4.11-5).



Slika 4.11-3: Litaž.



Slika 4.11-4: Pločasto do poliedarsko lučenje u obodnom delu plutona.



Slika 4.11-5: Krupni poliedarski blokovi u dubini.

Žične stene: od ašistnih stena su zastupljeni granodioritporfiriti, a od diašistnih pegmatiti i apliti. Javljaju se i kvarc-turmalinske žice. Granodioritporfiriti se javljaju u vidu manjih proboja i žica, utisnutih konkordantno u okolne paleozojske škriljce. Debljina žica je 0,1-1 m. Struktura je holokristalasto porfirski, sa mikrogranitskom osnovnom masom. Prema mineraloškom sastavu se ne razlikuju od dubinskog ekvivalenta. Pegmatiti grade žice sa EP 75/80, debljine 5-25 cm, rede i mase nepravilnog oblika. Mineraloški sastav: ortoklas, mikroklin, kvarc, muskovit, ređe biotit i epidot. Pravi apliti su retki. Zapažene su retke žice debljine 2-10 cm, pružanja pravcem SZ-JI. Kvarc-turmalinske žice su debljine 6-7 cm. Centralni deo žice je od masivnog kvarca, sa lokalnim koncentracijama igličastih turmalina. Duž salbandi se javlja potpuno oksidisali metalični mineral.

#### **Postmagnatske promene stenske mase**

Hidrotermalne promene nisu česte u drenjskom granitoidu, i stenska masa je pretežno sveža. Najintenzivnije su izražene alteracije na JI obodu, gde je proces alteracije zahvatio sve sastojke osim kvarca: biotit i hornblenda su potpuno transformisani u hlorit i epidot, plagioklasi su skoro potpuno sericitisani, a alkalni feldspati su neznatno zahvaćeni alteracijom.

Površinsko raspadanje je slabo izraženo u drenjskom plutonu. Zapaženo je do dubine 0,2-1 m, sa slabo izraženim grusiranjem do dubine od 50 cm. U površinskim delovima



se zapaža promenljiv stepen oksidacije bojenih minerala. Hornblenda mestimično pokazuje i slabo izražen gubitak sjaja. Biotit delimično gubi sjaj i dobija braon nijansu.

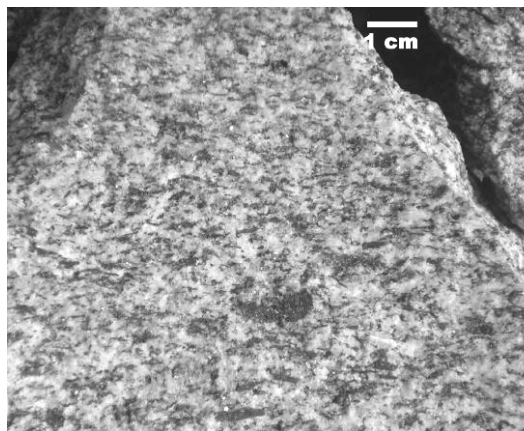
### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Praktično celom dužinom Drenjske klisure je vršeno vađenje kamena usled prirodne otvorenosti stenske mase, i ovaj kamenolom se obično naziva Klisura. Ostatak stenske mase je pokriven zemljištem, listopadnom šumom i naseljima. Stena je po izgledu vrlo bliska željinskom granitoidu. U uzorcima iz obodnih delova stenske mase se zapaža jasna orijentacija bojenih minerala. Litaž je jasno izražen bliže obodu intruzije, gde se uočavaju razlike u izgledu stene na rastojanjima od nekoliko cm do nekoliko desetina cm. Manifestuje se u naizmeničnoj smeni svetlijih i tamnijih zona (sl. 4.11-3). Svetlije zone sadrže manji udeo bojenih minerala. U centralnim delovima intruzije litaž je slabije izražen. Stena izgleda homogeno u poređenju sa obodnim delom intruzije, osim što su anklave česte, a javljaju se i kvarcno-turmalinske i pegmatitske žice. Anklave su pretežno izdužene, dimenzija (30x10) cm.

Na površini terena je sloj zemljišta debljine 5-20 cm. Do dubine od 1 m, stenska masa je izdeljena u manje komade nepravilnih oblika (5-50 cm), i površinski izmenjena. Na dubini od nekoliko metara su dimenzije blokova 1,5-2 m, i sa povećanjem dubine su sve krupniji (sl. 4.11-5). Prirodna izdeljenost stenske mase na krupne blokove olakšava eksploataciju. Blokovi su nepravilnog do paralelopipednog oblika (sl. 4.11-6). Planparalelna tekstura je jasno izražena kroz orijentaciju bojenih minerala. Stenska masa je sveža, kompaktna, i teško se lomi.



Slika 4.11-6: Poliedarski blok stenske mase (Klisura).



Slika 4.11-7: Planparalelna tekstura.

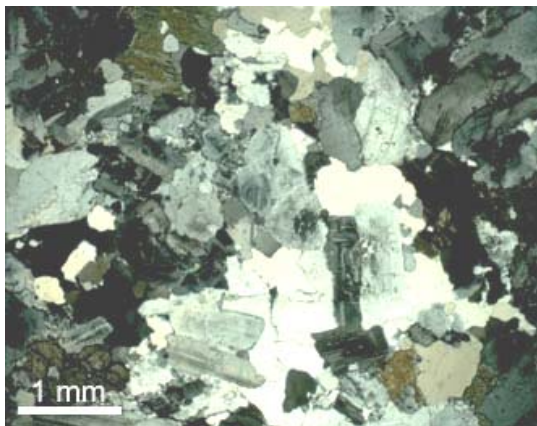
Kao AGK, drenjski granitoid ima sledeća povoljna svojstva: svežina, povoljno lučenje u dubljim delovima stenske mase i mogućnost vađenja krupnih blokova. Nepovoljne osobine stenske mase su: heterogen izgled stene – litaž, naročito u obodnim delovima intruzije, izražena planparalelna tekstura, prisustvo anklava, aplitsko-pegmatitskih, feldspatskih, kvarcno-turmalinskih i drugih žica. Planparalelna tekstura je jasno izražena u obodnim delovima plutona (sl. 4.11-7), a u centralnim delovima slabije.

Od drenjskog granodiorita su izgrađeni: ograda Građevinskog fakulteta u Beogradu i ulaz u stanicu podzemne železnice; spomenik kosovskim junacima u Kruševcu (Jovović i Danilović, 1995).

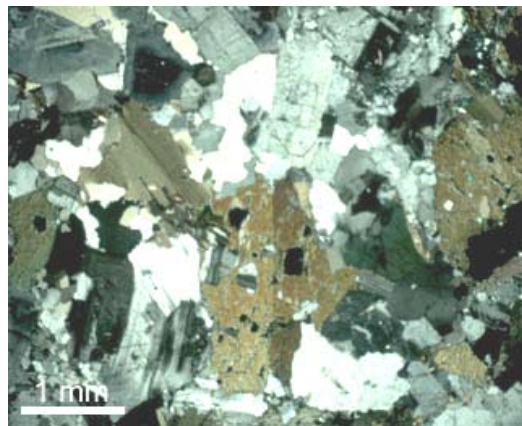
Makroskopskim pregledom stene konstatovano je prisustvo kvarca, feldspata, hornblende, biotita, epidota i sfena. Na ravno sečenim površinama primećuje se blago izražena orijentacija femskih minerala. Salski minerali su predstavljeni bezbojnim, belim i bledo-sivim zrnima kvarca i feldspata, veličine oko (2x3) mm. Često grade manja nagomilanja od po par individua, veličine do 7-8 mm. Zrna hornblende su subhedralna, nepravilnih ili pritkastih formi, do (15x7) mm. Mogu biti ispucala duž pravaca cepljivosti. Biotit gradi agregate u vidu naslaganih liski prečnika oko 3-4 mm. Zrna su anhedralna, crne boje, sveža. Jasno je izražena planarna orijentacija zrna. Zrna epidota su anhedralna, veličine 1-2 mm, bledo zelene boje. Prostorno su vezana za bojene minerale. Zrna sfena su euhedralna do anhedralna, veličine do 2-3 mm, medeno-žute boje i staklastog sjaja. Anklave su izgrađene pretežno od bojjenih minerala, uz mali udeo sfena i praškastog epidota. Zapažena je šlira (ili poluasimilirana anklava) sferične forme, prečnika oko 4,5 cm, sa postepenim prelazom ka osnovnoj steni, izgrađena od hornblende, biotita, sfena i epidota. Prelom stene je nepravilan, sa oštrim ivicama i grubo hrapavim površinama. U kontaktu sa hladnom 5% HCl, stena ne pokazuje reakciju. Ne može se parati čeličnom iglom.

Mikroskopskim pregledom preparata stene je utvrđeno da je izgrađena od plagioklasa (37-43%), kvarca (15-24,2%), K-feldspata (9-10%), biotita (14,7-18%) i hornblende (5,3-17%). Sporedni sastojci su sfen, apatit, cirkon, magnetit, epidot, piroksen (augit). Feldspati su predstavljeni zrnima plagioklasa (andezina), ortoklasa i mikroklina, hipidiomorfni formi, redovno zahvaćenih slabijom sericitizacijom. Plagioklasi su uglavnom sveži, neznatno promenjeni u sericit i minerale glina. Bližnjeni su polisintetički i lamelarno, sa čestom pojavom zrna zonarne građe. Zrna su nepravilnog

oblika ili skoro idiomorfna, veličine (0,4x0,3) do (4,2x1,3) mm. Zapaženo je slabo izdvajanje epidota po plagioklasu (sl. 4.11-8, centralni deo).



Slika 4.11-8: Mikrofotografija preparata granodiorita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.



Slika 4.11-9: Ibid.

Kрупnija zrna ortoklasa, često su intenzivno kataklazirana. Mikroclin gradi prizmatične kristale sa rešetkastom strukturom, veličine (0,6x0,5) do (4x3,7) mm. Odnos prema drugim mineralima pokazuje da je mikroclin najmlađi sastojak stene. Ortoklas je sitniji od mikroklina, retko pravilnog oblika. Pokazuje slabe tragove sericitizacije i kaolinizacije. Kvarc se javlja u vidu ispucalih, ksenomorfnih zrna, različitih veličina. Kristalisao je istovremeno sa alkalnim feldspatima. Zrna hornblende su delimično pravilnog oblika, dimenzija (0,7x0,5) do (3,7x2,5) mm. Često su hloritisana, jakog polihroizma, udružena sa epidotom, ređe piroksenom. Biotit je tabličast, resorbovanih ivica i duž ravni cepljivosti zahvaćen hloritizacijom u različitom stepenu. Usled dejstva pritiska, često je mehanički deformisan. Piroksen se javlja vrlo retko, u nepravilnim zrnima ili kao uklopak u hornblendi. Kratkoprizmatična zrna imaju jasnu cepljivost. Metalni minerali se javljaju kao uklopoci u bojanim mineralima (sl. 4.11-9). Apatit se javlja u okruglastim zrnima veličine ispod 0,05 mm. Lokalno, mineralne komponente imaju tragove slabijih mehaničkih deformacija. Sekundarni minerali su hlorit, sericit, epidot, kalcit i magnetit.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao granodiorit hipidiomorfno zrnaste strukture i masivne teksture.

Ocena kvaliteta kamena pokazala je sledeće (tabela 4.11-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je kompaktn. Upijanje vode je vrlo malo.

Čvrstoća na pritisak je visoka u suvom i vodozasićenom stanju, a srednje visoka nakon ciklusa mržnjenja i kravljenja. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Površine pucanja opitnih tela su neravne i hrapave. Nisu predisponirane elementima sklopa uprkos prisustvu slabo izražene planparalelne teksture.

Tabela 4.11-2: Rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	-	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,22-0,43	0,31
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	118-229	158
u vodozasićenom stanju			105-221	154
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			105-218	145
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	7,88-15,02	9,79
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	11,00-24,10	17,67
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,690-2,773	2,710
Zapreminska masa bez šupljina		gcm <sup>3</sup>	2,720-2,770	2,737
Koeficijent zapreminske mase		-	0,989-0,993	0,990
Poroznost		%	0,7-1,1	1,0
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,614-0,681	0,656
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	7,49-8,73	8,21

Napomena: prikazani podaci potiču iz sedam izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1969. i 1986. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Kvalitetniji delovi stenske mase se ne mogu razdvojiti od manje kvalitetnih na osnovu makroskopskog izgleda.

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja uzoraka, ovaj kamen se može koristiti kao AGK za izradu ploča za horizontalno i vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, međutim, zbog nešto nižih vrednosti pritisne i savojne čvrstoće, upotreba za horizontalno oblaganje u eksterijeru je ograničena na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), a za vertikalno oblaganje na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m). Neophodno je napomenuti da su uzorci uzeti sa površine,

usled čega imaju pukotine, naprsline, i površinski su izmenjeni u izvesnom stepenu, što je nepovoljno uticalo na rezultate laboratorijskih ispitivanja.

### ***Potencijalnost plutona***

Stenska masa drenjskog granitoida ima povoljnu svežinu i lučenje u dubljim delovima stenske mase, kao i mogućnost vađenja krupnih blokova. Nepovoljna svojstva stenske mase sa aspekta AGK su pre svega heterogen izgled stene – litaž, naročito u obodnim delovima intruzije, zatim izražena planparalelna tekstura, prisustvo anklava, aplitsko-pegmatitskih i drugih žica. Na ugrađenim mestima u eksterijeru ovaj kamen je pokazao zadovoljavajuću trajnost.

### ***4.12. Vulkaniti Stolova***

Vulkanite Stolova čini nekoliko manjih masa dacito-andezita, koji se javljaju duž reke Ribnice, počevši od Kamenice na severu, do Brezanske reke na jugu. Ove mase izlivnih stena predstavljaju "izdanke" plutona utisnutog u serpentinite Stolova. Oblast Stolova se nalazi oko 130 km južno od Beograda, a oko 12 km JI od Kraljeva. Okolni teren je nadmorske visine oko 600 m. Svaka od vulkanskih masa ima površinu od oko 1 km<sup>2</sup>. Na međusobnim su rastojanjima 1-3 km, razdvojene na površini serpentinitima kroz koje se vršilo utiskivanje. Od rečnih tokova, zastupljene su Ribnica i Brezanska reka, kao i manji potoci koji se u njih ulivaju. Putna mreža u oblasti je slabo razvijena. Pored kvalitetnog ali uzanog asfaltnog puta Kraljevo-Brezna-Goč, zastupljeni su samo lokalni, zemljani putevi. Geološka građa oblasti je prikazana na OGK 1:100 000 list Vrnjci (Urošević i dr., 1973a).

Osim autora Tumača OGK list Vrnjci, podatke o geološkim istraživanjima ovih magmatskih kompleksa dao je vrlo mali broj autora: Rijavec, 1963, Urošević, 1972, Mičić i dr., 1972, Đoković i dr., 1995a.

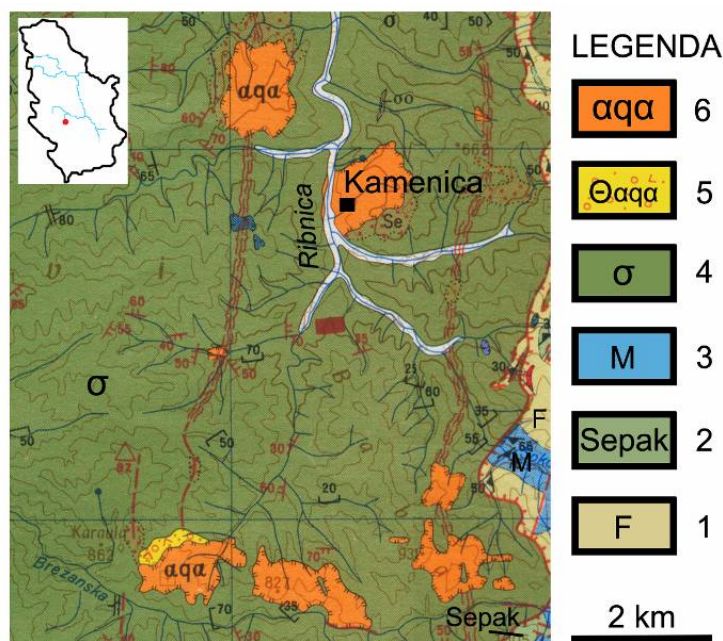
### **Geološka građa oblasti**

Dajkovi dacito-andezita Stolova su sa svih strana ograničeni serpentinitima u koje su utisnuti (sl. 4.12-1). Ovi serpentiniti odnosno serpentinisani harzburgiti, manje lerzolititi, duniti i pirokseniti, predstavljaju deo "Ibarskog ultramafitskog kompleksa". Na istoku se javljaju metamorfne stene koje pripadaju "Centralnokopaoničkoj seriji" odnosno

"metamorfnom kompleksu Goča, Željina i centralnog Kopaonika". Ovaj kompleks je izgrađen od sericitsko-hloritskih škriljaca, metapeščara, epidot-aktinolitskih škriljaca, metabazita, mermerisanih krečnjaka, mermera i kalkšista, srednjetrijaske starosti. Na JI se nalazi granitoidni kompleks Željina.

### Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa

Vulkaniti Stolova se nalaze u okviru Kopaoničkog bloka Eksterne vardarske subzone (Dimitrijević, 1995a), odnosno pripadaju zapadnom pojasu Vardarske zone (Robertson et al., 2009). Đoković i dr. (1995a) opisuju prisustvo kompozitne (magmatogeno-tektonske) morfostrukture Stolova (sl. 2-3a) prečnika oko 15 km, koja je nastala usled utiskivanja plutona u škriljce i serpentinite. Na osnovu regionalnih gravimetrijskih i geomagnetnih istraživanja, zaključeno je da je pluton nešto bazičniji nego plutoni Kopaonika i Željina. Postgenetska tektonska izdizanja ove morfostrukture nisu bila intenzivna, tako da erozija još uvek nije otkrila pluton. Vulkaniti su pretežno utisnuti duž razlomnih zona približno paralelnih sa Plansko-badanjskim razlomom između metamorfne serije Željina i serpentinita Stolova, pružanja pravcem sever-jug (rased Ribnice). Ovim pravcem se pružaju i brojni manji rasedi. Duž Brezanske reke, takođe se pruža razlom, po pravcu istok-zapad.



Slika 4.12-1: Geološka građa terena u oblasti vulkanita Stolova (prema Uroševiću i dr., 1973a).  
 Legenda: 1. serija sericit-hloritskih škriljaca i metamorfisanih peščara; 2. hlorit-epidot-aktinolitski škriljci i metabaziti; 3. kalkšisti i mermeri; 4. harburgiti (Se - serpentinisani; sa tačkicama - hidrotermalno promenjeni); 5. vulkanoklastiti dacito-andezita; 6. dacito-andeziti.

Uočeni su sistemi pukotina sa elementima pada: a) (192-197)/(62-80) pukotine lučenja, koje razdvajaju ploče; b) (290-301)/(55-70) u okviru ploča formiraju manje blokove; c) 184/50 u okviru malih blokova formiraju još manje komade. Sve ove pukotine su stisnute, i duž njih se javljaju tanke skrame limonita; d) vertikalne pukotine, sa pružanjem u pravcu 284-104°.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop**

Tercijarni vulkaniti Stolova su predstavljeni dacito-andezitima, koji su u praksi poznati kao "propilitisani andeziti Kamenice" (Rijavec, 1963). Andezit preovlađuje, a delovi u kojima je zastupljen i kvarc, predstavljaju dacite. Zbog pokrivenosti terena, proučavanje geološke građe ovih vulkanita je otežano. U mineraloški sastav ulaze plagioklas, amfibol, biotit, ređe kvarc kao primarni minerali, i kalcit, minerali glina, epidot, hlorit, sericit, opal, magnetit i pirit kao sekundarni minerali. Struktura stene je holokristalasto porfiriska. Tekstura je promenljiva – u nekim delovima stenske mase je masivna, dok je u nekim delovima jasno izražena planparalelna. Lučenje vulkanita je pločasto i kuglasto u obodnim delovima magmatskog tela, da bi ka unutrašnjim delovima tela prešlo u poliedarsko (sl. 4.12-2,3). Ne postoje podaci o sadržaju radioaktivnih elemenata u vulkanitima Stolova.



Slika 4.12-2: Pločasto do nepravilno lučenje na obodu dajka (Kamenica).



Slika 4.12-3: Nepravilno lučenje (dolina Brezanske reke).

Magmatska aktivnost tokom koje su formirani vulkaniti Stolova, najverovatnije je genetski povezana sa magmatskom aktivnošću koja je dala granitoide Željina i/ili Kopaonika, kao i prostrane vulkanitske mase južno od Ušća, mada po izgledu ovi

vulkaniti najviše podsećaju na vulkanite južnih ogranaka Kotlenika (Ratina). Urošević i dr. (1973a) smatraju da je vulkanska aktivnost u ovoj oblasti počela u oligo-miocenu a završila se krajem donjeg miocena. Geohronološke analize andezita Stolova nisu vršene. Hemijski sastav vulkanita Stolova je prikazan u tabeli 4.12-1. Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), vulkaniti Stolova najverovatnije pripadaju formaciji kasnopaleogeno-neogenih vulkanita centralne ose Balkanskog poluostrva (grupa C), podgrupi srednje do visoko kalijskih kalkoalkalnih stena (C-a).

Tabela 4.12-1: rezultati hemijskih analiza vulkanita Stolova.

komponenta	udeo (%)
SiO <sub>2</sub>	57,96
TiO <sub>2</sub>	0,93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9,76
MnO	0,24
MgO	1,50
CaO	8,72
Na <sub>2</sub> O	1,61
K <sub>2</sub> O	3,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17
gubitak žarenjem	2,56
zbir	99,49 %

\*-ukupno Fe izraženo kao Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Postmagmatske promene stenske mase

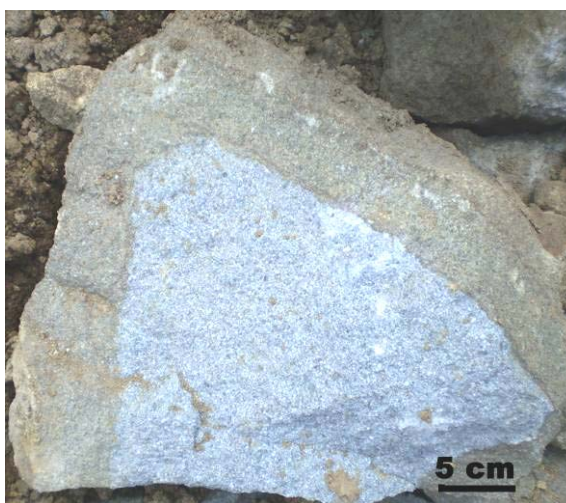
Vulkaniti su zahvaćeni autometamornim promenama – propilitizacijom, i hidrotermalnim alteracijama (silifikacija, sericitizacija, kaolinizacija, zeolitizacija, karbonatizacija, albitizacija, hloritizacija, epidotizacija i dr.). Andezin je delom ili potpuno zamenjen kalcitom, mineralima glina, ređe epidotom i hloritom. Amfiboli i biotit su opacitirani, transformisani u hlorit, karbonat, i ređe sericit. U izbeljenim zonama, andezin je intenzivno alterisan u kalcit, kaolin i opal, a bojeni sastojci su potpuno hloritisani ili prevedeni u agregat magnetita, kalcita i hlorita. Stena sadrži i naknadno unete komponente – kvarc i pirit. Ponegde, izbeljeni andezit je pored toga prožet i limonitom i zadobija žućkastu boju. Verovatno usled nemogućnosti otpuštanja isparljivih komponenata u završnim fazama konsolidacije magme kroz serpentinite kao ekranizujuću sredinu je u vulkanitima došlo do autometamorfizma (propilitizacije). Uzrok hidrotermalnih alteracija može biti neki od mlađih plutona (aeromagnetometrijski



indicirani prekriveni tercijski magmatiti u predelu Goča – Vukašinović, 2005; Stolova – Đoković i dr., 1995a; ili željinski – Urošević i dr., 1973a), čije je hlađenje trajalo duže nego hlađenje ovih dajkova utisnutih bliže površini terena.

Delovi stenske mase koji su hidotermalno promenjeni a nisu silifikovani, podložniji su površinskom raspadanju. Uticaj atmosferilija je intenzivniji duž pukotina kao granica malih blokova i ploča. U njihovim centralnim delovima je stenska masa svežija, dok je duž oboda blokova, duž ovih pukotina oksidacija napredovala do različitih dubina u blok, najčešće 5-10 cm (sl. 4.12-4). Minerali u delovima stenske mase u vidu ploča manje debljine od 20 cm su potpuno oksidisali.

Slika 4.12-4: Oksidacija duž oboda prirodnih blokova i komada stene (Kamenica).



#### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Zbog značajne pokrivenosti terena, detaljnije površinsko proučavanje stenske mase je otežano ili i sasvim nemoguće. Kamenolom Kamenica je dugi niz godina (otvoren je 1928. godine) eksploatisan radi dobijanja sitne kocke. Kamenički andezit je upotrebljen i za oblaganje centralnih trgova u Kraljevu. Pri tome su troškovi sečenja i obrade bili povećani zbog silifikovanosti stene (usmeno saopštenje, V. Pajković, 2010). Danas se ovaj propilitisani andezit koristi za proizvodnju agregata za putogradnju.

Zbog pojavljivanja u vidu malih vulkanskih masa (dajkova), intenzivne ispucalosti, hidrotermalne promenjenosti i površinske raspadnutosti, ovi vulkaniti nisu interesantni sa aspekta AGK, iako je u pojedinim zonama u masama koje se javljaju duž Brezanske reke njihova dekorativnost visoka (zelena boja sa plavom nijansom), a fizičko-mehanička svojstva svežijih delova stenske mase Kamenice su dobra. Preovlađujuća boja stene je siva sa zelenkastom nijansom promenljivog intenziteta. Moguće je da

postoje krupniji prirodni blokovi stene na većim dubinama, ali van područja u kojem je za eksploataciju kamena korišćeno masovno miniranje.

### *Kamenica*

Terenska opažanja su pokazala da je na površini prisutan zemljasti pokrivač debljine oko 50 cm, na kojem je razvijena listopadna šuma. Ispod njega je zona intenzivno raspadnute stene, visine 1-2 m. U nižim delovima profila se zapaža da je stenska masa intenzivno ispucala, izdeljena na sitne blokove (5-50 cm, vrlo retko preko 1 m; sl. 4.12-5) nepravilnih oblika, što je verovatno uzrokovano miniranjem. Na otkrivenom profilu nema indikacija da se dimenzije blokova povećavaju sa dubinom. Boja andezita je promenljiva. Može biti tamnosiva do crna, siva do sivo-zelena, ili je izbeljen, u zavisnosti od stepena i vrste alteracije. Stena je neravnomerno propilitisana, kaolinisana i kalcitisana. Lučenje stene je pločasto u obodnim delovima vulkanitske mase, a u centralnim nepravilno (poliedarsko), pri čemu se formiraju pretežno sitni komadi. Najkrupniji blok ima dimenzije (3,5x2x1,5) m, ali ovako krupni blokovi su vrlo retki. Ploče u obodnim delovima vulkanitske mase su strme, debljine od nekoliko do 50 cm. U obodnom delu vulkanitske mase, zapaža se i kuglasto lučenje. Kugle su nepravilnih do sferičnih oblika, prečnika 10-50 cm. Uklopci su prisutni, mada relativno retko. Preovlađuju uklopci nepravilnih oblika, uglasti, tamnosive do crne boje, vidljivih dimenzija najčešće do (3x1,5) cm, a ima i krupnijih.



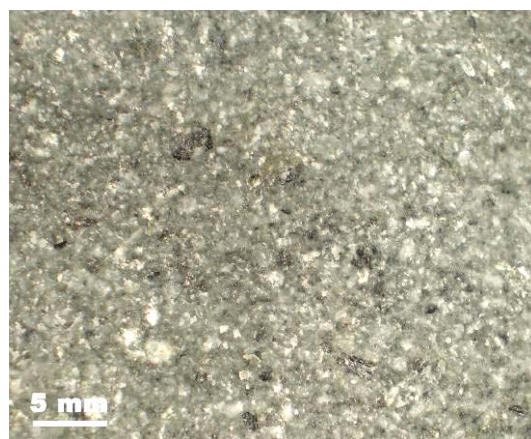
Slika 4.12-5: Nepravilni oblici prirodnih i miniranih blokova stenske mase (Kamenica).

Zapažaju se jasno vidljive razlike u izgledu stenske mase u različitim delovima vulkanitske mase. U obodnim delovima mase je stena tamnija (verovatno zbog uticaja

okolnih serpentinita), a u centralnom delu profila je svetlija, sa makroskopski vidljivim fenokristalima feldspata (sl. 4.12-6,7). U različitim delovima vulkanitske mase preovlađuju različiti fenokristali. U sitnozrnoj osnovnoj masi se najčešće zapažaju fenokristali hornblende dužine do 7 mm. Na rastojanjima od po nekoliko centimetara se smenjuju zone sa različitim udelom svetlih i tamnih minerala, obično sa promenljivim udelom belih zrna feldspata, što uzrokuje jasne razlike u vizuelnom izgledu pojedinih zona stenske mase. Orijehtacija najkrupnijih zrna hornblende se jasno zapaža.



Slika 4.12-6: Tamniji andezit (Kamenica)



Slika 4.12-7: Svetliji andezit (Kamenica).

Ova lokalnost nije perspektivna sa aspekta AGK iz više razloga: stenska masa je intenzivno tektonizirana i u njoj preovlađuju sitni komadi i blokovi ispod 1 m, nepravilnih oblika; stena je hidrotermalno promenjena – silifikovana (što otežava i poskupljuje obradu), propilitisana i kalcitisana (što utiče na trajnost kamena); obodi blokova i komada su promenjeni pod uticajem atmosferilija (što utiče na iskorišćenje i fizičko-mehanička svojstva) i stena je kolorisana limonitom; stenska masa je izrazito heterogena po izgledu (i udelu pojedinih sastojaka), pri čemu se varijeteti po izgledu smenjuju na malim rastojanjima. Ovo otežava dobijanje blokova, odnosno ploča homogenog izgleda, što kasnije utiče na izgled obloženih površina; vulkanitska masa je male površine, što utiče na iskorišćenje. Pored navedenog, eksploatacija tehničkog kamena u ovom kamenolomu se vrši miniranjem, što trajno onemogućava dobijanje monolita potrebnih dimenzija za AGK.

Ocena kvaliteta kamena prema utvrđenim svojstvima (tabela 4.12-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je umereno porozan. Upijanje vode je malo. Čvrstoća na pritisak je visoka. Prema otpornosti na habanje,

kamen je tvrd. Veći deo opitnih tela je pokazao predisponiranje ravni pucanja duž prisutnih pukotina i naprslina. U ovom slučaju, površine pucanja su neravne, ali delimično glatke, dok su kod opitnih tela kod kojih ravni pucanja nisu predisponirane prisustvom pukotina i naprslina neravne i hrapave.

Tabela 4.12-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	-	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	%	gubitak mase 0-22,14 %	gubitak mase 2,16 %
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,17-3,36	0,86
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			68-312	185
u vodozasićenom stanju			61-303	168
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			92-279	177
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	7,04-32,04	12,07
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	19,00-36,41	23,57
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,520-2,650	2,591
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,601-2,720	2,676
Koeficijent zapreminske mase		-	0,933-0,992	0,968
Poroznost		%	0,8-6,7	3,2
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,536-0,602	0,574
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	7,150-7,520	7,350

Napomena: prikazani podaci potiču iz trinaest izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1968. i 2004. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Kvalitetniji delovi stenske mase se ne mogu razdvojiti od manje kvalitetnih na osnovu makroskopskog izgleda. Laboratorijska ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava različitih delova stenske mase su pokazala da tamniji varijeteti stenske mase imaju bolja svojstva. Uzorci su poreklom sa različitih dubina vulkanitskog tela (0-90 m dubine), i nije primećeno da su uzorci sa veće dubine kvalitetniji.

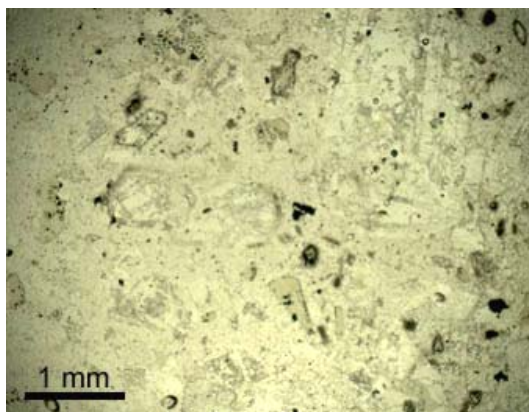
Pri laboratorijskom makroskopskom pregledu uzoraka se primećuje da postoje tamniji i svetliji varijeteti stene. U osnovnoj masi svetlijih uzoraka, sivkasto-zelenkaste boje, zapažaju se fenokristali feldspata (sitni, beli, do 3 mm; izometrična, ređe prtkasta zrna) i hornblende (tamnozeleno, prtkasta zrna, do (14x4) mm). Na površini uzorka se opaža ispadanje delova zrna hornblende, i na tim mestima ostaju šupljine. Delovi prirodnih blokova na obodu su paralelno ivicama kolorisani limonitom. Bojeni minerali u ovim

delovima su potpuno oksidisali. Ka centralnim delovima komada i blokova intenzitet oksidacije opada, i limonitizacija je zahvatila samo pojedinačna zrna. Prisutne su žice belih minerala koji ne reaguju sa HCl.

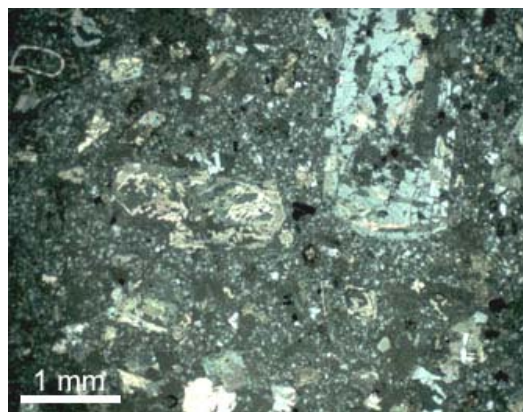
U tamnijim uzorcima, u sivo-zelenkastoj osnovnoj masi se zapažaju sitni fenokristali feldspata, najčešće ispod 1 mm i izometričnih oblika, a ređe prtkasti, dužine do 2-3 mm. Hornblenda se ređe zapaža. Biotit se vrlo retko javlja, u vidu šestougaoih liski, svež. U obodnim delovima komada se javlja zaglinjavanje feldspata i limonitizacija bojenih minerala. Anklave su sitnozrne, veličine do 2 cm, nepravilnih oblika, tamnosive do crne.

Pri mikroskopskom pregledu preparata stene, u potpuno kristalikalnoj sitnozornoj osnovnoj masi se zapažaju fenokristali plagioklasa (andezina) i bojenih minerala. Najkrupniji fenokristali su veličine nekoliko milimetara. Fenokristali su stvarani u dve generacije. U manje alterisanim delovima stenske mase, fenokristali plagioklasa su idiomorfni forme, izrazito lamelarne ili zonarne građe, ređe prtkasti ili bližnjani, sveži, bez većih tragova alteracija. U većini zrna, centralni delovi zrna su intenzivno izmenjeni – sericitisani. I plagioklas u osnovnoj masi je alterisan (sl. 4.12-8,9). Zrna su veličine od (0,05x0,1) do (0,2x0,4) mm. Od bojenih minerala su zastupljeni hornblenda, biotit i relikti bojenih minerala delimično ili potpuno zamenjenih hloritom, kalcitom i magnetitom. Hornblenda preovlađuje među bojenim mineralima. Gradi sitna, korodovana, izmenjena zrna, uglavnom prtkaste forme. Biotit se javlja retko, u iskrzanim liskama nepravilnih forme. Uglavnom je transformisan u hlorit i metalični mineral. Osnovna masa je mikrokristalasta ili vrlo sitnozrna, i izgrađena od istih minerala koji su prisutni kao fenokristali. Zrna metaličnog minerala se javljaju kao pojedinačna (sl. 4.12-8,9, centralni deo preparata) ili u vidu nagomilanja. Sporedni sastojak je apatit. U intenzivnije alterisanim delovima stenske mase, plagioklasi su delimično argilisani i kalcitisani. Pored njih su prisutni i potpuno sveži fenokristali lamelarnih plagioklasa. Lokalno se vide uzane žilice kalcita. Deo amfibola je zahvaćen hloritisanjem, izdvajanjem magnetita i ređe kalcitisanjem. Biotit ima opacitski rub. Lokalno se nalaze koncentracije hlorita. Promene na steni pokazuju da je u manjoj meri zahvaćena propilitisanjem.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao hornblenda andezit, holokristalasto porfirske strukture i masivne teksture.



Slika 4.12-8: Mikrofotografija preparata andezita pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.12-9: Ibid., pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

S obzirom na rezultate laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru, i u eksterijeru za oblaganje vertikalnih površina. Zbog povećanog habanja, primena u spoljnom oblaganju horizontalnih površina je ograničena na kategorije SH-2 i SH-3 (umeren i intenzivan pešački saobraćaj). Međutim, neophodno je napomenuti da uzorci iz pojedinih delova stenske mase imaju znatno slabije vrednosti od propisanih za sve ove namene. Zbog prisustva piritita, primena u eksterijeru se ne preporučuje. I pored povoljnih fizičko-mehaničkih svojstava kamena, primena kao AGK u smislu dimenzioniranog kamena za izradu ploča za oblaganje je nemoguća zato što nije moguće dobijanje blokova odgovarajućih dimenzija.

#### *Vulkaniti duž Brezanske reke*

U zapadnoj masi vulkanita, stenska masa se ne može osmatrati u celini *in situ* zbog pokrivenosti terena, ali se vidi da brzo prelazi u serpentinite, i na nekim odlomcima serpentinita se zapaža da su delimično i oni hidrotermalno promenjeni. Stenska masa dostupna posmatranju je alterisana. Andezit je sličan andezitu Kamenice, ali krupnozrniji. Osnovna masa je sivo-zelene boje, a usled oksidacije bojnih minerala je zadobila braon boju u pojedinim zonama. Zrna feldspata su bele boje, i krupnija nego u Kamenici (1-8 mm), vrlo retko euhedralna, najčešće anhedralna. Mestimično, beli feldspati postaju zamućeni, raspadaju se i ispadaju. Bojni minerali (hornblenda i biotit) su pretežno hloritisani i limonitisani. Zrna hornblende su češća nego u Kamenici, i nisu potpuno promenjena, već se zapaža limonitizacija duž ravni cepljivosti. Komadi stene

su izrazito teški i teško se lome, usled silifikacije. U pojedinim delovima stenske mase, matriks je tamnozeleno boje sa plavom nijansom, i u njemu se zapažaju retka zrna hlorita ili hloritisanog biotita kao fenokristali. Sitna zrna metaličnog minerala (pirita) su potpuno limonitisana i isprana.

Stenska masa iz ovog vulkanita je vrlo heterogena – po sadržaju minerala, naročito bojanih, ali i po krupnoći zrna. Nije pogodna za upotrebu kao AGK zbog hidrotermalne promenjenosti, tektoniziranosti i malih dimenzija vulkanitske mase.

U centralnoj vulkanitskoj masi, sloj zemljišta na površini je debljine oko 20 cm. Izostaje izražena zona površinski izmenjenih stena, verovatno zbog silifikovanosti vulkanita. Površine stene su obrasle lišajevima i algama, što otežava opažanje uklopaka i varijeteta stenske mase. Stena je intenzivno ispucala, pretežno u sitne komade (do 10 cm). Najkrupniji komadi dostižu 50 cm, i nepravilnih su oblika. Kamen je težak i teško se lomi zbog silifikacije. Lučenje stene je nepravilno (poliedarsko) do paralelopipedno. Duž oboda sitnih komada, uz pukotine, kao i duž naprslina, zapaža se limonitska koloracija, koja zadire do dubine od 1 cm unutar komada, oko pukotine. U osnovnoj masi andezita sivo-zelenkaste boje, zapažaju se fenokristali feldspata i hornblende. Feldspati su sitni (najčešće do 1,5 mm, ređe do 3 mm), sivo-bele boje, nepravilnih formi, neprovidni do slabo prozračni. Hornblenda se javlja u vidu pritkastih zrna, dužine do 15 mm, debljine do 7-8 mm. Zapažaju se uklopci dimenzija najčešće oko (2,5x2) cm, izometrične forme, sličnog sastava, samo je stena sitnozrnija.

Bliže kontaktnim zonama, stena je dosta tamnija. U osnovnoj masi afanatičnog izgleda, tamnozeleno-plave boje, zapažaju se samo retka zrna hornblende kao jedini fenokristali, tamnozeleno do crne boje, dužine do 10 mm, debljine do 5 mm, i vrlo sitna zrna feldspata (ispod 1 mm) zelenkaste boje. Ovaj kamen ima visoku dekorativnost, ali se javlja u malim masama koje su prožele serpentinite tako da se na nekim mestima javljaju veće mase serpentinita zahvaćenih andezitom. Bliže zoni površinski izmenjenih stena, andezit je alterisan, bojani minerali su limonitisani, feldspati zamućeni, i osnovna masa izgleda delimično zamućeno.

### ***Potencijalnost magmatskog kompleksa***

Generalno, stenska masa je heterogenog izgleda, nepovoljno lučena, ispucala do sitnih komada i alterisana. U svakoj pojedinačnoj masi vulkanita se smenjuju varijeteti u građi

stene po izgledu odnosno udelu pojedinih mineralnih sastojaka i krupnoći fenokristala. Svi vulkaniti Stolova su silifikovani u promenljivom stepenu. Magmatska tela su malih dimenzija. Dobijanje blokova komercijalnih dimenzija nije moguće.

#### ***4.13. Ibarski vulkaniti***

Ibarski vulkaniti podrazumevaju složeni kompleks izlivnih i vulkanoklastičnih stena zastupljen duž doline Ibra od Ušća na severu, sve do K. Mitrovice na jugu, gde su dacito-andezitske lave izbile duž raseda Novi Pazar-Raška-Jarando-Studena Plamina, Ibarskog (Đoković i dr., 1995b) i pratećih rasednih sistema, i pokrile oko 250 km<sup>2</sup> terena. Proučavanjem obuhvaćeni vulkaniti u oblasti Ušće-Biljanovac-Raška-Bisina predstavljaju deo ove vulkanitske oblasti, zapadno i JZ od Kopaonika, van teritorije Kosova. Urošević i dr. (1973a) vulkanite zastupljene u oblasti južno od Ušća nazivaju "Kopaonički vulkanitski kompleks", a Dimitrijević (2001) ih naziva "Ibarski vulkaniti". Deo ove vulkanitske oblasti od Ušća na severu do Rvata na jugu je prikazan na OGK listu Vrnjci (Urošević i dr., 1973a), a deo Raška-Bisina na listu Novi Pazar (Urošević i dr., 1973b). Ova oblast se nalazi oko 170 km južno od Beograda. Reljef oblasti je pretežno brdsko-planinski, sa duboko usečenim koritima malih planinskih reka koje se mahom ulivaju u Rašku i Ibar. Saobraćajna mreža je slabo razvijena, i osim glavnih putnih pravaca (Ibarska magistrala deonica Kraljevo-Raška-N. Pazar; Biljanovac-Jošanička banja; Raška-Kosovska Mitrovica) sa kvalitetnim asfaltnim putevima, svodi se uglavnom na loše, retke, uzane asfaltno puteve i lokalne, zemljane puteve.

Istraživanjem Ibarskih vulkanita sa različitih geoloških aspekata se bavio veliki broj autora: sa aspekta građevinskog kamena Pajković, 1983, Tojagić, 1984, Jovović i Danilović, 1995; strukturnu građu su obradili Ćirić, 1957a, Topalović, 1966; mineraloško-petrološki sastav i genezu Luković, 1929, Marić, 1933, Ilić, 1938a,b, 1939, 1955, 1958, 1960, 1962a,b, 1966, 1969, 1990, Karamata, 1952, 1962, Ćirić, 1957a, Divljan i Glišić, 1958, Mičić, 1966, 1974, 1980, 1986, Maksimović i dr., 1978, Aksin i dr., 1981, Jović, 1990, Cvetković i dr., 1995; metalogenetski aspekt i ležišta mineralnih sirovina Antonović i Filipović, 1977, Janković, 1990; sadržaje radioaktivnih elemenata dao je Omaljev, 1995, 1996c, 2002; podatke o apsolutnoj geološkoj starosti dali su Karamata i Lovrić (iz Cvetković i dr., 1995).



### **Geološka građa oblasti**

Geološka građa ove oblasti je veoma složena. Okolne stene Ibarskim vulkanitima čine trijaski sedimenti studeničke oblasti na SZ, sericitsko-hloritski škriljci, metamorfisani peščari, kalkšisti, mermeri i druge stene "Centralnokopaoničke serije" odnosno metamorfne serije Goča, Željina i centralnog Kopaonika gornjetrijaske starosti na istoku i zapadu, zatim gornjejurski serpentiniti "Ibarskog ultramafitskog kompleksa" (harcburgiti, gabri, rodingiti, amfiboliti i dr.) sa bazitima i dijabaz-rožnačkom formacijom (glinci, laporci, peščari, rožnaci, dijabazi i dr.) starosti kimeridž-titon, tercijarni granitoidi na SI i istoku, kao i miocenska sedimentna serija Baljevca izgrađena od konglomerata, peščara, glinaca i laporaca (sl. 4.13-1).

### **Geotektonski položaj i strukturna građa magmatskog kompleksa**

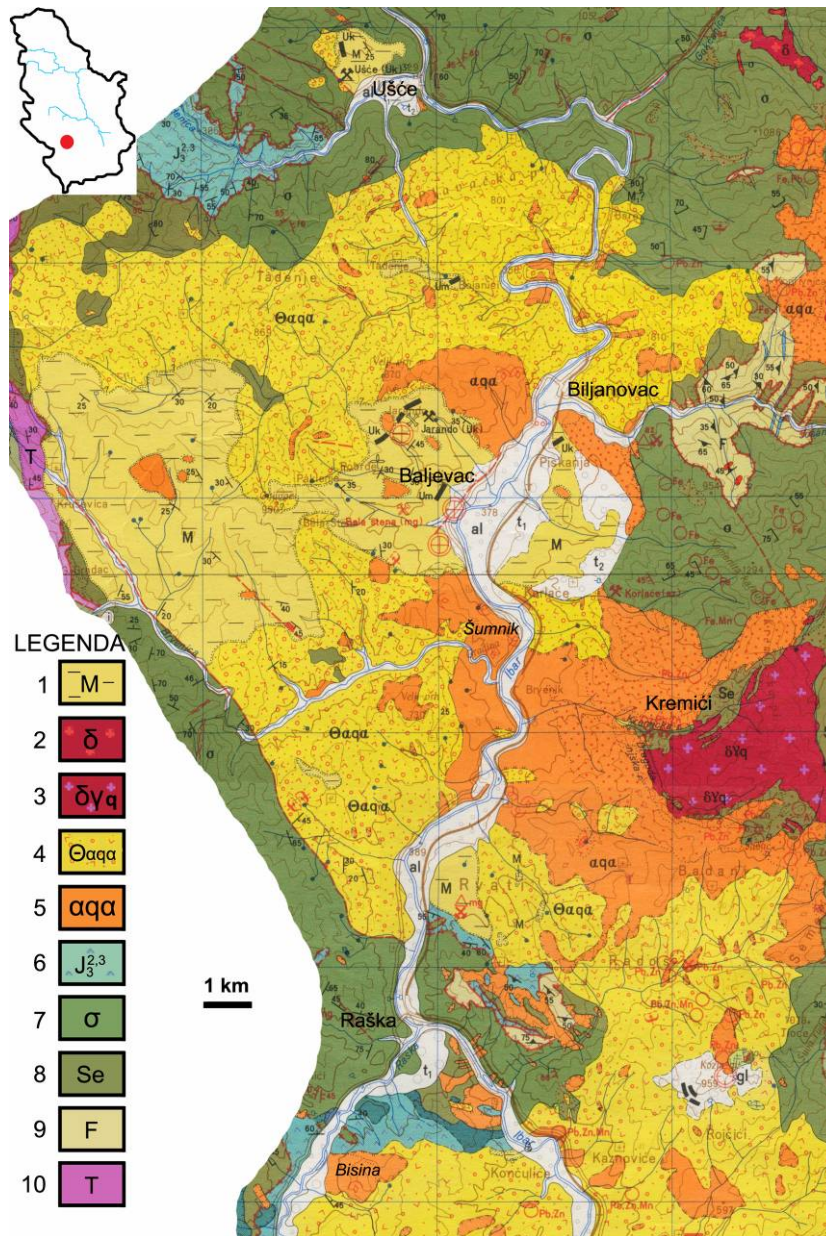
Intenzivna magmatska aktivnost u oblasti Kopaonika je uslovljena prostornom blizinom tri dubinska razloma Vardarske zone. Putevi magmi koje su dale Ibarske vulkanite, kao i hidrotermalnih rastvora, najviše se poklapaju sa Ibarskim rasedom i rasedom Novi Pazar-Raška-Jarando-Studena Plamina i brojnim pratećim rasednim sistemima. Dominantni prateći sistemi raseda imaju pravce pružanja: a) SZ-JI odnosno SSZ-JJI, od kojih su najkrupniji Ibarski rased (sl. 2-3b) i rased Ljutske reke; i b) SI-JZ odnosno ISI-ZJZ.

Elementi pada sistema pukotina (Brvenik, Velika Bisina) su: a) 33/65, b) 114/60, c) 70/35, d) 206/83, e) 10/80 i f) (294-303)/(70-68). Duž svih pukotina se javljaju limonitske prevlake, a duž nekih i žice kalcedona i pirita do 5 mm debljine.

### **Geološka građa magmatskog kompleksa – petrološki i mineraloški sastav i sklop**

U ibarsko-kopaoničkoj oblasti su tokom oligocena kroz više faza nastali brojni lavični izlivi u smeni sa vulkanoklastitima koji pokrivaju oko 75% površine vulkanitskog kompleksa, a ređe i male intruzije. Složeni vulkanitski kompleks obuhvata i dajkove, žice, subvulkanska tela, vulkanogeno-sedimentne naslage, i orudnjenja. Petrološki sastav i sklop vulkanita variraju. Ilić (1938a, 1955, 1966) je u okolini Trepče izdvojio tri osnovne faze vulkanske aktivnosti, koje su dale a) dacito-andezite, starije kvarclatite i piroksensko-amfibolske andezite, b) subvulkanski očvrslje kvarclatite i c) bazaltoide (labradorski i bitovnički andeziti – kasnije nazvani andezit-bazalti, i bazalti). U prvoj, a

manje i drugoj fazi su nastajali i vulkanoklastiti. U obrađenom delu teritorije uveliko preovlađuju andeziti prve faze i njihovi vulkanoklastiti, a kvarclatiti i bazaltoidi su više zastupljeni na teritoriji Kosova.



Slika 4.13-1: Geološka građa terena u oblasti Ibarskih vulkanita (prema Uroševiću i dr., 1973a,b).

Legenda: 1. miocenski sedimenti Baljevca: konglomerati, peščari, glinci, laporci; 2. endomorfno promenjene stene Kopaonika dioritskog sastava; 3. sitnozrni granodioriti i kvarcdioriti Kremića; 4. vulkanoklastiti dacito-andezita; 5. dacito-andeziti; 6. dijabaz-rožnačka formacija studeničke oblasti: glinci, laporci, peščari, rožnaci i dijabazi (kimeridž-titon); 7. harzburgiti studeničke oblasti; 8. serpentiniti; 9. serija sericit-hloritskih škriljaca i metamorfisanih peščara ("Centralnokopaonička serija"); 10. trijaski sedimenti studeničke oblasti (krečnjaci, dolomiti, peskovito-laporovite stene).

Prema Mičiću (1969, 1980) i Dimitrijeviću (1997), vulkanitske stene su nastale u dva ciklusa. U prvom su nastali amfibolski, amfibol-biotitski i piroksenski andeziti, manje amfibol-biotitski daciti, kao i vulkanoklastiti latitsko-kvarclatitskog sastava. U drugom ciklusu su nastali latiti i kvarclatiti, kao i vulkanoklastične stene dacitsko-andezitskog sastava. Među vulkanoklastitima su izdvojene vulkanske tufobreče i lavobreče, aglomerati, tufovi, tufiti i vulkanski konglomerati.

Najstariji i najrasprostranjeniji vulkaniti su andezinski dacito-andeziti. Javljaju se u vidu većih izlivnih masa ili slivova u smeni sa vulkanoklastitima ili su subvulkanski očvršli, u vidu štokova, manjih lakolita i sistema žica različite debljine. Ove stene su redovno alterisane u promenljivom stepenu. Svežiji varijeteti su sive boje, a alterisani crvene, braon, ljubičaste, zelenkaste, oker itd. Mineraloški sastav: plagioklas (andezin), amfibol (hornblenda), biotit, ređe monoklinični piroksen (augit). Akcesorni minerali su apatit i metalični minerali. Sekundarni minerali su kalcit, sericit i hlorit. Osnovna masa je najčešće kristalisala, sa mikrolitima promenljive veličine. Potpuno staklasta masa se ređe susreće. Kao mikroliti se javljaju isti minerali koji se javljaju i kao fenokristali. Struktura stene je holokristalasta do hipokristalasto porfirska, ređe hijalinska. Rezultati hemijske analize su prikazani u tabeli 4.13-1.

Tabela 4.13-1: rezultati hemijske analize andezita Šumnika (Urošević i dr., 1973a).

komponenta	udeo (%)
SiO <sub>2</sub>	59,70
TiO <sub>2</sub>	0,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,11
FeO	3,08
MnO	0,08
MgO	2,46
CaO	5,95
Na <sub>2</sub> O	3,68
K <sub>2</sub> O	1,87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12
H <sub>2</sub> O <sup>-110</sup>	1,91
H <sub>2</sub> O <sup>+110</sup>	0,95
zbir	100,35 %

Očvršćavanje kvarclatita se pretežno odvijalo u subvulkanskom nivou (mada ima i izrazitih izliva), u vidu manjih žica i nepravilnih tela utisnutih u serpentinite, gornjekredne sedimente i dacito-andezite. U mineraloški sastav kvarclatita ulaze

sanidin, andezin, kvarc, biotit, hornblenda, ređe augit. Struktura kvarclatita je uglavnom holokristalsto porfirska, sa masivnom teksturom. Iako makroskopski izgledaju sveže, ove stene su hidrotermalno alterisane u promenljivom stepenu.

Labradorski i bitovniški andeziti (Ilić, 1966) ili lamproandeziti (Urošević i dr., 1973a), kasnije nazvani andezit-bazalti, prosecaju propilitisane dacito-andezite ili se javljaju kao usamljeni vulkanski proboji u miocenskim tvorevinama i serpentinitima, jedri, kompaktni, tamnosive, tamnozeleno do crne boje, koja potiče od velikog sadržaja tamne, staklaste supstance u osnovnoj masi i prisustva titanomagnetita i magnetita. Mineraloški sastav: labrador, hornblenda, augit, hipersten, metalični minerali, hlorit, kalcit, sericit, apatit. Struktura stene je holokristalasto porfirska.

Vulkanoklastiti su predstavljeni tufovima, tufitima, koji preko tufobreča postepeno prelaze u prave vulkanske breče. Naizmenično se smenjuju sa slivovima lave. Prema sastavu, postoje vulkanoklastiti vezani za dacito-andezite i amfibolsko-piroksenske andezite. Tufovi su izgrađeni od sitnih odlomaka kvarca, biotita, feldspata, vulkanskog stakla, kao i fragmenata dacito-andezita, katkad i amfibolsko-piroksenskih andezita. Redovno su jače ili slabije alterisani, a ponekad i orudnjeni. Zahvataju značajno prostranstvo, ali nisu interesantni sa aspekta AGK usled intenzivne alterisanosti, površinske izmenjenosti i dezintegriranosti.

Sve opisane stene su I-tipa. Podaci o određivanju apsolutne starosti Ibarskih vulkanita su retki. Karamata i Lovrić (nepublikovano; iz Cvetković i dr., 1995) su odredili starost andezita Šumnika od 32-29 Ma. Prema Cvetkoviću i dr. (Cvetković et al., 2000a), Ibarski vulkaniti pripadaju formaciji kasnopaleogeno-neogenih vulkanita centralne ose Balkanskog poluostrva (grupa C), podgrupi srednje do visoko kalijskih kalkoalkalnih stena (C-a). Srednji sadržaj urana u Ibarskim vulkanitima je 3,29 ppm odnosno 3,56 ppm, a torijuma 11,75 ppm odnosno 12,42 ppm, pri čemu se zapaža slaba tendencija porasta sadržaja U i Th pri hidrotermalnoj alteraciji vulkanita. Razlike u sadržajima U i Th između pojedinih varijeteta su vrlo male (Omaljev, 1995, 1996c).

### **Postmagmatske promene stenske mase**

Vulkaniti su najvećim delom propilitisani, hidrotermalno i površinski promenjeni, a u nekim delovima i orudnjeni. Hlađenje plutona je trajalo duže nego očvršćavanje vulkanita (ili je magma utiskivana i nakon očvršćavanja vulkanita), i zato je pod

uticajem granitoidne magme u dacito-andezitima došlo do različitih kontaktno-metamorfnih, pneumatolitskih i hidrotermalnih promena. Najbliže intruziji, vulkaniti su transformisani u piroksenske kornite; nešto dalje u hornblenda kornite sa biotitom i amfibolom, a najdalje od kontakta su transformisani u epidotisane andezite, koji su i najrasprostranjeniji. Hidrotermalno su dacito-andeziti pretežno intenzivno alterisani, a kvarclatiti i bazaltoidi slabije. Javljaju se silifikacija, sericitizacija, kaolinizacija, zeolitizacija, karbonatizacija, albitizacija, hloritizacija, epidotizacija i dr. Dacito-andeziti su zahvaćeni autometamorfnom propilitizacijom regionalnog karaktera, tako da praktično i nema svežih dacito-andezita. Propiliti su pod uticajem površinskih agenasa dodatno izmenjeni – karbonatisani i argilisani. U obrađenom delu Ibarskih vulkanita su prisutne manje hidrotermalne mineralizacije i ležišta olova i cinka sa arsenom, antimonom, barijumom (Sastavci, Kiževak i dr.), dok u Ibarskim vulkanitima na teritoriji Kosova postoje brojna ležišta eksploatisana dugi niz godina (Trepča, Ajvalija, Kižnica, Belo brdo i mnoga druga).

Debljina grusiranih stena iznosi 0,5-1,5 m, a površinske izmene dosežu i do 15 m dubine. Hidrotermalna alteracija i površinsko raspadanje se redovno javljaju u kombinaciji (sl. 4.13-2). Svežiji vulkaniti su kompaktni, sivo-zelene boje, a usled površinskog raspadanja postepeno postaju svetliji. Primarni minerali su transformisani u sericit, hlorit, kalcit, kaolinit, montmorionit i hidroliskune.



Slika 4.13-2: Alterisani, dezintegrisani vulkaniti (Raška).

### **Kvalitet stenske mase sa aspekta AGK**

Eksploatacija kamena u Ibarskim vulkanitima je vršena u brojnim kamenolomima tokom 20. veka: Šumnik, Brvenik, Dželep, Gradina, Lipar, Bisina, Rudnica, Sokolovica,

Biljanovac, Milatkovići, Živkov majdan, Tusnići. Uglavnom je korišćen kao agregat za putogradnju i tucanik za pružne zastore. Danas su aktivni kamenolomi Šumnik i Velika Bisina. Međutim, iako Ibarski vulkaniti zauzimaju ogroman prostor, praktično nema sveže stenske mase koja bi ispunjavala sve neophodne uslove za korišćenje kao AGK. Svi navedeni kamenolomi su otvoreni u dacito-andezitima prve faze vulkanske aktivnosti. U ovim kamenolomima je zastupljen andezit sa vrlo malim sadržajem kvarca (ispod 5%), promenljivog stepena hidrotermalne alterisanosti.

Vulkaniti, kada su sveži i kompaktni, imaju uglavnom povoljna fizičko-mehanička svojstva, međutim, nepovoljne osobine stenske mase sa aspekta AGK su brojne: stena je alterisana, ispucala, ponekad šupljikava; kompaktnija stena se javlja u alternaciji sa vulkanoklastitima, i ne mogu se dobiti blokovi neophodnih dimenzija; boja i tehnička svojstva kamena su promenljivi, u zavisnosti od tipa i stepena hidrotermalne alterisanosti; osnovna masa stene može biti staklasta, usled čega je podložna ubrzanom površinskom raspadanju; prisutan je pirit kao štetan sastojak. Prema terenskim opažanjima, stenska masa je dovoljno jedra za primenu u građevinarstvu samo u oblastima Brvenik-Šumnik i Bisina.

#### *Vulkaniti oblasti Brvenik-Šumnik*

Na površini terena je zastupljen zemljasti pokrivač debljine do 1 m. Debljina raspadnute stene na površini varira od 4 do 15 m. Stena je intenzivno ispucala, komadi najčešće ne prelaze 10 cm. Blokovi stene preko 1 m su vrlo retki i nepravilnih oblika, a i u okviru tih blokova je stena alterisana i ispucala (sl. 4.13-3).



Slika 4.13-3: Pločasto do nepravilno lučenje stene (Brvenik).

Duž pukotina se javljaju žice sekundarnih minerala i limonitske prevlake. Lučenje stene na obodu magmatskih masa je pločasto (ploče su kose do vertikalne, debljine 5-150 cm), a u centralnim delovima stenske mase najčešće poliedarsko. Kompaktnija stena je obično u alternaciji sa slojevima tufa ili vulkanskih breča. Stenska masa je nehomogenog izgleda (sl. 4.13-4). Zapažaju se promene u izgledu na rastojanjima od 10 cm i više (smena svetlijih i tamnijih zona).



Slika 4.13-4: Variranje izgleda stenske mase.

Najsvežiji andezit je tamnosive boje, kompaktn, jedar i težak. Ponegde ima i tamnozelenu nijansu. Osnovna masa sadrži fenokristale hornblende koja je potpuno oksidisala. U prirodno lučenim blokovima stene, u delovima koji su bliže obodu bloka, usled oksidacije bojnih minerala, stena je postala oker boje. Samo tamnosive partije su kompaktne, mada su svi bojni minerali oksidisali. Svetlije zone stenske mase su zelenkasto-sive i zelene boje (karakteristične za propilite), do beličasto-sive sa limonitskim mrljama (karakteristične za površinski raspadnute propilite).

Ocena kvaliteta kamena pokazala je sledeće (tabela 4.13-2): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je malo porozan. Upijanje vode je vrlo malo. Čvrstoća na pritisak je visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Pri razmatranju ove ocene, treba uzeti u obzir da postoji značajno variranje vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava, u zavisnosti od stepena hidrotermalnih promena, koji je vrlo promenljiv kroz stensku masu. Kamen iz pojedinih delova stenske mase nije postojan na mrazu. Prilikom sečenja stenske mase u opitna tela, dolazilo je do pucanja duž skrivenih pukotina, na čijim zidovima su prisutne tanke skrame sekundarnih minerala. Tokom ispitivanja, opitna tela su pucala bez predisponiranja ravni pucanja

elementima sklopa iako su u njima prisutne ispunjene tanke pukotine, a površine pucanja su neravne i hrapave.

Tabela 4.13-2: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	postojan do nepostojan, gubitak mase 0-11,1 %	gubitak mase 5,55 %
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	postojan do nepostojan	postojan - iz određenih delova je nepostojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,15-0,76	0,42
Pritisna čvrstoća	B.B8.012	MPa		
u suvom stanju			111-359	242
u vodozasićenom stanju			100-342	214
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			74-324	213
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	7,99-11,66	9,35
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	35,32-38,41	36,60
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,630-2,680	2,658
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,680-2,720	2,697
Koeficijent zapreminske mase		-	0,974-0,996	0,985
Poroznost		%	0,4-2,6	1,45
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,391-0,530	0,471
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	4,89-9,59	6,88

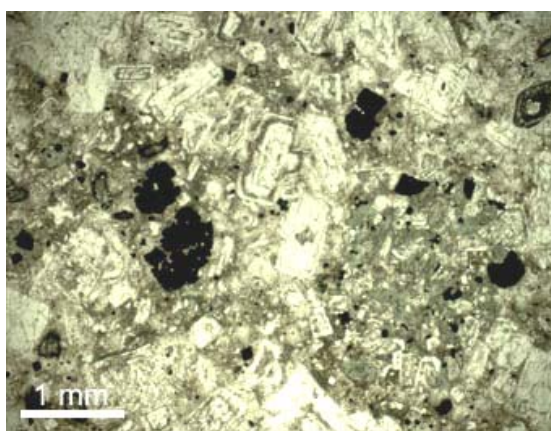
Napomena: prikazani podaci potiču iz jedanaest izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1960. i 1973. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2011. godine. Tufozne partije stenske mase pokazuju značajno lošiji kvalitet, ali je njih nemoguće izbeći pri eksploataciji zbog čestog smenjivanja sa izlivnim stenama.

Makroskopski, stena je nehomogene boje i zahvaćena hidrotermalnim promenama. Neki delovi su samo propilitisani i slabije hidrotermalno promenjeni, neki intenzivnije hidrotermalno promenjeni ili čak i orudnjeni. Sa stepenom alteracije, povećava se sadržaj kalcitanih sastojaka i kalcita uopšte. Zapažaju se i kaolinisanje, hloritisanje i silifikovanje. Zone tamnosive boje i "izbeljene" svetlozelene se smenjuju naizmenično, bez oštih granica. Samo tamnije partije su dovoljno jedre za ispitivanje. Na svežem prelomu, stena iz jedrijih partija je zelenkasto-sive do tamnosive boje, kompaktna. Sadrži prsline ispunjene belim kalcitom i infiltriranim limonitom. Lokalno je i oko prsline pigmentirana limonitom. Ponegde po zidovima pukotina ima i sitnih kristala



pirita. Uočavaju se sitni fenokristali plagioklasa i oksidisalih bojenih minerala. Zrna hornblende su subhedralna, veličine do (10x3) mm, načeta oksidacijom. Zrna plagioklasa su anhedralna, zelenkasta, zonarne građe, veličine 3-4 mm. Ima i subhedralnih zrna plagioklasa, najčešće do (4x2) mm. Prelom stene je ravan do plitko školjkast, sa slabo hrapavom prelomnom površinom.

Mikroskopskim pregledom preparata stene je utvrđeno da su izbeljeni delovi stenske mase izgrađeni od delimično kalcitisanih i kaolinisanih fenokristala plagioklasa i bojenih minerala čije su konture očuvane, ali su oni potpuno zamenjeni kalcitom, hloritom, epidotom i magnetitom. Tamnosivi uzorci su sa istim izmenama kao i svetli, s tim što je sadržaj kalcita manji. Stena je izgrađena od fenokristala plagioklasa i potpuno alterisanih bojenih sastojaka koji leže u sitnozrnoj osnovi od delimično alterisanih mikrolita istih minerala, sekundarnog kvarca i dosta hlorita. Veličina fenokristala se postepeno smanjuje do mikrolita. Matriks stene je često izgrađen od mikrolita i stakla. Plagioklasi su lamelarne i donekle zonarne građe, retko sveži. Zrna su ispucala, u centralnim delovima kalcitisa i neznatno kaolinisana, ređe hloritisana. Fenokristali plagioklasa su nastali u dve faze. Bojeni sastojci (biotit, hornblenda i augit) su potpuno transformisani u agregat kalcita i hlorita sa jasno izraženim magnetitskim rubom. Samo po konturama kristala se može zaključiti koji je mineral u pitanju. Zapaženi su i malobrojni krupni, očuvani fenokristali piroksena bez promena. Lokalno se javi poneko zrno kvarca, verovatno sekundarnog porekla. Čitava stena je alterisana, osnovna masa je hloritisana i sosiritisana, plagioklas je epidotisan i sericitisan, amfibol ima opacitski rub, hloritan je, a ponegde čak i raspadnut (sl. 4.13-5,6).



Slika 4.13-5: Mikrofotografija preparata pod paralelnim Nikolovim prizmama.



Slika 4.13-6: Mikrofotografija preparata pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Promene na mineralnim komponentama ukazuju na propilitizaciju. Stena sadrži mikrouklopke intenzivno alterisanog andezita. Sporedni sastojci su magnetit, pirit, apatit, epidot i cirkon. Sekundarni sastojci: kalcit sa hloritom, kao produkti izmene bojenih minerala, kvarc, kalcit u vidu žilica. Hlorit je obično pigmentiran limonitom. Stena sadrži brojne mikroprslinice.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao propilitisani piroksensko-amfibolski andezit, holokristalasto porfirske strukture i masivne teksture.

Prema rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka stenske mase, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru. Međutim, zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje. Uzorak odabran za ispitivanje potiče iz najsvježijeg dela. Takođe, tektoniziranost stenske mase onemogućava dobijanje blokova neophodnih dimenzija za AGK.

#### *Vulkaniti oblasti Velike Bisine*

Na površini terena nalazi se zemljasti pokrivač debljine do 1 m. Sama stenska masa je heterogenog izgleda – smenjuju se zone tamnije i svetlije sive boje, sa različitim krupnoćom fenokristala (sl. 4.13-7). Nije zapažena orijentacija zrna. Uz obode mase je izraženo pločasto do nepravilno lučenje (sl. 4.13-8). Debljina ploča je 2-60 cm. Ploče su pukotinama usitnjene u komade nepravilnih oblika. Blokovi stenske mase su nepravilnih oblika, veličine najviše do 1,5 m (sl. 4.13-9). Stenska masa u pripovršinskim delovima terena je intenzivno ispucala i neupotrebljiva za AGK, čemu je verovatno doprinelo i višedecenijsko eksploatisanje stenske mase miniranjem. Istražnim bušenjima je utvrđeno da na dubini 30-58 m ima krupnijih blokova (preko 2 m). Prisustvo žica kalcedona i pirita ukazuje na cirkulaciju hidrotermalnih rastvora, ali je, uprkos tome, stenska masa ipak jedra unutar prirodnih komada. Međutim, fenokristali bojenih minerala su u promenljivom stepenu oksidisali. U obodnim delovima vulkanitske mase, ali i pojedinačnih blokova i komada stenske mase, osnovna masa ima limonitsko obojenje usled oksidacije bojenih minerala.

Ocena kvaliteta kamena dala je sledeće podatke (tabela 4.13-3): prema zapreminskoj masi, kamen je težak. Prema poroznosti, kamen je umereno porozan. Upijanje vode je malo. Čvrstoća na pritisak je visoka. Prema otpornosti na habanje, kamen je vrlo tvrd. Pri razmatranju ove ocene, treba uzeti u obzir da postoji značajno variranje vrednosti

tehničkih svojstava, u zavisnosti od intenziteta alteracija, koji je vrlo promenljiv kroz stensku masu. U nekim opitnim telima je zapaženo prisustvo pukotina. U svim opitnim telima je zapaženo predisponiranje površina pucanja pravcima skrivenih naprslina, koje su verovatno nastale usled eksploatacije miniranjem tokom dugog niza godina.



Slika 4.13-7: Varijeteti izgleda stenske mase (V. Bisina).



Slika 4.13-8: Pločasto do nepravilno lučenje stene (V. Bisina).



Slika 4.13-9: Nepravilni oblici prirodnih i miniranih blokova stenske mase.

Tabela 4.13-3: rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Svojstvo kamena	Standard SRPS	Jedinice mere	Rezultati ispitivanja	
			opseg variranja	srednja vrednost
Otpornost na dejstvo mraza	B.B8.001	-	postojan	postojan
Postojanost na dejstvo Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	B.B8.002	-	postojan	postojan
Upijanje vode	B.B8.010	%	0,17-0,88	0,59
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	B.B8.012	MPa	146-306	221
u vodozasićenom stanju			128-301	212
posle 25 ciklusa zamrzavanja-odmrzavanja			98-293	211
Otpornost prema habanju brušenjem	B.B8.015	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	6,57-8,50	7,52
Savojna čvrstoća	B.B8.017	MPa	29,86-33,13	31,25
Zapreminska masa sa šupljinama	B.B8.032	g/cm <sup>3</sup>	2,540-2,620	2,589
Zapreminska masa bez šupljina		g/cm <sup>3</sup>	2,608-2,690	2,664
Koeficijent zapreminske mase		-	0,962-0,977	0,972
Poroznost		%	2,3-3,8	2,8
Toplotno širenje	ISO 10545-8	mm/m	0,496-0,526	0,511
Koeficijent linearnog toplotnog širenja		*10 <sup>-6</sup> 1/°C	6,12-6,58	6,42

Napomena: prikazani podaci potiču iz pet izveštaja o ispitivanju, izvršenih u periodu između 1960. i 2003. godine, i dodatnih ispitivanja izvršenih 2010. godine. Kvalitetnije delove stenske mase je nemoguće razdvojiti od lošijih na osnovu makroskopskog izgleda.

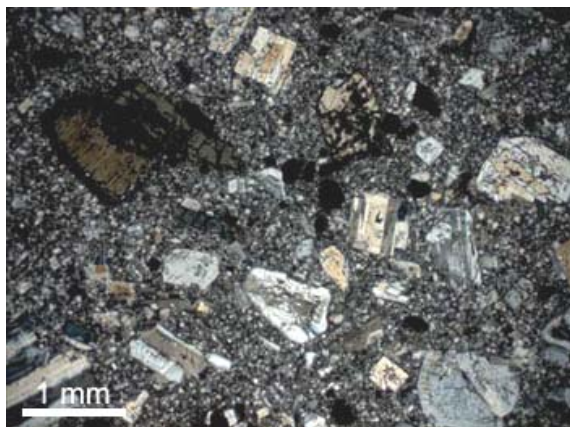
Makroskopski, stena je sive boje, kompaktna, svežeg izgleda (sl. 4.13-10). U osnovnoj masi sive boje se nalaze fenokristali feldspata, biotita i amfibola, retko kvarca. Amfiboli su idiomorfni, crni, veličine od (1x0,5) do (7x2) mm. Krupnija zrna su zdepastoprizmatična, a sitnija su igličasta. Biotit se ređe javlja, u vidu eu- do subhedralnih heksagonalnih svežih liski, crne boje, najčešće do 3 mm, maksimalno do 5 mm. Debljina agregata liski je do 3 mm. Svetlosivi idiomorfni feldspati su dimenzija najčešće (3x1) mm, prozračni, zonarne građe, ređe do (6x4) mm i subhedralni. Zrna kvarca su anhedralna, prečnika 3 mm. Zapažaju se hloritisani bojani minerali. Svi fenokristali su relativno homogeno raspoređeni u stenskoj osnovi. Pod udarom stena puca nepravilno, a površina preloma je plitko školjkasta i slabo hrapava. Stena često sadrži primarne šupljine, prečnika do 2 mm, raspoređene u paralelnim nizovima.

Mikroskopski pregled preparata stene pokazao je da je stena izgrađena od holokristalaste srednjezrne do krupnozrne osnovne mase i fenokristala plagioklasa, biotita, rombičnog piroksena i retkih relikata idiomorfno baznih amfibola – hornblende, koja je gotovo u potpunosti zamenjena magnetitom. Osnovna masa je izgrađena od mikrolita plagioklasa, mikrogranularnog kvarca, plagioklasa, sanidina, epidota, kalcita i magnetita. Mikroliti plagioklasa su bistri i sveži, a u njihovim međuprostorima javljaju se mikrogranularni kvarc i drugi sastojci osnove. Fenokristali plagioklasa (andezina) su najzastupljeniji. Javljaju se uglavnom kao blizanci sa lamelarnim, retko i karlsbadskim bližnjem. Korodovani su, kao i većina drugih fenokristala (sl. 4.13-11). Često su zamučeni usled intenzivnog raspadanja u sericit i kalcit. Biotit i rombični piroksen (hipersten) su intenzivno alterisani, potpuno ili delimično zamenjeni kalcitom i hloritom. Poikilitiski uklapaju metalične minerale i epidot. Biotit se javlja u liskama dimenzija oko (0,75x2,5) mm, sa magnetitskim rubom, a ponegde se zapaža resorpcija i korozija liski osnovnom masom. Fenokristali piroksena su dimenzija (1,5x2,0), ređe (0,5x0,65) mm, često znatno kalcitisani, a mogu biti i bez promena. Stena sadrži i "gnezda" sekundarnog kalcita, kvarca i hlorita. Sekundarni minerali su kalcit, sericit, epidot i magnetit. Zapažena reakcija rubova fenokristala i osnove ukazuje na rezagrevanje i promenu sastava osnovne mase u toku kristalizacije.

Mineraloško-petrografskom analizom, stena je određena kao augit-biotit andezit, mikrokristalasto do holokristalasto porfirne strukture i masivne teksture.



Slika 4.13-10: Izgled ravno sečene površine kamena.



Slika 4.13-11: Mikrofotografija preparata andezita pod ukrštenim Nikolovim prizmama.

Prema rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka stenske mase, ovaj kamen se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru.

Međutim, zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje. Tektoniziranost stenske mase onemogućava dobijanje blokova neophodnih dimenzija.

### ***Potencijalnost magmatskog kompleksa***

Generalno, sastav, kvalitet i izgled stenske mase je vrlo promenljiv u čitavom vulkanitskom kompleksu. Svi tipovi vulkanskih stena su neperspektivni sa aspekta AGK jer stene ne ispunjavaju zahtev monolitnosti, koherentnosti i svežine, već su tektonizirane do sitnih komada, nepovoljno lučene i alterisane.

## **5.0. KOMPARATIVNA OCENA POTENCIJALNOSTI MAGMATSKIH KOMPLEKSA**

U vrednovanju i rangiranju magmatskih kompleksa prema perspektivnosti u pogledu mogućnosti upotrebe stena kao AGK postoje specifičnosti u odnosu na druge vrste mineralnih sirovina. Faktori geološko-ekonomske ocene u fazi prospekcije kao ocena potencijalnosti su obrađeni za svaki kompleks pojedinačno, u odgovarajućim poglavljima, a ovde je izvršena njihova međusobna komparacija zasnovana na jednostavnom sistemu bodovanja dostupnih parametara.

U tabeli 5-1 su sumarno prikazane srednje vrednosti i opsezi variranja vrednosti mehaničkih svojstava kamena sa ispitanih lokalnosti radi lakšeg međusobnog upoređivanja. Razlike u vrednostima fizičko-mehaničkih svojstava između vulkanita sa jedne strane i plutonita sa druge se jasno zapažaju.

Može se konstatovati da srednja vrednost pritisne čvrstoće u suvom stanju kod izlivnih stena varira od 145 (dacit Ravnog brda) do 242 (andezit Brvenika) MPa (prosek srednjih vrednosti za sve iznosi 199,1 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih dobijenih vrednosti je između 92 (andezit Stolova) i 359 (andezit Brvenika) MPa. Srednja vrednost pritisne čvrstoće u suvom stanju kod plutonskih stena varira od 147 (granitoidi Cera i granit Kosmaja) do 189 (granodiorit Željina) MPa (prosek srednjih vrednosti za sve iznosi 163,2 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih dobijenih vrednosti varira između 100 (granodiorit Brajkovca) i 281 (granodiorit Boranje) MPa.

Srednja vrednost pritisne čvrstoće u vodozasićenom stanju kod izlivnih stena varira od 120 (dacit Ravnog brda) do 214 (andezit Brvenika) MPa (prosek srednjih vrednosti iznosi 182,2 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 68 (andezit Stolova) i 342 (andezit Brvenika) MPa. Srednja vrednost pritisne čvrstoće u vodozasićenom stanju kod plutonskih stena varira od 118 (granitoid Brajkovca) do 155 (granodiorit Boranje) MPa (prosek srednjih vrednosti iznosi 138,6 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 58 (granodiorit Brajkovca) i 277 (granodiorit Boranje) MPa.

Srednja vrednost pritisne čvrstoće nakon ciklusa zamrzavanja i odmrzavanja kod izlivnih stena varira od 102 (dacit Ravnog brda) do 213 (andezit Brvenika) MPa (prosek srednjih vrednosti iznosi 172 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 61 (andezit Stolova) i 324 (andezit Brvenika) MPa. Srednja vrednost pritisne

čvrstoće nakon ciklusa zamrzavanja i odmrzavanja kod plutonskih stena varira od 117 (granodiorit Brajkovca) do 145 (granodioriti Drenja i Željina) MPa (prosek srednjih vrednosti iznosi 133,6 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 53 (granodiorit Brajkovca) i 246 (granodiorit Boranje) MPa.

Vrednosti pritisknih čvrstoća kod izlivnih stena su najlošije kod dacita Ravnog brda (Borač) i andezita Kamenice (Stolovi) a najbolje kod andezita Brvenika-Šumnika (Ibarski vulkaniti). Pri tome ni andeziti Brvenika-Šumnika ne ispunjavaju uslov monolitnosti stenske mase i ne mogu se koristiti kao AGK, što ukazuje na neophodnost sagledavanja svih parametara potencijalnosti istovremeno, kako ne bi došlo do donošenja pogrešnih ocena potencijalnosti za pojedine magmatske komplekse ili njihove delove. Kod plutonskih stena, najlošije vrednosti pritiskne čvrstoće pokazuju granodioriti Brajkovca, Cera i Kosmaja (uzorci uzeti iz dostupnih delova stenske mase koji nisu sveži) a najbolje granodioriti Boranje, Drenja i Željina.

Srednja vrednost otpornosti prema habanju brušenjem kod izlivnih stena varira između 7,52 (andezit V. Bisine) do 16,65 (dacid Ravnog brda)  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$  (prosek srednjih vrednosti iznosi 11,55  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 6,48 (dacid Čeramida) i 32,04 (andezit Stolova)  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ . Srednja vrednost otpornosti prema habanju brušenjem kod plutonskih stena varira između 8,74 (granodiorit Boranje) do 11,00 (granodiorit Željina)  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$  (prosek srednjih vrednosti iznosi 9,79  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 6,69 (granodiorit Boranje) i 15,02 (granodiorit Drenja)  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ . Zapaža se da najlošije vrednosti otpornosti prema habanju brušenjem među izlivnim stenama imaju dacid Ravnog brda (Borač) i andezit Kamenice (Stolovi), a najbolje andezit V. Bisine (Ibarski vulkaniti) i dacid Čeramida (Rudnik). Među plutonskim stenama, najlošije vrednosti otpornosti prema habanju brušenjem imaju granodioriti Željina i Drenja, a najbolje granodiorit Boranje.

Srednja vrednost savojne čvrstoće kod izlivnih stena varira između 22,84 (dacid Ravnog brda) i 36,60 (andezit Brvenika) MPa (prosek srednjih vrednosti iznosi 28,86 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 19,00 (andezit Stolova) i 38,41 (andezit Brvenika) MPa. Srednja vrednost savojne čvrstoće kod plutonskih stena varira između 14,83 (granitoidi Cera) i 31,97 (granodiorit Kremlja) MPa (prosek srednjih vrednosti iznosi 18,48 MPa), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između



7,54 (granitoidi Cera) i 34,16 MPa (granodiorit Boranje). Zapaža se da najlošije vrednosti savojne čvrstoće među izlivnim stenama imaju dacit Ravnog brda (Borač) i andezit Kamenice (Stolovi), a najbolje dacit Čeramida (Rudnik) i andezit Brvenika-Šumnika (Ibarski vulkaniti). Među plutonskim stenama, najlošije vrednosti savojne čvrstoće imaju granitoidi Cera, a najbolje granodiorit Boranje.

Zapaža se da su intervali variranja vrednosti svih mehaničkih svojstava uži kod plutonskih stena nego kod izlivnih, što je u direktnoj proporciji sa intenzitetom variranja uslova genetskih procesa. Homogenija građa plutonskih magmatskih kompleksa dovodi i do slabije izraženog variranja svojstava stene. Nasuprot tome, izlivne stene su često silifikovane, što uzrokuje više vrednosti mehaničkih svojstava, ali su prisutni i drugi tipovi hidrotermalnih alteracija koji utiču na pogoršanje mehaničkih svojstava stene, pa su opsezi variranja vrednosti širi. Pored toga, uzorci za laboratorijska ispitivanja se ne uzimaju iz delova stenske mase za koje se i makroskopski može oceniti da su alterisani, pa oni i ne utiču na rezultate ispitivanja.

U tabeli 5-2 su sumarno prikazane srednje vrednosti i opsezi variranja vrednosti fizičkih svojstava kamena sa ispitanih lokalnosti radi lakšeg međusobnog upoređivanja.

Srednje vrednosti poroznosti kod izlivnih stena variraju između 1,30 (trahandezit Talambasa) i 8,18% (andezit Gradske Gore) (prosek srednjih vrednosti je 3,75%), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 0,40 (andezit Brvenika) i 11,10 (andezit Gradske Gore) %. Srednje vrednosti poroznosti kod plutonskih stena variraju između 0,90 (granodioriti Boranje i Kremlja) i 1,87 (granit Bukulje) % (prosek srednjih vrednosti je 1,41 %), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 0,07 (granodiorit Drenja) i 3,30 (granit Bukulje) %. Zapaža se da kod izlivnih stena najlošije vrednosti poroznosti ima andezit Gradske Gore (Rudnik) a najbolje trahandezit do trahibazalt Talambasa (Borač). Kod plutonskih stena najlošije vrednosti poroznosti ima granit Bukulje a najbolje granodioriti Kremlja, Boranje i Drenja.

Srednje vrednosti upijanja vode kod izlivnih stena variraju između 0,42 (andezit Brvenika) i 2,03% (andezit Gradske Gore) (prosek srednjih vrednosti iznosi 1,01%), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 0,12 (trahandezit Talambasa) i 3,36 (andezit Stolova) %. Srednje vrednosti upijanja vode kod plutonskih stena variraju između 0,28 (granodiorit Boranje) i 0,53% (granitoid Brajkovca) (prosek srednjih

vrednosti iznosi 0,39%), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 0,11 (granodiorit Željina) i 0,85% (granodiorit Brajkovca). Zapaža se da kod izlivnih stena najlošije vrednosti upijanja vode imaju andeziti Gradske Gore (Rudnik) i Kamenice (Stolovi), a najbolje trahandezit do trahibazalt Talambasa (Borač) i andezit Brvenika-Šumnika (Ibarski vulkaniti). Kod plutonskih stena najlošije vrednosti upijanja vode ima granodiorit Brajkovca a najbolje granodioriti Boranje i Željina.

Vrednosti zapreminskih masa sa i bez pora i šupljina su u okviru uobičajenih vrednosti za navedene tipove stena.

Srednja vrednost toplotnog širenja izlivnih stena varira između 0,437 (dacit Ravnog brda) i 0,637 (dacit Čeramida) mm/m (prosek srednjih vrednosti iznosi 0,525 mm/m), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 0,391 (andezit Brvenika) i 0,647 mm/m (dacit Čeramida). Srednja vrednost toplotnog širenja plutonskih stena varira između 0,410 (granodiorit Brajkovca) i 0,656 (granodiorit Drenja) mm/m (prosek srednjih vrednosti iznosi 0,548 mm/m), a ukupan obim variranja pojedinačnih vrednosti je između 0,380 (granodiorit Brajkovca) i 0,685 (granodiorit Boranje). Zapaža se da kod izlivnih stena najveće vrednosti toplotnog širenja ima dacit Čeramida (Rudnik), a najmanje dacit Ravnog brda (Borač) i andezit Brvenika (Ibarski vulkaniti). Kod plutonskih stena najveće vrednosti toplotnog širenja imaju granodioriti Drenja i Boranje, a najmanje granitoid Brajkovca.

Kao i kod prethodno obrađenih mehaničkih svojstava, plutonske stene imaju i vrednosti fizičkih svojstava povoljnije nego izlivne stene.

Bez detaljnih geoloških istraživanja i probne eksploatacije se ne može dati pouzdana geološka ocena ležišta AGK prema kriterijumima geološke ocene po Jankoviću i Milovanoviću (1985), ali se mogu sagledati karakteristike specifične za AGK (tektoniziranost, dekorativnost, svežina itd.). S obzirom na nizak stepen istraženosti magmatskih kompleksa Vardarske zone sa aspekta AGK, geološko-ekonomska ocena, odnosno, na nivou prospekcije – ocena potencijalnosti, ne može se izvršiti na bazi vrednosnih faktora i pokazatelja, već samo na osnovu naturalnih pokazatelja. Ocena je otežana i značajnom pokrivenošću terena i ograničenim obimom radova.

Metoda vrednovanja stenskih masa se vrši pre svega sa aspekta parametara specifičnih za AGK, jer je većina faktora ekonomske ocene na stadijumu regionalne prospekcije

približno slična za sve obrađene magmatske komplekse Vardarske zone, i oni su sagledani u 2. poglavlju. Ono po čemu se ovi magmatski kompleksi značajno razlikuju među sobom su geološki, tehnološki, delom i estetski faktori (tabela 5-3). Iz tog razloga su ove tri grupe faktora pre svega uzete u obzir pri rangiranju magmatskih kompleksa prema potencijalnosti sa aspekta AGK. Rangiranje se vrši prema ukupnom broju bodova koji se dodeljuju pojedinačnim magmatskim kompleksima na osnovu njihovih svojstava. U okviru kompleksa koji su izuzetno heterogene građe, izdvojena su i bodovana samo područja koja ispunjavaju bar neke od uslova upotrebljivosti kao AGK (svežina, jedrina, odsustvo intenzivnih hidrotermalnih alteracija i tektoniziranosti i dr.). Prosto sabiranje bodova i zasebno vrednovanje pojedinih faktora, zbog specifičnosti problematike arhitektonskog građevinskog kamena, može da dovede do ozbiljnih grešaka u oceni potencijalnosti. Na primer, kamen sa određene lokalnosti može da ima izuzetnu dekorativnost, ali usled intenzivne tektoniziranosti da bude potpuno nemoguće dobijanje blokova AGK. Tako serpentiniti Srbije imaju lepu boju, ali je zbog nestabilnih i trošnih minerala i ispucalosti, njihova primena kao AGK nemoguća.

U tabeli 5-4 je prikazano bodovanje pojedinačnih magmatskih kompleksa, odnosno njihovih delova.

Prema zbiru bodova za sve faktore, kompleksi se svrstavaju u kategorije:

velika perspektivnost: 85-150 bodova

srednja ili ograničena perspektivnost 60-85

mala perspektivnost ili neperspektivna do 60 bodova

Zapaženo je da zbog variranja kvaliteta stenske mase u različitim delovima magmatskih tela postoje variranja u broju bodova i do 30. To znači da manji broj bodova imaju delovi magmatskih tela sa nižim kvalitetom stenske mase, i da njih treba izostaviti u daljem toku prospekcijsko-istražnog procesa, i usmeriti ga na delove boljeg kvaliteta stenske mase, koji imaju veći broj bodova.

Tabela 5-1: pregledni prikaz mehaničkih svojstava kamena sa ispitanih lokalnosti

Lokalnost		Pritisna čvrstoća u suvom stanju	Opseg variranja vrednosti	Pritisna čvrstoća u vodo- zasićenom stanju	Opseg variranja vrednosti	Pritisna čvrstoća nakon ciklusa smrzavanja	Opseg variranja vrednosti	Otpornost prema habanju brušenjem	Opseg variranja vrednosti	Savojna čvrstoća	Opseg variranja vrednosti
Borač	Talambas (trahandezit do trahibazalt)	202	176-230	166	119-196	166	101-212	14,96	12,63-18,35	24,77	20,40-31,41
	Ravno brdo (dacit)	145	113-183	120	97-137	102	70-150	16,65	16,19-16,98	22,84	21,63-24,34
Ibarski vulkaniti	V. Bisina (andezit)	221	146-306	212	128-301	211	98-293	7,52	6,57-8,50	31,25	29,86-33,13
	Brvenik (andezit)	242	111-359	214	100-342	213	74-324	9,35	7,99-11,66	36,60	35,32-38,41
Rudnik	Ćeramide (dacit)	187	94-343	183	102-341	176	119-322	8,14	6,48-9,18	33,19	32,08-34,30
	Gradska gora (andezit)	198	95-332	178	89-310	168	76-294	12,16	9,29-26,91	29,80	27,59-31,60
Stolovi (andezit)		199	92-312	185	68-303	168	61-279	12,07	7,04-32,04	23,57	19,00-36,41
Slavkovic, istočna masa, deo	istočni	161	53-273	140	52-270	133	50-250	8,93	6,59-11,07	13,70	8,56-24,44
	zapadni	200	79-262	184	73-252	182	68-258	8,81	6,82-13,51	10,71	/
Boranja (granodiorit)		172	105-281	155	103-277	137	106-246	8,74	6,69-10,69	19,03	14,70-34,16
Brajkovac (granodiorit do granit)		154	100-217	118	58-198	117	53-146	9,04	7,70-11,39	18,00	10,09-24,90
Bukulja (granit)		170	135-219	146	83-205	141	77-195	9,97	7,27-12,54	15,71	12,10-19,01
Cer (granit i granodiorit)		147	104-229	134	100-207	131	106-193	9,64	8,85-11,53	14,83	7,54-19,80
Drenje (granodiorit)		158	118-229	154	105-221	145	105-218	9,79	7,88-15,02	17,67	11,00-24,10
Kremiči (granodiorit)		169	153-189	136	100-164	134	95-154	10,01	9,71-10,59	31,97	31,06-32,51
Kosmaj (granit)		147	110-182	121	96-151	119	96-135	10,15	9,49-11,04	15,05	14,12-16,35
Željina (granodiorit)		189	133-205	145	124-175	145	80-189	11,00	8,83-12,30	15,62	10,48-21,18
Po Jevre- moviću (1997), osim *	granit	184	114-246	153	79-251	151	101-220	-	-	21,4	10-20*
	granodiorit	201	155-272	170	110-217	170	122-221	-	-	-	-
	dacit	215	85-353	193	45-318	189	56-331	-	-	-	-
	andezit	193	93-327	177	58-325	171	41-332	-	-	-	15-20*

\* vrednosti po Bilbiji (1984)

Tabela 5-2: pregledni prikaz fizičkih svojstava kamena sa ispitanih lokalnosti

Lokalnost		Poro- znost	Opseg variranja vrednosti	Upijanje vode	Opseg variranja vrednosti	Zaprem. masa sa porama	Opseg variranja vrednosti	Zaprem. masa bez pora	Opseg variranja vrednosti	Toplotno širenje	Opseg variranja vrednosti
Borač	Talambas	1,30	0,90-1,80	0,45	0,12-1,04	2,665	2,574-2,708	2,701	2,678-2,715	0,521	0,444-0,608
	Ravno brdo	5,40	-	1,71	1,57-2,00	2,525	2,481-2,569	2,670	2,655-2,678	0,437	0,419-0,472
Ibarski vulkaniti	V. Bisina	2,80	2,30-3,80	0,59	0,17-0,88	2,589	2,540-2,620	2,664	2,608-2,690	0,511	0,496-0,526
	Brvenik	1,45	0,40-2,60	0,42	0,15-0,76	2,658	2,630-2,680	2,697	2,680-2,720	0,471	0,391-0,530
Rudnik	Ćeramide	3,94	1,40-6,00	0,91	0,38-1,15	2,541	2,520-2,550	2,645	2,586-2,700	0,637	0,630-0,647
	Gradska gora	8,18	3,10-11,10	2,03	1,15-2,89	2,474	2,400-2,550	2,694	2,630-2,710	0,525	0,439-0,600
Stolovi		3,20	0,80-6,70	0,99	0,17-3,36	2,591	2,520-2,650	2,676	2,601-2,720	0,574	0,536-0,602
Slavkovića, istočna masa, deo	istočni	2,70	0,48-4,50	0,74	0,41-1,01	2,605	2,560-2,630	2,678	2,630-2,702	0,685	0,520-0,829
	zapadni	3,70	1,50-5,60	0,98	0,79-1,32	2,566	2,527-2,610	2,665	2,564-2,680	/	/
Boranja		0,90	0,70-1,30	0,28	0,14-0,38	2,682	2,666-2,692	2,707	2,686-2,720	0,576	0,476-0,685
Brajkovac		1,70	1,50-2,50	0,53	0,14-0,85	2,639	2,610-2,672	2,685	2,678-2,702	0,410	0,380-0,440
Bukulja		1,87	1,10-3,30	0,43	0,17-0,60	2,630	2,620-2,633	2,660	2,650-2,680	0,559	0,510-0,604
Cer		1,42	0,80-2,20	0,44	0,35-0,52	2,628	2,610-2,670	2,666	2,640-2,700	0,540	0,432-0,622
Drenje		1,00	0,07-1,10	0,31	0,22-0,43	2,710	2,690-2,773	2,737	2,720-2,770	0,656	0,614-0,681
Kremiči		0,90	0,90	0,40	0,23-0,68	2,678	2,660-2,698	2,703	2,703	0,499	0,466-0,544
Kosmaj		1,80	1,80	0,46	0,40-0,50	2,670	2,648-2,700	2,719	2,703-2,727	0,525	0,505-0,543
Željin		1,70	-	0,29	0,11-0,71	2,701	2,680-2,735	2,752	2,747-2,760	0,620	0,589-0,644
Po Jevre- moviću (1997)	granit	1,90	0,30-5,00	0,43	0,06-1,39	2,660	2,559-2,762	/	/	/	/
	granodiorit	/	/	/	/	2,711	2,671-2,783	/	/	/	/
	dacit	3,90	0,30-13,0	0,81	0,09-3,63	2,589	2,294-2,895	/	/	/	/
	andezit	4,30	0,60-20,0	1,05	0,08-7,30	2,589	2,202-2,762	/	/	/	/

Tabela 5-3: sistem bodovanja karakteristika stenske mase magmatskih kompleksa Vardarske zone

1. GEOLOŠKI FAKTORI					
<b>Bodovi:</b>			0	5	10
<b>STRUKTURNA GRAĐA STENSKE MASE</b>	<b>Primarni blokovi stenske mase</b>	<b>dimenzije</b>	pretežno do 1 m <sup>3</sup>	1-3 m <sup>3</sup>	> 3 m <sup>3</sup>
		<b>blokovi &gt; 1 m<sup>3</sup></b>	nema	retki	česti
	<b>Lučenje stene</b>		nepravilno, kuglasto, tankopločasto	paralelopipedno	bankovito, masivno
	<b>Tektoniziranost stenske mase</b>		intenzivna	srednja	slaba
<b>PETROLOŠKE KARAKTERISTIKE STENE</b>	<b>Sklop</b>	<b>struktura</b>	vitrofirnska, porfirnska sa krupnim fenokristalima	porfirnska sa sitnijim fenokristalima srednjezrna ili sitnozrna sa lineacijom ili porfiroidna	orbikularna
		<b>tekstura</b>	usmerena – folijacija, lineacija; šljakasta	slabo izražena usmerena	masivna
	<b>Sadržaj štetnih sastojaka</b>		sulfidi Fe, vulkansko staklo, olivin	dosta liskuna, magnetit, hematit	bez
	<b>Hidrotermalna alterisanost</b>		intenzivna	slaba	bez
	<b>Poroznost</b>		velika (> 5%)	mala (1-5 %)	bez (< 1%)
<b>DIMENZIJE MAGMATSKOG KOMPLEKSA (otvorena površina)</b>			mali (< 1 km <sup>2</sup> )	srednji (1-10 km <sup>2</sup> )	veliki (> 10 km <sup>2</sup> )
<b>RADIOAKTIVNOST</b>			povišena	niska	nema
2. TEHNOLOŠKI FAKTORI					
<b>MOGUĆNOST PRIMENE KAMENA</b>			vrlo ograničena (samo enterijer ili eksterijer, samo horizontalno ili vertikalno oblaganje, prisutan pirit) nemoguće dobijanje blokova neophodnih dimenzija	ograničena (može i u enterijeru i u eksterijeru, može i za vertikalno i za horizontalno oblaganje, ali samo pojedine kategorije)	neograničena
<b>FIZIČKO-MEHANIČKA SVOJSTVA KAMENA (pritisna čvrstoća u suvom stanju)</b>			loša (< 140 MPa)	zadovoljavajuća (140-160 MPa)	odlična (> 160 MPa)
3. ESTETSKI FAKTORI					
<b>DEKORATIVNOST</b>			običan kamen (siva, braon boja) sa mnoštvom šlira, anklava i žica	običan kamen (siva, braon boja) sa malo šlira i/ili anklava	dekorativan kamen (crvena, zelena, plava, roze boja, specifičan sklop, krupni stabilni fenokristali lepih boja)
<b>HOMOGENOST IZGLEDA</b>			izrazito nehomogen (litaž, brojne šlire, anklave, žice)	nehomogen (ređe šlire, anklave, žice)	homogen (bez šlira, anklava, žica)

Tabela 5-4: bodovanje svojstava stenske mase magmatskih kompleksa Vardarske zone

	Boračko-kotlenički kompleks		Boranjski kompleks	Brajkovački kompleks	Bukuljski kompleks, severni deo plutona	Cerski kompleks, Čokešina	Drenjski kompleks	Kosmajski kompleks
	Ravno brdo	Talambas						
Dimenzije primarnih blokova	5	0	10	10	10	0-10	5-10	5-10
Blokovi > 1 m <sup>3</sup>	10	5	10	10	10	5	10	10
Lučenje stene	5	0	5	10	10	5	5-10	10
Tektoniziranost stenske mase	5	0	5	5-10	5-10	0-5	5-10	5-10
Struktura	5	5	5	5	5	5	5	5
Tekstura	10	10	5	10	5-10	5	5	10
Sadržaj štetnih sastojaka	0	0	0	0	5-10	0	5-10	5-10
Hidrotermalna alterisanost	5	0	5-10	5	10	5	5	10
Poroznost	0	5	10	5	5	5	10	5
Dimenzije magmatskog kompleksa	0	0	10	5	10	10	5	0
Mogućnost primene kamena	0-5	0-5	0-10	0-5	5	0-5	5	5
Fizičko-mehanička svojstva kamena (pritisna čvrstoća u suvom stanju)	5	10	10	5	10	5	5	5
Dekorativnost	5	5	5	0-5	5	0	0-5	10
Homogenost izgleda	5	5	5	5	5-10	0	0-5	5
Ukupno	60-65	45-50	90-105	75-90	100-120	45-65	70-100	90-105

	Kremički kompleks	Ibarski vulkaniti		Rudnički kompleks		Vulkaniti Stolova	Slavkovički kompleks, istočna masa	Željinski kompleks
		Brvenik-Šumnik	Velika Bisina	Gradska Gora	Ćeramide-Rudnik	Kamenica		
Dimenzije primarnih blokova	0-10?	0	5	0	0	0	5	10
Blokovi > 1 m <sup>3</sup>	5?	5	5	5	5	5	5-10	10
Lučenje stene	5	0	0-5	5	0	0	5-10	10
Tektoniziranost stenske mase	5	0	0	0-5	0	0	5*	5-10
Struktura	5	5	5	5	0	5	0-5	5
Tekstura	5	5	10	5-10	10	0-5	10	0-10
Sadržaj štetnih sastojaka	10	0	0	5	0	0	0	5-10
Hidrotermalna alterisanost	10	0-5	0-5	5	0-5	0-5	5	10
Poroznost	10	5	5	0	5	5	5	5
Dimenzije magmatskog kompleksa	5	5	0	5	5	0	10	10
Mogućnost primene kamena	10	0	0	5	5	0-5	5	5
Fizičko-mehanička svojstva kamena (pritisna čvrstoća u suvom stanju)	10	10	10	10	10	10	5-10	10
Dekorativnost	5	0	0-5	5	5	5	5	5
Homogenost izgleda	5	0	5	5	5	0-5	5	0-5
Ukupno	90-100	35-40	45-60	60-70	50-55	30-50	70-90	90-115

\* uticaj eksploziva je dodatno pogoršao tektoniziranost mase

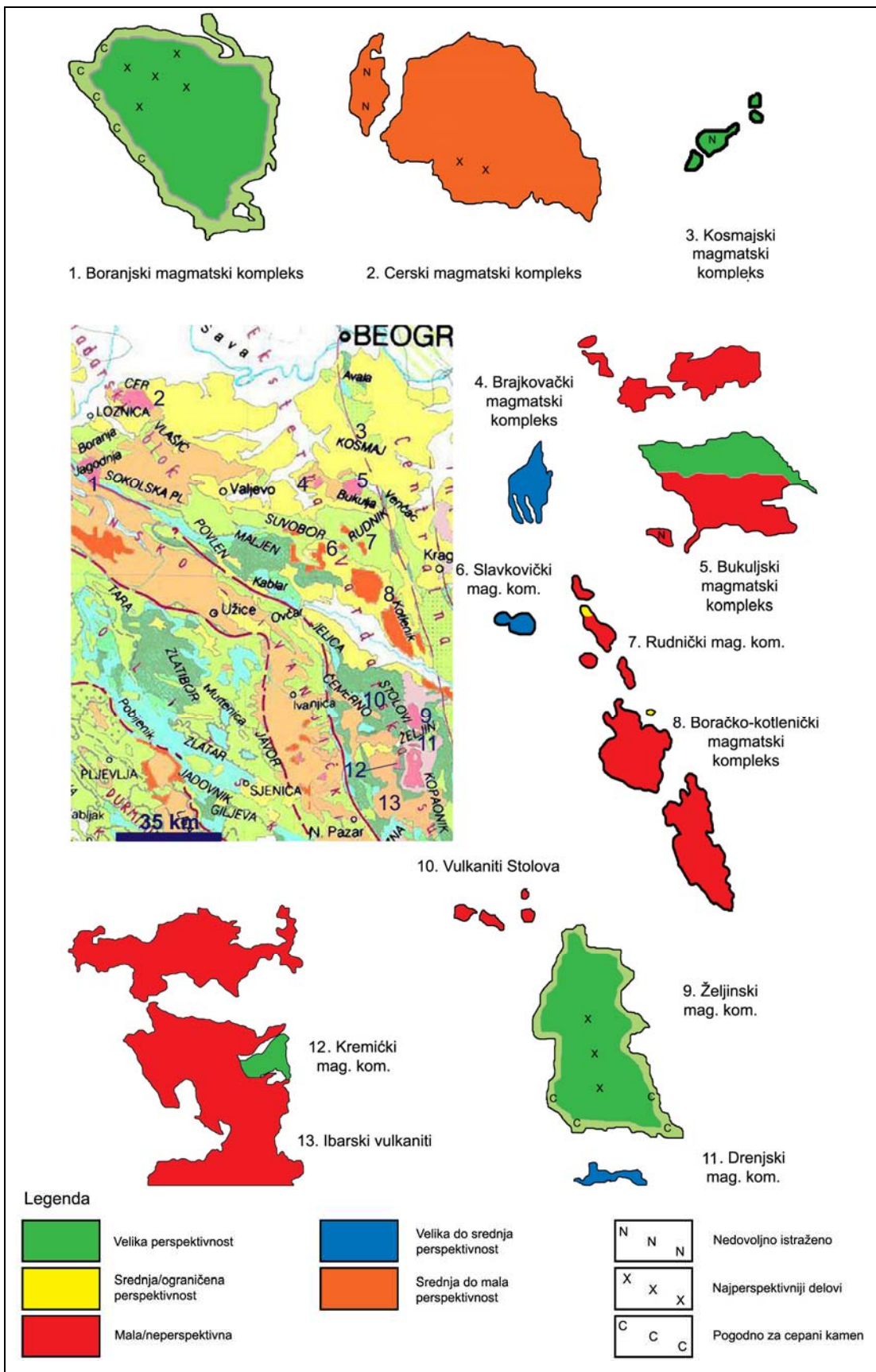


Iz tabela 5-1 i 5-2 se može videti da je, generalno, u okviru plutonskih magmatskih kompleksa, variranje sastava i svojstava manjeg opsega nego u vulkanitskim magmatskim kompleksima. Na osnovu definisanog sistema bodovanja, može se zaključiti da u grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "velika perspektivnost" spadaju sledeći kompleksi: boranjski, bukuljski, kosmajski, kremički i željinski (sl. 5-1). Ovi magmatski kompleksi, svi plutonski, pre svega ispunjavaju uslov monolitnosti stenske mase, i to je njihova najveća prednost. Njihova estetska svojstva su uglavnom slaba, sa izuzetkom kosmajskog plutona – zahvaljujući čemu prvenstveno i pripada ovoj grupi, s obzirom da je ostala svojstva ovog plutona zbog pokrivenosti teško pouzdano proceniti. Fizičko-mehanička svojstva stenske mase su zadovoljavajuća, uz napomenu da bi uzorci iz svežih delova stenske mase dali još bolje rezultate. Magmatski kompleksi iz ove grupe ostvaruju uslove za prelazak na sledeću fazu prospekcijsko-istražnog procesa, na detaljnu prospekciju (po Vakanjcu, 1976a i Jankoviću i Milovanoviću, 1985).

U boranjskom magmatskom kompleksu, najperspektivniji delovi za dalja istraživanja su centralni delovi plutona, s obzirom da u obodnim delovima plutona stena ima planparalelnu teksturu a prisutni su i krupni agregati pirita. Eksploatacija kamena je vršena u većem broju kamenoloma tokom 20. veka, pretežno u severnom delu plutona. Objekti izgrađeni od kamena iz boranjskog plutona su pokazali zadovoljavajuću trajnost tokom dugog niza godina, uprkos brojnim anklavama i krupnim agregatima pirita.

U bukuljskom magmatskom kompleksu, perspektivni delovi za dalja istraživanja se nalaze u severnom delu plutona, s obzirom da je južni deo plutona intenzivno tektoniziran i alterisan, uz povišenu radioaktivnost. Eksploatacija kamena je vršena u velikom broju kamenoloma tokom 20. veka, pretežno u severnom delu plutona. Objekti u okolini Arandelovca, koji su spolja obloženi ovim kamenom su pokazali nezadovoljavajuću trajnost samo zbog ugradnje kamena koji je već bio alterisan, dok je svež kamen pokazao zadovoljavajuću trajnost nakon ugradnje.

Kremički pluton je slabo otkriven i slabo istražen, pa je teško dati preciznu odrednicu delova plutona perspektivnih za dalja istraživanja. Uz istočni obod plutona su zapažene sulfidne mineralizacije, pa stoga ovaj deo ima nižu potencijalnost. Stanovništvo iz okolnih sela vadi kamen iz kremičkog plutona na prirodnim izdancima i koristi ga za zidanje kuća, staja i drugih manjih objekata, gde je pokazao zadovoljavajuću trajnost.



Slika 5-1: Šematski prikaz potencijalnosti obrađenih magmatskih kompleksa.

U okviru željinskog magmatskog kompleksa, zapaženo je da su u delovima plutona bližim obodu značajno zastupljene žične stene i litaž, dok je dalje od oboda stenska masa homogenija i stoga predstavlja perspektivniji deo za dalja istraživanja. Eksploatacija kamena je vršena u nekoliko manjih kamenoloma, za potrebe lokalnog stanovništva. Blokovi stenske mase mogu biti veoma krupni. Stanovništvo iz okolnih sela vadi kamen iz željinskog plutona na prirodnim izdancima i u dva mala kamenoloma, i koristi ga za zidanje kuća, ograda, staja i drugih manjih objekata, gde je pokazao zadovoljavajuću trajnost.

U prelaznu grupu između velike i srednje perspektivnosti spadaju plutoni Brajkovca i Drenja i subvulkanska masa Slavkovice. Manu stenske mase drenjskog magmatskog kompleksa predstavlja heterogena građa – prisustvo brojnih žica, litaža i planparalelne teksture, ali uslov monolitnosti stenske mase je ispunjen. Magmati Slavkovice i Brajkovca su problematični zbog prisustva pirita, što im ograničava mogućnost primene, a eksploatacija putem masovnog miniranja koja je jedno vreme korišćena u slavkovičkom magmatskom kompleksu utiče na fizičko-mehanička svojstva kamena. Obe vrste kamena su se loše pokazale na mestima na kojima su ugrađeni u eksterijeru. Ova dva magmatska kompleksa, odnosno njihovi delovi su već detaljno istraženi sa utvrđenim rezervama AGK.

U grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "srednja ili ograničena perspektivnost" spadaju vulkaniti Ravnog brda (Borač) i Gradske Gore (Rudnik), koji u dubljim delovima magmatskih tela ispunjavaju uslov monolitnosti stenske mase, ali imaju slabija fizičko-mehanička svojstva usled hidrotermalnih promena promenljivog intenziteta. Stene iz ovih magmatskih kompleksa uglavnom su korišćene za dobijanje cepanog kamena za podmirenje potreba lokalnog stanovništva – zidanje ograda, česmi, staja i dr., i za ove namene kamen ima zadovoljavajuću trajnost. Postoji mogućnost da u dubljim delovima magmatskog tela stenska masa ima povoljnija svojstva sa aspekta AGK, što se može utvrditi daljim istraživanjima.

U prelaznu grupu između srednje i male perspektivnosti spada cerski pluton. U dubljim delovima magmatskog tela je ispunjen uslov monolitnosti, ali stenska masa je izuzetno heterogene građe, prožeta brojnim žicama, pri čemu se dve generacije magmatskih stena prožimaju tako da je selektivna eksploatacija nemoguća, a njihova fizičko-mehanička svojstva i svežina se razlikuju. Eksploatacija kamena je vršena u severnom delu plutona radi dobijanja kocke i ivičnjaka.

U grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "mala perspektivnost ili neperspektivna" spadaju vulkaniti Talambasa (Borač), Brvenika-Šumnika i Velike Bisine (Ibarski vulkaniti), Čeramida (Rudnik) i Kamenice (Stolovi). Stenska masa u okviru ovih magmatskih kompleksa ne ispunjava uslov monolitnosti i nema indikacija da se dimenzije prirodnih blokova povećavaju sa dubinom, a zatim, bila je izložena i hidrotermalnim promenama, koje su uslovile izrazitu promenljivost fizičko-mehaničkih svojstava. Iz ovih nalazišta je uglavnom dobijan ili se i danas dobija tehnički kamen koji se koristi kao agregat u putogradnji. Eksploatacija tehničkog kamena je vršena i vrši se miniranjem, što je dovelo do dodatnog pogoršanja kvaliteta kamena sa aspekta AGK. Uprkos navedenom, npr. iz Kamenice (Stolovi) je, zbog lepe zelene boje, po zahtevu naručioca svojevremeno vađen kamen korišćen kao AGK – za oblaganje trgova i spomenika u Kraljevu. Zbog nedovoljnih dimenzija blokova, dobijane su marmete umesto ploča za oblaganje standardnih dimenzija, a dodatne troškove obrade uzrokovane silifikovanošću stenske mase je pokrio naručilac (usmeno saopštenje, inž. V. Pajković, 2010). Ovo pokazuje da su sve odredbe potencijalnosti sa aspekta AGK u suštini relativne, jer su jako zavisne od cene proizvoda koju je naručilac spreman da plati.

Ako se posmatra potencijalnost pojedinačnih magmatskih kompleksa, prema broju bodova, oni se mogu razvrstati, počevši od kompleksa sa najvećom potencijalnošću ka onima sa manjom na sledeći način: bukuljski, željinski, boranjski, kosmajski, kremički, drenjski, brajkovački, slavkovički, Gradska Gora (rudnički), Ravno brdo (borački), cerski, V. Bisina (Ibarski), Čeramide (rudnički), Talambas (borački), Kamenica (Stolovi) i Brvenik-Šumnik (Ibarski). Kroz višedecenijsku eksploataciju AGK u bukuljskom magmatskom kompleksu, koji je najbliži maksimalnom broju bodova je i

potvrđeno da stenska masa poseduje neophodan kvalitet, dok je željinski magmatski kompleks, drugi po potencijalnosti s te strane nepravedno zapostavljen sa aspekta AGK, budući da u njemu postoji eksploatacija kamena isključivo za potrebe lokalnog stanovništva – verovatno zbog udaljenosti od metropole.

Kada se sagleda potencijalnost različitih formacija (tabela 5-5) obrađenih magmatskih kompleksa tercijarne starosti, može se zaključiti da je potencijalnost formacije magmata dinaridskog granitoidnog pojasa (grupa B-a) najveća, nezavisno od njihove starosti (period eocen-oligocen, oligocen, ili period oligocen-miocen). Magmati formacije južnog oboda Panonskog basena ne pokazuju zajednička svojstva u tom smislu, već su raspoređeni po različitim grupama prema potencijalnosti. Moguće je da u ovom slučaju potencijalnost zavisi od nivoa erodovanosti.

Tabela 5-5: potencijalnost formacija\* magmatskih stena tercijarne starosti sa aspekta AGK

Grupa perspektivnosti	Magmatski kompleks	Stena	Formacija	Apsolutna starost
velika perspektivnost	bukuljski	granit	Bb	Ol-M
	željinski	granodiorit	Ba	Ol-M
	boranjski	granodiorit	Ba	E-Ol
	kosmajski	moncogranit	Ba	Ol
	kremički	granodiorit	Ba	Ol
prelaz iz velike u srednju	drenjski	granodiorit	Ba	Ol
	brajkovački	granodiorit	Bb	Ol
	slavkovički	dacit	Ca	Ol
srednja ili ograničena perspektivnost	Gradska Gora (rudnički)	dacit	Ca	E-Ol
	Ravno brdo (borački)	dacit	Ca	M
prelaz iz srednje u malu	cerski	granitoid	Bb	Ol-M
mala perspektivnost ili neperspektivna	Velika Bisina (Ibarski)	andezit	Ca	Ol
	Čeramide (rudnički)	kvarclatit	Ca	M
	Talambas (borački)	lamprofir	Cb	M
	Kamenica (Stolovi)	andezit	Ca	-
	Brvenik-Šumnik (Ibarski)	andezit	Ca	Ol

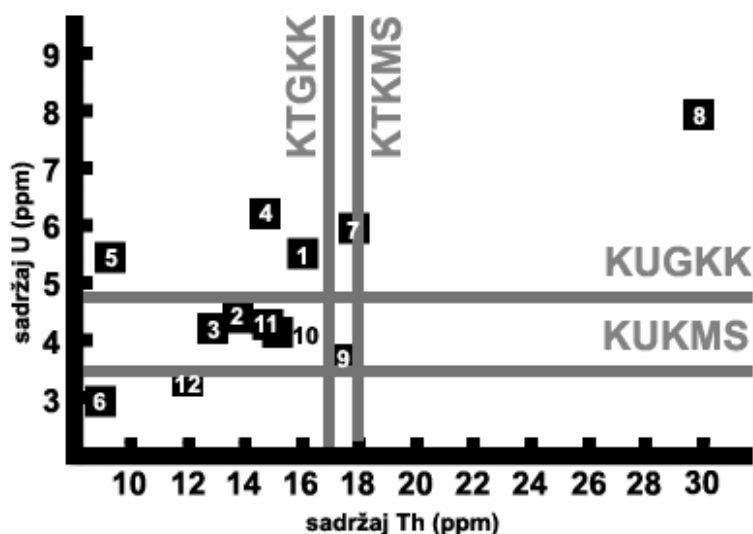
\* Formacije prema: Cvetković et al., 2000a

Magmati koji pripadaju kasnopaleogeno-neogenoj vulkanitskoj formaciji centralne ose Balkanskog poluostrva, podgrupi srednje do visoko kalijskih kalkoalkalnih stena (C-a) imaju generalno nižu potencijalnost, nezavisno od njihove starosti (period eocen-oligocen, oligocen, period oligocen-miocen ili miocen). Među lamprofirima, koji pripadaju istoj grupi, ali podgrupi kalijskih do ultrakalijskih stena (C-b), koji generalno nemaju potencijalnost sa aspekta AGK zbog malih dimenzija, visokog stepena alterisanosti, nedostatka monolitnosti i kohezije, samo na jednoj lokalnosti je bilo moguće uzeti uzorak u skladu sa standardom B.B0.001 (to je lamprofir Talambasa, koji pripada boračko-kotleničkom vulkanitskom kompleksu), i on je svrstan u grupu najniže potencijalnosti. Ovo nas upućuje na zaključak da potencijalnost određenog magmatskog kompleksa sa aspekta AGK ne zavisi od njegove pripadnosti određenoj formaciji tercijarnih magmatskih stena niti od njegove starosti, već da su na perspektivnost presudno uticali uslovi geneze svakog pojedinačnog magmatskog kompleksa, zavisni od lokalnih uslova strukturne građe terena, tektonskih kretanja tokom i nakon očvršćavanja magme, kao i tipa, dimenzija i oblika magmatskog ognjišta, a višefaznost magmatske aktivnosti i uticaj mlađih magmata je bio presudan na kvalitet stenske mase sa aspekta AGK.

Dobijene vrednosti sadržaja urana i torijuma u magmatskim kompleksima obuhvaćenim našim ispitivanjima prikazane su u tabeli 5-6 i na grafiku na slici 5-2 radi međusobnog poređenja.

Tabela 5-6: sadržaji urana i torijuma u magmatskim kompleksima Vardarske zone

Broj na grafiku	Magmatski kompleks	Srednji sadržaj urana (ppm)	Srednji sadržaj torijuma (ppm)	
1	Bukulja, granit	5,31	16,00	
2	Cer	granodiorit	4,70	14,00
3		granit	4,50	13,00
4	Boranja, granodiorit	6,14	15,50	
5	Brajkovac, granodiorit	5,27	9,45	
6	Slavkovića, dacit	3,06	8,70	
7	Rudnik, daciti do kvarclatiti	5,85	18,07	
8	Borač, kvarclatiti	7,80	29,70	
9	Kremići, granodiorit	3,95	17,71	
10	Željin, granodiorit	4,43	15,59	
11	Drenje, granodiorit	4,51	15,08	
12	Ibarski vulkaniti	3,42	12,08	



Slika 5-2: Sadržaji urana i torijuma u magmatskim kompleksima Vardarske zone. Brojevi predstavljaju odgovarajući magmatski kompleks iz tabele 5-6. KTGKK – Klark torijuma za granite kontinentalne kore; KTKMS - Klark torijuma za kisele magmatske stene; KUGKK – Klark urana za granite kontinentalne kore; KUKMS - Klark urana za kisele magmatske stene.

Srednji sadržaj urana manji od Klarka za kisele magmatske stene imaju samo Ibarski i slavkovički vulkaniti. Ostali se smatraju obogaćenim u pogledu sadržaja urana u odnosu na Klark urana za kisele magmatske stene (3,5 ppm po Vinogradovu; iz: Omaljev, 1981).

Srednji sadržaj urana manji od Klarka za granite kontinentalne kore imaju magmati Cera, Slavkovice, Kremića, Željina, Drenja i Ibarski vulkaniti. Ostali (bukuljski, boranjski, brajkovački, rudnički, boračko-kotlenički) se smatraju obogaćenim u pogledu sadržaja urana u odnosu na Klark urana za granite kontinentalne kore (4,8 ppm po Tejloru, 1964; iz: Omaljev, 1981).

Srednji sadržaj torijuma veći od Klarka za kisele magmatske stene imaju samo rudnički i boračko-kotlenički vulkaniti. Ostali se smatraju osiromašenim u pogledu sadržaja torijuma u odnosu na Klark torijuma za kisele magmatske stene (18 ppm po Vinogradovu; iz: Omaljev, 1981).

Srednji sadržaj torijuma veći od Klarka za granite kontinentalne kore imaju samo rudnički i boračko-kotlenički vulkaniti i kremički granitoid. Ostali se smatraju osiromašenim u pogledu sadržaja torijuma u odnosu na Klark torijuma za granite kontinentalne kore (17 ppm po Tejloru, 1964; iz: Omaljev, 1981).

Vrednosti Klarka za uran i torijum ne predstavljaju vrednosti koje su relevantne za utvrđivanje tzv. gama indeksa kao što je propisano Zakonom o zaštiti od jonizujućih

zračenja i o nuklearnoj sigurnosti i Pravilnikom o granicama radioaktivne kontaminacije lica, radne i životne sredine i načinu sprovođenja dekontaminacije, ali u nedostatku utvrđenih gama indeksa, i vrednosti sadržaja radioaktivnih elemenata kojima raspoložemo daju dovoljno jasnu sliku uticaja ovog parametra na upotrebljivost stena iz obrađenih magmatskih kompleksa kao AGK. Na osnovu gore prikazanih odnosa, može se zaključiti da je pre otvaranja kamenoloma neophodno ispitati gama indekse prisutnih varijeteta stena (naročito porfiroidnih, koji su pokazali najviše sadržaje urana) u svim magmatskim kompleksima, a naročito u bukuljskom, boranjskom, brajkovačkom, kremićkom, rudničkom i boračko-kotleničkom kompleksu. Kada se uzme u obzir da rudnički i boračko-kotlenički vulkaniti i po drugim parametrima nisu perspektivni sa aspekta AGK, preostaju bukuljski, boranjski, brajkovački i kremićki granitoidi kao rizični sa aspekta radioaktivnosti i u njima treba obavezno utvrditi nivoe gama indeksa pre početka eksploatacije.



## 6.0. ZAKLJUČAK

U sastavu Vardarske zone, jedne od tektonski najsloženijih oblasti Balkanskog poluostrva, u čijem domenu se odvijalo otvaranje i zatvaranje okeanskih prostora i subdukcija koja je dovela do intenzivne magmatske aktivnosti pretežno tokom tercijara, danas se nalazi veći broj magmatskih kompleksa. U prethodnim poglavljima su obrađene geološke karakteristike trinaest izabranih magmatskih kompleksa Vardarske zone tercijarne starosti, i laboratorijski određena mineraloško-petrografska svojstva stena u njihovom sastavu i fizičko-mehanička svojstva kamena značajna za utvrđivanje mogućnosti njihove primene za dobijanje blokova arhitektonskog građevinskog kamena iz kojih se dobijaju ploče za oblaganje građevinskih objekata, na osnovu kriterijuma propisanih standardima iz ove oblasti. Na osnovu svih izvršenih ispitivanja je formirana rang lista magmatskih kompleksa prema njihovoj potencijalnosti sa aspekta AGK. Upoređivanje i ocenjivanje najperspektivnijih delova stenske mase je izvršeno na osnovu dimenzija, monolitnosti, sklopa, sastava i svežine, odnosno stepena alterisanosti stenske mase, fizičko-mehaničkih svojstava, dekorativnosti i mogućnosti primene kamena. Mineraloški sastav, sklop, svežina odnosno stepen alterisanosti ovih stena, kao i stepen tektoniziranosti magmatskih kompleksa, presudni su za mogućnost njihove primene u građevinarstvu.

U okviru terenskih proučavanja su prikupljeni uzorci za laboratorijska ispitivanja u skladu sa standardom SRPS B.B0.001 i na njima su izvršena laboratorijska ispitivanja mineraloško-petrografskih svojstava stena i fizičko-mehaničkih svojstava kamena prema metodama navedenim u standardu B.B3.200:1994, i procedurama važećim u Laboratoriji za kamen i agregat Instituta IMS a.d. Ocena kvaliteta kamena na osnovu utvrđenih svojstava izvršena je prema praksi koja se primenjuje u Laboratoriji za kamen i agregat – u skladu sa kriterijumima koji su dati u knjizi “Tehnička petrografija” (Bilbija, 1984), a mogućnost primene u skladu sa propisanim kriterijumima navedenim u standardu B.B3.200:1994.

Tercijarne magmatske stene nastale konsolidacijom kalkoalkalnih magmi se javljaju u vidu intruziva praćenih žičnim stenama, subvulkanski utisnutih masa, prostranih vulkanskih izliva praćenih vulkanoklastitima, ali i manjih proboja, dajkova i izliva. Prema sadržaju silicije, sastav tercijarnih magmatskih kompleksa Vardarske zone varira

od kiselih do bazičnih, pri čemu kisele do srednje kisele preovlađuju, dok su bazične retke.

Među plutonskim stenama se javljaju graniti, kvarcmononiti, granodioriti i kvarcdioriti, a najviše su zastupljeni granodioriti. Kod nekih plutona se zapaža zonarnost građe. Plutoniti su praćeni žičnim ašistnim i diašistnim stenama. Od izlivnih stena su prisutne stene od bazalta do andezita i dacita, retko riolita. Najzastupljeniji su dacito-andeziti i kvarclatiti.

Intruzivne stene su pretežno zrnaste strukture, sa variranjem od sitnozrne do krupnozrne i u okviru jednog intruzivnog tela. Tekstura intruzivnih stena je uglavnom masivna, sa redovnom pojavom uklopaka (anklava). U nekim granitoidima ili njihovim delovima se zapaža paralelna orijentacija bojenih sastojaka – planparalelna tekstura. Subvulkanski odnosno plitkointruzivni magmati su pretežno holokristalasto porfirske strukture. Kod izlivnih stena preovlađuju porfirske strukture, sa različitim odnosima fenokristala i osnovne mase. Tekstura izlivnih stena je uglavnom masivna, a ponekad se zapažaju i pravci tečenja.

Žične stene mogu biti interesantne sa aspekta AGK samo u izuzetnim slučajevima – ako su magmatska tela dovoljnih dimenzija, homogene građe, ako nisu tektonizirane, i bez alteracija i radioaktivnih minerala. Vulkanoklastične stene mogu biti interesantne sa aspekta AGK samo pod uslovom da su vezane, sveže, bez alteracija i intenzivne tektoniziranosti. Tokom terenskog rada ovakve stene nisu konstatovane.

Tektonska oštećenost svih magmatskih kompleksa u okviru Vardarske zone kao mobilnog pojasa je značajna, pa je stoga otežano ostvarivanje uslova monolitnosti stenske mase neophodne za primenu stene kao AGK i, uprkos značajnoj zastupljenosti magmatskih kompleksa u okviru Vardarske zone, retki su lokaliteti iz kojih bi se mogao dobijati visoko kvalitetan AGK.

Radioaktivnost magmatskih stena Srbije je uglavnom vrlo niska, ali s obzirom na mogući poguban uticaj radioaktivnosti na ljudsko zdravlje, nije zahvalno donositi bilo kakve zaključke pre izvršenja propisanih ispitivanja.

U kasnijim fazama konsolidacije magme, kao i nakon njene konsolidacije, moguće su pojave hidrotermalnih alteracija. Tokom vremena, pod uticajem atmosferskih agenasa

dolazi do površinskog raspadanja formiranih stena. Intenzitet obe vrste promena stenske mase je promenljiv i zavisi od uticaja regionalnih i lokalnih genetskih uslova. Obe vrste promena stenske mase imaju veliki uticaj na mogućnost upotrebe stene kao AGK. Intruzivne stene su generalno slabije alterisane. Javljaju se lokalne promene usled cirkulacije hidrotermalnih rastvora duž pogodnih disjunktivnih struktura: sericitisanje, kaolinisanje, hloritisanje, kalcitisanje, epidotisanje, ponekad sa pojavom impregnacija pirita. Ekstenzivne hidrotermalne promene su zapažene samo u južnom delu bukuljskog plutona. U efuzivnim i vulkanoklastičnim stenama su hidrotermalne promene raznovrsne, ekstenzivne i promenljivog intenziteta: propilitisanje, silifikovanje, piritisanje, zeolitisanje, kalcitisanje, hematitisanje, hloritisanje, limonitisanje, argilisanje, opalisanje i dr. Ove alteracije zapažene kod svih vulkanita, svakako su nastale pod uticajem intruzivnih delova magmatskih kompleksa, čije je hlađenje trajalo duže nego hlađenje izlivnih facija i zato je uzrokovalo hidrotermalnu aktivnost koja se odvijala duž pre- ili sinmagnatskih rasednih i pratećih pukotinsko-prslinskih sistema u određenom vremenskom periodu nakon konsolidacije vulkanita.

Pod uticajem atmosferilija je došlo do grusiranja i/ili sprašivanja u površinskim delovima magmata, pri čemu debljina zone grusirane stene u intruzivima uglavnom ne prelazi 5 m. Svi vulkaniti, a naročito vulkanoklastiti su na površini raspadnuti. Usled intenzivne ispucalosti vulkanitskih masa, ove promene dosežu do značajnih dubina – i preko 10 m. Kada su vulkaniti silifikovani, grusiranje se ne zapaža.

Geološka građa ispitanih magmatskih kompleksa je detaljno opisana u četvrtom poglavlju, a na ovom mestu su navedene njihove najznačajnije karakteristike sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena.

Magnatski kompleks Bukulje se nalazi oko 60 km južno od Beograda, zapadno od Aranđelovca. Pluton je otvoren na površini od oko 40 km<sup>2</sup>. Petrološki sastav bukuljskog plutona je složen, i većina autora razlikuje tri grupe stena: dvoliskunski granit (najviše zastupljen u građi bukuljskog plutona), biotitski granit i aplitski granit (retki na površini). Tektonska i hidrotermalna aktivnost bila je intenzivna u južnom delu masiva, što je uzrokovalo intenzivnu tektoniziranost, alteraciju i raspadanje granitoida. Takođe, u južnom delu masiva su granitoidi obogaćeni povišenim koncentracijama urana. Stoga je sa aspekta AGK interesantan isključivo severni deo plutona.

Na Bukulji postoji veliki broj manjih i većih kamenoloma, u kojima se kamen i danas eksploatiše prema potrebi. Granit iz ovih kamenoloma je korišćen za dobijanje blokova AGK, kamena za zidanje, ivičnjaka, izradu spomenika, kocke, kolobrana, geobelega i dr. Povoljne osobine svežih granita Bukulje su: zrnasta struktura (sitnozrna do srednjezrna), mogućnost dobijanja krupnih blokova i ravnomeran raspored sastojaka. Nepovoljne osobine su: promenljivost krupnoće zrna – prelaz iz zrnaste u porfiroidnu strukturu, često prisustvo žica (pegmatitskih, aplitskih, kvarcnih), mestimično zaglinjavanje feldspata.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru. Nešto niža vrednost savojne čvrstoće, međutim, uslovljava mogućnost primene ovog kamena za oblaganja u eksterijeru za horizontalno oblaganje kategorija SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), i vertikalno oblaganje kategorija SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad tla).

Granitoidni magmatski kompleks Cera se nalazi u zapadnoj Srbiji, oko 20 km JZ od Šapca. Otkrivena površina iznosi oko 67 km<sup>2</sup>. Većina autora u glavnom cerskom granitoidnom kompleksu razlikuje dve faze: granodiorite i dvoliskunske granite. Granodioriti su u cerskom plutonu najviše zastupljeni. Mlađi dvoliskunski graniti S-tipa se javljaju u vidu masa nepravilnog oblika u okviru granodiorita. Granitoidi prve faze su takođe isprobijani mnoštvom pegmatitskih i aplitskih žica koje su naročito zastupljene u JI i SI delu masiva Cera.

U 20. veku je, u različitim vremenskim periodima, granitoidna masa Cera eksploatisana u brojnim kamenolomima. Pokrivenost terena je velika, usled čega se stenska masa može osmatrati isključivo u kamenolomima. Povoljna svojstva stenske mase sa aspekta AGK su srednja krupnoća zrna i jedrina. Nepovoljne osobine stenske mase su brojne: površinska raspadnutost, tektoniziranost, prisustvo anklava, mestimično izbeljivanje oko prslina, veliki udeo liskuna, česte pegmatitske i aplitske žice, usmerenost sastojaka i izrazita heterogenost sastava i izgleda, prožimanje različitih tipova stena sa različitim fizičko-mehaničkim karakteristikama na vrlo kratkim rastojanjima, što onemogućava dobijanje krupnijih blokova homogene stenske mase. Intenzivna pokrivenost terena onemogućava precizno izdvajanje delova stenske mase u kojima je njena građa

homogena i u kojima bi bila moguća selektivna eksploatacija različitih tipova stena (starijih I-tipa i mlađih S-tipa).

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru, a u eksterijeru je njegova primena zbog nešto nižih vrednosti pritiska i savojne čvrstoće za horizontalna oblaganja ograničena na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), a za vertikalna na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad terena). Zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje.

Boranjski magmatski kompleks se nalazi u zapadnoj Srbiji, istočno od M. Zvornika i 115 km JZ od Beograda. Granitoidni pluton ima otkrivenu površinu od oko 70 km<sup>2</sup>. Najvećim delom je izgrađen od granodiorita, manje kvarcmonconita i kvarcdiorita. Uprkos čestim orudnjenjima u oblasti, veći deo masiva je izgrađen od svežih stena.

Eksploatacija kamena na Boranji je tokom proteklih decenija vršena u nekoliko većih i u većem broju manjih kamenoloma. Granitoid u obodnim delovima plutona ima planparalelnu teksturu koja olakšava obradu cepanjem, usled čega je decenijama ovaj kamen korišćen za izradu kocke i ivičnjaka. Kao AGK, boranjski granitoid ima brojna povoljna svojstva: svežina, srednja krupnoća zrna, ponekad sitnozrna, mogućnost dobijanja krupnih blokova, otpornost odnosno vremenska trajnost, obradljivost. Nepovoljne osobine stenske mase: nehomogen izgled, koncentracije metaličnih minerala, prisustvo anklava i planparalelne tekture odnosno orijentacije bojenih minerala, mestimično izbeljivanje oko prslina (u obodnim delovima plutona); u centralnim delovima plutona se mestimično javljaju krupnije liske biotita. Delovi granitoidne mase bliže centru plutona su daleko kvalitetniji kao AGK, a bliže obodu su bolji za cepani kamen.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru. Delove stenske mase sa piritom ne treba koristiti u eksterijeru.

Granitoidni pluton Kosmaja je slabo otkriven na JZ padinama planine Kosmaj u potoku Radovac u ataru sela Rogača. Granitoidne stene Kosmaja su određene najčešće kao monocgranit. Zbog male otkrivene površine, i to u nivou površinskih voda,

eksploatacija ove granitoidne mase nije vršena. Ovo su jedini varijeteti granitoidnih stena Vardarske zone koji imaju bolje estetske karakteristike – prisustvo krupnih porfiroidnih zrna K-feldspata blede ljubičaste boje. Stenska masa je relativno homogene građe u pogledu izgleda i mineralošskog sastava, ali je ova procena nesigurna zbog slabe otkrivenosti plutona.

Kao AGK, kosmajski granitoid, odnosno njegovi svežiji, površinski neizmenjeni delovi imaju sledeća povoljna svojstva: svežina, jedrina, žilavost, homogenost, dekorativnost, masivno lučenje. Nepovoljne osobine stenske mase su prisustvo anklava i ponegde zapažene žice izgrađene od krupnih zrna feldspata. Porfiroidna struktura može da utiče na efektivnost obrade i trajnost. Stenska masa je slabo otkrivena da bi se mogla dati kompletna ocena povoljnih i nepovoljnih svojstava stenske mase.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za horizontalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, ali je upotreba za vertikalno oblaganje u eksterijeru ograničena na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m) a za horizontalno na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj). Pri razmatranju ove ocene, treba uzeti u obzir da je uzorak nepoznato vreme bio pod intenzivnim uticajem atmosferilija, i da je to uticalo na pogoršanje njegovih fizičko-mehaničkih svojstava, dok je svež kamen bilo nemoguće odvojiti od stenske mase. Pored fizičko-mehaničkih svojstava, otežavajući faktor za eventualnu primenu kosmajskog granitoida kao AGK predstavlja položaj granitoida ispod žilavih kornita.

Granitoidna masa Brajkovca se nalazi oko 7 km zapadno od Bukulje u ataru sela Brajkovac, oko 60 km južno od Beograda. Na površini je otkrivena oko 8 km<sup>2</sup>. Najvećim delom, pluton je izgrađen od biotitskog granodiorita sa epidotom.

Eksploatacija brajkovačkog granodiorita je vršena u dva veća kamenoloma, i oko 15 manjih. Kao AGK, brajkovački granitoid ima sledeća povoljna svojstva: svežina, homogenost, srednja krupnoća zrna, ponekad sitnozrna, mogućnost dobijanja krupnih blokova. Nepovoljne osobine stenske mase su: prisustvo porfiroidnih, ispucalih zrna kvarca veličine do 2 cm, česte impregnacije piritu, prisustvo anklava i žica, mestimično izbeljivanje oko prslina, veliki udeo biotita koji pri obradi u izvesnom stepenu ispada.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za horizontalno oblaganje u enterijeru i eksterijeru i vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, međutim, zbog nešto nižih vrednosti pritiskne čvrstoće, upotreba za vertikalno oblaganje u eksterijeru je ograničena na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m). S obzirom na prisustvo pirita, ne preporučuje se primena ovog kamena u eksterijeru, kao ni u enterijeru na mestima gde će biti izložen produženom uticaju vlage.

Slavkovički magmatski kompleks se nalazi oko 70 km južno od Beograda, i oko 10 km južno od Ljiga. Magmaške stene se na površini javljaju u vidu dve, prostorno bliske magmaške mase, otvorene površine od oko 18 km<sup>2</sup>. Stene koje izgrađuju magmatski kompleks Slavkovice, u praksi se najčešće nazivaju biotitskim dacitima.

U magmatskom kompleksu Slavkovice je tokom 20. veka u različitim periodima bio otvoren veliki broj kamenoloma u istočnoj magmatskoj masi. Iz ovih kamenoloma se najviše dobijala kocka, zatim ivičnjaci, lomljeni kamen i tucanik. Kao AGK, slavkovički magmati imaju sledeća povoljna svojstva: jedrinu, homogenost izgleda, povoljno lučenje i monolitnost. Međutim, mikroskopska ispitivanja su pokazala da je stena u izvesnom stepenu hidrotermalno promenjena i da sadrži pirit. Nepovoljna karakteristika stenske mase je i ispucalost zrna kvarca i plagioklasa, a krupna zrna kvarca otežavaju sečenje i obradu kamena.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK, za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru, a u eksterijeru za horizontalno oblaganje, kategorije SH-2 i SH-3 (umeren i intenzivan pešački saobraćaj), a za vertikalno oblaganje za kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad terena). Neophodno je obratiti posebnu pažnju na sporadičnu pojavu pirita.

Magmaški kompleks Rudnika se nalazi oko 70 km južno od Beograda. Mase magmaških stena na površini prostorno razdvojene mezozojskim i kenozojskim sedimentnim stenama se pružaju u vidu pojasa izduženog u pravcu SZ-JI, na dužini od oko 20 km. Krupnije mase su Gradska Gora-Ostrovica, Čeramide-Rudnik, Beli Kamen i Šilopaj-Mutanj, nešto manje Krasojevc, Jovičići, Nevade i masa JI od Ugrinovaca, a

oko njih je zastupljen i niz sasvim malih masa. Među izlivnim stenama su najviše zastupljeni kvarclatiti, manje daciti, sa ređom pojavom pravih andezita i bazalta. Vulkanoklastične stene su manje zastupljene od izlivnih, a pluton je slabo otkriven. Magmati Rudnika su u značajnoj meri zahvaćeni hidrotermalnim alteracijama, a delom su i orudnjeni.

U oblasti Rudnika, u prošlom veku su bili otvoreni brojni kamenolomi, iz kojih se kamen zbog tipa lučenja i intenzivne tektoniziranosti koristio pretežno kao TGK. Za potrebe lokalnog stanovništva se koriste i vulkanoklastiti kao kamen za zidanje. Organizovana proizvodnja tehničkog kamena se danas vrši u ležištu Čeramide. Sa aspekta AGK, vulkanske stene Rudnika su uglavnom nepogodne. Vulkanoklastične stene sadrže dosta stakla, intenzivno su alterisane i ne ispunjavaju osnovne uslove za primenu kao AGK – jedrinu stenske mase i postojanost minerala. Izlivne stene ponekad sadrže staklo u osnovnoj masi, hidrotermalno su promenjene i vrlo podložne uticaju atmosferilija. Bojeni minerali su transformisani u sekundarne minerale. Česte su žice sulfida. Stene sadrže dosta uklopaka. Uglavnom su intenzivno tektonizirane, i retko se javljaju blokovi stenske mase dovoljno krupni za proizvodnju AGK. Jedino u efuzivima Gradske Gore i Čeramida su na većoj dubini zapaženi krupniji blokovi stenske mase, mada i oni sadrže dosta prslina, naročito u oblasti Čeramida gde je miniranje uzrokovalo dodatna oštećenja stenske mase.

- dacitska masa Gradske Gore: laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva relativno povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, ali zbog povišene poroznosti i upijanja vode, za horizontalno oblaganje u enterijeru samo kategorije UH-2 i UH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), zatim za horizontalno oblaganje u eksterijeru kategorije SH-3 (umeren pešački saobraćaj), i vertikalno oblaganje u eksterijeru kategorije SV-3 (objekti visine do 10 m iznad tla).

- kvarclatitska masa Đajino brdo-Ostrovica-Rudnik: laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva relativno povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru. Međutim, zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje.



Neophodno je naglasiti da su stene oko raseda i pratećih pukotinsko-prslinskih sistema intenzivno alterisane, i moraju se izbegavati pri eksploataciji. Takođe, dimenzije blokova su male sa aspekta AGK.

Boračko-kotlenički magmatski kompleks nalazi se u centralnoj Srbiji, između Kraljeva i G. Milanovca, oko 100 km južno od Beograda. Površine je oko 120 km<sup>2</sup>. Efuzivne stene boračko-kotleničke oblasti se javljaju u vidu većih subvulkanski očvrslih masa, kao manje ploče i kao slivovi u naizmeničnom smenjivanju sa piroklastičnim materijalom. Magmatski kompleks izgrađuju daciti, riodacitski/riolitski piroklastiti, kvarclatiti, andeziti i lamprofiri. Piroklastične stene zahvataju značajno prostranstvo. Javljaju se kao debele mase u središnjim delovima kompleksa ili kao pokrovi promenljive debljine po njegovom obodu. Intruzivne stene su slabo otkrivene.

U prošlosti je tehnički građevinski kamen eksploatisan u brojnim kamenolomima i korišćen je u putogradnji. Teren je velikim delom pokriven, a na mestima gde je stena ogoljena na površini, u velikom stepenu je hidrotermalno i površinski izmenjena. Primena vulkanita ove oblasti kao AGK je problematična, praktično i nemoguća zbog njihovih brojnih mana sa ovog aspekta. Zbog često staklaste osnovne mase, vulkaniti su podložni ubrzanom raspadanju pod uticajem atmosferilija. Pored toga, svi vulkaniti su intenzivno ispucali i hidrotermalno alterisani, ponegde i silifikovani. Radioaktivnost boračkih vulkanita je povišena, naročito u oblasti sela Vujetinci. Jedine lokalnosti na kojima je bilo moguće uzeti uzorke stenske mase za laboratorijsko ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika u skladu sa standardom B.B0.001 su Ravno brdo i Talambas, obe u severnom delu Borača.

- Talambas: na ovoj lokalnosti se nalazi lamprofirski dajk čiji prečnik verovatno ne prelazi 100 m. Stenska masa je lučena nepravilno i intenzivno ispucala do komada veličine najviše 20 cm, duž pukotina oksidisala, sitnozrna, mestimično silifikovana. Lomi se samo duž pukotina. Na dubini od oko 10 m od površine terena se javljaju i retki krupniji blokovi veličine 50-150 cm, ali nepravilnog oblika i ispucali.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za vertikalno oblaganje u enterijeru i eksterijeru bez ograničenja, ali zbog nedovoljne otpornosti prema habanju brušenjem, primena za horizontalno oblaganje u enterijeru je ograničena na kategorije UH-2 i UH-3 (intenzivan

i umeren pešački saobraćaj), a u eksterijeru na kategoriju SH-3 (umeren pešački saobraćaj). Međutim, terenska proučavanja su pokazala da na dubini do koje je danas stenska masa otvorena ne postoje uslovi za dobijanje blokova komercijalnih dimenzija, što praktično onemogućava primenu kamena sa ove lokalnosti kao AGK.

- Ravno brdo: stenska masa kvarclatita do dacita je jedra, pretežno pločasto do nepravilno lučena u obodnim delovima magmatskog tela. Debljina ploča je 1-50 cm. U dubljim delovima lučenje postepeno prelazi u masivno. Ima blokova i preko 10 m, ali preovlađuju blokovi do 1-2 m, nepravilnog oblika. Stenska masa je relativno homogenog izgleda. Sadrži uklopke kružnog oblika, sa povišenim udelom bojanih minerala, prečnika do 10 cm. Ovo je jedina lokalnost u boračko-kotleničkom magmatskom kompleksu gde stenska masa barem delom ispunjava uslov monolitnosti.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva relativno povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, a za horizontalno samo za kategorije UH-2 i UH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj); u eksterijeru, za horizontalno oblaganje samo kategorije SH-3 (umeren pešački saobraćaj), a za vertikalno kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m iznad terena). Međutim, zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje.

Generalno, sastav, kvalitet i izgled stenske mase je vrlo promenljiv u čitavom boračko-kotleničkom magmatskom kompleksu. Svi tipovi stena su neperspektivni sa aspekta AGK jer su stene raspadnute, tektonizirane do sitnih komada, nepravilno lučene, alterisane, neke i silifikovane, a pored toga je na Boraču povišen sadržaj urana, a na Kotleniku se javljaju Pb-Zn mineralizacije. Izuzetak predstavlja lokalnost Ravno brdo jer ostvaruje uslov monolitnosti stenske mase, međutim, usled alterisanosti i šupljikavosti, fizičko-mehanička svojstva stene su lošija.

Kremička granitoidna masa se nalazi 2 km zapadno od kopaoničkog plutona, od kojeg je na površini odvojena uskom zonom metamorfni stena. Ima oblik dajka čiji je presek nepravilnog oblika, sa otvorenom površinom od oko 5 km<sup>2</sup>. Po mineraloškom sastavu odgovara granodioritu.

Povoljne osobine stenske mase sa aspekta AGK su: jedrina, svežina, sitnozrna do srednjezrna struktura. Nepovoljne osobine stenske mase: nehomogen izgled, prisustvo

anklava i, mestimično, planparalelne teksture, kao i nepravilni oblici i male dimenzije prirodnih blokova. Ova ocena je data na osnovu malog dela stenske mase pristupačnog proučavanju na površini terena. Stenska masa je na ovom erozionom nivou sveža, ili površinski izmenjena u promenljivom stepenu. Teško je oceniti homogenost stenske mase zbog slabe otkrivenosti, ali po odlomcima dostupnim proučavanju, može se zaključiti da su sklop i izgled stene nehomogeni, sa prisustvom tankih aplitsko-pegmatitskih žica. Nije zapažena pojava hidrotermalnih alteracija. Verovatno je na većoj dubini stena svežija i sa povoljnijim lučenjem i dimenzijama prirodnih blokova.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za horizontalno i vertikalno oblaganje u enterijeru i eksterijeru bez ograničenja.

Željinski granitoidni pluton se nalazi oko 160 km južno od Beograda, i 12 km severno od Jošaničke banje. Njegov deo otkriven erozijom ima površinu od oko 56 km<sup>2</sup>. Izgrađen je najvećim delom od granodiorita, manje kvarcmonconita i kvarcdiorita, retko dvoliskunskih granita.

Granitoidne stene Željina nisu bile izložene hidrotermalnim alteracijama, što uvećava njihovu potencijalnost sa aspekta AGK. Na dubini od oko 10 m su dimenzije blokova i preko 10 m. Povoljne osobine željinskog granodiorita: zadovoljavajuća svežina, srednja krupnoća zrna, mestimično sasvim sitna, pravilno lučenje, mogućnost dobijanja krupnih blokova. Nepovoljne osobine: česte pegmatitske i aplitske žice, nehomogenost izgleda stenske mase (litaž), izražena planparalelna tekstura u obodnom delu plutona.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za oblaganje u enterijeru bez ograničenja, međutim, upotreba za oblaganje u eksterijeru je zbog nešto niže savojne čvrstoće za vertikalno oblaganje ograničena na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m), a za horizontalno na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj). Neophodno je napomenuti da su uzorci za ova laboratorijska ispitivanja uzeti sa površine terena i da su samim tim njihove fizičko-mehaničke karakteristike iskazane kroz laboratorijska ispitivanja lošije od realnih.

Drenjski granitoidni pluton se nalazi u južnoj Srbiji, oko 4 km SI od Jošaničke banje, kod sela Drenje. Otvorena površina plutona je oko 4 km<sup>2</sup>. Izgrađen je pretežno od srednjeznog granodiorita, manje kvarcdiorita. Stena je po izgledu vrlo bliska željinskom granitoidu. Blokovi su nepravilnog do paralelopipednog oblika.

Kao AGK, drenjski granitoid ima sledeća povoljna svojstva: svežina, kompaktnost, povoljno lučenje u dubljim delovima stenske mase i mogućnost vađenja krupnih blokova. Nepovoljne osobine stenske mase su: heterogen izgled stene – litaž, naročito u obodnim delovima intruzije, izražena planparalelna tekstura, često prisustvo anklava i žica.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za horizontalno i vertikalno oblaganje u enterijeru bez ograničenja, međutim, zbog nešto nižih vrednosti pritisne i savojne čvrstoće, upotreba za horizontalno oblaganje u eksterijeru je ograničena na kategorije SH-2 i SH-3 (intenzivan i umeren pešački saobraćaj), a za vertikalno oblaganje na kategorije SV-2 i SV-3 (objekti visine do 30 m).

Vulkanite Stolova čini nekoliko manjih masa dacito-andezita, koji se javljaju duž reke Ribnice, počevši od Kamenice na severu, do Brezanske reke na jugu. Ove mase izlivnih stena genetski su vezane za neotkriveni pluton utisnut u serpentinite Stolova. Oblast Stolova se nalazi oko 130 km južno od Beograda, a oko 12 km JI od Kraljeva. Svaka od vulkanskih masa ima oko 1 km<sup>2</sup> otvorene površine, i na međusobnim su rastojanjima 1-3 km, razdvojene na površini serpentinitima kroz koje se vršilo utiskivanje.

Kamenolom Kamenica je skoro čitav jedan vek eksploatisan radi dobijanja sitne kocke. Danas se ovaj propilitisani andezit koristi za proizvodnju agregata za putogradnju. Boja stene je promenljiva. Može biti tamnosiva do crna, siva do sivo-zelena, ili je izbeljena, u zavisnosti od stepena i vrste alteracije. Neravnomerno je propilitisana, kaolinisana i kalcitšana. Lučenje stene je pločasto do kuglasto u obodnim delovima vulkanitske mase, a u centralnim nepravilno, pri čemu se formiraju pretežno sitni komadi. Najkrupniji blok ima dimenzije (3,5x2x1,5) m, ali ovako krupni blokovi su vrlo retki. Fizičko-mehanička svojstva stenske mase su zadovoljavajuća, ali ova lokalnost nije perspektivna sa aspekta AGK iz više razloga: stenska masa je intenzivno tektonizirana i u njoj preovlađuju sitni komadi i blokovi ispod 1 m, nepravilnih oblika; stena je

hidrotermalno promenjena; stenska masa je izrazito heterogena po izgledu i udelu pojedinih sastojaka, pri čemu se varijeteti po izgledu smenjuju na malim rastojanjima. Ovo otežava dobijanje blokova i ploča homogenog izgleda; vulkanitska masa je male površine, što utiče na iskorišćenje. Pored navedenog, eksploatacija tehničkog kamena u ovom kamenolomu se vrši miniranjem, što trajno onemogućava dobijanje monolita potrebnih dimenzija i kvaliteta za AGK.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva relativno povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru, i u eksterijeru za oblaganje vertikalnih površina. Zbog povećanog habanja, primena u spoljnom oblaganju horizontalnih površina je ograničena na kategorije SH-2 i SH-3 (umeren i intenzivan pešački saobraćaj). Zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje. I pored povoljnih fizičko-mehaničkih svojstava kamena, primena kao AGK u smislu dimenzioniranog kamena za izradu ploča za oblaganje je nemoguća zato što nije moguće dobijanje blokova odgovarajućih dimenzija.

U oblasti Ibarskih vulkanita, proučavanjem je obuhvaćen deo ovog kompleksa u zoni Ušće-Biljanovac-Raška-Bisina. Ova oblast se nalazi oko 170 km južno od Beograda. U ibarsko-kopaoničkoj oblasti su tokom oligocena kroz više faza nastali brojni lavični izlivi u smeni sa vulkanoklastitima koji pokrivaju oko 75 % površine vulkanitskog kompleksa, a ređe i male intruzije. Složeni vulkanitski kompleks obuhvata i dajkove, žice, subvulkanska tela, vulkanogeno-sedimentne naslage, i orudnjenja. Mineraloško-petrološki sastav i sklop vulkanita variraju.

Eksploatacija kamena u Ibarskim vulkanitima je vršena u brojnim kamenolomima tokom 20. veka. Uglavnom je korišćen kao agregat za putogradnju i tucanik za pružne zastore. Danas su aktivni kamenolomi Šumnik i Velika Bisina. Međutim, iako Ibarski vulkaniti zauzimaju ogroman prostor, praktično nema sveže stenske mase koja bi ispunjavala neophodne uslove za korišćenje kao AGK. Svi navedeni kamenolomi su otvoreni u dacito-andezitima prve faze vulkanske aktivnosti, promenljivog stepena hidrotermalne alterisanosti, usled čega boja stene može biti siva do crna (kad je svežija) ili žućkasto-bela, sivozelena, crvenkasta ili ljubičasta, zavisno od preovlađujućeg tipa hidrotermalne alteracije i stepena površinske raspadnutosti. Vulkaniti, kada su sveži i kompaktni, imaju uglavnom povoljna fizičko-mehanička svojstva, međutim, nepovoljne

osobine stenske mase sa aspekta AGK su brojne: stena je alterisana, ispucala, ponekad šupljikava; izlivna stena se javlja u alternaciji sa vulkanoklastitima, i ne mogu se dobiti blokovi neophodnih dimenzija; boja i tehnička svojstva kamena su promenljivi, u zavisnosti od tipa i stepena hidrotermalne alterisanosti; osnovna masa stene može biti staklasta, usled čega je podložna ubrzanom površinskom raspadanju; često je prisutan pirit kao štetan sastojak. Prema terenskim opažanjima, stenska masa je dovoljno jedra za primenu u građevinarstvu samo u oblastima Brvenik-Šumnik i Bisina.

- Vulkaniti oblasti Brvenik-Šumnik: debljina raspadnute stene na površini varira od 4 do 15 m. Stena je intenzivno ispucala, komadi najčešće ne prelaze 10 cm. Blokovi stene preko 1 m su vrlo retki i nepravilnih oblika, a i u okviru tih blokova je stena alterisana i ispucala. Duž pukotina se javljaju žice sekundarnih minerala. Lučenje stene na obodu magmatskih masa je pločasto, a u centralnim delovima stenske mase poliedarsko. Kompaktnija stena je obično u alternaciji sa slojevima tufa ili vulkanskih breča.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru. Međutim, zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje. Takođe, tektoniziranost stenske mase onemogućava dobijanje blokova neophodnih dimenzija.

- Velika Bisina: stenska masa je heterogenog izgleda – smenjuju se zone tamnije i svetlije sive boje, sa različitom krupnoćom fenokristala. Blokovi stenske mase su nepravilnih oblika, veličine najviše do 1,5 m. Stenska masa u pripovršinskim delovima terena je intenzivno ispucala i neupotrebljiva za AGK, čemu je verovatno doprinelo i višedecenijsko eksploataisanje stenske mase miniranjem. Prisustvo žica kalcedona i pirita ukazuje na cirkulaciju hidrotermalnih rastvora. Uprkos tome, stenska masa je ipak jedra unutar prirodno lučenih blokova, ali su fenokristali bojenih minerala u promenljivom stepenu oksidisali.

Laboratorijska ispitivanja kamena su pokazala da su njegova svojstva povoljna, i da se može koristiti kao AGK za izradu ploča za sve vrste oblaganja u enterijeru i eksterijeru. Zbog prisustva pirita, primena u eksterijeru se ne preporučuje. Tektoniziranost stenske mase onemogućava dobijanje blokova neophodnih dimenzija.

U poglavlju 5.0. je prikazano rangiranje ispitanih magmatskih kompleksa prema potencijalnosti sa aspekta AGK izvršeno na osnovu jednostavnog sistema bodovanja

parametara specifičnih za AGK. Ono po čemu se ovi magmatski kompleksi značajno razlikuju među sobom su geološki, tehnološki, a u izvesnom stepenu i estetski faktori.

Generalno, u okviru plutonskih magmatskih kompleksa, variranje sastava i svojstava je manjeg opsega nego u vulkanitskim magmatskim kompleksima. Stepenu tektoniziranosti je obično veći u obodnim delovima plutona, dok su sa dubinom dimenzije prirodnih blokova stenske mase sve veće. Ovo čini plutonske stene potencijalnim izvorom blokova AGK komercijalnih dimenzija. U nekim plutonima se u obodnim delovima javljaju sulfidni minerali (naročito pirit). Kamen iz ovakvih magmatskih kompleksa ne treba koristiti u eksterijeru, a u enterijeru isključivo na mestima gde neće biti izložen uticaju vlage. Prisustvo žičnih stena kao mana kamena, u pojedinim plutonima odnosno njihovim, najčešće obodnim delovima, je ekstenzivno, dok je u drugim ređe.

Estetska svojstva kamena iz plutonskih magmatskih kompleksa su uglavnom slaba. Stene u ispitanim magmatskim kompleksima Vardarske zone najčešće pripadaju grupi B ili C (po podeli Vakanjca, 1976a). Često sadrže šlire i uklopke (ksenolite – anklave). Pretežno su sive boje u različitim nijansama, ponekad sa pojavom porfiroidnih zrna blede ljubičaste boje, koja postaju jasno vidljiva tek na uglačanim površinama. Izuzetak predstavljaju granitoidi Kosmaja, kao i centralnog kopaoničkog plutona koji je obuhvaćen teritorijom nacionalnog parka. Za njih je karakteristično prisustvo krupnih zrna kalijskih feldspata ružičaste do blede ljubičaste boje koji kamenu daju bolja estetska svojstva.

Fizičko-mehanička svojstva kamena uglavnom su zadovoljavajuća. Vrlo je verovatno, s obzirom da su uzorci za laboratorijska ispitivanja ovih svojstava uzeti sa površine terena, da bi uzorci iz svežijih delova stenske mase dali daleko povoljnije rezultate.

U okviru vulkanitskih magmatskih kompleksa, najčešće postoji više generacija izlivnih i vulkanoklastičnih stena, koje se po mineraloškom i hemijskom sastavu, izgledu i stepenu alterisanosti razlikuju među sobom. Čak i u okviru izliva nastalih jednovremeno, postoje varijacije u udelu pojedinih minerala i sklopu (izgledu) i na malim rastojanjima. Ove stene su često intenzivno alterisane, bilo dejstvom endogenih ili egzogenih agenasa. Takođe, stepen tektoniziranosti ovih stena je obično visok, usled čega je dobijanje komercijalnih blokova AGK moguće samo u izuzetnim slučajevima. Javlja se naizmenično smenjivanje izlivnih i vulkanoklastičnih članova. Prisustvo

vulkanskog stakla, pirita i drugih nestabilnih, štetnih sastojaka čini ove stene podložnim ubrzanom delovanju atmosferilija.

Estetska svojstva kamena iz vulkanitskih magmatskih kompleksa mogu biti vrlo slaba ali i vrlo povoljna. Najbolja estetska svojstva imaju andeziti Stolova plavo-zelene boje, međutim, oni su silifikovani, i javljaju se na malom prostranstvu, sa postepenim prelazima u sivi do sivo-zeleni varijetet koji preovlađuje.

Fizičko-mehanička svojstva kamena pokazuju značajna variranja vrednosti čak i u okviru jednog istog magmatskog tela. Ovo je uzrokovano različitim tipovima hidrotermalnih alteracija, koje su promenile stenu u različitom stepenu. S druge strane, mnogi od ovih vulkanita su se pokazali kao odličan tehnički kamen, naročito za primenu kao agregat u putogradnji upravo zbog silifikovanosti, koja im daje veoma povoljne vrednosti pritisne čvrstoće i otpornosti na habanje.

Na osnovu definisanog sistema bodovanja, može se zaključiti da u grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "velika perspektivnost" spadaju sledeći kompleksi: boranjski, bukuljski, kosmajski, kremički i željinski. Ovi magmatski kompleksi, svi plutonski, pre svega ispunjavaju uslov monolitnosti stenske mase, i to je njihova najveća prednost. Magmaški kompleksi iz ove grupe ostvaruju uslove za prelazak na sledeću fazu prospekcijsko-istražnog procesa, na detaljnu prospekciju.

U prelaznu grupu između velike i srednje perspektivnosti spadaju plutoni Brajkovca i Drenja i subvulkanska masa Slavkovice. Manu stenske mase drenjskog magmatskog kompleksa predstavlja heterogena građa – prisustvo brojnih žica, litaža i planparalelne teksture, ali uslov monolitnosti stenske mase je ispunjen. Magmati Brajkovca su problematični zbog prisustva pirita, što im ograničava mogućnost primene, a eksploatacija putem miniranja koja je jedno vreme korišćena u slavkovičkom magmatskom kompleksu uticala je na fizičko-mehanička svojstva kamena.

U grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "srednja ili ograničena perspektivnost" spadaju vulkaniti Ravnog brda (Borač) i Gradske Gore (Rudnik), koji u dubljim delovima magmatskih tela ispunjavaju uslov monolitnosti stenske mase, ali imaju slabija fizičko-mehanička svojstva usled delovanja hidrotermalnih alteracija promenljivog intenziteta. Stene iz ovih magmatskih kompleksa su uglavnom korišćene za dobijanje cepanog kamena za podmirenje potreba lokalnog stanovništva – zidanje ograda, česmi, staja i dr., i za ove namene kamen ima zadovoljavajuću trajnost. Postoji



mogućnost da u dubljim delovima magmatskog tela stenska masa ima povoljnija svojstva sa aspekta AGK, što se može utvrditi daljim istraživanjima.

U prelaznu grupu između srednje i male perspektivnosti spada cerski pluton. U dubljim delovima magmatskog tela je ispunjen uslov monolitnosti, ali stenska masa je izuzetno heterogene građe, pri čemu se dve generacije magmatskih stena prožimaju tako da je selektivna eksploatacija nemoguća, a njihova fizičko-mehanička svojstva i svežina se razlikuju.

U grupu magmatskih kompleksa sa ocenom "mala perspektivnost ili neperspektivna" spadaju vulkaniti Talambasa (Borač), Brvenika-Šumnika i Velike Bisine (Ibarski vulkaniti), Čeramida (Rudnik) i Kamenice (Stolovi). Stenska masa u okviru ovih magmatskih kompleksa ne ispunjava uslov monolitnosti i nema indikacija da se dimenzije prirodnih blokova povećavaju sa dubinom, a zatim, bila je izložena i hidrotermalnim promenama, koje su uslovile izrazitu promenljivost fizičko-mehaničkih svojstava. Iz ovih nalazišta je uglavnom dobijan ili se i danas dobija tehnički kamen koji se koristi kao agregat u putogradnji. Eksploatacija tehničkog kamena je vršena i vrši se miniranjem, što je dovelo do dodatnog pogoršanja kvaliteta kamena sa aspekta AGK.

Ako se posmatra potencijalnost pojedinačnih magmatskih kompleksa, prema broju bodova, oni se mogu razvrstati, počevši od kompleksa sa najvećom potencijalnošću ka onima sa manjom na sledeći način: bukuljski, željinski, boranjski, kosmajski, kremički, drenjski, brajkovački, slavkovički, Gradska Gora (rudnički), Ravno brdo (borački), cerski, V. Bisina (Ibarski), Čeramide (rudnički), Talambas (borački), Kamenica (Stolovi) i Brvenik-Šumnik (Ibarski). Kroz višedecenijsku eksploataciju AGK u bukuljskom magmatskom kompleksu, koji je najbliži maksimalnom broju bodova je i potvrđeno da stenska masa poseduje neophodan kvalitet, dok je željinski magmatski kompleks, drugi po potencijalnosti s te strane nepravedno zapostavljen sa aspekta AGK, budući da u njemu postoji eksploatacija kamena isključivo za potrebe lokalnog stanovništva – verovatno zbog udaljenosti od metropole.

Zapaža se da, sa izuzetkom cerskog granitoida, plutonski magmatski kompleksi, i generalno i pojedinačno posmatrano, imaju veću potencijalnost u odnosu na vulkanitske, a monolitnost i svežina stenske mase kao presudni faktori najviše doprinose njihovom značaju. Pri tome ne treba zanemariti ni značaj ujednačenosti fizičko-

mehaničkih svojstava i izgleda (sklopa) kroz stensku masu, koja je takođe veća kod plutonskih magmatskih kompleksa.

Nijedan magmatski kompleks nema jednoznačno određen broj bodova, što je posledica promenljivosti svojstava kroz stensku masu i zbog toga je značajno pažljivo odabrati delove magmatskih tela u kojima će dalja istraživanja biti sprovedena. Takođe se zapaža da nijedan magmatski kompleks nije ostvario maksimalno mogućih 150 bodova, što upućuje na zaključak da u Vardarskoj zoni Srbije ne postoje magmatski kompleksi koji bi idealno odgovarali za eksploataciju AGK. Ovakvo stanje je rezultat ne samo intenzivnih tektonskih kretanja u okviru Vardarske zone Balkanskog poluostrva, već i višefaznog odvijanja magmatske aktivnosti (koje je takođe uslovljeno tektonskim procesima), koje je dovelo do hidrotermalnih alteracija starijih magmatskih stena pod uticajem mlađih intruzija, ali i do narušavanja celovitosti stenske mase starijih tvorevina pri utiskivanju mlađih magmi.

Na osnovu ocene potencijalnosti koja se može dati na ovom nivou istraženosti magmatskih kompleksa Vardarske zone, ispitani lokaliteti se u skladu sa podelom na grupe po značaju koju su dali Karvalo i dr. (Carvalho et al., 2008) mogu grupisati na sledeći način:

- nalazišta od lokalnog značaja: Ravno brdo i Talambas (Borač), Cer, Brvenik-Šumnik i V. Bisina (Ibarski vulkaniti), Gradska Gora i Čeramide (Rudnik), Kamenica (Stolovi);
- nacionalnog značaja: Brajkovac, Drenje, Slavkovica;
- ograničenog međunarodnog značaja: Boranja, Bukulja, Krečić, Željin.

Zbog povoljnih estetskih svojstava, kosmajski magmatski kompleks ima potencijalno međunarodni značaj, ali zbog neistraženosti nije zahvalno davati ovakvu ocenu.

Iz svega navedenog se može izvući zaključak da plutonski magmatski kompleksi Vardarske zone imaju uglavnom veliku perspektivnost sa aspekta arhitektonskog građevinskog kamena, dok vulkanitski imaju krajnje malu ili nikakvu. S druge strane, njihova svojstva koja su nepovoljna sa aspekta AGK, upravo ih čine idealnim za eksploataciju kao tehnički građevinski kamen, pa ih za te svrhe i treba koristiti.

## LITERATURA

- Aksin V. i dr., 1981: Geologija Srbije, magmatizam III-1. Urednik: K. Petković, Zavod za regionalnu geologiju i paleontologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, 293 str., Beograd.
- Aleksić V., Kalenić M., Pantić N. i Hadži E., 1974: Istorijsko-geološka evolucija kontinentalne prelazne okeanske litosfere u Srbiji i susjednim oblastima.- Metalogenija i koncepcije geotektonskog razvoja Jugoslavije, Beograd.
- Andelković M., 1953: Prilog geološkom i paleontološkom poznavanju okoline sela Babe i Guberevca (Kosmaj).- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 21, str. 29-54.
- Andelković M., 1955: Prilog poznavanju geološkog sastava i tektonskog sklopa terena između Ljiga, Ugrinovaca i G. Branetića (Šumadija).- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 23, str. 27-41, Beograd.
- Andelković M., 1957: Stratigrafija i tektonika planine Rudnik.- Zapisnici SGD za 1956. godinu, str. 89-91.
- Andelković M., 1960: Paleogeografija i tektonika jednog dela unutrašnjih Dinarida.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 27, str. 103-150.
- Andelković M., 1965: Position of the Šumadija and Morava zones in the geotectonic structure of the Balkan Peninsula.- VII Congress of Carpato-Balkan geological association, part I, Sofia.
- Andelković M., 1966: Rasprostranjenje Šumadijske zone prema severu i jugu i njena geotektonska pripadnost.- Zapisnici SGD za 1963. godinu.
- Andelković M., 1967: Šumadijska zona – Stratigrafija, paleogeografija, magmatizam i tektonika.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 33, str. 1-36.
- Aničić S., 1991: Izveštaj o osnovnim geološkim istraživanjima magmatskih stena šireg područja Arandjelovca u 1990. godini.- Geozavod-Nemetali, 80 str., BGD.
- Aničić S., 1996: Izveštaj o istraživanjima granita Bukulje tokom 1996. godine.- FSD "Geozavod-Nemetali", Beograd.
- Aničić S., 1998: Elaborat o kvalitetu i rezervama granita u ležištu "Ploča" kod Arandjelovca.- FSD "Geozavod-Nemetali", Beograd.
- Aničić S., Jovanović M. i Cmiljanić S., 1997: Graniti Bukulje kao sirovinski potencijal za proizvodnju arhitektonsko-građevinskog kamena.- 1. Jugoslovenski simpozijum o ukrasnom kamenu, 16-18.01.1997, str. 75-82, banja Vrujci.
- Antonović A. i Filipović V., 1977: Neki aspekti geologije, petrologije, geohemije i rudonosnosti kenotipnih vulkanita Jugoslavije.- Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 11, str. 1-25, Beograd.
- Antonović A. i grupa saradnika, 1978-84: Istraživanje urana na području Cera i Iverka - godišnji izveštaji.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Ashmole I. and Motlounge M., 2008a: Dimension stone: The latest trends in exploration and production technology.- Surface mining. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, p. 35-70.
- Ashmole I. and Motlounge M., 2008b: Reclamation and environmental management in dimension stone mining.- Surface mining. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, p. 155-178.
- Atanacković R., 1976: Elaborat o rezervama i kvalitetu dacita ležišta Perovača kod Kadine Luke.- Fond Geozavoda, Beograd.
- Atanacković R., 1977: Elaborat o rezervama i kvalitetu dacitskog tufa ležišta Moravci kod Ljiga.- Fond Geozavoda, Beograd.
- Aubouin J., 1974: Des tectoniques superposées et de leur signification par rapport aux modèles géophysiques: l'exemple des Dinarides; paléotectonique, tectonique, tarditectonique, néotectonique.- Bulletin de Societe géologique de France, vol. 7/15, p. 5-6, 426-460.
- Bešić Z., 1951: Prilog poznavanju rasporeda i starosti geološke građe u Dinaridima.- Glasnik Prirodnačkog muzeja srpske zemlje, Serija A, knj. 4, str. 197-222, Beograd.
- Bilbija N., 1984: Tehnička petrografija – svojstva i primene kamena.- Naučna knjiga, 239 str., Beograd.
- Bowles O. and Coons A.T., 1933: Dimension stone.- In: Minerals yearbook 1932-33, US Bureau of Mines. Editor Kiessling O.E. US Government Printing Office, p. 577-593, Washington.
- Brković T. i dr., 1978: Tumač za OGK Čačak, list K 34-5.- Zavod za geološka i geofizička istraživanja, 64 str., Beograd.
- Brković T., Radovanović Z. i Pavlović Z., 1980: Tumač za list OGK 1:100 000, Kragujevac L 34-138.- Savezni geološki zavod, 80 str., Beograd.

- Bulaja Lj., 1995: Završni izveštaj analize rezultata istraživanja AGK na području Slavkovice, Rajca, Rudnika i Pranjana.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Bulaja Lj. i Matić D., 1993: Izveštaj o osnovnim geološkim istraživanjima dacitskog efuzivnog masiva Slavkovice u pogledu iznalaženja ležišta AGK.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Bulaja Lj. i Matić D., 1997: Arhitektonsko-građevinski kamen okoline Ljiga.- 1. Jugoslovenski simpozijum o ukrasnom kamenu, 16-18.01.1997, str. 61-67, banja Vrujci.
- Carvalho J.F, Henriques P., Falé P. and Luís G., 2008: Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz anticline.- International journal of rock mechanics and mining sciences, vol. 45, p. 1306-1319.
- Ceryan S., Tudes S. and Ceryan N., 2008: A new quantitative weathering classification for igneous rocks.- Environmental geology, vol. 55, p. 1319-1336.
- Cissarz A., 1956: Lagerstätten und Lagerstättenbildung in Jugoslawien und ihren Beziehung zu Vulkanismus und Geotektonik.- Rasprave Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NRS, 6, 152 str., Beograd.
- Cmiljanić S. i dr., 1983: Studija o vrstama, kvalitetu i rezervama tehničkog građevinskog kamena u SR Srbiji (van SAP) u postojećim kamenolomima, šljunkarama i potencijalnim nalazištima, knjiga 1.- SOUR za puteve "Srbijaput" – Beograd i RO Institut za puteve – Beograd, 541 str., Beograd.
- Commission of the European communities, 2008: Communication from the Commission to the European parliament and the Council; The raw materials initiative — meeting our critical needs for growth and jobs in Europe {sec(2008) 2741}, com(2008) 699, 13 p., Brussels.
- Crnković B. i Bilbija N., 1986: Vrednovanje arhitektonsko-građevinskog kamena.- AGT Kamen, br. 1. Izd. Kamergran Beograd.
- Cvetković V., 1997: Petrostrukturne i vulkanološke karakteristike boračkog eruptivnog kompleksa.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 241 str.
- Cvetković V., 2002: Nature and origin of pyroclastic deposits of the Miocene eruptive complex of Borač (central Serbia).- Bulletin de l'Academie Serbe des sciences et des arts, Classe des sciences mathematiques et naturelles, vol. 125, Sciences naturelles, vol. 341, p. 209-215.
- Cvetković V., 2009: Vulkanološka, geohronološka i petrohemijska studija Rudničkog vulkansko-intruzivnog kompleksa.- neobjavljena studija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 48 str., Beograd.
- Cvetković V. and Pécskay Z., 1999: The Early Miocene eruptive complex of Borač (Central Serbia): volcanic facies and evolution over time.- Geologica Carpathica, vol. 50, p. 91-93.
- Cvetković V., Karamata S. i Knežević V., 1995: Vulkanske stene kopaoničke oblasti.- Savetovanje "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 185-194. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Cvetković V., Knežević V., Pécskay Z., 2000a: Tertiary igneous formations of the Dinarides, Vardar Zone and adjacent regions: from recognition to petrogenetic implications.- Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone (eds. S. Karamata and S. Janković) The Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, p. 245-252, Banja Luka-Serbian Sarajevo.
- Cvetković V., Prelević D. and Pécskay Z., 2000b: Lamprophyric rocks of the Miocene Borač eruptive complex (Central Serbia, Yugoslavia).-Acta Geologica Hungarica, vol. 43, no. 1, p. 25-41.
- Cvetković V., Poli G. and Prelević D., 2001a: Eruptive history and low-pressure evolution of the Early Miocene Borač eruptive complex (Central Serbia).- Acta vulcanologica, vol. 13, no. 1-2, p. 127-143.
- Cvetković V., Prelević D. and Karamata S., 2001b: Upper Cretaceous/Tertiary magmatism, metallogeny and geodynamics of the Serbian part of the Balkan Peninsula.- Rom. Jour. of mineral deposits, geodynamics and ore deposit evolution of the Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride province, ABCD-GEODE 2001, Vata Bai, 8-12 June, Abstract, 79/2, 50-51.
- Cvetković V., Knežević V., Christofides G., Koroneos A. and Poli G., 2004a: Origin, evolution and geotectonic setting of granitoid rocks of Cer mt. (Western Serbia).- Extended abstracts of the 10th International congress of the Geological society of Greece, 15-17.04.2004, p. 372-373.
- Cvetković V., Poli G., Resimić-Šarić K., Prelević D. and Lazarov M., 2002a: Tertiary post-collision granitoid of Mt. Kopaonik (Serbia) - petrogenetic constraints based on new geochemical data.- Proceedings of the XVII Congress of CBGA, Bratislava, September 1-4, 7 p., CD-version.
- Cvetković V., Koroneos A., Christofides G., Poli G., Knežević V. and Erić V., 2002b: Granitoids of mt. Cer and mt. Bukulja and their significance for geodynamics of the Southern Pannonian realm.- Proceedings of 17. congress of Carpathian-balkan geological association, 01-04.09.2002, CD version, Bratislava.

- Cvetković V., Prelević D., Downes H., Jovanović M., Vaselli O. and Pécskay Z., 2004b: Origin and geodynamic significance of Tertiary postcollisional basaltic magmatism in Serbia (central Balkan Peninsula).- *Lithos*, vol. 73/3-4, p. 161-186.
- Cvetković V., Poli G., Christofides G., Koroneos A., Péczkay Z., Resimić-Šarić K. i Erić V., 2007: The miocene granitoid rocks of Mt. Bukulja (central Serbia): evidence for Pannonian extension-related granitoid magmatism in the Northern Dinarides.- *European journal of mineralogy*, vol. 19, no. 4, p. 513-532.
- Cvijić J., 1901a: Die tektonische Vorgänge in der Rhodopenmasse.- *Sitzungsber d. K. Akademie d. Wiss., math. nat. Klasse*, Bd. 110, Abteil 1, p. 409-432, Wien.
- Cvijić J., 1901b: Die Dinarisch-albanische Schaarung.- *Sitzungsber d. K. Akademie Wiss., math. nat. Klasse*, Bd. 110, p. 437-478, Wien.
- Cvijić J., 1904: Die Tektonik der Balkanhalbinsel mit besonderer Berücksichtigung der neueren Fortschritte in der Kenntnis der Géologie von Serbien, Makedonien und Bulgarien.- *Comptes Rendus IX Congrès international de Géologie (1903)*, vol. 1, p. 347-370, Vienne.
- Cvijić J., 1924: *Geomorfologija, knjiga prva*.- Državna štamparija Srba, Hrvata i Slovenaca, 588 str., Beograd.
- Ćirić B., 1953: Prilog rešenju problema "Severne prelazne zone".- *Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NRS*, knj. 10, str. 45-60, Beograd.
- Ćirić B., 1957a: Tercijarni tektonski i magmatski pokreti na Kopaoniku.- 2. kongres geologa Jugoslavije, 8-14.9.1957, Sekcija B, str. 283-288, Sarajevo.
- Ćirić B., 1960/63: Le développement des Dinarides Yougoslaves pendant le cycle alpin.- *Livre à la mémoire de professeur Paul Fallot, Mém. Soc. Géol. France, Tomme 2*, p. 565-582, Paris.
- Ćirić B., 1967a: Neotektonska karta SFRJ 1:1500000.- Savezni geološki zavod, Beograd.
- Ćirić B., 1967b: Tektonski sklop Dinarida.- VII kongres Karpato-balkanske geološke asocijacije, *Geološki problemi Dinarida*, Beograd.
- Ćirić B. i Karamata S., 1962: Pregled geološke građe Kopaonika.- 5. savetovanje geologa FNRJ, vodič za ekscurziju: magmatske stene, geološka građa i rudna ležišta Kopaonika, str. 1-36, Beograd.
- Delaloye M., Lovrić A. and Karamata S., 1989: Age of Tertiary granitic rocks of Dinarides and Vardar zone.- *XIV Carpatho-balkan geological association congress extended abstracts*, p. 1186-1189, Sofia.
- Deleon G., 1969: Pregled rezultata određivanja apsolutne geološke starosti granitoidnih stena u Jugoslaviji.- *Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina*, godina V, broj 6, str. 165-180, Beograd.
- Delgado J., Vázquez A., Juncosa R. and Barrientos V., 2006: Geochemical assessment of the contaminant potential of granite fines produced during sawing and related processes associated to the dimension stone industry.- *Journal of geochemical exploration*, vol. 88, p. 24-27.
- Dercourt J., Zonenshain L.P., Ricou L.E., Kazmin V.G., Le Pichon X., Knipper A.L., Grandjaques C., Sbertshhivok I.M., Geyssant J., Lepvrier C., Perchersky D.H., Boulín J., Sibuet J.-C., Savostin L.A., Sorokhtin O., Westphal M., Bazhrnov M.L., Lauer J.-P. and Biju-Duval B., 1986: Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias.- *Tectonophysics*, vol. 123, p. 241-315.
- Dewey J.F., Pitman W.C., Ryan W.B.F. and Bonnin J., 1973: Plate tectonics and the evolution of the Alpine system.- *Geological Society of America Bulletin*, vol. 84, p. 3137-3180.
- Dimes F.G., 1998a: The nature of building and decorative stones.- In: *Conservation of Building and Decorative Stone*. By Ashurst J. and Dimes F.G. (Eds.). Butterworth-Heinemann, p. 19-36.
- Dimes F.G., 1998b: Igneous rocks.- In: *Conservation of Building and Decorative Stone*. By Ashurst J. and Dimes F.G. (Eds.). Butterworth-Heinemann, p. 37-60.
- Dimitrijević B., 1937: Geneza piroklastičnih stena na Rudniku i njena uloga u izdvajanju eruptivnih perioda.- *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, knj. 14, str. 141-147.
- Dimitrijević B., 1938a: O genezi vulkanskih breča na Rudniku.- *Zapisnici SGD za 1937. godinu*, str. 15-17.
- Dimitrijević B., 1938b: Pojava bazalta na Rudniku.- *Vesnik Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije*, knj. 6, str. 243-244.
- Dimitrijević B., 1939: Pojava labradorskih andezita na Crnom vrhu i Ješevcu.- *Zapisnici SGD za 1938. godinu*.
- Dimitrijević B., 1952: Prethodno saopštenje o eruptivnoj delatnosti u oblasti Ješevca (Gruža).- *Glasnik Srpske akademije nauka*, knj. 4, sv. 2, str. 276-277.

- Dimitrijević M., 1974: Dinaridi: jedan model na osnovama "Nove globalne tektonike".- Simpozijum: Metalogenija i koncepcije geotektonskog razvoja Jugoslavije, Katedra ekonomske geologije, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, str. 119-151, Beograd.
- Dimitrijević M., 1982: Dinaridi - jedan pogled na tektoniku.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knj. 40, str. 113-147, Beograd.
- Dimitrijević M., 1992: Geološki atlas Srbije 1:2 000 000.- Republički fond za geološka istraživanja i Geološki zavod - Gemini, Beograd.
- Dimitrijević M., 1995a: Geologija Jugoslavije.- Izd. Geoinstitut i Barex, 205 str., Beograd.
- Dimitrijević M., 1995b: Blok Kopaonika - njegov položaj u Vardarskoj zoni.- Zbornik radova savetovanja "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 33-40. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Dimitrijević M., 1997: Geologija Jugoslavije.- Geološki institut Gemini-Beograd, specijalne publikacije, Barex, 187 str., Beograd.
- Dimitrijević M., 2000: The Dinarides and the Vardar zone – the eternal conundrum.- Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone (eds. S. Karamata and S. Janković) The Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, p. 5-13. Banja Luka-Serbian Sarajevo.
- Dimitrijević M., 2001: Dinarides and the Vardar zone: a short review of the geology.- Acta vulcanologica, vol. 13, no. 1-2, p. 1-8.
- Dimitrijević B. i Ilić M., 1938: Labradorski andeziti na Crnom Vrhcu i Ješevcu (Šumadija).- Vesnik Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije, knj. 7, str. 291-312.
- Dimitrijević B. i Štokler O., 1940: Petrografska i agrogeološko-pedološka ispitivanja u oblasti Ješevca i Crnog Vrhca.- Zapisnici SGD za 1939 godinu, str. 3-5.
- Dimitrijević M. i Karamata S., 1969: Osvrt na genezu Kopaoničkog granodioritskog masiva.- Zapisnici SGD za 1964-67. godinu, str. 611-613, Beograd.
- Divljan S., 1980: Istraživanje provincija minerala retkih metala u nekim granitoidnim masivima SR Srbije (završni izveštaj).- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Divljan S., 1982: Završni izveštaj o geološko-petrološkim i geohemijskim izučavanjima vulkanske oblasti Kotlenika.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Divljan S., 1983: Geološko-petrološka i geohemijska izučavanja granitoidnog masiva Boranje.- FSD Republičke SIZ za geološka istraživanja, Beograd.
- Divljan S. i Cvetić S., 1991a: Prilog poznavanju osnovnih petrološko-geoloških karakteristika terciarnih magmatita šireg područja Šumadije.- Glasnik Prirodnačkog muzeja u Beogradu, Geološke nauke, serija A, knj. 46, str. 95-113.
- Divljan S. i Cvetić S., 1991b: Novi pogledi na genezu magmatskih stena bukuljsko-brajkovačkog horstantiklorijuma.- Radovi Geoinstituta, knj. 25, str. 221-228, Beograd.
- Divljan M. i Glišić M., 1958: Prilog ispitivanju kvarclatita na Kopaoniku.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije, knj. 16, str. 125-138, Beograd.
- Divljan S., Martinović G. i Cvetić S., 1986: Novi pogledi na genezu vulkanskih stena boračke oblasti.- 11. Kongres geologa Jugoslavije, knj. 3 - Petrologija, geohemija, tektonika, str. 63-77, Tara.
- Divljan S., Mihailović-Vlajić N. i Cvetić S., 1978: Prikaz novijih shvatanja o genezi granitoidnih stena Cera (zapadna Srbija).- Referati 9. kongresa geologa SFRJ, str. 314-321, Sarajevo.
- Dražević J., 1999: Geološke karakteristike ležišta "Ploča" – Bukovik.- 4. Međunarodna naučna konferencija o površinskoj eksploataciji OMC99, str. 27-30.
- Đoković I., Marović M., Grubić A., Pešić L. i Toljić M., 1995a: Magmatogene morfostrukture u širem rejonu Kopaonika.- Savetovanje "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 66-72. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Đoković I., Marović M., Radovanović S., Trivić B., Čupković T. i Kovačević V., 1995b: Recentni rupturni sklop u kopaoničkoj oblasti.- Savetovanje "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 73-78. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Erić V., 1999: Petrologija i geohronologija granitoida i uranske mineralizacije Bukulje.- Magistarska teza, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 112 str.
- Erić V., Knežević V., Pécskay Z. i Cvetković V., 1998: Granitoidne i kontaktno-metamorfne stene Bukulje.- Simpozijum "Prirodne i kulturno-istorijske vrednosti Arandelovca", Arandelovac, 22-24.10.1998., Apstrakti, 5.
- Erić V., Petrović-Prelević I. i Erić S., 1999: Granat iz aplita Bukulje.- Godišnjak JAM, god. 2, br. 2, str. 59-63, Beograd.
- Filipović I., 2005: Spatial distribution of geological resources in NW Serbia (Jadar block terrane) and its relation to tectonic structures.- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 66, str. 17-20.

- Filipović I. i Rodin V., 1980: Tumač za OGK list Obrenovac L 34-125.- Zavod za geološka, geofizička i geotehnička istraživanja, 64 str., Beograd.
- Filipović I., Marković B., Pavlović Z., Rodin V. i Marković O., 1978: Tumač za OGK 1:100 000, list Gornji Milanovac L 34-137.- Savezni geološki zavod, 71 str., Beograd.
- Filipović I. i dr., 1973: Tumač za OGK 1:100 000, list Vladimirci, L 34-124.- Zavod za geološka i geofizička istraživanja, 59 str., Beograd.
- Forizs I., Vukov M. and Jović V., 1989: Petrological significance of primary and secondary epidote in the Željin pluton, Yugoslavia.- XIV congress CBGA, p. 202-205, Sofia.
- Grubić A., 1958: Geologija terena između Ajvalije i Novog brda i osvrt na probleme Vardarske zone.- Zbornik radova RGF, sv. 6, za 1958. god., str. 33-46.
- Grubić A., 1959: Razmatranje o opštem tektonskom sklopu naših Dinarida.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije, tom 17, str. 9-17.
- Grubić A., 1966: Tektonske karakteristike Vardarske zone.- Referati 6. savetovanja Saveza geoloških društava SFRJ, deo 1. - Geologija, paleontologija, tektonika, inženjerska geologija, str. 475-481, Ohrid.
- Grubić A., 1975: Tectonics of Yugoslavia.- Acta geologica JAZU, 8/20, Prirodoslovna istraživanja 41, str. 365-385, Zagreb.
- Haas J., Mioč P., Pamić J., Tomljenović B., Árkai P., Bérczi-Makk A., Kovács S., Rálich-Felgenhauer E. and Koroknai B., 1999: Continuation on the Periadriatic lineament, Alpine and NW Dinaridic units in the Pannonian basin.- Geologica Carpathica, vol. 50, 1999, Symposium 3, p. 150-151: Geodynamic of the Alpine orogen (International geological conference "Carpathian geology 2000", Smolenice, 11-14.10.1999).
- Harben P. and Purdy J., 1991: Dimension stone evaluation - from cradle to gravestone.- Industrial minerals, February 1991, p. 47-61, London.
- Hora Z.D., 2007: Dimension stone "Granite" R03.- In: "Selected British Columbia mineral deposit profiles", BC Geological survey - Victoria, Canada.
- Hsü K.J., 1971: Origin of the Alps and Western Mediterranean.- Nature, vol. 233, Issue 5314, p. 44-48.
- Ilić B., 1976: Elaborat o rezervama granodiorita ležišta "Drenska klisura" kod Jošaničke banje.- SOUR "Energoprojekt", RO "Energoprojekt-izgradnja" i OUR "Gemini", Beograd.
- Ilić B., 2005: Geološka istraživanja arhitektonsko-građevinskog kamena, bitne podloge za njihovu eksploataciju.- 6. Međunarodna izložba i savetovanje "Kamen", 26-29.10.2005., Zbornik radova, str. 27-31, Arandelovac.
- Ilić M., 1938a: Eruptivne stene okoline Raške.- Vesnik Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije, knj. 7, str. 217-289, Beograd.
- Ilić M., 1938b: O ultrabazičnim andezitima okoline Raške.- Zapisnici SGD za 1937. godinu, Beograd.
- Ilić M., 1939: Prethodna petrografska proučavanja na listu Novi Pazar.- Godišnjak Geološkog instituta kraljevine Jugoslavije za 1938. godinu, str. 78-84, Beograd.
- Ilić M., 1940a: O dacitu iz Ljuljaka u Gruži.- Zapisnici SGD za 1939. godinu, str. 24-26, Beograd.
- Ilić M., 1940b: Dacit Slavkovice.- Vesnik Geološkog instituta kraljevine Jugoslavije, knj. 8, str. 137-157.
- Ilić M., 1950a: Geologija za rudare.- Ministarstvo rudarstva FNRJ, Beograd.
- Ilić M., 1950b: Pegmatiti Bukulje.- Zapisnici SGD za 1948. godinu, str. 19-23.
- Ilić M., 1955: Kvarclatiti Sokolice kod Kosovske Mitrovice.- Zbornik radova RGF, sv. 3, str. 25-51, Beograd.
- Ilić M., 1958: Pojave bazalta u selu Matici kod Kosovske Mitrovice.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knj. 16, Beograd.
- Ilić M., 1960: Kvarclatiti Zvečana i drugih obližnjih nalazišta na levoj obali Ibra.- Zbornik radova RGF, knj. 6, Beograd.
- Ilić M., 1961: Geologija gornjemilanovačkog terciarnog basena i okolnih formacija.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knj. 19, serija A, str. 125-157.
- Ilić M., 1962a: Položaj kvarclatita u razvoju našeg terciarnog vulkanizma.- Referati 5. Savetovanja Saveza geoloških društava FNRJ, 2. deo - mineralogija, petrologija, rudna ležišta, str. 149-158, Beograd.
- Ilić M., 1962b: Andezitbazalti okoline Trepče.- Zbornik radova RGF, knj. 7, Beograd.
- Ilić M., 1966: Osnovne karakteristike razvoja terciarnog magmatizma u Unutrašnjim Dinaridima i Rodopima.- Referati 6. savetovanja Saveza geoloških društava SFRJ, deo 2. - mineralogija i petrografija, rudna ležišta, razno, str. 115-131, Ohrid.
- Ilić M., 1969: Tercijarni piroklastiti u Kopaoničkoj oblasti.- Zapisnici SGD za 1964.-67. godinu, str. 191-196.

- Ilić M., 1990: Neka razmatranja o delatnosti tercijarnog subsekventnog magmatizma u Unutrašnjim Dinaridima.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 53/1(1989), str. 279-295.
- Ilić M., 1995: Istraživanje ležišta nemetala - građevinskih materijala.- Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2. izdanje, 249 str.
- Ilić M., 1997: Problemi klasifikovanja građevinskog kamena i neka terminološka pitanja.- 1. Jugoslovenski simpozijum o ukrasnom kamenu, 16-18.01.1997, str. 1-3, banja Vrujci.
- Ilić M., 2001: Gemološki leksikon - Juvelirske mineralne sirovine: terminologija i nomenklatura.- Rudarsko-geološki fakultet, 222 str., Beograd.
- Ilić M. i Joksimović S., 1989: Ležište građevinskog kamena (andezita) "Cekovića majdan" u selu Ljuljacima kod Kragujevca.- Zbornik radova RGF, sv. 27-28, str. 15-30.
- Janković S., 1990: Rudna ležišta Srbije.- Republički društveni fond za geološka istraživanja, 760 str., Beograd.
- Janković S., 1995: Opšte metalogenetske karakteristike kopaoničke oblasti.- Savetovanje "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 79-102. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Janković S. i Milovanović D., 1985: Ekonomska geologija i osnovi ekonomike mineralnih sirovina.- Rudarsko-geološki fakultet, Grupa smerova za istraživanje ležišta mineralnih sirovina, 403 str., Beograd.
- Janković S. i Vakanjac B., 1969: Ležišta nemetaličnih mineralnih sirovina.- Građevinska knjiga, 247 str., Beograd.
- Jelenković R., 1987: Metalogenija urana u rejonu Bukulje.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 218 str.
- Jelenković R., 1990: Model obrazovanja orudnjenja urana u rejonu Bukulje.- 12. Kongres geologa Jugoslavije, knj. 3, str. 599-611, Ohrid.
- Jelenković R., 1991: Mineralizacija urana Šumadije: genetski i morfostrukturni tipovi.- Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Katedra ekonomske geologije, posebno izdanje No 2, 187 str., Beograd.
- Jevremović D., 1997: Geološki građevinski materijali.- Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 262 str., Beograd.
- Johnson S.S., 1991: Natural radiation.- Virginia minerals, Commonwealth of Virginia, Division of mineral resources, vol. 37, No. 2, p. 9-14, Richmond, Virginia.
- Joksimović S., 1980: Elaborat o rezervama i kvalitetu andezita lokaliteta "Cekovića majdan" u Ljuljacima.- Fond "Instituta za puteve", 66 str., Beograd.
- Joksimović S. i Živadinović O., 1997: Ležište arhitektonsko-građevinskog kamena "Vidačevica" (planina Rudnik).- 1. Jugoslovenski simpozijum o ukrasnom kamenu, 16-18.01.1997, str. 104-114, banja Vrujci.
- Jovanović M., 2003: Tercijarne bazaltoidne stene u Srbiji.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 299 str.
- Jovanović R., 1936: Detaljno proučavanje Kosmaja.- Izveštaj o radu Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije za 1935. godinu.
- Jovanović R., 1938a: Prilog geologiji Kosmaja.- Vesnik Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije, knj. 6, str. 135-152, Beograd.
- Jovanović R., 1938b: O geološkom sastavu Kosmaja.- Zapisnici SGD za 1937. godinu, str. 15-17.
- Jović V., 1990: Površinsko raspadanje kredno-tercijarnih vulkanita u Srbiji.- 12. Kongres geologa Jugoslavije, knj. 2 - Mineralogija i petrologija, str. 278-288, Ohrid.
- Jović V. i Poharc-Logar V., 1992: Proučavanje površinskog raspadanja feldspata iz vulkanskih stena Srbije primenom metode IC spektroskopije.- GABP, knj. 56, sv. 1, str. 345-357.
- Jović V., Matović V. i Đurić S., 1995: Mineralogija površinskog raspadanja granitoida Cera.- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 59, sv. 2, str. 339-354.
- Jović V., Đurić S., Milić V. i Matović N., 1993: Mineralogija zemljišta na granitoidima Cera.- Simpozijum Jugoslovenske mineraloške asocijacije, 13-14.10.1993., Izvodi referata, str. 16, Kraljevo.
- Jovović M. i Danilović Z., 1995: Arhitektonsko-građevinski kamen i tehničko-građevinski kamen Kopaonika.- Zbornik radova savetovanja "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 384-397. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Karamata S., 1952: Petrološka studija nekih andezita Šumnika kod Raške.- Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.



- Karamata S., 1953: Magmatske i metamorfne stene okoline Zvornika u Srbiji.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije, knj. 10, str. 93-123, Beograd.
- Karamata S., 1955: Petrološka studija magmatskih i kontaktno-metamorfnihi stena Boranje.- Glasnik Prirodnjačkog muzeja srpske zemlje, serija A, knj. 6, sv. 1, str. 1-130, Beograd.
- Karamata S., 1956: Pokušaj klasifikacije naših magmatskih stena po geološkoj starosti.- Zapisnici SGD za 1954. godinu, str. 59, sa tabelom.
- Karamata S., 1957a: Endomorfne promene u nekim našim granodioritima na kontaktu sa krečnjacima izazvane odvođenjem materija iz magme.- II kongres geologa Jugoslavije, 8-14.9.1957, Sarajevo, Sekcija B, str. 242-254.
- Karamata S., 1957b: Augit-Granite im Granodioritmassiv der Boranja (West-Serbien).- Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, Bd. 37, Heft 1, p. 51-63.
- Karamata S., 1962: Tercijarni magmatizam Dinarida, njegove faze i njegove glavne petrohemijske karakteristike.- Referati 5. Savetovanja Saveza geoloških društava FNRJ, 2. deo - mineralogija, petrologija, rudna ležišta, str. 137-147, Beograd.
- Karamata S., 1995: Kopaonički blok, njegov položaj i geneza.- Zbornik radova savetovanja "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 41-45. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Karamata S., 2006a: The geological development of the Balkan peninsula related to the approach, collision and compression of Gondwanan and Eurasian units. In: A.H.F. Robertson and D. Mountrakis (eds.): Tectonic development of the Eastern Mediterranean region.- Geological society special publications, vol. 260, p. 155-178, London.
- Karamata S., 2006b: The geological framework of the Balkan peninsula: its origin due to the approaching, collision and compression of Gondwanian and Eurasian units.- Zapisnici Srpskog geološkog društva za 2004. i 2005. godinu, str. 5-12. a takođe: In: A.H.F. Robertson and D. Mountrakis, Editors, Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region, Geological Society, London, Special Publication 260, p. 155-178.
- Karamata S. i Divljan S., 1980: Studija terciarnih magmatskih kompleksa SR Srbije - Dinaridi, Srpsko-makedonska masa.- Fond Geoinstituta, 2376, 129 str., Beograd.
- Karamata S. and Đorđević P., 1980: Origin of the upper Cretaceous and Tertiary magmas in the Eastern parts of Yugoslavia.- Bulletin de Académie Serbe des sciences et des arts, Tome 72, Classe des sciences mathématiques et naturelles, Sciences naturelles, No. 20, p. 99-108, Beograd.
- Karamata S. and Krstić B., 1996: Terranes of Serbia and neighbouring areas.- In: Terranes of Serbia. Eds. V. Knežević and B. Krstić, p. 25-40, Beograd.
- Karamata S., Dimitrijević N. M. and Dimitrijević D. M., 1999: Oceanic realms in the central part of the Balkan Peninsula during the Mesozoic.- Geologica Carpathica, vol. 50, 1999, Symposium 3, p. 151-153: Geodynamic of the Alpine orogen (International geological conference "Carpathian geology 2000", Smolenice, 11-14.10.1999).
- Karamata S., Delaloy M., Lovrić A. i Knežević V., 1992b: Dve genetske grupe terciarnih granitoidnih stena centralne i zapadne Srbije.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 56, sv. 1, str. 263-283.
- Karamata S., Dimitrijević M., Dimitrijević M., Milovanović D., 2000b: A correlation of ophiolitic belts and oceanic realms of the Vardar zone and the Dinarides. In: Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone (eds. S. Karamata and S. Janković) The Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, 191-194. Banja Luka-Serbian Sarajevo.
- Karamata S., Knežević V., Memović E. and Popević A., 1994a: The evolution of the Northern part of the Vardar zone in Mesozoic.- Bulletin of the Geological society of Greece, vol. 30/2, p. 479-486. Proceedings of the 7th Congress, Thessaloniki.
- Karamata S., Steiger R., Đorđević P. and Knežević V., 1990: New data on the origin of granitic rocks from Western Serbia.- Bulletin de Académie Serbe des sciences et des arts, Tome 102, Classe des sciences mathématiques et naturelles, Sciences naturelles, No. 32, p. 1-9, Beograd.
- Karamata S., Steiger R., Knežević V. and Boronikhin V., 1991: Granitic rocks of Cer (Serbia). Almost contemporaneous I- and S-granites.- International symposium Granites and geodynamics, Extended abstracts, Moscow.
- Karamata S., Vasković N., Cvetković V. i Knežević V., 1994b: Gornjokredni i terciarni magmatiti centralne i istočne Srbije i njihova metalogenija.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 58/1, str. 159-175.

- Karamata S., Krstić B., Dimitrijević D. M., Dimitrijević M. N., Knežević V., Stojanov R. and Filipović I., 1997: Terranes between the Moesian Plate and the Adriatic Sea. In: IGCP Project No. 276. *Annales geologiques des Pays Helleniques*, vol. 37, p. 429–477, Athens.
- Karamata S., Olujčić J., Protić Lj., Milovanović D., Vujnović L., Popević A., Memović E., Radovanović Z., Resimić-Šarić K., 2000a: 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 and S. Janković) The Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, 131-135. Banja Luka-Serbian Sarajevo.
- Knežević V., 1962: Postanak i petrohemijski karakter magmatskih i kontaktno-metamorfni stena Cera.- Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta za 1959/60, knj. 7, str. 190-201, Beograd.
- Knežević V., Cvetković V. i Resimić K., 1997: Granodioriti Stražanice na zapadnim padinama Cera (zapadna Srbija).- *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, knj. 61/1, str. 311-324.
- Knežević V., Karamata S. i Cvetković V., 1992: Petrološka studija tercijarnih magmatskih stena planine Cer u zapadnoj Srbiji.- *Fond dokumentacije Rudarsko-geološkog fakulteta*, 81 str., Beograd.
- Knežević V., Karamata S. and Cvetković V., 1994: Tertiary granitic rocks along the Southern margin of the Pannonian basin.- *Acta mineralogica-petrographica*, vol. 35, p. 71-80, Szeged.
- Knežević V., Karamata S., Vasković N. i Cvetković V., 1995: Granodioriti Kopaonika i kontaktno-metamorfni pojas.- *Savetovanje "Geologija i metalogenija Kopaonika"*, Kopaonik, str. 172-184. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Knežević-Đorđević V., Karamata S. i Cvetković V., 1993: Petrološka studija granitoidnih stena južne margine Panonskog basena na području Srbije.- *Rudarsko-geološki fakultet*, str. 1-87, Beograd.
- Knežević-Đorđević V., Karamata S., Cvetković V. i Pécskay Z., 1994: Genetski tipovi anklava u granitoidnim stenama Cera (zapadna Srbija).- *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, knj. 58/2, str. 219-234.
- Кобранова В. Н., 1986: Петрофизика.- *Недра*, 392 стр., Москва.
- Komarnicki S. i Stanić N., 1991: Neotektonske karakteristike šireg područja Kopaonika.- *Radovi Geoinstituta*, knj. 25, str. 53-61.
- Koroneos A., Poli G., Cvetković V., Christofides G., Krstić D. and Pécskay Z., 2011: Petrogenetic and tectonic inferences from the study of the Mt Cer pluton (West Serbia).- *Geological magazine*, vol. 148, no. 1, p. 89-111.
- Kossmat F., 1924: *Geologie der zentralen Balkanhalbinsel, mit einer Übersicht des dinarischen Gebirgsbaues*.- In: Wilder J. (Ed.): *Die Kriegsschauplätze 1914-1918, geologisch dargestellt*. Verlag Gebrüder Bornträger, Heft 12, 198 p., Berlin.
- Kostić A. i Pavlović Z., 1978: Granodiorit Brajkovca kod Lazarevca i njegovi kontaktno-metamorfni produkti.- *Glasnik Prirodnjačkog muzeja srpske zemlje, serija A*, knj. 33, str. 113-131, Beograd.
- Križak D., Maksimović M. i Radović V., 2005: Konceptija geoloških istraživanja ležišta AG kamena.- 6. Međunarodna izložba i savetovanje "Kamen", 26-29.10.2005., Zbornik radova, str. 58-66, Arandelovac.
- Kubat I., 1977: Tumač za OGK 1:100 000, list Ljubovija, L 34-135.- *Geoinženjering*, Institut za regionalnu geologiju, rudna ležišta i ekonomsku geologiju - Sarajevo, 53 str., Beograd.
- Kurešević L., 2010: The possibility of use of Kremić granitoid (Serbia) as an architectural stone.- *Geologica Macedonica*, Vol. 24. No. 2, p. 109-114, Štip.
- Luković M., 1929: Prilog geološkom i rudarskom poznavanju okoline Raške i Novog Pazara.- *Rudarski i topionički vesnik*, god. 1, br. 10, Beograd.
- Luković M., 1936: Izveštaj o radu Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije za 1935. godinu, str. 28, Beograd.
- Luković S., 1953/54: Serpentina Kosmaja.- *Zbornik radova RGF*, str 277-281.
- Luković S., 1955a: Prethodni rezultati geoloških ispitivanja na Kosmaju.- *Zapisnici SGD za 1953*, zbor 10.11.1953, str 51-53, BGD.
- Luković S., 1955b: Geološko-petrološka studija Kosmaja.- *Doktorska disertacija*, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Luković S., 1958: Geološko-petrografska studija Kosmaja.- *Glasnik Prirodnjačkog muzeja srpske zemlje, ser. A*, knj. 10, str. 3-116, Beograd.
- Maksimović B., 1953: Geološki sastav i tektonski sklop terena između Kadine Luke i Rajca (zapadna Srbija).- *Zbornik radova SAN 33*, Geološki institut knj. 5, str. 151-177, Beograd.
- Maksimović M., 2005: Tehno-ekonomska ocena novog ležišta AG kamena.- 6. Međunarodna izložba i savetovanje "Kamen", 26-29.10.2005., Zbornik radova, str. 92-104, Arandelovac.

- Maksimović M., 2006a: Eksploatacija, ispitivanje, primena arhitektonskog kamena.- Contractor, Beograd, 352 str.
- Maksimović V., 2006b: Iskorišćenje pločastog i cepanog kamena u tehnologiji obrade bez ostatka.- 7. Međunarodna konferencija "Nemetali", 25-28.10.2006, str. 207-209, banja Vrujci.
- Maksimović B. i Maksimović Z., 1952: Tektonski odnosi na Rujevcu kod sela Ba (zapadna Srbija) u vezi sa pojavama hidrosilikata Ni.- Zbornik radova SANU, knj. 22, Zbornik radova Geološkog instituta SAN, knj. 3, str. 15-24, Beograd.
- Maksimović Z. i Divljan S., 1953: Rezultati geološko-petrografskog kartiranja i promatranja rudnih pojava u oblasti sela Plane i Gokčanice na zapadnim padinama Željina.- Zbornik radova SAN, knj. 33, Geološki institut, knj. 5, p. 223-256.
- Maksimović Z. i Terzić M., 1965: Geohemija vulkanskih stena Rudničkih planina.- Referati 1. Simpozijuma iz geohemije, 18.01.-20.01.1965, SGD, str. 221-249, Beograd.
- Maksimović Z., Dangić A. i Mičić I., 1978: Geohemijske karakteristike vulkanskih stena Kopaonika.- 9. Kongres geologa Jugoslavije, str. 282-291, Sarajevo.
- Maksimović Z., Prelević D. and Petrović-Prelević I., 2006: Hydrothermal alteration products of ultramafics, including listvenites, on the western slopes of Željin Mountain (Serbia). Proceedings of the XVIII Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, September 3-6, 2006, 333-335.
- Marčeta L., Ivović B. i Delić-Nikolić I., 2009: Ocena stanja građevinskog kamena ugrađenog u eksterijer objekta Glavne pošte u Beogradu.- Zbornik radova 6. naučno-stručnog savetovanja "Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata i naselja", ed. R. Folić, Divčibare, 19-21.05.2009. godine, 710 str., str. 391-396, štampano u Zemunu.
- Marić L., 1933: Geološko proučavanje stare Raške.- Glas Srpske kraljevske akademije, knj. 258, prvi razred, 78, Beograd.
- Marković M. i Pavlović R., 1992: Studija regionalnog rupturnog sklopa šireg područja Rudnik-Stragari.- Fond dokumentacije "Geozavod-HIG", Beograd.
- Marković B. i dr., 1968: Tumač OGK 1:100000 K34-6 list Kraljevo.- Savezni geološki zavod, 63 str., Beograd.
- Marović M., Đoković M. and Toljić M., 1998: Genesis of the neotectonic structures of Serbia.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 62, str. 25-47.
- Marović M., Đoković I., Toljić M., Milivojević J. and Spahić D., 2007: Paleogene-Early Miocene deformations of Bukulja-Venčac crystalline (Vardar zone, Serbia).- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 68, str. 9-20.
- Marović M., Mihailović D., Đoković I., Gerzina N. and Toljić M., 2001: Wrench tectonic of the Paleogene-Lower Miocene basins of Serbia between the central part of the Vardar Zone and the Moesian Plate.- PANCARDI 2001, Sopron, Abstracts.
- Marović M., Đoković I., Pešić L., Radovanović S., Toljić M. and Gerzina N., 2002: Neotectonics and seismicity of the southern margin of the Pannonian basin in Serbia.- European Geosciences union Stephan Mueller special publication series, vol. 3, p. 277-295.
- Mead L. and Austin G.S., 2006: Dimension stone.- In: Industrial minerals and rocks: Commodities, Markets, and Uses, 7th edition, 1548 p. Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (Eds.). Society for mining, metallurgy and exploration (U.S.), p. 907-923, Littleton.
- Mercier J., 1966: Mouvements orogéniques et magmatisme d'âge Jurassique supérieur-éocène dans les zones internes des Hellénides (Macédoine, Grèce). Revue de géographie physique et de géologie dynamique, vol. 8, p. 265-278, Paris.
- Mičić I., 1966: Mladi plutonizam na zapadnim padinama Kopaonika i Željina.- Referati 6. savetovanja Saveza geoloških društava SFRJ, 2. deo – mineralogija i petrografija, rudna ležišta, razno, str. 172-190, Ohrid.
- Mičić I., 1969: Prikaz geološke karte zapadnih padina Kopaonika i Željina u razmeri 1:10 000 sa posebnim osvrtom na odnose plutonita prema okolnim stenama.- Zapisnici SGD za 1964-67. godinu, str. 353-359.
- Mičić I., 1980: Kontaktne, pneumatolitske i hidrotermalne promene u vulkanskim stenama kopaoničke oblasti.- Rasprave Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knj. 19, 138 str., Beograd.
- Mičić I., 1986: Kontaktno-metamorfno-metasomatske promene u tercijskim vulkanskim stenama Kopaonika, Rogozne, Golije i Rudnika.- 11. Kongres geologa Jugoslavije, knj. 3 – Petrologija, geohemija, tektonika, str. 45-61, Tara.
- Mičić I., Urošević D., Kandić M., Klisić M. i Simić D., 1972: Nalazak trijasko konodontne faune u metamorfnom kompleksu Kopaonika.- Zapisnici SGD za 1968., 1969. i 1970. godinu, str. 103-104.

- Mihailović N., 1981: Geološko-petrološka i geohemijska ispitivanja tercijarnih magmata područja Avala-Kosmaj u 1980. godini.- Fond dokumentacije Geoinstituta.
- Mihailović N., 1982: Konačni godišnji izveštaj o osnovnim istraživanjima brajkovačkog granitoidnog intruziva i njegovom značaju za metalogeniju II oboda Kolubarskog basena.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Mihailović N. i Žolnaj S., 1982: Geološko-petrološka i geohemijska ispitivanja tercijarnih magmata područja Avala-Kosmaj u 1981. godini.- Fond dokumentacije Geoinstituta.
- Mihailović-Vlajić N., Divljan S. i Markov C., 1976: Opšta razmatranja o procesima građenizacije na teritoriju SFRJ.- 8. jugoslovanski geološki kongres, Bled 1-5.10.1974, deo 1. - podatki o kongresu, plenarna predavanja, mineralogija, petrologija, geokemija, Ljubljana 1976, str. 189-197.
- Milić R., Pavlović Z. i Marković B., 1972: Magmatizam i metalogeneza polimetalnog ležišta Rudnik u Šumadiji.- 7. kongres geologa SFRJ, Zagreb 28.09-04.10.1970, Predavanja, 2. knjiga – mineralogija i petrografija, str. 207-221, Zagreb.
- Milojević S. i Protić M., 1927: Geološki sastav Kosmaja.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 9, sv. 1, str. 56-62.
- Milovanović B., 1950: Geološko-tektonska skica Jugoslavije.- Geologija za rudare 1. deo Opšta i istorijska geologija, 2. izdanje, Izdavačko preduzeće Saveta za energetiku i ekstraktivu industriju vlade FNRJ, str. 411-452, Beograd.
- Milovanović D., 1997: Neki aspekti tehničko-ekonomske ocene ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena.- 1. Jugoslovenski simpozijum o ukrasnom kamenu, 16-18.01.1997, str. 294-305, banja Vrujci.
- Mojsilović S. i dr., 1977: Tumač za OGK 1:100 000, list Zvornik L 34-123.- Savezni geološki zavod, 47 str., Beograd.
- Mojsilović S. i Avramović V., 1966: Magmatizam u zapadnoj Srbiji.- Zapisnici SGD za 1962. godinu, str. 69-74.
- Mudrinić Č. i Stajević B., 1990: Retki metali u primarnim i sekundarnim oreolima rasejavanja granitoidnog masiva Cera.- 12. Kongres geologa Jugoslavije, knj. 2 - Mineralogija i petrologija, str. 322-335, Ohrid.
- Nikolić B., 1993: Raspodela radioaktivnih elemenata u granitoidnim stenama Kopaonika.- Radovi Geoinstituta, br. 28, str. 147-165, Beograd.
- Nikolić D., 1962: Berili Jugoslavije.- Referati 5. savetovanja Saveza geoloških društava FNRJ, 2. deo - Mineralogija, petrologija, rudna ležišta, str. 11-12, Beograd.
- Nikolić D., 1963: Pegmatiti SFR Jugoslavije.- Fond Zavoda za nuklearne sirovine, Beograd, ev. br. 1410; Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 207 str., Beograd.
- Nikolić D., Babić D., Cvetković LJ. i Miličić R., 1980a: Hidrotermalna izmena u dacitskom dajku na novom površinskom kopu rudnika olova i cinka Rudnik.- Simpozijum Alteracija stena i minerala (100 godina Geološke škole i nauke u Srbiji), str. 168-175, Beograd.
- Nikolić D., Milić R., Kostić M. i Stojanović V., 1980b: Pojava alteracije u rasednim zonama dacitskih dajkova rudnika olova i cinka Rudnik.- Simpozijum Alteracija stena i minerala (100 godina Geološke škole i nauke u Srbiji), str. 176-186, Beograd.
- O'Brien P.J., 2001: Subduction followed by collision: Alpine and Himalayan examples.- Physics of the Earth and planetary interiors, vol. 127, p. 277-291.
- Omaljev V., 1959: Ležište olova i cinka Rudnik.- Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Omaljev V., 1981: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u granitoidnom masivu Cera. - Radovi Geoinstituta, knj. 15, str. 47-69.
- Omaljev V., 1982: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u granitoidnom masivu Boranje.- Geološki glasnik, br. 27, Sarajevo.
- Omaljev V., 1983a: Raspodela urana u južnom delu granitskog masiva Bukulje.- Radovi Geoinstituta, knj. 16, str. 145-165.
- Omaljev V., 1983b: Odnos Th/U u granitoidnim stenama Cera.- Tehnika, RGM br. 3, Beograd.
- Omaljev V., 1984: Raspodela urana, teškorastvornog i lakorastvornog urana u južnom delu granitskog masiva Bukulje.- Radovi Geoinstituta, knj. 17, str. 89-116, Beograd.
- Omaljev V., 1986: Raspodela radioaktivnih i alkalnih elemenata u granitoidnim stenama Boranje.- Radovi Geoinstituta, knj. 19, str. 193-221.
- Omaljev V., 1988a: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u granitoidnim stenama Kopaonika.- Radovi Geoinstituta, knj. 21, str. 103-122.

- Omaljev V., 1988b: Raspodela radioaktivnih i alkalnih elemenata u granitoidnim stenama Bukulje.- Radovi Geoinstituta, knj. 21, str. 125-147.
- Omaljev V., 1989: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u vulkanogenom masivu Borač.- Radovi Geoinstituta, knj. 23, str. 27-62, Beograd.
- Omaljev V., 1990: Raspodela radioaktivnih i alkalnih elemenata u granitoidnim stenama Brajkovca.- Radovi Geoinstituta, knj. 24, str. 23-43, Beograd.
- Omaljev V., 1991a: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u granitoidnim stenama Bukulje.- Radovi Geoinstituta, knj. 25, str. 77-92, Beograd.
- Omaljev V., 1991b: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u vulkanitima Rudnika.- Radovi Geoinstituta, knj. 25, str. 139-161, Beograd.
- Omaljev V., 1992a: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u vulkanogenom masivu Kotlenika.- Radovi Geoinstituta, knj. 26, str. 33-53, Beograd.
- Omaljev V., 1992b: Pregled sadržaja radioaktivnih i alkalnih elemenata u granitoidnim stenama Bukulje.- Radovi Geoinstituta, knj. 27, str. 277-301.
- Omaljev V., 1992c: Raspodela alkalnih komponenti, urana i torijuma u vulkanitima Rudnika.- Radovi Geoinstituta, knj. 26, str. 125-138, Beograd.
- Omaljev V., 1993a: Raspodela urana i torijuma u šlihovima Bukulje.- Radovi Geoinstituta, knj. 28, str. 113-124.
- Omaljev V., 1993b: Raspodela radioaktivnih i alkalnih elemenata u dacitu Slavkovice.- Radovi Geoinstituta, knj. 28, str. 127-144, Beograd.
- Omaljev V., 1994: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u vulkanitima Medvednjaka (rejon Bukulje).- Radovi Geoinstituta, br. 30, str. 95-108.
- Omaljev V., 1995: Raspodela urana, torijuma i kalijuma u vulkanitima Kopaonika.- Radovi Geoinstituta, knj. 31, str. 127-142.
- Omaljev V., 1996a: Radioaktivni elementi u stenama, sa osvrtom na magmatske stene Srbije.- Radovi Geoinstituta, knj. 32, str. 5-23.
- Omaljev V., 1996b: Raspodela alkalnih komponenti, urana i torijuma u granitoidnim stenama Kopaonika.- Radovi Geoinstituta, knj. 32, str. 119-129.
- Omaljev V., 1996c: Raspodela alkalnih komponenti, urana i torijuma u vulkanitima Kopaonika.- Radovi Geoinstituta, knj. 33, str. 103-112.
- Omaljev V. i Vukov M., 1987: Raspodela radioaktivnih i rudnih elemenata u granitoidnim stenama Željina.- Radovi Geoinstituta, knj. 20, str. 143-173.
- Pajković V., 1983: Ležište andezitske lave na Viniku kod Novog Pazara.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, serija A, knj. 41, str. 75-85, Beograd.
- Pajković V., 2005: O značaju proizvodnje arhitektonsko-građevinskog (ukrasnog) kamena.- 6. Međunarodna izložba i savetovanje "Kamen", 26-29.10.2005., Zbornik radova, str. 174-177, Arandelovac.
- Palinkaš L.A., Borojević-Šoštarić S. and Strmić-Palinkaš S., 2008: Metallogeny of the Northwestern and central Dinarides and Southern Tisia.- Ore geology reviews, vol. 34, p. 501-520.
- Pamić J., 2002: The Sava-Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean, *Eclogae Geologicae Helvetiae* 95, p. 99-113.
- Pamić J. and Balen D., 2001: Tertiary magmatism of the Dinarides and the adjoining South Pannonian basin: an overview.- *Acta vulcanologica*, vol. 13, no. 1-2, p. 9-24.
- Pančić J., 1859: Die Flora der serpentinegebirge in Mittel-Serbien.- *Verh. Zool.-bot. bes.*, p. 139-150, Wien.
- Pančić J., 1869: Kopaonik i njegovo podgorje.- Državna štamparija, 23 str., Beograd.
- Pavlović S., 1949: Mineraloško-petrografska i rudarska proučavanja centralnog Kopaonika i Željina.- *Glasnik SAN*, knj. 1, sv. 3, str. 394-397, Beograd.
- Pavlović Z., 1961: Petrološke i strukturne karakteristike drenjskog granodioritskog masiva.- *Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja*, knj. 19, serija A, str. 223-234.
- Pavlović Z., 1966: Pokušaj određivanja starosti pojedinih faza tercijarne vulkanske aktivnosti u kopaoničko-rudničkom delu Vardarske zone.- *Referati 6. savetovanja Saveza geoloških društava SFRJ*, 2. deo – mineralogija i petrografija, rudna ležišta, razno, str. 200-216, Ohrid.
- Pavlović Z., 1972: Položaj feldspatoidskih efuziva u vulkanogenoj asocijaciji Rudnika i Ješevca.- 7. kongres geologa SFRJ, Zagreb 28.09-04.10.1970, Predavanja, 2. knjiga – mineralogija i petrografija, str. 297-301, Zagreb.

- Pavlović Z., 1976: Hronološki razvoj tercijarnog magmatizma u području Šumadije.- 8. jugoslovanski geološki kongres, Bled 1-5.10.1974, deo 1. - podatki o kongresu, plenarna predavanja, mineralogija, petrologija, geokemija, Ljubljana 1976, str. 231-243.
- Pavlović M. i Ilić M., 1937: O pojavi monconitskog granita kod sela Rogače pod Kosmajem.- Vesnik Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije, knj. 5, str. 253-269.
- Pavlović S. i Ristić M., 1963: Izučavanje granitoidnih masiva Surdulice, Cera, Stalača, Gornjana i Plavne.- Fond dokumentacije Geoinstituta, Beograd.
- Pavlović Z. i Marković B., 1966: Pojava granitoida na zapadnim padinama Rudnika.- Glasnik Prirodnjačkog muzeja, serija A, knj. 21, str. 127-133, Beograd.
- Pavlović Z., Ilić M. i Roglić Č., 1969: Opšte karakteristike boračko-kotleničkog eruptivnog kompleksa.- Zapisnici SGD za 1964-67. godinu, str. 123-132.
- Pavlović Z. i dr., 1980: Tumač OGK za list Smederevo, L 34-126.- Savezni geološki zavod, 52 str., Beograd.
- Pécskay Z., Knežević V., Cvetković V. and Resimić-Šarić K., 2001: Time and space distribution of Tertiary granitoid rocks of Serbia: geodynamic implications.- Pancardi 2001, II, Abstracts, DP-14.
- Petković K., 1958: Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinariden.- Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt, Band 101, Heft 1, p. 1-24, Wien.
- Petković K., 1961: Tektonska karta FNR Jugoslavije.- Glas SAN 149, Odeljenje prirodno-matematičkih nauka, knj. 22, str. 129-144, Beograd.
- Popović R., 1996: Uranonosnost granitoidnih masiva Željina i Kopaonika u zavisnosti od njihove geneze.- Radovi Geoinstituta, knj. 32, p. 49-55, Beograd.
- Popović D., Đurić G. and Todorović D., 2001: Possible impacts of depleted Uranium (DU) ammunition on health and environment.- Round-table conference "Destructive Impacts on Life and Natural Resources in the Southeast Europe in the Last Decade of the Twentieth Century" held on January 31<sup>st</sup> 2001, abstracts, [www.danube-cooperation.com](http://www.danube-cooperation.com).
- Prelević D., Cvetković V. and Foley S.F., 2001: Composite igneous intrusions from Serbia: two case studies of interaction between lamprophyric and granitoid magmas.- Acta vulcanologica, vol. 13, no. 1-2, p. 145-157.
- Prelević D., Cvetković V. and Jovanović M., 2000: The composite dome of Beli Kamen (mt. Rudnik, central Serbia) - the example of a specific interaction of lamprophyric and granitoid magma.- Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone (eds. S. Karamata and S. Janković) The Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, p. 255-267, Banja Luka-Serbian Sarajevo.
- Radošević B., Kovačević J. and Jović V., 2002: Natural occurring uranium in Serbia and possible environmental effect.- Journal of environmental protection and ecology, vol. 3, no. 3, p. 706-718.
- Raffaelli P. i Pamić J., 1986: Petrokemijsko razmatranje prealpskih i mladoalpskih granita dodirnog područja sjevernih Dinarida i Panonskog basena.- 11. Kongres geologa Jugoslavije, knj. 3 – Petrologija, geohemija, tektonika, str. 1-15, Tara.
- Rakić S., 1961: Metalogeneza i mineralna parogeneza rudišta olova i cinka Šumadije.- Fond Geozavoda, Beograd.
- Rakojević S., 1960: Anklave u andezitsko-dacitskim stenama Zagrađa (Rudnik).- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knj. 18, serija A - Geologija, str. 341-359.
- Ramović M., 1966: The significance of the geologic time factor in metallogeny and petrology.- Bulletin of the Mineral research and exploration institute of Turkey, no. 67, p. 23-35.
- Resimić-Šarić K., Karamata S., Popević A., Balogh K., 2000: The eastern branch of the Vardar Zone - the scar of the Main Vardar ocean. Geology and Metallogeny of the Dinarides and the Vardar zone (eds. S. Karamata and S. Jankovic). The Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, 81-85. Banja Luka-Serbian Sarajevo.
- Rijavec I., 1963: Izrada registra i karte kamenoloma tehničkog i ukrasnog kamena u SRS.- Institut IMS, fond dokumentacije, 46 str, Beograd.
- Robertson A.H.F. and Dixon J.E., 1984: Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: Dixon J.E., Robertson A.H.F (Eds.). The geological evolution of the eastern Mediterranean. Special Publications-Geological Society of London, vol. 17, p. 1-74.
- Robertson A.H.F. and Karamata S., 1994: The role of subduction-accretion processes in the tectonic evolution of the Mesozoic Tethys in Serbia.- Tectonophysics, vol. 234, p. 73-94.
- Robertson A., Karamata S. and Šarić K., 2009a: Overview of ophiolites and related units in the Late Palaeozoic-Early Cenozoic magmatic and tectonic development of Tethys in the northern part of the

- Balkan region.- Lithos, vol. 108, issues 1-4, pp. 1-36. Ophiolites and related geology of the Balkan region, the Mesozoic ophiolite belts of the northern part of the Balkan Peninsula.
- Robertson A.H.F., Dixon J.E., Brown S., Collins A., Morris A., Pickett E., Sharp I. and Ustaömer T., 1996: Alternative tectonic models for the Late Palaeozoic–Early Tertiary development of Tethys in the Eastern Mediterranean region. In: Morris A., Tarling D.H. (Eds.). Palaeomagnetism and tectonics of the Mediterranean region.- Special Publications-Geological Society of London, vol. 105, p. 239–263.
- Schefer S., Cvetković V., Fügenschuh B., Kounov A., Ovtcharova M., Schaltegger U. and Schmid S., 2011: Cenozoic granitoids in the Dinarides of southern Serbia: age of intrusion, isotope geochemistry, exhumation history and significance for the geodynamic evolution of the Balkan Peninsula.- International Journal of Earth Sciences (Geol Rundschau), vol. 100, p. 1181-1206.
- Simić V., 1932: Prilog geologiji zapadne Srbije.- Vesnik Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije I/2, Beograd.
- Simić V., 1935: Prilog tektonici zapadne Srbije. Podrinjske planine.- Vesnik Geološkog instituta kraljevine Jugoslavije, knj. 4/1, str. 211-218, Bgd.
- Simić V., 1965: Geologija, strukture i metalogeneze olovo-cinkovog ležišta planine Rudnika.- Doktorska disertacija, RGF, Beograd.
- Simić V., 2004: Prognozna ocena resursa kaolinitičkih glina u sedimentnim basenima Srbije.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, 188 str., Beograd.
- Srbljanović Z., 1991: Novi rezultati istraživanja urana u području Cigankulje na Bukulji.- Radovi Geoinstituta, knj. 25, str. 211-216, Beograd.
- Stampfli G., Marcoux J., Baud A., 1991. Tethyan margins in space and time. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 87, no. 1-4, p. 373–409.
- Stefanović M. i Pavlović Z., 1960: Prilog poznavanju petroloških karakteristika kopaoničkog granitoidnog masiva.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knj. 18, serija A - Geologija, str. 273-303.
- Steiger R.H., Knežević V. and Karamata S., 1989: Origin of some granitic rocks from the Southern margin of the Pannonian basin in Western Serbia, Yugoslavia.- 5th meeting of the European union of geosciences, Strasburg, TERRA abstracts, vol. 1, no. 1, p. 52-53, Strasbourg/Oxford.
- Stojković M., 1997: Operacionalizacija vrednovanja AKG NSR metodom.- 1. Jugoslovenski simpozijum o ukrasnom kamenu, 16-18.01.1997, str. 312-324, banja Vrujci.
- Stračkov M., Ivanovski T., Pendžerkovski J., Rakičević T. i Hristovski S., 1966: Tektonika na Vardarska zona vo predelite na SR Makedonija i neкои општи праšanja vo vrska so nejzinata gradba.- Referati 6. savetovanja Saveza geoloških društava SFRJ, deo 1. - Geologija, paleontologija, tektonika, inženjerska geologija, str. 59-84, Ohrid.
- Suess E., 1885, 1888, 1909: Das Antlitz der Erde.- Temsky, Band 1,2,3, Wien.
- Šarić K., Cvetković V., Romer R.L., Christofides G. and 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, vol. 108, p. 131-150.
- Terzić M., 1969a: Ignimbriti Rudnika – prethodno saopštenje.- Zapisnici SGD za 1964-67. godinu, str. 597.
- Terzić M., 1969b: Prilog petrologiji Rudnika – aplitoidni monconit granit.- Zapisnici SGD za 1964-67. godinu, str. 607-609.
- Terzić M. i Milojković R., 1967: Bazaltoidne stene Rudnika.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 33, str. 309-317.
- Terzić M. i Milojković R., 1969: Petrohemijske karakteristike vulkanita Crnog Vrh-a-Ješevca.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 34, str. 475-485.
- Terzić M. i Ristić R., 1963: Vulkanske stene severozapadnog dela planine Rudnik.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 30, str. 109-123.
- Terzić M. i Terzić S., 1972: Ignimbriti šire oblasti planine Rudnika.- 7. kongres geologa SFRJ, Zagreb 28.09-04.10.1970, Predavanja, 2. knjiga – mineralogija i petrografija, str. 359-367, Zagreb.
- Terzić M. i Vukov M., 1984: Prilog petrologiji Šumadije - daciti Slavkovic.- Zapisnici SGD za 1983. godinu, str. 17-23, Beograd.
- Terzić M., Vukov M. i Jovanović M., 1988: Riodaciti Rudnika i osvrt na terminologiju vulkanita.- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 51, str. 421-432.

- Tojagić D., 1984: Elaborat o proračunu rezervi i ispitivanju kvaliteta tehničko-građevinskog kamena – andezita u ležištu Velika Bisina kod Raške.- Geoinstitut – OUR za istraživanje mineralnih sirovina, inženjersku i hidrogeologiju, Beograd.
- Tojagić D., Lazarević D. i Bulaja Lj., 1984: Elaborat o rezervama i kvalitetu dacita ležišta Ljuta Stena kod Slavkovice.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Tomić J., 1926: Kotlenik - petrografsko-geološka studija.- Posebno izdanje Srpske kraljevske akademije, knj. 60, prirodnjački i matematički spisi, knj. 13, 127 str., Beograd-Zemun.
- Tomić J., 1928: Vulkanske projekcije na Kotleniku.- Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 9, sveska 2, str. 110-120.
- Tomić R., 1962: Kontaktno-metasomatska ležišta u području boranjskog granitoidnog masiva.- Referati 5. savetovanja Saveza geoloških društava FNRJ, 2. deo - mineralogija, petrologija, rudna ležišta, str. 167-173, Beograd.
- Tomić V., 1989: Poroznost i vodopropusnost čvrstih stenskih masa.- Zbornik radova RGF, sv. 27-28, str. 7-14.
- Topalović A., 1966: Prilog tektonskoj građi Kopaonika sa osvrtom na područje Starog Trga.- Referati 6. savetovanja Saveza geoloških društava SFRJ, deo 1. - Geologija, paleontologija, tektonika, inženjerska geologija, str. 524-536, Ohrid.
- Topalović A., 1990: Izveštaj o prospekcijsko-geološkom i detaljnom istraživanju granodiorita Brajkovac u 1989. godini.- EPS Beograd, Direkcija basena Kolubara, 41 str., Vreoci.
- Tošović R., 1997: Morfogenetski tipovi orudnjenja i paragenetske asocijacije u polimetaličnom ležištu Rudnik.- Magistarska teza, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 109 str.
- Tošović R., 2000: Genetsko i geološko-ekonomsko modeliranje polimetaličnog ležišta Rudnik.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 259 str.
- Trivić B., 1992: Tektonski sklop granitoida Bukulje.- Magistarska teza, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 88 str.
- Trivić B., 1993: Neotektonska aktivnost na području Bukulje.- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 57, sv. 2, str. 81-99, Beograd.
- Trivić B., 1998: Tektonski sklop metamorfnog oboda granitoida Bukulje.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 170 str.
- Urošević M., 1972: Sastav i sklop ibarskog ultramafitskog kompleksa.- 7. kongres geologa SFRJ 28.09-04.10.1970. Predavanja, 2. knjiga – mineralogija i petrografija, str. 383-390, Zagreb.
- Urošević S., 1899: Cer - petrografska studija.- Glas Srpske kraljevske akademije, knj. 57, str. 280-328, Beograd.
- Urošević S., 1900: Rezultati ekskurzije po Ceru.- Zapisnici SGD, Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. 5/2, Beograd.
- Urošević S., 1902: Boranja - studija kontaktno-metamorfnih pojava granita.- Glas Srpske kraljevske akademije, knj. 65, prvi razred 25, Beograd.
- Urošević M. i dr., 1973a: Tumač za OGK 1:100 000 list Vrnjci, K 34-18.- Zavod za geološka i geofizička ispitivanja, 69 str., Beograd.
- Urošević M. i dr., 1973b: Tumač za OGK 1:100 000 list Novi Pazar, K34-3.- Zavod za geološka i geofizička ispitivanja, 77 str., Beograd.
- Vakanjac B., 1976: Osnovni problemi istraživanja i geološko-ekonomske ocene ležišta ukrasnog kamena.- Zbornik radova RGF, sv. 19 za 1976. godinu, str. 15-35, Beograd.
- Vakanjac B., 1992: Geologija ležišta nemetalčnih mineralnih sirovina.- Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Katedra ekonomske geologije, posebno izdanje br. 4, 323 str., Beograd.
- Vasić I., 1992: Formacioni pristup u problematici istraživanja arhitektonsko-građevinskog kamena u zapadnoj Srbiji.- Radovi Geoinstituta, knj. 27, str. 63-72, Beograd.
- Vasković N., 1987: Petrogenetske karakteristike monocgranita Kosmaja.- Radovi Geoinstituta, knj. 20, str. 91-113, Beograd.
- Venkat Reddy D., 2002: Evaluation of natural defects in commercial decorative rock deposits in Karnataka, India.- Gondwana research, vol. 5, no. 2, p. 557-560.
- Višić S., 1961: Pojave i ležišta urana u oblasti planine Bukulje.- Radovi Sektora za istraživanje nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (Geoinstituta), godina 1, broj 1, januar 1961, str. 45-65, Beograd.
- Vučković B., 2003: Elaborat o rezervama granodiorita kao arhitektonsko-građevinskog i tehničko-građevinskog kamena. Ležište Pločnik, Brajkovac, SO Lazarevac (stanje na 31.03.2003.). EPS Beograd, JP RB Kolubara, DP Kolubara projekt, 183 str., Lazarevac.



- Vučković B., 2004: Projekat detaljnih geoloških istraživanja ležišta granodiorita Milosavljevića majdan, Brajkovac za 2004. godinu, EPS Beograd, JP RB Kolubara, DP Kolubara projekt, 45 str., Lazarevac.
- Vučković B., Radovanović B., Bogdanović V., Lazarević P., i Cvijić S., 2007: Potencijalnost granodioritskog masiva Brajkovac – ležišta i pojave arhitektonskog i tehničkog građevinskog kamena.- Savetovanje OMC, str. 331-339, Vrujci.
- Vujanović V. i Teofilović M., 1974: Nova shvatanja o osnovnim petrografskim i petrološkim karakteristikama Boračkog masiva.- Zapisnici SGD za 1973. godinu, str. 49-53.
- Vujanović V. i Teofilović M., 1975: Poreklo kvarc-latita i srodnih stena boračkog masiva.- Glasnik Prirodnačkog muzeja, knj. 30, serija A, str. 33-51, Beograd.
- Vukašinović S., 1962a: Izveštaj o aeromagnetskim ispitivanjima na području Boranje.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Vukašinović S., 1962b: Izveštaj o aeromagnetnim ispitivanjima na području Kopaonik-Željina.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Vukašinović S., 1968: O prostranstvu i strukturnom položaju bazita na području Unutrašnjih Dinarida.- Radovi Geoinstituta, knj. 4, Beograd.
- Vukašinović S., 1970: Neki novi podaci o geološko-strukturnom sklopu Šumadije (na bazi rezultata aeromagnetnih ispitivanja).- 7. kongres geologa SFRJ, Predavanja, 1. knjiga, str. 547-560, Zagreb.
- Vukašinović S., 1972: Interpretacija aeromagnetske anomalije Kosmaj-Barajevo.- Radovi Geoinstituta, sv. 8.
- Vukašinović S., 1973: Prilog geotektonskoj rejonizaciji međugraničnog prostora Dinarida, Panonida i Srpsko-makedonske mase.- Zapisnici SGD za 1972. godinu, str. 9-18, Beograd.
- Vukašinović S., 1974: Izveštaj o istraživanju uzročnika aeromagnetske anomalije Kosmaj-Barajevo i o proučavanju mogućnosti otkrivanja skrivenih rudnih ležišta u domenu anomalija.- Fond dokumentacije Geoinstituta.
- Vukašinović S., 1975: Izveštaj o aeromagnetskim ispitivanjima na terenu zapadne Srbije.- Fond Geoinstituta, Beograd.
- Vukašinović S., 1976: Anomalno magnetsko polje i geološka građa Unutrašnjih Dinarida (na bazi aeromagnetskih podataka).- Posebna izdanja Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, knj. 5, 92 str., Beograd.
- Vukašinović S., 1978a: Geostrukturni sklop i rudno-perspektivni tereni zapadne Srbije kroz podatke aeromagnetskih ispitivanja.- Zapisnici SGD za 1977. godinu, str. 91-101.
- Vukašinović S., 1978b: Geološka interpretacija anomalnog magnetskog polja šireg područja Kopaonik-Jastrebac.- Radovi Geoinstituta, knj. 12, str. 65-72, Beograd.
- Vukašinović S., 1983: Prilog istraživanju geotermalne energije i rudnih ležišta na širem području Gornjeg Milanovca, na bazi aeromagnetskih podataka.- Radovi Geoinstituta, knj. 16, str. 119-129.
- Vukašinović S., 1991: Aeromagnetske indikacije prekrivenih magmatita i jedinstvene razlomno-magmatogene strukture na pravcu Prosara-Motajica-Cer-Bukulja.- Zapisnici SGD za 1987., 1988. i 1989. godinu, str. 489-491, Beograd.
- Vukašinović S., 2005: Anomalno magnetsko polje i geološka građa Republike Srbije.- Geoinstitut, 126 str., Beograd.
- Vukašinović S. i Antonović A., 1990: Dubinski razlomi i osnovne magmatogeno-minerogene strukture Jugoslavije.- Radovi Geoinstituta, knj. 24, str. 5-9, Beograd.
- Vukašinović S., Banović Ž. i Nikolić D., 1995: Osnovne geološke implikacije aeromagnetskih podataka Kopaonika i šireg prostora.- Zbornik radova savetovanja "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 229-234. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Vukov M., 1988: Hemizam petrogenih minerala granitoida Željina.- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 52, str. 447-478.
- Vukov M., 1989: Petrologija i geochemija granitoida Željina.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 300 str.
- Vukov M., 1990: P-T uslovi kristalizacije željinskog granitoida.- 12 Kongres geologa Jugoslavije, knj. 2 - Mineralogija i petrologija, str. 188-196, Ohrid.
- Vukov M., 1995a: Genetska i geotektonska pripadnost granitoida Željina.- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 59/2, str. 299-326.
- Vukov M., 1995b: Petrološke karakteristike granitoidnih stena Željina i Polumira.- Zbornik radova savetovanja "Geologija i metalogenija Kopaonika", Kopaonik, str. 207-216. Izdaje: Republički društveni fond za geološka istraživanja Srbije, Beograd.
- Vukov M. i Terzić M., 1992: Gabro-diorit Željina metamorfog porekla i postanka.- Geološki anali Balkanskoga poluostrva, knj. 56, sv. 1, str. 285-297.

- Vuković M., 1962: Kontaktni metamorfizam tercijarnog magmatizma u Unutrašnjoj Dinarskoj zoni na teritoriji NR Srbije.- Referati 5. Savetovanja Saveza geoloških društava FNRJ, 2. deo - mineralogija, petrologija, rudna ležišta, str. 159-166, Beograd.
- Vuković M., 1964/65: Granitoidna stena planine Rudnika i njen petrohemijski položaj u tercijarnom magmatizmu Šumadije.- Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NRS, knj. 22/23, str. 53-66.
- Winkler E.M., 1994: Stone in Architecture: Properties, Durability.- 3<sup>rd</sup> edition, Springer, 313 p.
- Zelić M., 2005: Tectonic history of the Vardar zone: Constraints from the Kopaonik area (Serbia).- Ph.D. Thesis, Università di Pisa, Il Dipartimento di scienze della terra, 176 p., Pisa.
- Zelić M., 2006: Tektonska evolucija kopaoničke oblasti i Vardarske zone.- Zapisnici SGD za 2004. i 2005. godinu, str. 73-78.
- Zelić M., Marroni M., Pandolfi L. and Trivić B., 2010a: Tectonic setting of the Vardar suture zone (Dinaric-hellenic belt): the example of the Kopaonik area (southern Serbia).- *Ofioliti*, vol. 35 (1), p. 49-69.
- Zelić M., Levi N., Malasoma A., Marroni M., Pandolfi L. and Trivić B., 2010b: Alpine tectono-metamorphic history of the continental units from Vardar Zone: the example of Kopaonik Metamorphic Complex (Dinaric-Hellenic belt, Serbia).- *Geological journal*, vol. 45, issue 1, p. 59-77.
- Zelić M., Agostini S., Marroni M., Pandolfi L. and Tonarini S., 2010c: Geological and geochemical features of the Kopaonik intrusive complex (Vardar zone, Serbia).- *Ofioliti*, vol. 35 (1), p. 33-47.
- Živadinović O., 1996: Petrološke i tehničke karakteristike vulkanita Vidačevice na Rudniku.- Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 71 str.
- Živanović R., 1997: Osnove ekonomije proizvodnje ploča od kamena i mermera.- 1. Jugoslovenski simpozijum o ukrasnom kamenu, 16-18.01.1997, str. 306-311, banja Vrujci.
- Žujović J., 1900: Geologija Srbije, 2. deo – Eruptivne stene.- Srpska kraljevska akademija, Posebna dela, 239 str., Beograd.

## APENDIKS

1-1 Autori iz SAD su formirali drugačije šeme faza istraživanja dimenzioniranog odnosno ukrasnog kamena. Prema Ešmolu i Motloungu (Ashmole and Motloun, 2008a), faze istraživanja dimenzioniranog kamena su:

1. Kabinetsko proučavanje
2. Terenska ocena (definisanje opšte jedrine i izgleda kamena, identifikacije boje, ispitivanje formacije na izdancima kako bi se utvrdila mogućnost proizvodnje blokova komercijalnih dimenzija, prisustva pukotina i žica u osnovnoj steni i stepen površinske raspadnutosti)
3. detaljno kartiranje
4. istražno bušenje
5. geofizičke metode
6. preliminarno vađenje blokova (1 ili 2 bloka) radi ispitivanja prihvatljivosti na tržištu, isecanjem bloka u ploče i poliranjem
7. eksploatacija probne etaže.

Stadijumi istraživanja ukrasnog kamena (Carvalho et al., 2008) su:

1. prikupljanje svih dostupnih informacija i planiranje radova
2. opšta geološka istraživanja i izbor užih oblasti koje mogu biti interesantne sa aspekta AGK
3. karakterizacija i ocena izabranih oblasti
4. detaljna karakterizacija ležišta i
5. projekat eksploatacije.

2-1 U Pravilniku o granicama radioaktivne kontaminacije lica, radne i životne sredine i načinu sprovođenja dekontaminacije iz 2011. godine (Sl. glasnik SR br. 38/2011), ne spominju se ograničenja radioaktivnosti građevinskih materijala. U Pravilniku o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije iz 1999. godine (Sl. glasnik SRJ br. 9/1999), vrednost dozvoljene radioaktivnosti građevinskih materijala propisana je preko gama indeksa I, koji mora biti manji od 1. Izračunava se po formuli:

$$I = \frac{CRa}{200} + \frac{CTh}{300} + \frac{CK}{3000} + \frac{Cv}{4000}$$

za enterijer, odnosno

$$I = \frac{CRa}{400} + \frac{CTh}{300} + \frac{CK}{5000} + \frac{Cv}{4000}$$

za eksterijer,

gde su:

CRa - koncentracija radijuma ( $^{226}\text{Ra}$ ) u Bq/kg

CTh - koncentracija torijuma ( $^{232}\text{Th}$ ) u Bq/kg

CK - koncentracija kalijuma ( $^{40}\text{K}$ ) u Bq/kg

Cv - koncentracija svih radionuklida veštačkog porekla u Bq/kg.

Granice radioaktivne kontaminacije građevinskog materijala koji se upotrebljava u enterijeru iznose:

za radijum ( $^{226}\text{Ra}$ ) - 2102 Bq/kg;

za torijum ( $^{232}\text{Th}$ ) - 3102 Bq/kg;

za kalijum ( $^{40}\text{K}$ ) - 3103 Bq/kg;

za zbir aktivnosti svih veštačkih radionuklida - 4103 Bq/kg.

Granice radioaktivne kontaminacije građevinskog materijala koji se upotrebljava u eksterijeru iznose:

za radijum ( $^{226}\text{Ra}$ ) - 4102 Bq/kg;

za torijum ( $^{232}\text{Th}$ ) - 3102 Bq/kg;

za kalijum ( $^{40}\text{K}$ ) - 5103 Bq/kg;

za zbir aktivnosti svih veštačkih radionuklida - 4103 Bq/kg.

Jedinica Bq/kg (Bekerel po kilogramu) predstavlja specifičnu aktivnost ili koncentraciju koja se definiše kao odnos aktivnosti radioaktivne materije i njene mase. Bekerel predstavlja aktivnost izvora zračenja - broj dezintegracija određenog radionuklida u jedinici vremena;  $Bq=1/s$ .

3-1 Teran Jadrarskog bloka potiče iz "nedefinisanog dela južnog ili zapadnog oboda Tetisa" (Karamata, 2006a), i verovatno predstavlja nekadašnje obodne delove Adrija ploče, odnosno Gondvane. Ovaj teran je ugaran u domen Vardarske zone krajem krede ili u paleogenu, i u njenom severnom delu je deli na dve grane: Glavna podzona i Kopaonički blok se nastavljaju ka severu, a zapadni pojas se nastavlja ka SZ (Karamata et al., 1994a, 1999).

3-2 Na osnovu specifičnosti tektonskih karakteristika i magmatske aktivnosti, autori Tumača Osnovne geološke karte, listova koji pokrivaju oblast Šumadije, izdvojili su "Šumadijsku magmatsku oblast" i u okviru nje četiri vulkansko-plutonska područja: a) kotlenička vulkanska oblast; b) vulkanski kompleks Borača; c) rudničko-Ijiška vulkansko-plutonska zona; i d) magmatiti bukuljsko-brajkovačkog horstantiklinorijuma (Brković i dr., 1980; Filipović i dr., 1978, 1980; Marković i dr., 1968; Divljan i Cvetić, 1991a). Pavlović (1976) je pojas magmatita Avala-Željina-Kopaonik nazvao "tercijarnim plutonitima Šumadije". Pojedini autori su u skladu sa idejama Grubića (1974) i Jankovića i Petkovića (1974), izdvojili pojas magmatskih stena koji dijagonalno preseca Vardarsku zonu i Srpsko-makedonsku masu, pružanja po pravcu SZ-JI (315-135°): kratovsko-zletovska oblast u Makedoniji-Surdulica(Trepča)-Radan(Golija)-Kopaonik-Željin-Rudnik-Bukulja(Kosmaj)-Boranja-Sisak koji su nazvali "zona autonomne alpske revivacije" (Pantić i Aleksić, 1972); "zona tercijarne tektonomagmatske aktivizacije" (Milčić, 1991); i "provincija neogene magmatske aktivizacije" (Milivojević and Martinović, 2003).

4-11 Mnogi autori (Ilić, 1939; Pavlović, 1961; Urošević i dr., 1973a; Cvetković et al., 2002a), s obzirom na strukturnu, mineralošku i hemijsku sličnost, smatraju da su granitoidi Kopaonika, Željina i Drenja nastali iz iste magme, odnosno da predstavljaju različito otkrivene delove istog plutona. Karamata i dr. (1992b) su odredili oligocensku starost za sve granitoide kopaoničke oblasti (35-29 Ma). Prema podacima Delaloja i dr., izotopska starost drenjskog granitoida je miocenska: 22,08 do 18±2 Ma, određeno na biotitu iz granodiorita (Delaloy et al., 1989; Karamata i dr., 1992b). Ova starost je bliža vrednostima dobijenim za željinski granitoid (Dimitrijević, 2000) a i po sklopu stene, drenjski granitoid više liči na željinski nego na kopaonički. Šefer i dr. (Schefer et al., 2011) su dobili oligocensku apsolutnu starost drenjskog granitoida od 31,7-31,2 Ma.

## Biografija autora

### Lični podaci:

Prezime: Kurešević

Ime: Lidja

Datum rođenja: 25.07.1976.

Nacionalnost: srpska

Bračni status: udata

Obrazovanje: VII-2

09/1991-06/1995 XV beogradska gimnazija, prirodno-matematički smer  
Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu

09/1995/-03/2001 Diplomirani inženjer geologije, Smer za istraživanje ležišta mineralnih sirovina

11/2001/-11/2005 Magistar tehničkih nauka iz oblasti geologije, Ležišta nemetalčnih mineralnih sirovina

Članstvo u profesionalnim udruženjima: Srpsko geološko društvo

### Radno iskustvo:

1/2006-danas Institut IMS a.d. – Beograd, Centar za materijale, Istraživač saradnik

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а ЛИДЈА КУРЕШЕВИЋ

број индекса /

### Изјављујем

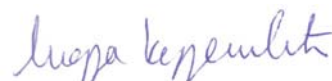
да је докторска дисертација под насловом

ПОТЕНЦИЈАЛНОСТ ТЕРЦИЈАРНИХ МАГМАТСКИХ КОМПЛЕКСА ВАРДАРСКЕ  
ЗОНЕ СРБИЈЕ СА АСПЕКТА АРХИТЕКТОНСКОГ ГРАЂЕВИНСКОГ КАМЕНА

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

**Потпис докторанда**

У Београду, \_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_

Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора ЛИДЈА КУРЕШЕВИЋ

Број индекса \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_

Наслов рада ПОТЕНЦИЈАЛНОСТ ТЕРЦИЈАРНИХ МАГМАТСКИХ  
КОМПЛЕКСА ВАРДАРСКЕ ЗОНЕ СРБИЈЕ СА АСПЕКТА АРХИТЕКТОНСКОГ  
ГРАЂЕВИНСКОГ КАМЕНА

Ментор ПРОФ. ДР ВЛАДИМИР СИМИЋ


Потписани/а ЛИДЈА КУРЕШЕВИЋ

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања 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 докторанда**



У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

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

ПОТЕНЦИЈАЛНОСТ ТЕРЦИЈАРНИХ МАГМАТСКИХ КОМПЛЕКСА ВАРДАРСКЕ  
ЗОНЕ СРБИЈЕ СА АСПЕКТА АРХИТЕКТОНСКОГ ГРАЂЕВИНСКОГ КАМЕНА

која је моје ауторско дело.

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

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

1. Ауторство

**2. Ауторство - некомерцијално**

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

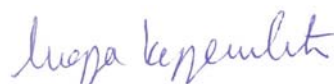
5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

**Потпис докторанда**

У Београду, \_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_



1. Ауторство - Дозвољавање 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. Дозвољавање 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 прераде. Дозвољавање 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. Дозвољавање 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 прераде. Дозвољавање 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. Дозвољавање 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.