



Petromehanika Jablaničkog gabra

*Izvorni znanstveni rad/ Research paper
Primljen/Received: 14. 6. 2018.;
Prihvaćen/Accepted: 6. 9. 2018.*

Kenan Mandžić

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, vanr. prof., dr sc.

Elvir Babajić

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, doc., dr sc.

Adnan Ibrahimović

Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli, vanr. prof., dr sc.

Enver Mandžić

Akademija nauka i umjetnosti BiH, prof. emeritus, dr sc.

Sažetak Kao predmet istraživanja u ovom radu, izdvojen je stijenski materijal iz majdana lokalnog naziva „Suljo Čilić“ i jednog dijela majdana „Padešnica“ lokalnog naziva „Padešnica Crna“, koji predstavljaju dio masiva Jablaničkog gabra. Stijenski materijal iz ovih majdana izabran je zbog prisutnih razlika u jednoosnoj čvrstoći na pritisak, a kako bi se dao odgovor zašto se u istom stijenskom materijalu pojavljuju značajne razlike u vrijednostima ovog parametra. U radu su prikazani rezultati ispitivanja jednoosne čvrstoće na pritisak i mineraloško-petrografske građe krupnozrnog i sitnozrnog gabra sa ovog ležišta, iz majdana lokalnih naziva „Suljo Čilić“ i „Padešnica Crna“. Nakon izvođenja opita jednoosne čvrstoće na pritisak i analize rezultata, izvršena je detaljna mineraloško-petrografska analiza površina loma karakterističnih uzoraka. Zahvaljujući većem broju ispitivanja, utvrđena je korelacija između mineraloško-petrografskih karakteristika (strukturne građe) i vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak. S obzirom da je riječ o dva varijeteta gabra koji imaju i značajnu razliku u krupnoći zrna, kao poseban uticajni faktor, razmatran je i uticaj veličine zrna na dobivene vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak.

Ključne riječi: gabbro, jednoosna čvrstoća na pritisak, strukturna građa.

Petromechanic of Jablanica gabbro

Abstract As a subject of the research in this paper, the rock material from the quarry local name "Suljo Čilić" and one part of the quarry "Padešnica" of the local name "Padešnica crna" were chosen, which are the part of Jablanica gabbros massif. The rock material from these quarries was chosen because of the differences in the uniaxial compressive strength, and in order to give a reason why significant differences in the values of this parameter occur in the same rock material. The paper presents the results of the study of the uniaxial compression strength and mineralogical-petrographic composition of the large and fine grain gabbro from this deposit, from the quarries with local names "Suljo Čilić" and "Padešnica crna". After the experiment of uniaxial compressive strength and analysis of the results, a detailed mineralogical-petrographic analysis of the fracture surface of the characteristic samples was performed. Thanks to the higher number of tests, the correlation between the mineralogical petrographic characteristics (structural composition) and the value of uniaxial compressive strength was determined. Considering the two varieties of gabbro rock that have a significant difference in grain size, as a special influencing factor, the influence of the grain size on the obtained values of uniaxial compression strength was also considered.

Key words: gabbro, uniaxial compression strength, structural constitution.



1. Uvod

Intruziv gabra je lokalizovan oko 4 - 5 km uzvodno od naselja Jablanica u dolini rijeke Neretve. Izdanci su mu otkriveni na površini od 17 km² na obje obale Neretve. Na sjeveru je masiv ograničen Jablaničkim jezerom, dolinom Doljanke na zapadu, dok na istoku i jugu se graniči sa donjo-trijaskim naslagama, približno, pravcem Čeharski Vrh – Čehari.

Na sjeverozapadnim i zapadnim, veoma strmim padinama Čeharskog Vrh, otvoreni su majdani lokalnih naziva: „Suljo Čilić“, „Car“, „Padešnica“, „Padešnica Crna“ i „Velja Stijena“. Majdan „Ploče“ je privremeno zatvoren i koristi se kao interno odlagalište. Na desnoj obali Neretve zatvorena su dva majdana: „Findik I“ i „Findik II“. Nesumnjivo, u pitanju je isti intruziv, ili, u ovom slučaju, ležište korisne sirovine, posmatrano kao jedna geološka cjelina (Đulović, 2005).

U cilju definisanja petromehaničkih karakteristika gabra izvršen je odabir dva majdana koja se razlikuju strukturno (morfologijom i veličinom kristala), te je na osnovu rezultata ispitivanja definisan uticaj petrografskih odlika na mehaničke parametre, konkretno, jednoosnu čvrstoću na pritisak. Uzorkovanje materijala izvedeno je odabirom različitih blokova sa različitih mjesta za svaki majdan, kako bi se formirano reprezentativan uzorak za provođenje ispitivanja. Iz svih blokova izrezana su pojedinačna probna tijela koja su bila predmet ispitivanja prikazanih u radu.

S obzirom da cilj istraživanja nije bio da se odredi prostorna raspodjela kvaliteta materijala u ležištu, nego uticaj strukturne građe (mikrostrukture) svakog od uzoraka na čvrstoću materijala, nije detaljno praćena prostorna distribucija po nekom od parametara, a unutar pojedinačnog majdana ili kompletnog ležišta.

2. Geološka građa

2.1. Geološka građa oboda

Na obodu jablaničkog gabra, kao i u širem području Jablanice, uglavnom su prisutni trijaski sedimenti uz sasvim neznatno učešće permotrijaskih naslaga. Dolinski dijelovi Neretve, Doljanke i Glogošnice ispunjeni su kvartarnim fluviolo – glacijalnim tvorevinama.

Permotrijaske (P,T) tvorevine su zastupljene na sjeverozapadnom obodu gabro – intruziva, na sjevernim padinama Tovarnice. Predstavljene su pješčarima, konglomeratima, glincima i alevrolitima u kojima su uloženi belerofonski krečnjaci (Katzner, 1903.), a u kontaktnim dijelovima sa krečnjacima i gabro – intruzivom prisutne su i krečnjačke, dobro cementovane breče. U ovim naslagama se nalaze i mali izdanci gipsa i anhidrita (Pamić, 1955.).

Trijaske (T) tvorevine su raščlanjenje na donji trijas - sajs (T₁), izgrađen od tankoslojevitih pješčara i pjeskovitih krečnjaka sa ulošcima glinovitih laporaca. Konkordantno na sajskim slojevima slijede sedimenti u kojima preovladava karbonatna komponenta, pa su to laporoviti krečnjaci i krečnjaci sa interkalacijama škriljaca, dok su u gornjim dijelovima finokristalasti krečnjaci sa kvarcnim i kalcitskim žicama koje potvrđuju pripadnost ovih sedimenata kampskim slojevima donjeg trijasa (T₁²), stvaranim u nešto dubljoj morskoj sredini – neritskoj zoni.

Srednje trijaske naslage (T₂) leže konkordantno na donjotrijaskim naslagama, a predstavljene su krečnjacima, dolomitičnim krečnjacima i dolomitima sa prisustvom, u širem području Jablanice, magmatskih stijena, odnosno vulkanogeno-sedimentne serije. Anizičkom katu (T₂¹) pripadaju krečnjaci i dolomiti, koji leže konkordantno na donjotrijaskim klastitima. Debljina ovih naslaga kreće se u granicama 50 – 250 m. Ladinski kat (T₂²) predstavljen je različitim varijetetima krečnjaka, dolomita, te efuzivnih i intruzivnih magmatskih stijena sa tufovima, tufitičnim pješčarima, vitroklastičnim tufitima, rožnacima i hematitskim škriljcima.



Srednji – gornji trijas ($T_{2,3}$) je predstavljen uglavnom krečnjacima i dolomitima, koji su uslojeni ili masivni i najčešće, veoma karstifikovani.

Gornji trijas (T_3) je predstavljen uglavnom uslojenim krečnjacima sa megalodonima, koji konkordantno leže preko stratigrafski neraščlanjene serije slojeva ($T_{2,3}$). Često su u krečnjacima uloženi i dolomiti, međutim oni ne utiču na dominantnost slojevitih bituminoznih krečnjaka sa brojnim megalodonima, koji jasno opredjeljuju gornjotrijaski nivo. U podini ovih slojeva su uglavnom dolomiti iz prelaznog niza ($T_{2,3}$), a u krovini postepeno prelaze u donjojurske naslage.

Kvartanim naslagama pripadaju naslage fluvioglacialnog karaktera u dolinama Neretve, Doljanke i Glogošnice. Naslage fluvioglacialnih terasa sastavljene su uglavnom iz krečnjačkih valutica, poluzaobljenih do veoma dobrozaobljenih krečnjačkih komada različite stratigrafske pripadnosti. Debljine pojedinih terasa su do 60 m (Sofilj i Živanović, 1971.).

2.2. Gabro masiv

Gabro (T_2^2) je u kontaktu sa prikazanim permotrijaskim i trijaskim stijenama. Intruziv gabra otkriven je u koritu Neretve i Doljanke sjeverno od naselja Jablanice. U koritu Neretve otvoreni su majdani i to na lijevoj obali: „Suljo Čilić“, „Car“, „Padešnica“, „Padešnica Crna“ i „Velja Stijena“, a na desnoj „Findik I“ i „Findik II“ (trenutno zatvoreni). Svi oni pripadaju istom ležištu gabra.

Gabro intruziv Jablanice je presječen koritom rijeke Neretve do Jablaničkog jezera na sjever, a rijeka Doljanka, polukružno usječenim koritom, čini mu sjeverozapadnu i zapadnu granicu sa trijaskim krečnjacima i dolomitima. Tako gabra – masiv ima približno polukružni oblik sa gotovo ravnom jugoistočnom i istočnom granicom i pokriva površinu od 17 km².

U graničnim dijelovima gabra masiva, prema okolnim stijenama, pretežno su zastupljene grusificirane mase, dok su središnjem dijelu zastupljene mase sa folijacijom i masivnom teksturom. U grusificiranim dijelovima pojavljuju se sferični ili nepravilni, usamljeni, blokovi svježeg gabra, koji se lako vade i oblikuju u odgovarajuće dimenzije, a zatim dopremaju na finalnu obradu. Gabri sa izraženom folijacijom, ako nisu u domenu rasjednih zona, koje prate paralelne, tanke i učestale pukotine, predstavljaju zdrave mase gabra sa malom ispucalošću, iz koji se mogu dobiti veći procenti bloka na majdanu „Suljo Čilić“. U izdancima na površini terena nalaze se svježije stijene tamnosive boje, a mnogo češće grusificirani gabra sa sferičnim blokovima svježeg gabra.

Mineralni sastav gabra stijena Jablanice utvrđen je u brojnim mineraloško-petrografskim analizama. Bitni minerali su: plagioklas, olivin, rompski i monoklinski pirokseni, amfibol i biotit, uz prisutstvo sekundarnih i akcesornih minerala.

Struktura gabra je panhipidiomorfnozrnasta sa veličinom zrna od 1 – 4 mm. Tekstura gabra je promjenljiva. Makroskopski posmatrano, tekstura gabra je uglavnom masivna u centimetarsko-decimetarskom području posmatranja. Međutim, vrlo često sreću se paralelne teksture u kojima se smjenjuju „trake“ gabra različitog modalnog sastava, pri čemu se izmjenjuju pseudoslojevi leukokrtanog (preovladavaju Si-Al minerali) i melanokratnog (preovladavaju Fe-Mg minerali) gabra u svim veličinskim područjima posmatranja. U nekim slučajevima se zapaža i gradacija sa povećanjem femskih sastojaka prema dnu. Paralelna tekstura se najčešće ogleda u folijaciji, u usmjerenom i planparalelnom rasporedu mineralnih zrna.

U jablaničkom gabru, prema mineraloškom sastavu, izdvojeni su slijedeći varijeteti (Pamić, 1961.), Tabela 1:

Tabela 1

Varijetet gabra	Mineralni sastav	% zastupljenosti
Olivinski	labrador, klinopiroksen i olivin	6
Hiperstenski (noritski)	labrador, hipersten, klinopiroksen, amfibol, rijetko biotit	18



Normalni	dominira klinopiroksen, prisutan biotit i hornblenda	6
Bitotit-amfibolski	andezin do labrador, amfibol, biotit i	53
Amfibolski	klinopiroksen	17

Na osnovu opažanja izdanaka na terenu i detaljnog pregleda u otvorenim majdanima, u gabro intruzivu se mogu izdvojiti: gabri orbikularne teksture, gabri sa izraženom folijacijom i gabri masivne teksture.

U ove varijetete mogu se uklopiti i mase prema stepenu deformisanosti, odnosno svježine. Obično, mada nije pravilo, onima sa orbikularnom teksturom odgovaraju grusificirane partije, dok su gabri sa izraženom folijacijom više deformisani (ispucali) u odnosu na one sa masivnom teksturom.

2.2.1. Majdan „Suljo Čilić”

Majdan „Suljo Čilić“ otvoren je na lijevoj obali Neretve, na nadmorskoj visini 440 m. Na ovoj visini mu je i osnovni plato, a vrh radne etaže je na 540 m. Radni front je u obliku trokuta sa osnovom širine 90 m i visinom od oko 100 m. Lokacija kamenoloma je na jugoistoku, što povoljno utiče u zimskom periodu na radni učinak, jer je dokasno ostvjetljena dnevnom svjetlošću.

Na otvaranje majdana od presudnog je uticaja bila veća masa monolitne, manje ispucale stijene. Međutim, u prvo vrijeme proizvodnja bloka je obustavljena, jer njegov mineraloški sklop nije zadovoljavao uslove tadašnjeg tržišta. Tek je 1979. godine, u ovom kamenolomu, počela je proizvodnja u punom zamahu.

Najveći dio majdana je u svježem, monolitnom gabru, dok su ostali inženjersko – geološki varijeteti zastupljeni znatno manje. Grusificirani gabro je u južnom i sjeveroistočnom rubu kamenoloma, gabro sa povećanom ispucalošću na zapadnom kraju, a trošan u sjevernom.

Gabro majdana “Suljo Čilić” se u cjelosti odlikuje trakastom teksturom (smjene paralelnih traka salskih i femskih minerala). Posebno su izrazite svijetle trake paralelnog pružanja, koje grade plagioklasi. Debljina se kreće u rasponu 2,5 - 10 cm.

Upravo zbog svijetlih traka, gabro ovog kamenoloma nije bio prihvaćen na tržištu, jer iste su uticale na održavanje sjaja nakon poliranja, a kod pripreme bloka često je dolazilo do pucanja po pravcu pružanja folijacije. Danas se samo po tim pravcima blokovi obrađuju i oblikuju u određene dimenzije, što je rezultat novijih istraživanja.

Oblikovanje blokova pravcima pružanja folijacije znatno se smanjuju gubici, a povećava iskorištenje blokova (Đulović, 2005.).

2.2.2. Majdan „Padešnica”

Plato majdana „Padešnica“ formiran je na nadmorskoj visini 505 m i nalazi se na najvišoj hipsometrijskoj tački u odnosu na ostale majdane. Radni front majdana visok je oko 120 m sa širinom u bazi oko 100 m. U njemu se izdvajaju dva horizonta: 505 – 550 m i 550 – 650 m nadmorske visine. Ima oblik istostraničnog trokuta.

U majdanu su prisutni svi varijeteti gabra izdvojeni prema inženjersko – geološkim karakteristikama. Najveći dio mase pripada jače ispucalom gabru, koji zaprema gotovo čitav horizont 505 – 550 m, dok grusificirani gabro sa blokovima sferičnog oblika i grusificirani gabro popunjavaju horizont 550 - 650 m. Blokovi sferičnog oblika u grusificirano gabru su često mobilni, naročito u vrijeme jačih oborina, pa klize niz etaže. Veličina ovih blokova dostiže i nekoliko m³, te nerijetko predstavljaju vrijedne komercijalne blokove, pogotovu što se lako oblikuju u određene dimenzije.

U ovom majdanu folijacija u gabru nije jasno izražena. U nekim dijelovima je praktično nevidljiva. Orijentacija sastojaka u gabru nije planparalelna. Plagioklasi su



razmješteni bez ikakve orijentacije u sklopu bojenih sastojaka. U ispucalom gabru dominiraju vertikalne i subvertikalne pukotine sa zalijeganjem $110/70^\circ$ i $190/80^\circ$ koje u nekim dijelovima gabro masiva su toliko česte, da daju stijeni izgled uškriženosti (Đulović, 2005.). U ovom majdanu pojavuje se i varijetet „Padešnica crna“, koji je izdvojen na osnovu strukturne građe i zbog toga izabran za provođenje ispitivanja.

3. Metode istraživanja i ispitivanja

3.1. Ispitivanje čvrstoće na pritisak

Čvrstoća materijala se definiše kao otpornost materijala primjenjenim silama koje taj materijal deformišu i dovode ga do loma. U inženjerskoj praksi čvrstoća se računa kao djelovanje sile na jedinicu površine u trenutku loma. Za čvrstoću se može reći da je relativan pojam, jer se može definisati tek uz poznavanje uticajnih faktora na tu čvrstoću, kao što su: veličina uzorka stijene, vrsta primjenjenog napona (pritisak, zatezanje, torzija, smicanje), intenzitet i vrijeme trajanja opterećenja, temperatura okoline, veličina poroziteta, strukturno-teksturna građa stijene, mineralni sastav, stepen prirasta opterećenja i dr. Ispitivanja jednoosne čvrstoće na pritisak uzoraka jablaničkog gabra provedena su na uzorcima dimenzija $5 \times 5 \times 5$ cm, koje su propisane važećim standardima. Uzorci su izrezani, dijamantskom pilom, iz blokova uzetih sa različitim dijelova pojedinih majdana.

Ukupno je ispitano 118 probnih tijela za oba varijeteta, a svi uzorci ispitani su u potpuno istim uslovima, na istoj aparaturi, da bi se eliminisali neki od uticajnih faktora koji su navedeni.

Uzorci sa majdana „Suljo Čilić“ i „Padešnica Crna“ su ispitani pod presom, u mjernom opsegu 2000 kN sa tačnošću očitavanja sile u trenutku loma od 1 kN i sa istim stepenom nanošenja opterećenja u jedinici vremena.

3.2. Mineraloško-petrografska ispitivanja

Za potrebe ispitivanja mineraloško-petrografskih osobina gabra sa majdana „Suljo Čilić“ i „Padešnica Crna“, pripremljeni su preparati za posmatranje u propuštenoj svjetlosti. Preparati su, dijamantskom pilom, rezani iz kupa koje su formirane nakon loma uzoraka. Linija duž koje je izvršeno rezanje preparata je okomita na ravan loma, tako da je na svim preparatima vidljiv dio ravni loma svakog ispitanog uzorka. Na taj način omogućen je uvid u samu zonu duž koje je došlo do loma, što daje jasniju sliku mehanizma loma unutar strukturne građe ispitanog uzorka.

Na osnovu histograma raspodjele rezultata mjerenja jednoosne čvrstoće na pritisak, uzeti su uzorci sa minimalnom, srednjom i maksimalnom vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak, kako bi se utvrdio uticaj mineraloško-petrografskog sastava i strukturne građe na dobijene vrijednosti čvrstoće ispitanih uzoraka.

Za mikroskopsko određivanje strukturne građe materijala, u laboratoriji Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta, korišten je polarizacioni mikroskop marke Leica DM2500P.

Mikroskopiranje je urađeno u prolaznoj svjetlosti u ortoskopskim uslovima, sa (XPL) i bez (PPL) uključenog analizatora, pri čemu je korišten standardni mikroskopski pribor. Kao izvor svjetlosti korištena je "bijela" svjetlost mikroskopske žarulje.

3.3. Ispitivanja hemijskog sastava stijena

Priprema uzoraka za ovu vrstu ispitivanja urađena je na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu Tuzli. Uzorci su podvrgnuti drobljenju, mljevenju i usitnjavanju do krupnoće praha, a zatim su metodom četvrtanja homogenizirani do finoće pudera u ahatnom avanu i podvrgnuti



sušenju na 105^o C. Nakon toga je izdvojeno 12-15 g od svakog uzorka, za hemijsku analizu makroelemenata i mikroelemenata.

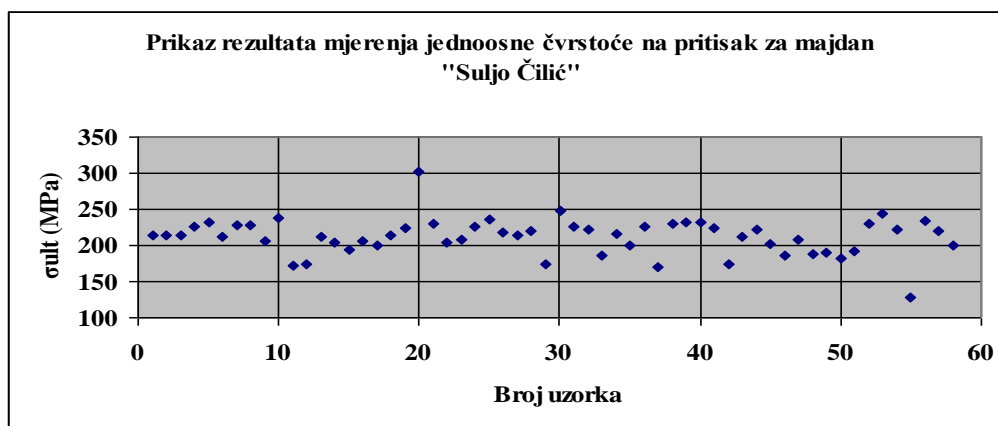
Nakon što su uzorci samljeveni u prah u ahatnom mlinu te homogenizirani, njihova dalja obrada je nastavljena u ACME (Analytical laboratorij - Vancouver) laboratoriju u Kanadi. Uzorci su pripremani metodom fuzije s litijevim metaboratom (LiBO₂/Li₂BO₄). Za kalibraciju je korišten internacionalni standard SO-18/CSC i standard DS7. Analize su urađene metodom masene spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS: *Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*). Na glavne elemente analizirano je 16 uzoraka, od čega su u radu prikazani rezultati ispitivanja karakterističnih uzoraka prema jednoosnoj čvrstoći na pritisak.

Na osnovu rezultata hemijskih ispitivanja izvršen je proračun modalnog mineralnog sastava prema uputama CIPW-a.

4. Rezultati istraživanja i ispitivanja

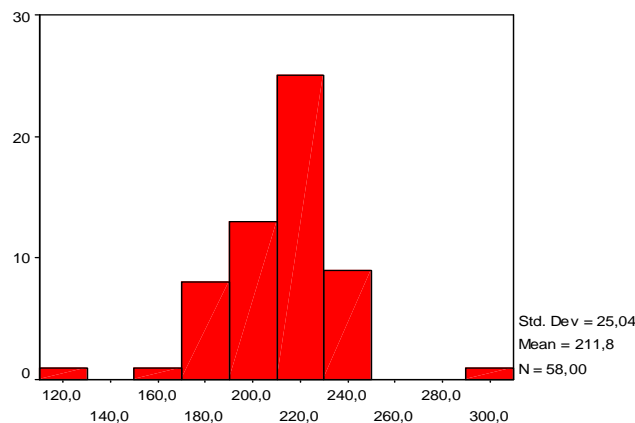
4.1. Čvrstoća na pritisak uzoraka sa majdana „Suljo Čilić“

Dobijeni rezultati čvrstoće na pritisak prikazani su na donjem dijagramu (Slika 1.), dok je raspodjela vrijednosti mjerenja čvrstoće na pritisak prikazana na histogramom raspodjele prema odabranim parametrima (Slika 2.).



Slika 1. Prikaz dobivenih vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak za majdan „Suljo Čilić“

Broj uzoraka- N	Minimum	Maximum	Sred. vrijednost	Std. Dev.
58	128,00	301,00	211,8448	25,0416



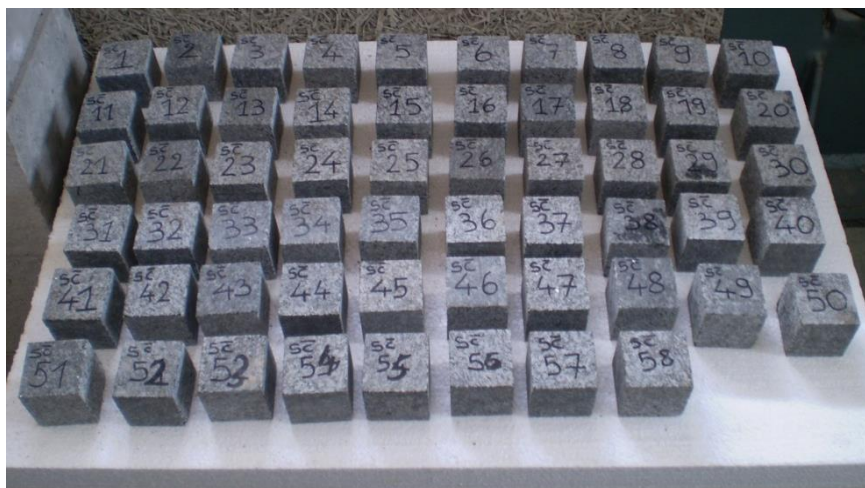
Histogram raspodjele jednoosne čvrstoće na pritisak (MPa)

Slika 2. Histogram raspodjele jednoosne čvrstoće za majdan „Suljo Čilić“

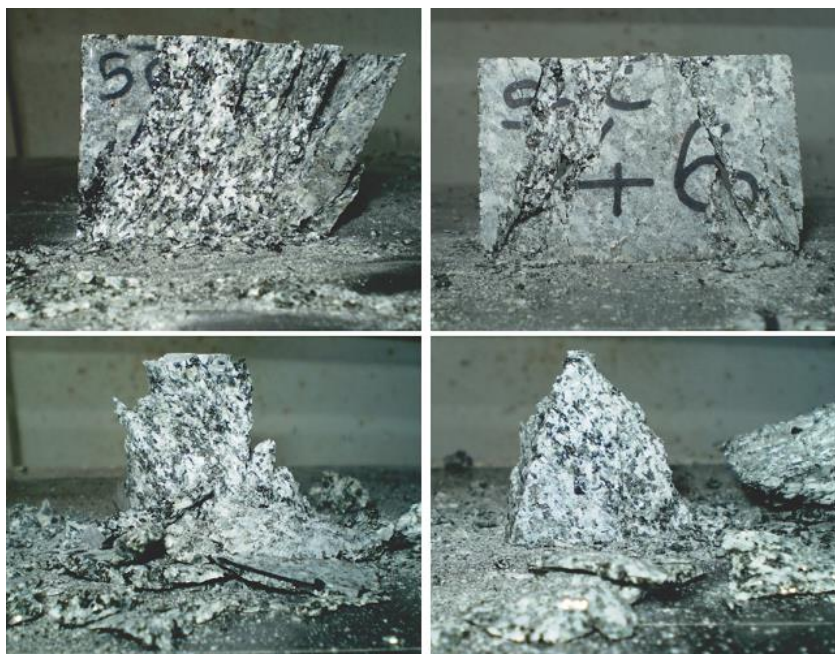


Svaki „mod“, odnosno stub u histogramu, indicira minimum jedan uticajni faktor na čvrstoću. Rezultati su i statistički obrađeni, sa izračunatim koeficijentom povjerenja za računski dobivene srednje vrijednosti. U Tabeli 2. izražen je i procenat vjerovatnoće da će se srednja vrijednost mjerenja naći u navedenom rasponu rezultata (npr. srednja vrijednost 244 MPa, 95% je vjerovatnoća da će se srednja vrijednost budućih mjerenja naći u rasponu $244 \pm 7,7$ MPa).

Ispitivanja su provedena na uzorcima u suhom stanju, a uzorci su dobili redni broj po slučajnom uzorku (Slika 3. i 4.).



Slika 3. Uzorci gabra iz majdana „Suljo Čilić“ prije ispitivanja



Slika 4. Karakteristični lom pojedinih uzoraka sa majdana „Suljo Čilić“

Tabela 2. Proračun koeficijenta povjerenja za dobivenu srednju vrijednost čvrstoće

Koeficijent povjerenja za čvrstoću			
Procenat vjerovatnoće	95%	75%	50%
Raspon vrijednosti	6,444191	3,782249	2,217664



Rezultati ispitivanja jednoosne čvrstoće na pritisak za majdan „Suljo Čilić“ variraju u rasponu od 165 do 245 MPa (sa ekstremno malom vrijednosti od 80 MPa dobijenom na jednom uzorku). Na dijagramu sa prikazom vrijednosti rezultata mjerenja čvrstoće (Slika 1.) pojavljuju se dvije ekstremne vrijednosti na dva uzorka, što je također vidljivo i na histogramu raspodjele. Međutim, te vrijednosti ne utiču značajno na dobivenu srednju vrijednost čvrstoće. Histogram raspodjele (Slika 2.) pokazuje nesimetričnu raspodjelu, sa jednim glavnim uticajnim faktorom predstavljenim istaknutim modom. Ukoliko se izbace ekstremne vrijednosti, histogram raspodjele ne mijenja bitno svoj izgled. Pored glavnog, javljaju se i manje uticajni faktori koji su predstavljeni manje izraženim modovima, gdje većina njih utiče na smanjenje čvrstoće u odnosu na najizraženiji mod, tj. najčešće dobivenu vrijednost. Dobivena srednja vrijednost mjerenja nalazi se u rasponu rezultata u najizraženijem modu, što ukazuje na pouzdanost dobivene srednje vrijednosti čvrstoće, ali i na dominantni uticaj jednog faktora na čvrstoću, što se vidi i na histogramu raspodjele (Slika 2.). Raspodjela čvrstoće na pritisak ukazuje na neovisnost čvrstoće od smjera djelovanja sile. U tabeli za koeficijent povjerenja (Tabela 2.), prisutan je mali raspon srednje vrijednosti čvrstoće ($\pm 6,4$ MPa) u odnosu na dobivenu vrijednost, za veliki procenat vjerovatnoće (95%) .

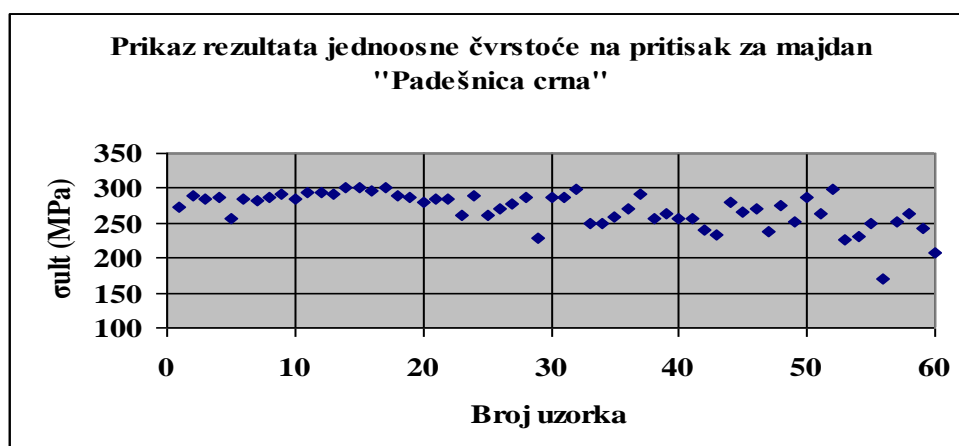
4.2. Čvrstoća na pritisak uzoraka sa majdana „Padešnica Crna“

Dijagram raspodjele rezultata mjerenja čvrstoće gabra sa majdana „Padešnica Crna“ prikazuje rasipanje u rasponu od 230 do 300 MPa, ukoliko se izuzme ekstremno mala vrijednost čvrstoće, koja je vjerovatno posljedica postojanja mikropukotine u samom uzorku, prilikom pripreme uzorka ili drugih uzroka (Slika 5.).

Raspodjela rezultata na histogramu je nesimetrična, sa jasno izraženim glavnim uticajnim faktorom (Slika 6.). Pored ovog, javljaju se još dva uticajna faktora koji smanjuju vrijednosti čvrstoće u odnosu na najistaknutiji uticajni faktor. Ovakva raspodjela podataka čvrstoće uticala je i na dobivenu srednju vrijednost, jer je ta čvrstoća utvrđena na samo 5 uzoraka. Srednja vrijednost čvrstoće za majdan „Padešnica Crna“ je 271 MPa, što predstavlja najveću srednju vrijednost čvrstoće na pritisak među pet ispitanih varijeteta ležišta gabra Jablanica.

Zbog malog raspona variranja rezultata čvrstoće na pritisak gabra, koeficijent povjerenja, za visok stepen vjerovatnoće, varira u manjem rasponu u odnosu na dobivenu srednju vrijednost $\pm 6,4$ MPa (Tabela 3.).

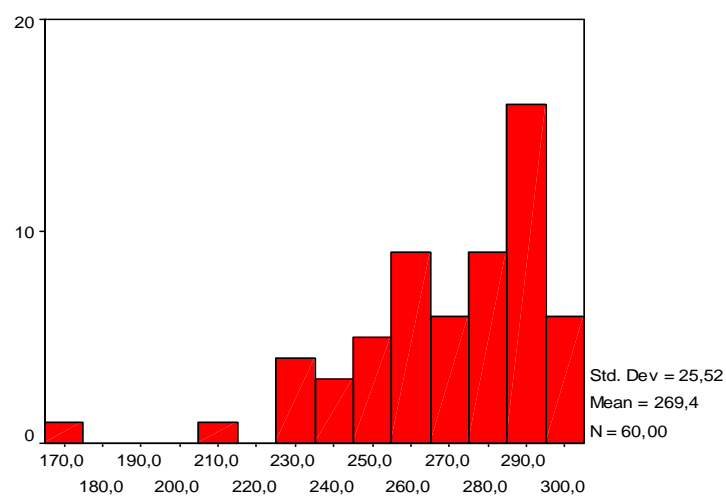
Ovakvo rasipanje rezultata ukazuje na postojanje relativne ujednačenosti strukturne građe varijeteta gabra „Padešnica Crna“, jer je raspon dobivenih vrijednosti čvrstoće manji u odnosu na varijetet gabra iz majdana „Suljo Čilić“.



Slika 5. Prikaz dobivenih vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak za majdan „Padešnica Crna“



Broj uzoraka N	Minimum	Maximum	Sred. vrijednost	Std. Dev.
60	171	301,00	269,416	25,5205



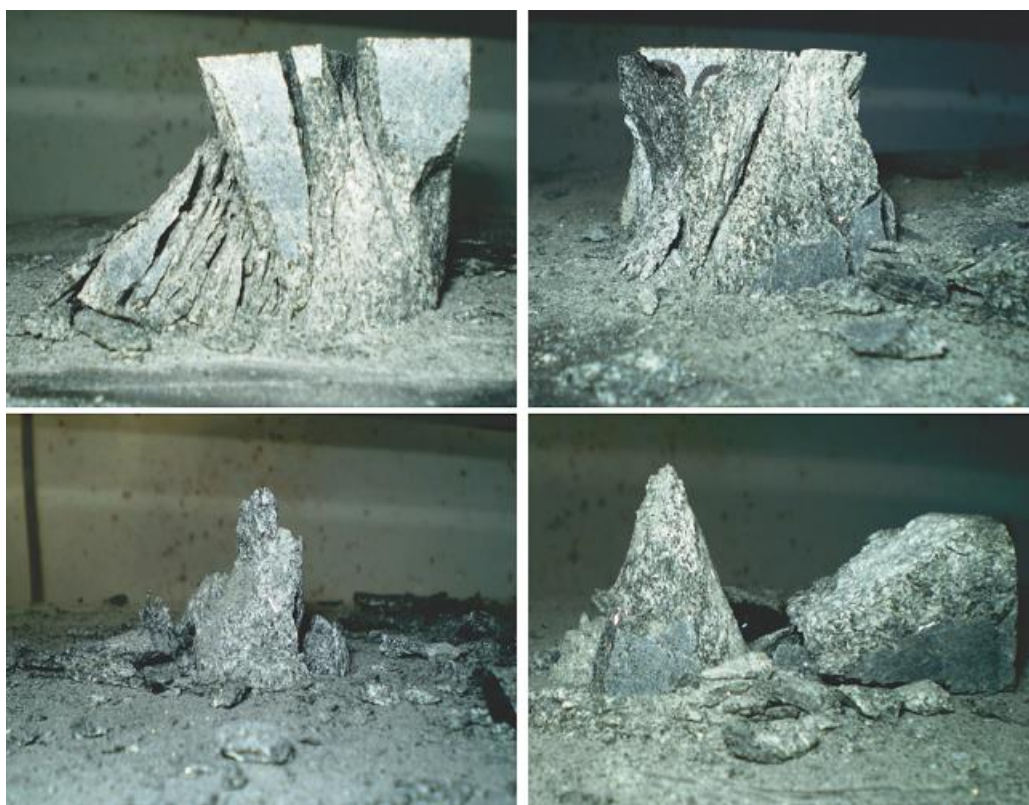
Histogram raspodjele jednoosne čvrstoće na pritisak (MPa)

Slika 6. Histogram raspodjele jednoosne čvrstoće za majdan „Padešnica Crna“

Ispitivanja su provedena na uzorcima u suhom stanju, a uzorci su dobili redni broj po slučajnom uzorku (Slika 7. i 8.).



Slika 7. Uzorci gabra iz majdana „Padešnica Crna“ prije ispitivanja



Slika 8. Karakteristični lom pojedinih uzoraka sa majdana „Padešnica Crna“

Tabela 3. Proračun koeficijenta povjerenja za dobivenu srednju vrijednost čvrstoće

Koeficijent povjerenja za čvrstoću			
Procenat vjerovatnoće	95%	75%	50%
Raspon vrijednosti	6,457332	3,789962	2,222186

4.3. Mineraloško – petrografski sastav

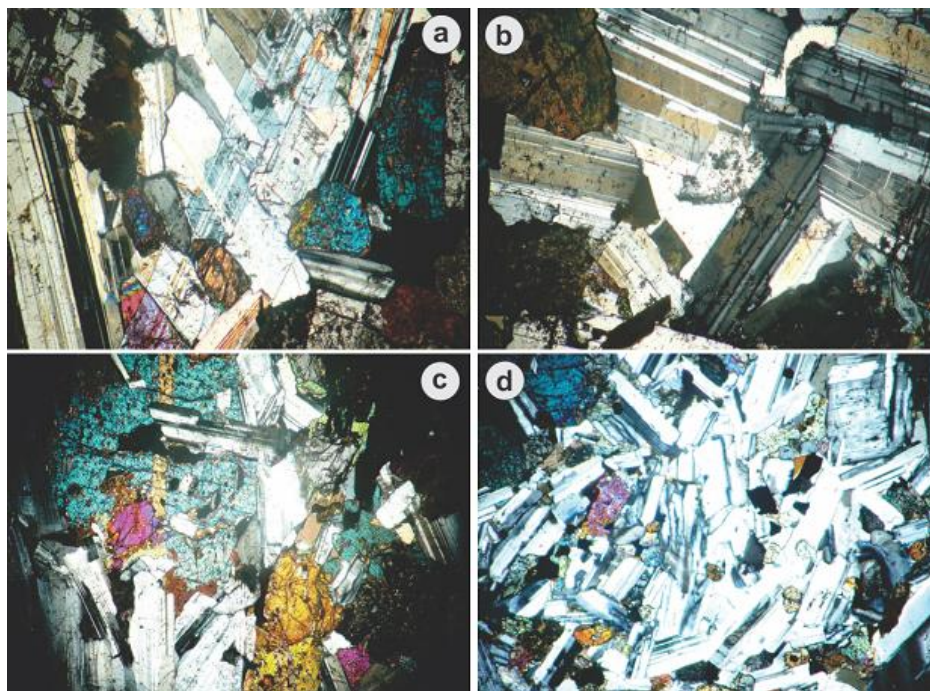
Mineraloško-petrografski sastav je određen na šest karakterističnih uzoraka, tri sa majdana „Suljo Čilić“ (oznake SČ30, SČ41 i SČ47) i tri sa majdana „Padešnica Crna“ (oznake PC32, PC43 i PC50). Definisan je mineralni sastav, strukture i alteracioni procesi. Za provedena ispitivanja urađene su i mikrofotografije (Slika 9.).

Uzorak SČ30 je izgrađen od mreže krupnozrnih bazičnih plagioklasa sa augitom, biotitom i olivinom u međuprostorima. Prisutni su i sekundarni procesi u vidu uralitizacije i hloritizacije klinopiroksena, te opacitizacije biotita. Stijena je petrografski determinisana kao krupnozrni augitsko-biotitski gabro, gabrovske strukture (Slika 9a.). Jednoosna čvrstoća na pritisak iznosi 247MPa.

Uzorak SČ41 predstavlja krupnozrni biotitsko-augitski gabro sa nešto većim sadržaju bojene komponente, prije svega biotita. Optička analiza pokazuje intenzivne alteracione procese na svim konstatovanim mineralnim vrstama. Tako su feldspati zamućeni sa vidljivim pertitom, dok su od pojedinih kristala augita i biotita ostala samo recentna zrna ispunjena hloritom ili magnetitom (biotit) te epidotom, hloritom, uralitom, magnetitom (klinopiroksen), a je olivin samo kataklaziran. Prisutna je i naknadna silifikacija uz obaranje kvarca. Struktura je alotriomorfno zrnasta (Slika 9b.).

Jednoosna čvrstoća na pritisak iznosi 224MPa.

Uzorak SČ47 pokazuje dominaciju salske nad femskom komponentom. U pitanju je krupnozrnija varijanta, što se naročito odnosi na bazično intermedijarnu mineralizaciju. Konstatovana je nešto izraženija sekundarna silifikacija koja zapunjava međuprostore rešetke intermedijarnog plagioklasa i mikroprslina. Stijena je petrografski determinisana kao krupnozrni biotitsk-augitski gabro, gabrovske strukture (Slika 9c.). Jednoosna čvrstoća na pritisak iznosi 208MPa.



Slika 9. – Mikrofotografije ispitivanih uzoraka (u nastavku dat opis slike):

- a)** SC30 Krupna zrna bazičnog plagioklasa prizmatičnog presjeka (lijevo), sa velikim zrnima bližnjeg augita plave boje u desnom dijelu slike. Lijevo gore zrno biotita sa nejasnom braon bojom po rubu, a u centralnom dijelu zrno magnetita nastalo na račun alteracije primarnog minerala,
- b)** SC41 Tipična krupnozrna gabrovska struktura od mreže bazičnih plagioklasa prizmatičnog presjeka izraženih bliznih lamela, sa velikim zrnom biotita u gornjem lijevom dijelu slike. Dole desno rozete kristobalita, kao ilustracija sekundarne silifikacije i obrazovanja korozivnih šupljina,
- c)** SC47 Krupna zrna bojenog minerala augita (žuto i plavozelena) u gabrovskoj osnovi. Rijedak biotit, braon boje. Lijevo u sredini ljubičaste boje olivin,
- d)** PC32 Sitnozrnija gabrovska struktura od mreže plagioklasa sa nekoliko sitnih okruglastih živo obojenih zrna olivina u centralnom dijelu slike. Gore desno dva plava zrna klinopiroksena – augita.

U augitskom gabru (PC32) dominira klinopiroksen sa uralitizacijom koja se širi od ruba ka središtu zrna. Biotit je podređeniji, a njegova alteracija ide u suprotnom pravcu (od središta ka periferiji). Uočava se prisustvo olivina u jajolikim nagomilanjima. Struktura je gabrovska (Slika 9d.).

Jednoosna čvrstoća na pritisak iznosi 299MPa.

U uzorku PC43 uočava se povećan sadržaj bojenog minerala, prije svega olivina. Alteracioni procesi su uobičajeni za ovu vrstu stijene: hloritizacija i opacitizacija biotita i uralitizacija



augita. Prisutno je dosta magnetita smještenog u međuprostorima. Feldspat je svjež i uobičajenog načina pojavljivanja. Sporadična silifikacija vezana je za obodne djelove preparata i nije značajnog intenziteta. Sekundarnu mineralizaciju čine hlorit, koji je nastao na račun biotita, kao i epidot koji je nastao na račun augita. Stijena je petrografski determinisana kao srednjezrni gabro, gabrovske strukture.

Jednoosna čvrstoća na pritisak iznosi 233MPa.

Uzorak PC50 se karakteriše povišenim sadržajem biotita koji određuje karakter stijene. U središnjem dijelu preparata uočava se ujednačenost u dimenzijama zrna salske i femske komponente dok idući ka periferiji preparata uočava se stanovita anizotropija, koja se može objasniti uticajem kiselijeg rastopa, te djelovanjem lako isparljivih komponenti koje on nosi. Lako isparljive komponente snižavaju temperaturu hlađenja te doprinose sporijem očvršćavanju stijenske mase. Stijena je petrografski determinisana kao srednjezrni gabro, gabrovske strukture.

Jednoosna čvrstoća na pritisak iznosi 286MPa.

4.3. Hemijski sastav stijena

Rezultati ispitivanja hemijskog sastava ukazuju na ujednačene koncentracije glavnih oksida u svim uzorcima. Sadržaj SiO₂, kao najbitnije komponente, pokazuje vrlo mala variranja vrijednosti (49,9 – 51,9%). Raspon vrijednosti ukazuje na pripadnost mafitnim magmatski stijenama. Prema uputama CIPW-a, izračunat je i modalni mineralni sastav koji ukazuje da salske komponente (sr.vr. 64,17) pretežu nad femskim (srednja vrijednost 29,7), što predmetnim stijenama daje leukokratni karakter. Uzorci majdana „Padešnica Crna“ pokazuju viši sadržaja akcesornih minerala (srednja vrijednost 7,5), Tabela 4.

Tabela 4

	SC-30	SC-41	SC-47	PC-32	PC-43	PC-50		SC-30	SC-41	SC-47	PC-32	PC-43	PC-50	
Hemijski sastav							CIPW analiza							
SiO ₂	50,0	50,2	49,9	51,9	51,3	50,6	Or	5,9	4,7	5,0	6,9	6,7	6,8	
TiO ₂	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	1,1	Ab	25,6	25,0	24,8	25,2	24,5	25,5	
Al ₂ O ₃	18,8	18,3	17,8	17,2	17,4	17,5	An	34,7	34,3	32,9	30,1	31,2	31,0	
Fe ₂ O ₃	9,4	10,1	10,2	9,8	10,1	9,6	Qz	0,0	0,0	0,0	1,6	0,5	0,0	
MnO	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	Suma	66,3	64,0	62,7	63,8	62,9	65,3	
MgO	5,7	5,7	5,8	5,1	5,5	5,3	Di	10,4	10,6	11,3	11,0	10,9	10,8	
CaO	9,8	9,9	9,9	9,1	9,3	9,1	Hy	10,1	15,3	14,6	18,2	19,5	17,8	
Na ₂ O	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	3,0	Ol	7,2	4,0	4,6	0,0	0,0	0,5	
K ₂ O	1,0	0,8	0,9	1,2	1,1	1,2	Suma	27,7	29,9	30,5	29,2	30,4	29,1	
P ₂ O ₅	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	Ap	0,4	0,7	0,9	0,6	0,5	0,4	
Suma	99,0	99,3	98,9	98,8	99,2	97,8	Ilm	1,8	1,7	1,8	2,1	2,2	2,2	
							Mag	2,0	2,2	2,4	4,9	4,9	4,7	
							Suma	4,2	5,6	5,1	7,6	7,6	7,3	

Oznake u prethodnoj tabeli odnose se na slijedeće minerale:

Or- ortoklas, Ab – albit, An – anortit, Qz – kvarc, Di – diopsid, Hy – hipersten, Ol – olivin, Ap – apatit, Ilm – ilmenit, Mag – magnetit (Whitney & Evans, 2010.).



Diskusija

Majdan „Suljo Čilić“ se odlikuje krupnozrnim varijetetima gabra. Manje razlike između uzoraka se javljaju u kvantitativnom sadržaju bojenih minerala prvenstveno biotita, kao i u stepenu njihove alteracije. Iako su svi uzorci klasificirani kao krupnozrni gabra, postoje razlike u veličini zrna između opisanih uzoraka tako da je kod uzorak SČ-47 klasificiran kao krupnozrniji gabra u odnosu na druge uzorke iz majdana „Suljo Čilić“.

Uzorci iz majdana „Padešnica Crna“ klasificirani su kao sitnozrni do srednjezrni gabra, što znači da postoji razlika između veličine minerala koji grade gabra iz ovog majdana i minerala koji grade gabra u majdanu „Suljo Čilić“. Razlike među uzorcima iz ovog majdana pojavljuju se u zastupljenosti pojedinih bojenih minerala, prvenstveno biotita. Kod uzorka PC-43, zrna su krupnija, sa većim međuprostorima između njih, što omogućava deponovanje bojenih minerala.

Razlike između pojedinih uzoraka sa istog majdana pojavljuju se u pogledu strukture stijene, odnosno međusobne raspodjele i oblika pojedinih minerala koji grade taj uzorak. Najveće razlike se pojavljuju u ispucalim zonama, gdje se kao vezivo mogu pojaviti obojeni minerali koji utiču na strukturu. Intenzitet i tip alteracije obojenih minerala je različit kod pojedinih uzoraka iz istog majdana.

Pojedini uzorci su u petrografskim determinacijama klasificirani kao krupnozrni, a neki kao sitnozrni i srednjezrni gabra. Sve ove razlike, utiču na vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak ispitanih uzoraka.

Iz analiza mjerenja jednoosne čvrstoće na pritisak gabra sa majdana „Suljo Čilić“, može se zaključiti da strukturna građa ima veliki uticaj na dobivene vrijednosti čvrstoće. Kao dokaz za uticaj veličine zrna na čvrstoću, mogu se navesti vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak za uzorke od kojih su izrađeni mikropreparati. Uzorci sa majdana „Suljo Čilić“ su klasificirani kao izrazito krupnozrni gabra, pri čemu postoje razlike u veličini zrna između pojedinih uzoraka sa ovog majdana, tako da je kod preparata SČ-47 uzorak klasificiran kao krupnozrniji gabra u odnosu na druge uzorke iz majdana „Suljo Čilić“. Ovaj uzorak ima najmanju vrijednost jednoosne čvrstoće na pritisak, što ukazuje na uticaj veličine zrna na vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak.

Varijetet gabra sa majdana „Padešnica Crna“, koji ima veću čvrstoću na pritisak, je sitnozrniji u odnosu na krupnozrni varijetet sa majdana „Suljo Čilić“. Ovo također ukazuje na uticaj veličine zrna na jednoosnu čvrstoću na pritisak gabra. Međutim, rasipanje rezultata čvrstoće kod varijeteta sa sitnijim zrnima ukazuje i na uticaj orijentacije zrna, kao i na uticaj međusobne veze pojedinih zrna sa okolnim zrnima, na jednoosnu čvrstoću na pritisak. Ukoliko se opterećenje nanosi okomito na probno tijelo (kocku 5x5x5 cm) tj. na generalnu orijentaciju zrna (folijaciju), gabra ima manju jednoosnu čvrstoću na pritisak. Ako opterećenje djeluje pod određenim uglom u odnosu na folijaciju, čvrstoća na pritisak gabra će zavisi od veličine tog ugla. Koji je kritični ugao koji daje najmanju čvrstoću nije istraženo, ali se iz teoretskih postavki zna da taj ugao postoji kod svih stijenskih materijala.

Pošto su svi preparati izrađeni tako da je vidljiv barem jedan dio ravni loma jasno se može vidjeti kako raspored i orijentacija pojedinih minerala tj. struktura ima uticaj na vrijednost čvrstoće. Čvrstoća, pored veličine i orijentacije zrna, zavisi i od načina srastanja minerala unutar stijene, odnosno, da li su zrna koja grade stijenu međusobno ispreplitana ili su samo naslonjena jedna na druge. Također je bitno kakve su zone dodira pojedinih mineralnih zrna. Značajan faktor koji utiče na čvrstoću je i sam način alteracije mineralnih zrna.

Obojeni minerali imaju istu tvrdoću kao i bezbojni kad su svježi, ali su izuzetno podložni alteraciji. Prilikom alteracije dolazi do smanjenja otpornih parametara bojenih minerala, kao i slabljenja njihovih veza sa okolnim mineralima. Do kolike promjene jednoosne čvrstoće na pritisak će doći, zavisi od stepena i načina alteracije pojedinih minerala. Tamo gdje je došlo do izmjena po obodu mineralnih zrna, sama veza između zrna slabi, što smanjuje vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak. Ukoliko su alteracije prisutne u



središtu mineralnog zrna, veze među zrnima ostaju čvrste, što omogućava veću otpornost na djelovanje napona, a samim tim i veću čvrstoću. Ako su zrna bojenih minerala potpuno alterisana, veza između njih i okolnih zrna postaje veoma slaba, tako da se u samom uzorku javljaju oslabljene zone koje utiču na čvrstoću na pritisak.

Veličina zrna u gabra u majdanu „Suljo Čilić“ omogućila su deponovanje obojenih minerala u zone među zrnima tako da je prisustvo bojenih minerala imalo manji uticaj na čvrstoću, u odnosu na uticaj veličine zrna. Dokaz za to je i najmanje rasipanje rezultata jednoosne čvrstoće na pritisak na majdanu „Suljo Čilić“.

Uticaj strukturne građe na lom materijala gabra pokazan je i na karakterističnim fotografijama. Na fotografijama je vidljivo više tipova lomova od klasičnog formiranja kupe, do „cijepanja“ uzoraka od jedne prema drugoj strani. Napravljen je veći broj karakterističnih fotografija, a u radu su prikazana po četiri tipa loma, s tim da lom sa skoro potpunom „eksplozivnom“ degradacijom materijala nije prikazan. Isto tako, ravnine loma javljale su se pod različitim uglovima u odnosu na horizontalnu ravan. Zabilježene pojave su posljedica orijentacije zrna, procentualne zastupljenosti pojedinih minerala, stepena degradacije minerala i načina njihove međusobne povezanosti, odnosno strukturne građe. Lom stijenskog materijala odvija se u područjima i duž ravni koje su kritično orijentisane u odnosu na djelovanje normalnog i smičućeg napona, a zbog strukturne građe predstavljaju slabe zone u uzorku.

Zaključak

Na osnovu navedenog može se zaključiti da najveći uticaj na vrijednosti jednoosne čvrstoće na pritisak imaju način međusobnog srastanja zrna, veličina zrna, stepen i način alteracije pojedinih minerala, prostorni raspored alteracionih zona unutar uzorka, odnosno, najveći uticaj na čvrstoću ima strukturna građa ispitivanog uzorka. Razlike u čvrstoći među uzorcima iz dva majdana posljedica su promjena navedenih uticajnih faktora, koje se pojavljuju u strukturnoj građi uzorka.

Literatura

1. Đulović, I.: *Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i obračunu rezervi arhitektonsko-građevinskog kamena u ležištu gabra "Jablanica"*. Zavod za geologiju Sarajevo. 2005.
2. Katzer F.: *Geologischer Führer durch bosnien und die herzegovina*. Posebno izdanje. Sarajevo. 1903.
3. Mandžić, E.: *Mehanika stijena*. Autorizovana predavanja. RGGF Univerziteta u Tuzli. 1999.
4. Mandžić, K.: *Uticaj strukturne građe na čvrstoću gabra*. Doktorska disertacija. RGGF Univerziteta u Tuzli. 2009.
5. Marić, L.: *Sistematska petrografija*. Školska knjiga. Zagreb. 1951.
6. Pamić, J. (1961): *Karakteristike magmatskih stijena dijabaz-rožnjačke serije u okolini Jablanice i Prozora (BiH)*. III Kongres geologa Jugoslavije u Budvi, p. 363-382. Titograd. 1959.
7. Pamić, J.: *Pojave gipsa i anhidrita u gornjim tokovima rijeke rame i doljanke*. Geološki glasnik, 1, Sarajevo. 1955.
8. Sofilj, J., Živanović, M., Pamić, J.: *Tumač za geološku kartu lista Prozor*. Institut za geološka istraživanja Sarajevo. 1971.
9. Sofilj, J., Živanović, M.: *Geološka karta lista Prozor*. Institut za geološka istraživanja Sarajevo. 1971.
10. Whitney L.D. & Evans W.B. (2010). *Abbreviations for names of rock-forming minerals*. American Mineralogist. Volume 95, pages 185 – 184.