



ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA TEHNIČKO- GRAĐEVNOG KAMENA S PODRUČJA HERCEGOVINE I JUGOZAPADNE BOSNE

mr.sc. **Krešimir Šaravanja**, dipl.ing.građ.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, "IGH-Mostar" d.o.o. Mostar

Tomislav Marić, dipl. ing. građ.

"IGH-Mostar" d.o.o. Mostar

Danijela Šaravanja, mag.građ.

Sažetak: U uvodnom dijelu rada dan je prikaz raspoloživog tehničko-građevnog kamena na području Hercegovine i jugozapadne Bosne. U središnjem je dijelu rada dana analiza rezultata ispitivanja tehničko-građevnog kamena izvršena za više od 16 godina rada „IGH-Mostar“ d.o.o. Mostar.

Ključne riječi: tehničko-građevni kamen, ispitivanja kamena, Hercegovina

ANALYSIS OF TECHNICAL STONE'S TESTING RESULTS FROM THE HERZEGOVINA AND SOUTH-WEST BOSNIA REGIONS

Abstract: In the introduction part of this paper a review of available architectural stones in Herzegovina and South-West Bosnia regions are presented. In the central part of the paper the results of tests of architectural stone during more than 16 years of work of the "IGH-Mostar" Ltd. Mostar, are presented.

Key words: technical stone, stone testing, Herzegovina region



1. KRATKI PREGLED GEOLOŠKE GRAĐE HERCEGOVINE I JUGOZAPADNE BOSNE

U strukturno-tektonskom smislu područje Hercegovine i jugozapadne Bosne pripada Vanjskim Dinaridima i manjim dijelom prijelaznoj zoni. Karakteristično je da su slojevi velike debljine i da su zastupljeni veliki nabori u kojima se u dnu sinklinale obično nalaze paleogene naslage, dok su tjemena često duboko erodirana, razlomljena i gotovo svugdje navučena na sinklinalne dijelove.



Slika 1. Geotektonska slika Dinarida BiH
(1) VANJSKI DINARIDI; (2) SREDIŠNJI DINARIDI; (3) UNUTARNJI DINARIDI

Najvažnije vrste eruptivnog kamena su granit, gabro i bazalt, dok su najpoznatije vrste sedimentnog kamena vapnenac i dolomit. Najpoznatiji metamorfni kamen je mramor. Teritorijalno najviše rasprostranjen kamen na području Hercegovine (gotovo 80%) i šire koji se i najviše koristi u građevinarstvu je vapnenac.

U zoni visokog krša trijarske su tvorevine otkrivene na manjim prostorima, ispod debelih sedimentnih kompleksa jure i krede. One grade jezgra velikih mezozojskih antiklinala kao što su Čabulja, Velež i druge. U ovoj zoni trijas je na površinu istisnut i otkriven na malim površinama uz velike dislokacije u Mostarskom basenu, kod Šujice, Posušja, itd. Zastupljeni su najvećim dijelom karbonatni sedimenti, vapnenac i podređeno dolomit, te vapnenačke breče, laporci i pješčari u znatno manjem omjeru.

Jurske naslage su logičan nastavak karbonatne sedimentacije gornjeg trijasa. To su plitkovodne neritske karbonatne facije uglavnom predstavljene vapnencima i dolomitima, u manjoj mjeri klastitima i podređeno rožnjacima. Jurski sedimenti na površini zastupljeni su više od trijarskih i protežu se od Bihaća do istočne Hercegovine, prateći karakterističan pravac pružanja Dinarida.

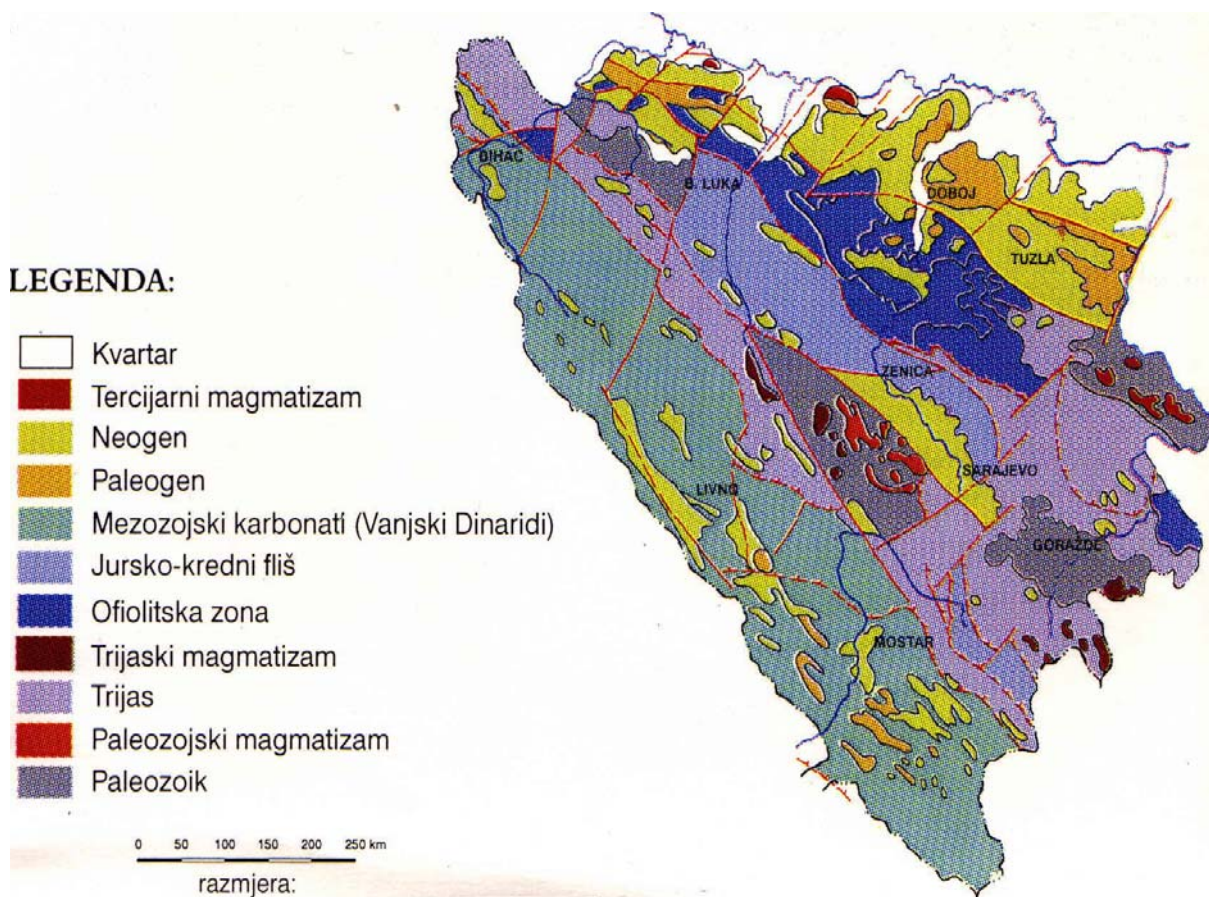


Za vrijeme krednog razdoblja odvijala se značajna marinska karbonatna sedimentacija kontinentalnog praga. Rezultat toga su oko dvije tisuće metara debele vapnenačko-dolomitične tvorevine, karbonatne breče i fliš. Zastupljeni su organogeni vapnenci, pločasti vapnenci, tanko uslojeni vapnenci, karbonatni grebeni i metamorfni vapnenci. Javljuju se klastiti i magmatske stijene (*Jablanički gabra*) od kojih su neke i starije, ali su uklopljene u kedu.

Mezozoik je u Vanjskim Dinaridima djelomično prekriven paleogenim naslagama. Prijelaz je ponegdje, označen kraćom kopnom fazom predstavljenom ležištima boksita. Paleogene naslage predstavljene su "*Kozina*" naslagama, vapnencima, flišom i "*Promina*" formacijom.

Paleogene naslage su uglavnom plitkovodne, a od njih je značajno spomenuti foraminiferske vapnence, alveolinsko-numulitske vapnence i singentske breče.

U zavalama koje su formirane krajem paleogena (oligocena) nastale su jezerske slatkovodne neogene naslage. U litološkom smislu te naslage se sastoje od konglomerata, pješčenjaka, sedrastih i željezovitih vapnenaca, lapora i laporovitih i pjeskovitih glina.



Slika 2. Geološka karta BiH



2. TEHNIČKO-GRAĐEVNI KAMEN

Tehničko-građevni kamen (TGK) je kamen koji se minira, mehanički drobi i usitnjava, a koristi se kao: drobljeni kamen za održavanja cesta, drobljeni kamen za izradu donjeg ustroja cesta (nosivih slojeva), kamena sitnež za izradu bitumeniziranog materijala na cestama, kameni agregat za izradu betona, tucanik za izradu zastora željezničkih pruga, lomljeni kamen za zidanje te izradu obaloutvrda i vodopropusta, te kao sirovina za proizvodnju drugih raznih građevnih materijala, poput veziva i termoizolacijskih materijala. Osim u građevinarstvu upotrebljava se u metalurgiji, proizvodnji abrazivnih sredstava, poput punila u proizvodnji boja, lakova, polimera i papira, za mineralna gnojiva, keramiku, lijekove, itd. Za svaki slučaj namjene taj je kamen zdrobljen, mljeven, usitnjen ili lomljen u nepravilne komade većih dimenzija. Mora imati određena fizikalno-mehanička svojstva, granulometrijski sastav i čistoću.

2.1. TGK na području Hercegovine, vrste i lokaliteti

Bitan faktor razvoja u Hercegovini je eksploatacija i prerada tehničkog kamena vapnenca i dolomita za građevinarstvo i industriju (proizvodnja betona, željezničkog tučenca, nasipnih podloga za ceste, vapna, kamenog brašna za kemijsku, stočno-prehrambenu, električnu i farmaceutsku industriju).

Na žalost, poznavanje, stupanj istraženosti i eksploatacija mineralnih sirovina, s malim iznimkama, nisu u skladu s mogućnostima i potrebama razvoja Hercegovine.

2.1.1. Gornjokredni vapnenci

Za dobivanje tehničkog kamena vapnenca pogodne su vapnenačke stijene koje pripadaju gornjoj kredi, stratigrafijski označeni kao $K_2^{1,2}$. To su sivi, smeđe sivi, rumenkasti, bjeličasti i žućkasti organogeni vapnenac biomikrit ili biopelmikrit kriptokristalne strukture. Debeli ulošci dolomita koji se mogu naći u ovim vapnencima zahtijevaju selektivno otkopavanje koje poskupljuje proizvodnju.

Vapnenci s rudistima, stratigrafijski označene kao $K_2^{2,3}$ također pogodne za dobivanje tehničkog kamena, su svjetlosivi do bijeli mramorasti mikritski ili rudistno mikritski vapnenci, kod kojih dolomiti imaju neznatnu ulogu.

Ovi vapnenci imaju tlačne čvrstoće od 80 do 200 MPa, visok sadržaj $CaCO_3$ i osrednju čistoću. Bijeli vapnenac koji prevladuje pogodan je za dobivanje agregata, posebice za žbuke.

Tehnički kamen se često dobiva kao prizvod kod obrade ili eksploatacije dimenzioniranog kamena, što ima vrlo povoljan učinak.

2.1.2. Vapnenci eocenske starosti

Alveolinsko-numulitni vapnenci koji pripadaju eocenu, stratisgrafski su označeni kao $E_{1,2}$. Za razliku od gornjokrednih vapnenaca koji su češće bez slojevitosti, ovi vapnenci su se taložili u vidu bankova i debljih slojeva. Boja im je svijetlosiva, a struktura kristalasta, bez uložaka ili proslojaka dolomita. Najveći dio izgrađuju mikriti, fosilonosni mikriti i biomikriti. Ovi vapnenci imaju visoke tlačne čvrstoće od 120 do 270 MPa, uz 98-99 % $CaCO_3$.



2.1.3. Dolomiti

Stratigrafski pripadaju trijasi (T), poznati kao monomineralni dolomiti bez faune. Uglavnom je riječ o monomineralnim stijenama, izgrađenim od sitno i srednjeznog dolomita većinom bijele ili pepeljastosive boje s prslinama i vrlo tankim pukotinama. Pogodne su za dobivanje tehničkog kamena. Prosječna tlačna čvrstoća iznosi oko 140 MPa.

2.2. Glavni nositelji eksploatacije TGK

TGK se istražuje i eksploatira na velikom broju ležišta širom Hercegovine. Praktično neograničene su zalihe TGK vapnenca, iako postoje detaljno propisani uvjeti koje treba zadovoljiti prije sustavne eksploatacije. No vrijednost agregata, kao finalnog proizvoda, ne podnosi duge transportne duljine, te mu je potrošnja regionalnog karaktera. Drobļjenici vapnenca izvjesnog stupnja prekrystalizacije do mramoriziranih partija imaju veću vrijednost i mogu biti zanimljivi širem okruženju.

Odobrena eksploatacijska ležišta TGK po općinama su:

- općina Posušje (Paljevine Vlake, Vinjani, Dočić-Ričina, Bukovac B, Bosiljna, Radovanj, Rakitno);
- općina Grude (Platica Otok, Cerov Dolac);
- općina Ljubuški (Crveni grm, Zelenikovac);
- općina Široki Brijeg (Polugrina, Gaj, Grabova Draga);
- općina Ravno (Orahov do);
- općina Ljubinje (Vođeni i Strujići);
- općina Mostar (Mokri do-Miljkovići, Grabovica, Sirge-Raška gora, Gradina, Podveležje);
- općina Prozor (Podbor);
- općina Tomislavgrad (Cebara);
- općina Kupres (Grguljača);
- općina Čitluk (Blizanci, Vlake-Cerno).

Važnije lokacije i eksploatacijski objekti vapnenca u Hercegovini po tvrtkama su:

- PGP «MRVELJI» Posušje (ležište «Paljevine-Vlake 7-14»);
- «POINT» Posušje (ležište «Paljevine-Vlake 1-7»);
- «IGM» Posušje (ležište «Dočić»);
- «PUTOVI GRUDE» Grude (ležište «Cerov Dolac»);
- «PLATICA-ŽURKOVAČA» Drinovci, Grude (ležište «Otok»);
- «IN KA» Ljubuški (ležište «Crveni Grm»);
- «VRAN DUKIĆ» Tomislavgrad (ležište «Mesihovina»);
- «LJUBAS COMMERCE» Tomislavgrad (ležište «Raskršće-Brdo»);
- ZO «GRANIT» (ležište «Raška Gora - Sirge»);
- «BABINOVAC» Čitluk (ležište «Vlake»);
- «VULKAN PLAM» Čitluk (ležište «Ruda glavica»);
- «MILJKOVIĆI» Mostar (ležište «Mokri Do-Miljkovići»);
- «GRAĐEVINAR» Ljubinje (ležišta «Vođeni» i «Strujići»);
- «POGLEDI» Ravno (ležište «Orahov Do»).

3. REZULTATI ISPITIVANJA KAKVOĆE KAMENA

Institut građevinarstva Hrvatske «IGH» d.d. Zagreb utemeljio je «IGH-Mostar» d.o.o. Mostar koncem 1995. godine za stručnu podršku razvoju građevinarstva u ovoj regiji. Prvi posao vezan za ispitivanje kamena je bilo ispitivanje istražnog prostora «Paljevine-Vlake», Posušje za tvrtku «Mrvelji» Posušje u ožujku 1996. godine. Zbog nepostojanja vlastitog laboratorija u



tom trenutku, u IGH d.d. Zagreb – Zavod za prometnice su provedena sva propisana ispitivanja, koja se sastoje od 2 kompletna i 13 djelomičnih ispitivanja, sukladno «Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima (SL 53/79)». Od otvaranja laboratorija «IGH-Mostar» u proljeće 1997. godine, te Centralnog laboratorija u novoj poslovnoj zgradi „IGH-MOSTAR“ u ljeto 2007. godine do danas izvršena su brojna ispitivanja kamena iz ležišta s područja Hercegovine, uključujući Livno i Tomislavgrad, ležišta iz Središnje i jugozapadne Bosne, te kamenolom Lapišnicu kod Sarajeva.



Slike 3, 4, 5. Ispitivanje kamena: tlačna čvrstoća (lijevo), s detaljom u adapteru za precizno centriranje uzorka (sredina i desno)

3.1. Mineraloško-petrografski sastav

Što se tiče **mineraloško-petrografskog sastava**, on nije ispitan za sve uzorke kamena, a najčešće se radilo o vapnencima (organogenom vapnencu ili biomikritu, biopelmikritnom vapnencu, zatim laminiranom do masivnom vapnencu, sitnozrnatom vapnencu i oolitskom vapnencu), ali i o dolomitu dolosparitne strukture („rujan“), te „gabru“.

3.1.1. Tlačna čvrstoća

Prema Bilbiji tlačne čvrstoće vapnenaca kreću se u intervalu od 30 do 250 MPa, dolomiti između 80 i 250 MPa, a gabro između 180 i 300 MPa.

Ispitivanja su vršena u suhom stanju, vodom zasićenom stanju i nakon 25 ciklusa smrzavanja/odmrzavanja.

Prosječne **tlačne čvrstoće u suhom stanju TGK** su uglavnom bile srednje visoke (80-180 MPa) i kretale su se od 107,8 MPa do 179,0 MPa, s iznimkom ležišta „Rakitno“ niske čvrstoće (72,1 MPa), koje ne zadovoljava tražene vrijednosti od 80 MPa (za beton), odnosno 100 MPa/120 MPa/140 MPa/160 MPa (za druge namjene). S druge strane imamo i uzorke dolomita visokih čvrstoća: kalcitični dolomit iz Grabovice sa 213,0 MPa i kasnodijagenetski dolomit iz Kupresa sa 230,0 MPa. Visoke čvrstoće (180-280 MPa) su i: „Gornji Višnjani S1



(180,0 MPa), „Vlake-Cerno“, Čitluk (192,0 MPa), i „Gornji Višnjani C1“ (230,0 MPa), dok kamen „Gornji Višnjani B1“ sa 310,0 MPa spada u kamen vrlo visoke čvrstoće (preko 280 MPa).

Prema drugoj kategorizaciji kamena (Bilbija), u kategoriju umjerene čvrstoće (50-100 MPa) spadaju porozni vapnenac Rakitno. U kategoriju srednje visoke čvrstoće (100-150 MPa) spadaju umjereno porozni vapnenci iz kamenoloma: Otok, Drinovci (prosjeak 4 ispitivanja - 107,8 MPa), Strujići, Ljubinje (110,0 MPa), Paljevine-Vlake, Posušje (prosjeak 2 ispitivanja - 110,2 MPa), Vođeni, Ljubinje (116,0 MPa), Vinjani, Posušje (117,0 MPa), KO Prisoje, Tomislavgrad (121,0 MPa), Ričina-Dočić, Posušje (prosjeak 3 ispitivanja - 125,2 MPa), Radovanj I i Radovanj II, Posušje (130,0 MPa), Polugrno, Široki Brijeg (137,7 MPa), Paljevine-Vlake, Posušje (prosjeak 2 ispitivanja - 143,3 MPa), Podveležje, Mostar (144,0 MPa), Grabovica, Mostar, i Gornji Vinjani. Posušje (147,0 MPa) i Cebara, Tomislavgrad (149,9 MPa). U kategoriju visoke čvrstoće (150-250 MPa) spadaju kompaktni vapnenci: Kamešnica, Livno (156,6 MPa), Mokri Do, Miljkovići (prosjeak 5 ispitivanja - 157,6 MPa), „Livno-putovi“ (158,2 MPa), Blizanci, Čitluk (159,0 MPa), Blizanci-sjeverni dio (prosjeak 3 ispitivanja - 161,0 MPa), Orahov Do, Ravno (162,0 MPa), Cerov Dolac, Grude (164,3 MPa), Sirge-Raška Gora, Mostar (170,3 MPa), Blizanci-sjeverni dio (prosjeak 3 ispitivanja - 179,0 MPa), Vlake-Cerno, Čitluk (192,0 MPa) i Gradina, Mostar (210,0 MPa). U ovu kategoriju spadaju navedeni dolomiti: kalcitični dolomit iz Grabovice sa 213,0 MPa i kasnodijagenetski dolomit iz Kupresa sa 230,0 MPa.

Osim navedenih tlačnih čvrstoća u suhom stanju, na skoro svim je ispitana i tlačna čvrstoća vodom zasićenih uzoraka. Svi ispitani uzorci su imali preko 80% vrijednosti čvrstoće u suhom stanju, a velika većina i preko 90%. Iznimka je bio dolomitični vapnenac Ričina-Dočić (74,0%). Na žalost, određeni fond ispitivanja je imao veće rezultate u odnosu na čvrstoće u suhom stanju, pa ih kao takve ne možemo tumačiti.

Na oko 60% kamena je ispitana i čvrstoća nakon ciklusa smrzavanja/odmrzavanja, pri čemu je gubitak čvrstoće bio ispod 20%, osim u nekim slučajevima vapnenaca: Radovanj I (71,8%), Grabovica (72,8%), Strujići (75,5%) i Vlake-Cerno (79,7%), te kalcitičnog dolomita Grabovica (71,8%). Međutim, imamo i nekoliko rezultata ispitivanja blizu granice od 80%: Kamešnica (80,5%), Mokri Do (80,6%), Gornji Vinjani i Otok (82,3%), te Crveni Grm (83,3%). Možemo zaključiti da je otpornost na mraz tehničko-građevnog kamena lošija u odnosu na ispitani arhitektonsko-građevni kamen.

3.2. Otpornost kamena na habanje

Prema Bilbiji za vapnence otpornost na habanje se kreće između 12 i 22 cm³/50 cm², a kod dolomita između 11 i 18 cm³/50 cm².

Većina ispitanih uzoraka TKG spada u kategoriju tvrdog kamena (10-20 cm³/50 cm²): Strujići (11,1), Blizanci-sjeverni dio kamenoloma i Vlake-Cerno (12,0), Polugrno (12,1), „Livno putovi“ (12,3), Podveležje (12,9), Blizanci-južni dio kamenoloma i Grabovica (14,0), Paljevine-Vlake (15,1), Crveni Grm (15,5), KO Prisoje (16,0), Cerov Dolac (16,7, ali 20,8), Orahov Do (17,0), Blizanci (18,6), Mokri Do (18,7 i 19,4) i Cebara (19,1). Tu spadaju i dolomiti Grabovica (17,2) i Podbor (17,3). U kategoriju umjereno tvrdog kamena (20-30 cm³/50 cm²) spada trećina ispitanih uzoraka kamena, pri čemu neki imaju vrijednosti dosta bliske 20 cm³/50 cm²: Paljevine-Vlake (20,3), Otok (20,4), Ričina-Dočić (20,5), Radovanj II (20,6), Gornji Vinjani (21,2) te Vinjani i Grguljača (22,0), dok najveće vrijednosti imaju Radovanj I (28,4) i Kamešnica (28,8).



3.3. Upijanje

Što se tiče **upijanja** vode, svako upijanje veće od 0,5% mase zahtjeva pozornu procjenu upotrebljivosti kamena, posebno kada se njime oblažu podne površine u eksterijeru. Mogućnost uporabe određene vrste kamena obzirom na upijanja vode, vezano za otpornost kamena na mraz, treba razmatrati zajedno s njegovim drugim svojstvima, ponajprije poroznosti i šupljikavosti.

Prema Bilbiji vapnenci imaju upijanja od 0,1 do 20%, dolomiti od 0,3 do 2,5%, a gabro od 0,2 do 0,4%.

Vrlo malo upijanje prema Bilbiji (do 0,50%) ima i većina ispitanih uzoraka TGK, a neki vapnenci imaju izvanredno male vrijednosti: „Livno putovi“ - 0,10%, Blizanci, Orahov Do, i Gornji Vinjani su imali 0,12%, Grabovica, KO Prisoje i Strujići - 0,13%, Vlake-Cerno - 0,14%, Crveni Grm, Vinjani, Vođeni i Polugrno - 0,16%, Gradina - 0,17%, Rakitno i Ričina-Dočić - 0,20%, Radovanj I - 0,21%, Podveležje - 0,23%, dolomit iz Grabovice - 0,24%, itd. Malo upijanje (0,5-1%) imala su 2 kamena, a umjereno (1-2,5%) Kamešnica -1,59%.

3.4. Gustoća kamena

Gustoća kamena je iznosila najčešće od 2.675 do 2.724, odnosno 2.742 kg/m³, uz iznimke uzoraka kamena Gradina (2.780), te Kamešnice (2.845). Dolomiti su imali više vrijednosti: Grabovica (2.756), te kasnodijagenetski dolomit Grguljača (2.828).

3.5. Prostorna masa kamena

Prostorna masa je kretala u području od 2.645 do 2.731 kg/m³. Najviše vrijednosti je imao kasnodijagenetski dolomit Grguljača (2.787).

3.6. Poroznost kamena

Za potpuno definiranje poroznosti kamena i tumačenja pojava vezanih uz nju, kao što su termička i akustična svojstva, odnos prema vodi i otpornost prema mrazu, nužno je poznavanje veličine pora i njihove međusobne povezanosti.

U kompaktni kamen po Bilbiji (do 1%) spada oko dvije trećine ispitanih uzoraka, pri čemu neki imaju izvanredno niske vrijednosti: vapnenac „Bokočuša-Crveni Grm“ i jedan od uzoraka „gabra“ („Ploče“) - 0,03%, Lapišnica 0,11%, Opine 0,18%, itd. Nekoliko vrsta kamena spada u slabo porozan (1,0-2,5%). Međutim, imamo čak 3 kamena koji spadaju u ekstremno porozne (više od 20%): Ortješ (24,55%), „tenelija“ (25,5 %) i „miljevina“ (25,2 %).

3.7. Postojanost prema mrazu

Što se tiče postojanosti prema mrazu ispitivanjem gubitka čvrstoće većina ispitanih uzoraka TG kamena je postojana.



LITERATURA

1. Crnički, J., Papeš, J., Marijanović, P., Smoljan, N., Bilopavlović, V. (1997.): *Nemetalne mineralne sirovine Herceg-Bosne*, Rudarsko-geološki glasnik, br. 1, Mostar, 1997.
2. Knezović, Ž., Marić, M., Penava, B. (1999.): *Mineralne sirovine Županije Zapadnohercegovačke*, Rudarsko-geološki glasnik, br. 3, Mostar, 1999.
3. Pudelko, F., Bilopavlović, V., Karačić, S. (2000.): *O resursima kamena na području Hercegovine i Jugozapadne Bosne*, Rudarsko-geološki glasnik 4, Hrvatsko rudarsko-geološko društvo, Mostar, XI. 2000.
4. Šaravanja, K., Galić, A. (2001.): *Resursi i svojstva građevnog kamena Hercegovine za obnovu graditeljske baštine/Stone's resources and properties in Herzegovina region for the reconstruction of the architectural heritage*, Seminar on Restoration Principles in Počitelj, The Swedish Foundation for Cultural Heritage without Borders, Počitelj-Čapljina, IX. 2001.
5. Šaravanja, K., Bilopavlović, V. (2002.): *Prikaz rezultata ispitivanja kamena s područja Hercegovine*, Rudarsko-geološki glasnik br. 5-6, Mostar, 2002.
6. Langof, Z. (2002.): *Ispitivanje fizičkih i mehaničkih karakteristika kamena u BH*, Seminar «Tradicija upotrebe kamena u BH i nove tehnologije obrade», Mostar, 2002.
7. Šaravanja, K., Marijanović, P. (2004.): *Arhitektonsko-građevni i tehnički kamen na području Hercegovine*, European Conference on Raw Materials and Coal – New Perspectives, Sarajevo, 2004.
8. Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J., Šaravanja, V. (2012.): *Prikaz rezultata ispitivanja arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena*, Hrvatsko društvo kamenoklesara, geologa i rudara „Zvuk kamena“, Zbornik radova 2, Posušje, XII. 2012.