

## Prilog istraživanju mostarske miljevine s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

**Milica Rončević**

Zagreb-inspekt d.o.o. Mostar, mag. građ., roncevicmika@gmail.com

**Krešimir Šaravanja**

Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja HNŽ/K i FGAG SUM, doc. dr. sc., kresimir.saravanja@fgag.sum.ba

**Tomislav Marić**

„IGH“ d.o.o. Mostar i FGAG SUM, dipl. ing. građ., tomlav.maric@igh.ba

**Jelena Radić Kustura**

„IGH“ d.o.o. Mostar, dipl. ing. građ., jelena.radic\_kustura@igh.ba

**Sažetak:** U radu je prikazan slatkovodni vapnenac mostarska miljevina (miljevina), koji je u procesu dijageneze zadobio specifičnu orijentaciju i strukturu, što mu je dalo specifična fizikalna svojstva, koja nemaju geološki stariji, kompaktni (gusti) vapnenci. Prikazani su rezultati dosadašnjih ispitivanja miljevine iz ležišta Mukoša kod Mostara i iz nekoliko objekata u Mostaru. Miljevina je manje kristalna, manje gusta, pa time i manje izdržljiva na procese kemijskog propadanja i propadanja uzrokovanog kristalizacijom. Zbog visoke apsolutne poroznosti otvorenih pora miljevina ima visoko upijanje vlage, te naglašeno kapilarno upijanje vode, pa ju nije bilo poželjno ugrađivati na površine izravno izložene kvašenjem kišom i naletima vjetrova, već je zaštićivana fasadama, uz primjenu druge vrste kamena u dijelu objekta u dodiru sa tlom. U drugom dijelu rada prikazani su rezultati ispitivanjamiljevine u okviru diplomskog rada, posebno postojanosti na mraz, uz odgovarajuće zaključke i usporedbe sa ranijim rezultatima.

**Ključne riječi:** slatkovodni vapnenac, miljevina, Mukoša, postojanost na mraz

## A contribution to the research of Mostar miljevina with special reference to frost resistance

**Abstract:** The paper presents the freshwater limestone"Mostar miljevina (miljevina). In the diagenesis process, it acquired a specific orientation and structure, which gave it specific physical properties that geologically older, compact (dense) limestones do not have. The results of the previous tests of miljevina from the Mukoša deposit near Mostar and from several buildings in Mostar are presented. Miljevina is less crystalline, less dense, and thereby less resistant to the processes of chemical deterioration and deterioration caused by crystallization. Due to the high absolute porosity of the open pores, miljevina has high moisture absorption and pronounced capillary water absorption, so it was not desirable to install it on surfaces directly exposed to wetting by rain and gusts of wind, but it was protected by facades, with the use of another type of stone in the part of the building in contact with the ground. The second part of the paper presents the results of testing miljevina as part of the graduation thesis, especially frost resistance, with appropriate conclusions and comparisons with previous results.

**Keywords:** freshwater limestone, miljevina (stone), Mukoša (quarry), frost resistance

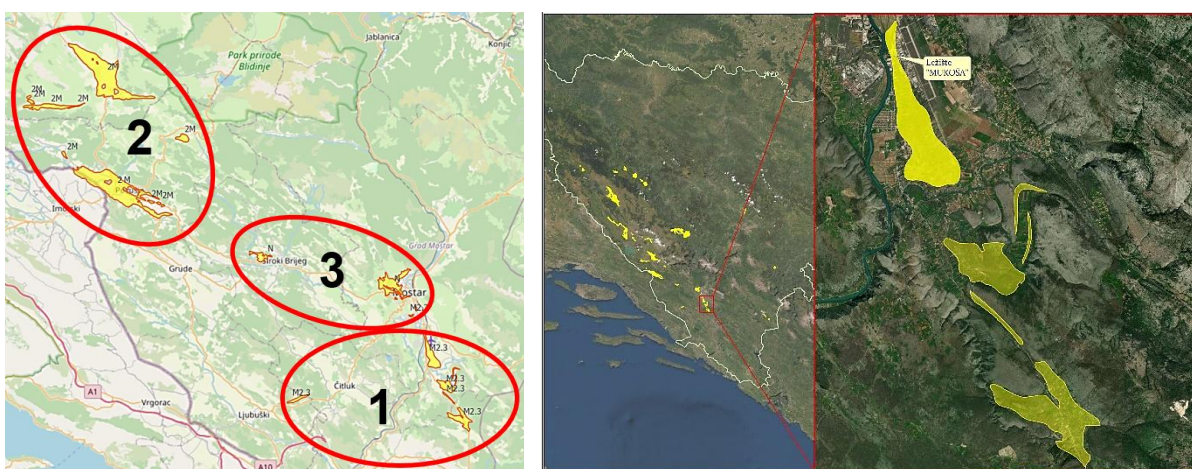
Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

## Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

### 1. UVODNE NAPOMENE O SLATKOVODNIM VAPNENCIMA IZ LEŽIŠTA MUKOŠA KOD MOSTARA

O slatkovodnim (jezerskim, sedrastim, lakustrijskim, bigrovitim) vapnencima autori ovog rada su objavili oko 30 znanstvenih i stručnih radova, urađena je doktorska disertacija, a upravo je objavljena i knjiga na ovu temu [1,2,3,4,5].

Uz poznate slatkovodne vapnence iz Bosne, „bihacit“ (kod Bihaća), „plivit“ (kod Jajca) i „bosanska mošćanica“ (kod Zenice), u okviru neogenskih naslaga na području Hercegovine utvrđene su tri litostratigrafske jedinice koje imaju zajedničku laporovito-glinovitu i vapnenačku komponentu, a razlikuju se po utvrđenim karakterističnim fosilima, sadržajem proslojaka ugljena i po zastupljenosti različitih vrsta vapnenaca. Prve dvije jedinice pripadaju miocenu ( $M_{2,3}$  i  $^2M$ ) dok treća nije detaljnije raščlanjena u okviru neogena (N).



Slike 1.- 2. Pojednostavljena karta dijela Hercegovine sa 3 litostratigrafske jedinice sa zajedničkom laporovito-glinovitom i vapnenačkom komponentom, lijevo; dio jedinice broj 1 sa ležištem Mukoša kod Mostara, desno [4,5].

Litostratigrafska jedinica broj 1 je kartirana na širem prostoru Mostara (Ortiješ, Buna, Hodovo i Rodoč), na Osnovnoj geološkoj karti (OGK) pod nazivom lapori i konglomerati s klivunelama ( $M_{2,3}$ ) naziv je dobila po pronađenim fosilnom slatkovodnom pužu *Clivunella katzeri*. Utvrđena su 2 podtipa fino uslojenog oolitičnog vapnenca različite krupnoće zrna, s lokalnim nazivima tenelija, krupnozrnati, oolitični vapnenac, i miljevina, sitnozrnati vapnenac. Iako su malo degradirani pukotinama i prslinama, prilično su kompaktni, čvrsti i žilavi, pa predstavljaju dobru sirovinu za proizvodnju AGK, tako da se od davnina upotrebljavaju u građevinarstvu.

Ovu miljevinu Šaravanja je prema [4,5] nazvao mostarska miljevina, a miljevinu iz okoline Posušja -posuška miljevina zbog njihovih bitno različitih mineraloško-petrografskih, kemijskih i fizikalno-mehaničkih svojstava potvrđenih ne samo rezultatima ispitivanja, već i različitim načinima njihove primjene. Ispitivanu muljiku s područja općine Tomislavgrad nazvao je tomislavgradskom muljikom, da bi se razlikovala od drugih varijeteta muljike s područja jugozapadne i središnje Bosne. Budući da je u ovom radu riječ samo o mostarskoj miljevini u daljnjem tekstu ovog rada korišten je naziv miljevina.

Prije više od pola stoljeća, Čičić, S. je kartirao ovaj teren i naslage nazvao vapnenački laporci (1960). Tufegdžić, V. i Hamović, J. s Građevinskog fakulteta u Sarajevu su 1960ih godina ispitivali fizikalno-mehanička svojstva ovog kamena i njegovu postojanost.

Vrijedni podaci o svojstvima kamena dobiveni su prilikom sanacije i konzervacije temelja i svoda Starog mosta (Mostogradnja, 1963), kada je tim stručnjaka na čelu s prof. Lukom

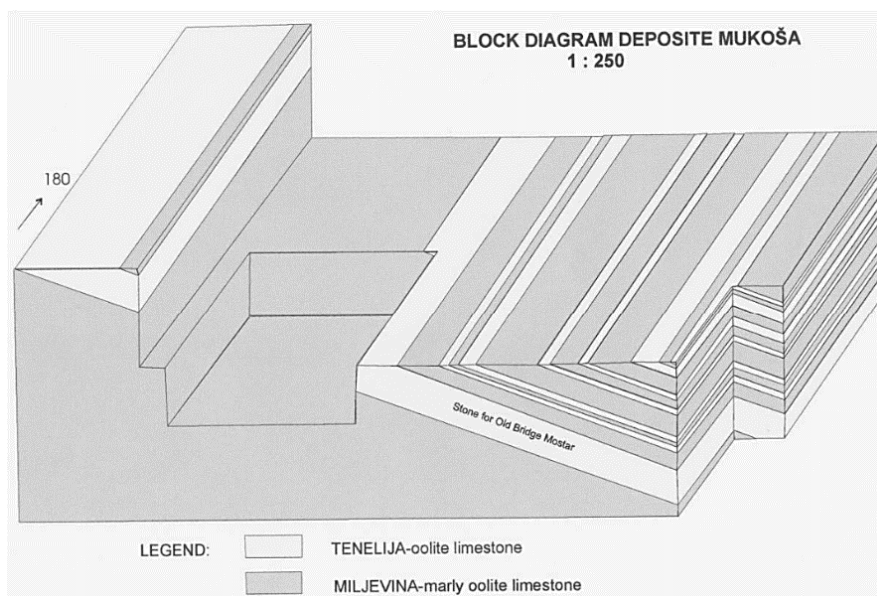
Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

### Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

Marićem s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu detaljno proučio navedene varijetete slatkovodnog vapnenca, razdvojio ih po strukturi, teksturi, mineraloško-petrografskom i kemijskom sastavu te dao geološko-petrografsku ocjenu kamena ugrađenog u Stari most, ali i ležišta Mukoša. U svom radu „O kamenu od kojeg je sadjelan Stari most u Mostaru“ (1972), prof. Marić je detaljno opisao oštećene blokove na mostu i mikroskopski ispitaio uzorke dva varijeteta vapnenca. Kamen je svrstan u skupinu tzv. bigrovitih vapnenaca, i to sitnozrnatog (oolitskog) aglomerata bijele boje i homogenog varijeteta slabožučkaste boje [6,7].

Prema OGK, list Metković (Raić i Papeš, 1971) stijena na lokalitetu ležišta je opisana kao vapnoviti lapor i lapor, a starost ovih naslaga je utvrđena pronalaskom slatkovodnog puža *Clivunella katzeri*. Prof. Crnković 1979. godine je utvrdio da se radi o (jednoj vrsti) vapnenca. Uočeno je nekoliko nepovoljnih svojstava ovih naslaga kao posljedica varijabilnih uvjeta sedimentacije- nagla promjena u veličini zrna granuliranog materijala, velika poroznost ili zone s većim ili manjim šupljinama i učestalo interkaliranje, tj. međusobno smjenjivanje proslojaka tenelije i miljevine koje je vrlo teško razdvojiti na terenu, na temelju različitih tlačnih čvrstoća i upijanja vode, uz vrlo veliku varijaciju ispitnih rezultata, posebno miljevine [8].

Potvrđena je bankovita struktura slatkovodnih vapnenaca, uz promjenu u okomitom i vodoravnom smislu. Smjenjuju se bankovi žutosive sitnozrne miljevine sa krupnozrnatom tenelijom. U izdvojenim slojevima mogu se naći proslojci miljevin“ u teneliji i obratno. Izdvojeni su prijelazni slojevi koji imaju karakteristike miljevine i djelomično tenelije.



Slika 3. Blok dijagram ležišta tenelije i miljevine u ležištu Mukoša kod Mostara [9]

Sa slike 3. je vidljivo da je miljevina znatno zastupljenija u ležištu (oko 95% ukupne mase) od cjenjenije i skuplje tenelije koja se javlja u okviru jednog složenog banka, sa sočivima miljevine debljine od 1-10 cm, a iznad banka leži miljevina sa još 5 tanjih slojeva tenelije značajnije izražene slojevitosti [10]. Dakle, tenelija sačinjava gornji sloj stijene koji prati konfiguraciju terena u naslagama debljine od 0,6 do 2,0 m uz jasno vidljiv oštar prijelaz prema vapnencu donjeg sloja - miljevini. Tijekom iskopa prvi put je nađena tenelija na dubini oko 6 m ispod naslaga miljevine koja je manje degradirana pukotinama i kvalitetnija od one na površini terena [8,11].

## 2. USPOREDBA REZULTATA ISPITIVANJA SLATKOVODNIH VAPNENACA

Na temelju analize raspoloživih rezultata ispitivanja tenelije, može se reći da su njena svojstva relativno dobro ispitana. Nažalost, ta ispitivanja su se odnosila samo na kamen izvađen iz ležišta Mukoša, a ne na kamen ugrađen u razne građevine, osim ispitivanja ostataka Starog mosta. Autori rada su objavili više radova na ovu temu, od kojih je posebno značajan znanstveni rad objavljen na 3. Međunarodnom simpoziju o kamenu „Hercegovina - zemlja kamena“ održanom u Mostaru 2018. godine [3].

Kada je riječ o miljevini raspoloživi broj rezultata je daleko manji u odnosu na teneliju, i to za ispitivanje kamena iz istog ležišta, a do izrade doktorske disertacije K. Šaravanja postojali su samo rezultati ispitivanja miljevine ugrađenu u objekt NAMA u Mostaru.

Analizom svih raspoloživih rezultata ispitivanja ustanovljena je njihova vrlo velika varijabilnost iz raznoraznih razloga kao proizvod niza neodređenosti koje prate kamen kao građevni materijal i rezultate ispitivanja:

- ispitivanja su posljednjih 60-tak godina vršili različiti laboratoriji i različiti ispitivači u njima (GFS-GTF, IGH-Mostar, kasnije IGH Mostar, IGH Zagreb, RGGF Tuzla, RGN Zagreb, Cerberus Tuzla, itd.);
- ispitivanja su vršena na uzorcima različitih oblika i dimenzija (kocke, valjci, prizme);
- ispitivanja su vršena okomito na slojeve, u pravcu slojeva, a u brojnim slučajevima nije vođeno računa o slojevitosti;
- ispitivanja su vršena po različitim normama, posebno ispitivanje postojanosti na mraz (različiti brojevi ciklusa smrzavanja i odmrzavanja na različitim temperaturama, kao i kristalizacijski testovi natrij i magnezij sulfatom);
- uzorkovanje uzoraka iz kamenoloma je bilo različito vezano za vrijeme proteklo nakon uzorkovanja (kamen tek izvađen ili odstajao neko vrijeme);
- uzorci su uzorkovani iz raznih mjesta i slojeva u ležištu Mukoša sa vizualno uočljivim varijacijama u građi, poroznosti ili boji, što je rezultiralo vrlo velikim varijacijama u čvrstoći, poroznosti i drugim svojstvima tenelije i miljevine.

Za uzorke svih slatkovodnih vapnenaca iz kamenoloma prema [4] korišten je termin „novi“ (kamen), a za uzorke iz objekata termin „stari“ (kamen), kako je to ranije korišteno kod tenelije. Isti termini su korišteni i u [27], a rezultati ovog istraživanja su predstavljeni u nastavku ovog rada.

U Tablici 1. dana je usporedba intervala prosječnih vrijednosti rezultata slatkovodnih vapnenaca s područja Hercegovine ugrađenih u objekte („starih“): mostarske miljevine, posuške miljevine i tomislavgradske muljike.

Tablica 1. Usporedba prosječnih vrijednosti rezultata ugrađenih slatkovodnih vapnenaca [4,5]

SVOJSTVO		tenelija (Stari most)	most. Miljevina		posuška miljevina			tomislavgradska muljika		
			NAMA	M2	Tomića Brig		Ričina	Kolo	Depo crkve	
					TB	TB-1/P1			T-1	T-3
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )		2,636-2,700 (2,700 <sup>2</sup> ;2,656 <sup>3</sup> )	-	2,675	2,681	2,641	2,684	2,676	2,676	2,676
Pr. masa (g/cm <sup>3</sup> )	suho stanje	1,920 <sup>2</sup> -2,018	1,834	1,827	2,070	1,926	2,082	2,329	2,340	2,229
	u VZ stanju	2,060 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Ukupna poroznost (%)		23,0-24,6	22,92	31,7	22,8	27,2	22,4	13,0	12,6	16,9	
Otvorena poroznost (%)		-	-	-	20,5	-	-	7,8	-	-	
Upijanje vode (%)	pod atm. tlakom	7,23	12,5	15,0	9,9	11,0	9,2	3,3	3,1	4,5	
	kuhanjem u vodi	-	-	-	-	12,3	10,6	-	3,5	5,7	
Koef. zasićenosti (KZ)		-	-	-	-	0,89	0,87	-	0,89	0,79	
Tlačna čvrstoća, $\perp$ (MPa)	suho stanje	K 50	20,5-45,0 (20,5 <sup>2</sup> , 42,3 <sup>3</sup> )	24,84	16,9	34,4	32,4	37,4	89,7	95,6	70,8
		$\emptyset$ 86	20,84-39,9	-	-	-	-	-	-	77,3	35,0
	VZ stanje	K 50	19,0 <sup>2</sup>	17,30	12,2	26,8	21,6	20,8	76,0	-	-
	nakon smrz.	K 50	-	-	16,3 (25 c.)	24,8 (14 c.)	-	-	55,2	-	-
Koef. razm. kvaš. (K <sub>R</sub> )		K 50	0,93	0,70	0,72	0,78	0,67	0,56	0,85	0,67	0,49
Koef. razm. smrz. (K <sub>RS</sub> )		K 50	-	-	0,97 (25 c.)	0,93 (14 c.)	-	-	0,62 (14 c.)	-	-
Sav. čvr. $\perp$ (MPa)	suho stanje	9,72-10,20 (10,00 <sup>2</sup> )	3,18	-	-	-	-	-	-	-	
	VZ stanje	8,34-8,42 (8,40 <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	-	-	
Koef. razm. kvašenjem (K <sub>R</sub> ) $\perp$		0,83-0,86	-	-	-	-	-	-	-	-	
Post. na mraz (gubi-tak mase %)	14 ciklusa	-	-	-	-	nepost.	-	postojan	-	-	
	25 ciklusa	-	-	postojan	-	nepost.	-	postojan	postojan	postojan	
	5 c. Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	-	nepost.	nepost.	nepost.	nepost.	nepost.	
statički modul el. (MPa)	suho stanje	16,539 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	
	VZ stanje	16,200 <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	
Koef. vodopropusnosti (cm/s) <sup>9</sup>		4,4-11,6x10 <sup>-4</sup> ( <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	-	-	
		11,6x10 <sup>-4</sup> ( <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	-	-	-	

**NAPOMENE:**U prefiksima prosječnih rezultata ispitivanja dan je broj ispitivanja, na pr. 20,5<sup>2</sup>

\* nije primijećeno ljuskanje, krunjenje i prskanje;

\*\* ljuskanje, krunjenje i prskanje primijećeno već u 12. ciklusu, do kraja se pojedini uzorci potpuno razorili;

\*\*\* gubitak mase nije prikazan jer je došlo do povećanja mase uzorka nakon završetka 5. ciklusa; ispiranje je vršeno tekućom vodom 24 sata, uz dodatno „kuhanje“ uzoraka na 60 °C i sušenje; nije bilo moguće isprati cijelu količinu natrij sulfata iz uzoraka;

\*\*\*\* gubitak mase na 2 od 3 uzorka nije mogao biti prikazan, a gubitak trećeg uzorka je bio 12,3%;

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

### Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

\*\*\*\*\* ispitano 5 uzoraka, od kojih su se 2 uzorka počela raspadati nakon 1 ciklusa, 2 uzorka nakon 2 ciklusa, a peti uzorak nakon 3 ciklusa; Prosječni gubitak mase nakon 5 ciklusa je 6,5%;

Vrijednost koeficijenta vodopropusnosti ispitivanog s hidrauličkim gradijentom 30, koji odgovara visini vodenog stupa od 3 m iznad ispitivanog uzorka, što približno odgovara uvjetima vodostaja rijeke Neretve kod Starog mosta (DIN 18130), kretala se u rasponu  $4,83-34,4 \times 10^{-04}$

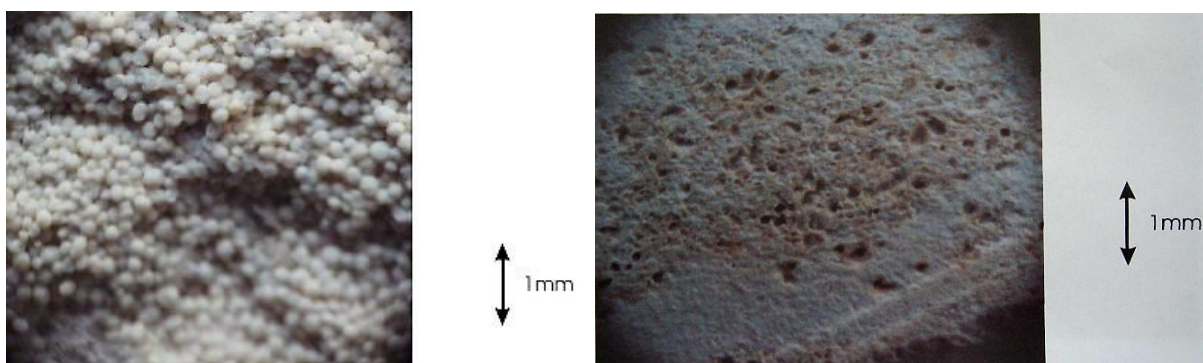
### 3. USPOREDBA TENELIJE I MILJEVINE

Koliko su tenelija i miljevina isprepleteni u ležištu Mukoša kod Mostara, možda je najbolje iskazao Hivzija Hasandedić, napisavši da su „sve mostarske džamije građene od kamena i to pretežno od miljevine zvane tenelija, koja je zvana i mukla miljevina [12].

Tenelija je krupnozrnati oolitični vapnenac homogene (masivne) teksture i visoke poroznosti, čija čvrstoća i trajnost ovise od veličine granulacije (grubo i fino granulirani ooidi) i prirodne poroznosti (gruba tenelija i fina tenelija) [14]. Lako se reže i obrađuje, u nju se može uklesati bilo koji motiv. Brzo prima vlagu, teško je odstranjuje, osjetljiva je na vatru, a boja joj varira od bjeličaste, sivkaste pa do žućkaste, ovisno od starosti, vlažnosti ili kad je tek izvađena iz kamenoloma.



Slike 4.-5. Fotografije rezanih uzorka miljevine (lijevo) i tenelije (desno) (foto: I. Hajdarević) [13]



Slike 6.-7. SEM snimke različite strukture tenelije (lijevo) i miljevine (Izvor: Institut LGA) [15,16,17]

Miljevina se od tenelije razlikuje teksturom i strukturom zbog čega je i utjecaj vanjskih čimbenika na ove varijetete različit. Za razliku od „tenelije“ koja ima koncentričnu oolitičnu strukturu, miljevina ima gustu, submikroskopsku sitnozrnatu strukturu u kojoj ima malo ili nimalo ooida, u kojoj nije izvršeno cementiranje i prekrizaliziranje kalcita (gusti vapnenac) [15].

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

## Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

Zbog toga dugo zadržava vlagu, a djelovanje temperaturnih promjena i leda uzrokuje površinsko osipanje i propadanje kamena [10,15].

Miljevina posjeduje slabija fizikalno-mehanička svojstva u odnosu na teneliju. Zrna imaju muljevit potporu („madston“) zbog čega dugo zadržava vlagu, a djelovanje temperaturnih promjena i leda uzrokuje površinsko osipanje i propadanje kamena [16,18]. Prema [6] miljevina se može, obzirom na veličinu zrna, svrstati u prašinstu, a moguće i glinovitu frakciju.

## 4. MILJEVINA UGRAĐENA U OBJEKTE („STARA“)

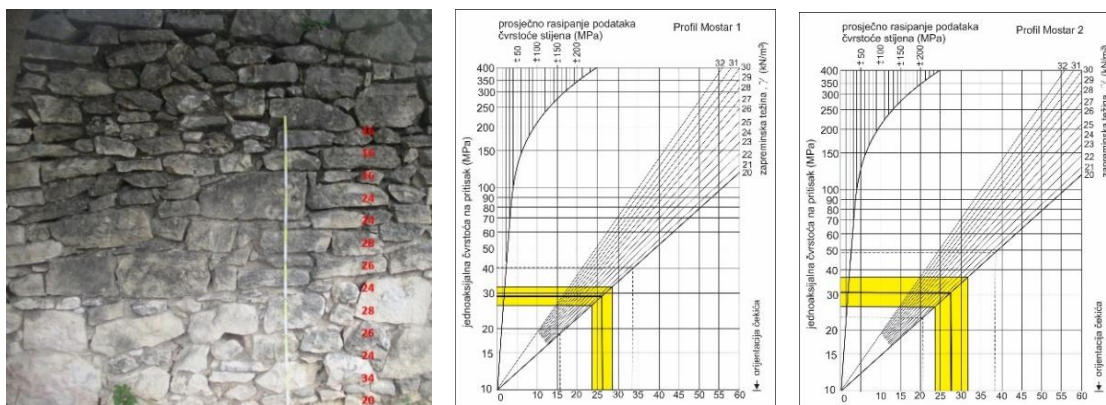
### 4.1. Pojednostavljen petrografski opis (makroskopska i mikroskopska determinacija)

Mineralno-petrografska i kemijska ispitivanja uzorka kamena su izvršena prema BAS EN normama: 932-2:2002, 932-3/A1:2011, te normama JUS B.B2.009, JUS B.B2.010 i JUS B.B8.042 u tvrtki Cerberus d.o.o. iz Tuzle 2020. godine.

Miljevina iz ležišta Mukoša je determinirana kao mikrokristalasti vapnenac mikrokristalaste (do kriptokristalaste) strukture (Cerberus, Tuzla), a dva uzorka iz napuštenih objekata u Mostaru kao kristalasti porozni vapnenac, kristalaste strukture (Cerberus, Tuzla), odnosno kao dismikrit, sitnozrnate strukture i slojevite strukture (IGH, Zagreb) [4,5].

### 4.2. „In situ“ ispitivanja

Na lokalitetu napuštenog stambenog objekta kod Doma zdravlja u Mostaru 2020. godine izvršena su nerazorna „in situ“ ispitivanja Schmidt-ovim čekićem (sklerometrom) radi dobivanja tlačnih čvrstoća. Iz dijagrama su dobivene tlačne čvrstoće otvrdnulog površinskog dijela spomenika od oko 35 MPa (Profil Mostar1), odnosno oko 38 MPa (Profil Mostar2).



Slike 8.-10. Ispitivanje tlačne čvrstoće sklerometrom napuštenog stambenog objekta kod Doma zdravlja u Mostaru (Profil Mostar1 i Profil Mostar2) (obrađa: K. Šaravanja) [4,5]

Na uzetom uzorku kamena (M1) izvršeno je snimanje ručnim mikroskopom i makroskopska i mikroskopska determinacija.

### 4.3. Kemijska ispitivanja kamena i patine na kamenu

Kemijskim analizama kamena i patine za uzorak M1 provedenim u tvrtki Cerberus iz Tuzle 2020. godine potvrđeno je da se radi o gotovo čistom kalcitu, odnosno vapnencu s oko 94% CaCO<sub>3</sub> (tablica 2).

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Tablica 2. Rezultati kemijskih analiza kamena i patine na kamenu miljevina (stara) - uzorak M1 [4,5]

Komponenta	Kemijska analiza	
	kamena (%)	patine (%)
Gubitak žarenjem	45,24	45,16
SiO <sub>2</sub>	0,96	0,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	0,03
CaO	52,57	53,21
MgO	0,66	0,71
SO <sub>3</sub>	0,002	0,002
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>93,82</b>	<b>94,96</b>
MgCO <sub>3</sub>	1,33	11,43

*Napomena: Stehiometrijom dobiveni udjeli CaCO<sub>3</sub> i MgCO<sub>3</sub> u tablici*

#### 4.4. Fizikalno-mehanička ispitivanja

U okviru fizikalno-mehaničkih ispitivanja miljevine (stare) izvršena su ispitivanja uzorka kamena iz objekta NAMA u Mostaru, kao i ispitivanja uzorka iz napuštenog objekta kod Katedrale u Mostaru (M2) IGH Mostar.

Tablica 3. Rezultati ispitivanja uzorka miljevine (stare) iz objekta NAMA i uzorka oznake M2 [19,4,5]

Svojstvo i jedinica mjere		Zgrada „NAMA“	Uzorak M2
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )		-	<b>2,675</b>
Prostorna masa (g/cm <sup>3</sup> )		<b>1,834</b>	<b>1,827</b> (1,800-1,869)
Ukupna poroznost (%)		<b>22,92</b>	<b>31,7</b>
Upijanje vode (%)	pod atm. tlakom	<b>12,5</b>	<b>15,0</b> (13,8-16,0)
	kuhanjem u vodi	-	-
Tlačna čvrstoća (MPa)	u suhom stanju	<b>24,84</b>	<b>16,9</b> (14,5-18,7)
	u VZ stanju	<b>17,30</b>	<b>12,2</b> (10,6-15,3)
	nakon 25 ciklusa s.	-	<b>16,3</b> (13,8-18,3)
Koef. razmekšanja kvašenjem		<b>0,70</b>	<b>0,722</b>
Koef. razmekšanja smrzavanjem		-	<b>0,965</b>
Postojanost na mraz nakon 25 ciklusa		-	<b>gub. mase &lt; 0,1%, (postojan)*</b>

\* nije primijećeno ljuškanje, krunjenje i prskanje

Na slikama 11. i 12. prikazana je presa za ispitivanje tlačne čvrstoće s adapterom za centriranje manjih uzoraka (lijevo) sa detaljem slomljenog uzorka miljevine poslije ispitivanja.



Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

## Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz



Slike 11.- 12. Presa za ispitivanje tlačne čvrstoće sa adapterom

### 5. MILJEVINA (NOVA) IZ LEŽIŠTA MUKOŠA KOD MOSTARA

Na lokalitetu kamenoloma obavljen je vizualni pregled, uz korištenje ručnog mikroskopa, kao i „in situ“ nerazorna ispitivanja kamena primjenom nerazorne kontrole (NDT) - Schmidt-ovog čekića (sklerometra).



Slike 13.-15. Ispitivanja (mostarske) miljevine (nove) iz ležišta Mukoša kod Mostara ručnim mikroskopom i Schmidt-ovim čekićem, uz vizualni pregled (foto: K. Šaravanja) [4,5]

#### 5.1. Petrografski opis (makroskopska i mikroskopska determinacija)

Mineralno-petrografska i kemijska ispitivanja uzorka kamena su izvršena prema ranije navedenim normama u tvrtki Cerberus iz Tuzle 2016. godine. Tekstura ispitanog uzorka je masivna, a struktura mikrokristalasta (do kriptokristalasta). Kalcit je glavni mineral (preko 98%) tako da je stijena skoro monomineralna. U osnovi stijene naziru se sitnija zrna kalcita (do 0,2 mm) dok je ostali dio mikrokristalaste građe. Zbog minornog udjela glinovito-karbonatne komponente osnova stijene je mjestimično замуćena. Terigena i metalna mineralizacija nije konstatirana. Fosilni ostaci nisu konstatirani. Stijena: Sedimentna, karbonatna, vezana stijena: vapnenac, mikrokristalasti.

#### 5.2. Kemijska analiza

Kemijska analiza izvršena je u tvrtki Cerberus iz Tuzle, odnosno u Mineral laboratories Canada, Laboratory Krakow u Poljskoj 2016. godine.

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Method	WGHT	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	XF700	TC000	TC000
Analyte	Wgt	LOI	Al2O3	Ba	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SO3	SiO2	Sr	TiO2	SUM	TOT/C	TOT/S
Unit	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MDL	0.01	-5.11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	0.01	0.01	0.02	0.02
	0.02	44.30	0.10	<0.01	54.50	<0.01	0.06	0.02	0.86	<0.01	<0.01	0.004	0.165	0.36	0.027	<0.01	100.38	13.27	0.07

Napomena: Stehiometrijom dobiveni udjeli CaCO<sub>3</sub> i MgCO<sub>3</sub> su 97,26%, odnosno 1,74%.

Slika 16. Rezultati kemijske analize miljevine (nove) [20]

**5.3. Fizikalno-mehanička ispitivanja**

Tijekom istraživanja ležišta 1998. godine uzeti su i uzorci za ispitivanje miljevine (nove), koje je napravljeno u IGH-MOSTAR. Jedan uzorak je formiran je iz stjenske mase iz raskopa R-1, a 2 uzorka iz različitih dijelova ležišta, tako da se rezultati odnose na cijelo ležište [19]. U tablici 4. su prikazani rezultati ispitivanja urađenih u IGH Mostar 2016. godine iz dva susjedna ležišta na lokalitetu Mukoša, iz istražnih bušotina B-1, B-2, B-3 i B-4 i raskopa (PEE) (oznaka Revigrad1), kao i ispitivanje prirodnog kamena iz istražnih bušotina B-1, B-2 i B-3 (oznaka Revigrad2). Dobiveni rezultati ispitivanja gustoće odstupaju od ostalih rezultata i odgovaraju više dobivenim rezultatima ispitivanja tenelije (nove). Iz tablice 4. je vidljiva različitost rezultata dobivenih na Građevinskom fakultetu Sarajevo 2017. godine prikazanih u zadnjem stupcu tablice.

Tablica 4. Usporedba rezultata dosadašnjih ispitivanja miljevine (nove) iz ležišta Mukoša [4,5,17,21,22,23]

SVOJSTVO		1998		2002		2016 (IGH Mostar)		2017 (BAS EN)			
		IGH-MOSTAR		Revigrad 1		Revigrad 2		GF UNSA			
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )		2,507 (2,461-2,551)		2,402		2,672 (2,669-2,674) <sup>3</sup>		2,672 (2,665-2,680)*		-	
Pr. masa (g/cm <sup>3</sup> )	suho stanje	1,836 (1,786-1,962)		1,836		1,825 (1,822-1,829)		1,805 (1,754-1,848)		1,759 (1,638-1,879)	
	VZ stanje	-		-		-		-		2,017 (1,924-2,096)	
Ukupna poroznost (%)		26,80		23,6		31,7 (31,6-31,8)		32,5 (31,0-32,4)		-	
Otvorena poroznost (%)		-		-		-		27,0 (25,6-28,4)		26,5 (20,1-28,2)	
Upijanje vode (%)	pod atm. tl.	16,24 (16,06-16,41)		14,1		14,9 (14,5-15,6)		14,9 (13,8-16,2)		15,2 (11,0-17,1)	
	kuhanjem	16,29 (12,71-17,71)		16,3		-		-		-	
Koef. zasićenosti (K <sub>Z</sub> )		0,99		0,87 <sup>4</sup>		-		-		-	
Tlačna čvrstoća, $\perp$ (MPa)	suho stanje	K 50	23,26 (15,02-33,22)		23,0 (29,8-24,7)		18,5 (18,1-19,1)		18,3 (16,6-20,9)		15,1 (12,8-16,8)
		Ø 86	-		-		-		21,2 (17,1-28,6)		-
	VZ stanje	K 50	13,84 (11,34-18,72)		17,0 (14,0-20,7)		16,2 (15,9-16,9)		14,7 (11,0-17,9)		8,3 (7,3-9,5)
		Ø 86	-		-		-		13,4 (9,2-21,6)		-
	nakon 14 cik.	K 50	-		-		14,6 (14,2-15,3)		13,0 (9,5-18,4)		-
		Ø 86	-		-		-		12,9 (8,6-16,9)		-

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Koef. razmekš. kvašenjem ( $K_R$ )	K 50 Ø 86	0,60	0,74	0,88	0,80	0,55
Koef. razmekš. smr. 14 cikl. $K_{RS}$	K 50 Ø 86	-	-	0,79	0,71	-
Tl. čvrst.,    (MPa)	suho stanje	-	-	-	-	4,8 (11,0-20,6)
	VZ stanje	-	-	-	-	8,0 (7,1-9,2)
Koef. razm. kvaš. $K_R$		-	-	-	-	0,54
Sav. čvr., ⊥ (MPa)	suho stanje	-	-	4,10 (4,0-4,2)	4,10 (3,54-4,85)	2,93 (2,41-3,43)
	VZ stanje	-	-	2,85	2,85 (2,69-3,24)	2,24 (1,92-2,83)
	25 cikl. smr.	-	-	2,17	2,17 (1,56-2,63)	-
Koef. razm. kvaš. $K_R$	⊥	-	-	-	0,70	0,76
Koef. razm. smr. $K_{RS}$		-	-	-	0,76	-
Sav. čvr.,    (MPa)	suho stanje	-	-	-	-	2,96 (2,62-3,22)
	VZ stanje	-	-	-	-	2,39 (1,98-2,58)
Koef. razm. kvaš. $K_R$		-	-	-	-	0,81
Brazil. m, ⊥ (MPa)	suho stanje	-	-	-	-	2,23 (1,60-2,79)
	VZ stanje	-	-	-	-	1,21 (0,81-1,59)
Koef. razm. kvaš. $K_R$	⊥	-	-	-	-	0,54
Brazil. M,    (MPa)	suho stanje	-	-	-	-	1,94 (1,29-2,32)
	VZ stanje	-	-	-	-	1,19 (1,02-1,47)
Koef. razm. kvaš. $K_R$		-	-	-	-	0,61
Postoj. na mraz	14 cikl. smr.	-	-	**	***	-
	25 cikl. smr.	nepost.	nepost.	-	-	-
	5 cikl. Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	-	-
Otp. na hab. (cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> )		-	-	65,6 (64,0-66,8)	65,6 (62,5-68,2)	-
Koeficijent vodopropusnosti		očekuju se manje vrijednosti u odnosu na izmjerene vrijednosti za <i>teneliju</i> , s obzirom na tendenciju zadržavanja vode unutar njene sitnozrnate strukture				

**NAPOMENE:**

\* rezultati gustoće više odgovaraju gustoći „tenelije“;

\*\* vizualno nema vidljivih oštećenja;

\*\*\* uzorci nisu pokazali promjene u smislu ljuskanja, krunjenja i prskanja. Čvrsta struktura uzoraka je ostala nepromijenjena, nema promjene prividnog volumena ispitnih uzoraka

U tablici 5. dan je pregled koeficijenata razmekšanja miljevine.

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Tablica 5. Pregled koeficijentata razmekšanja ( $K_R$ ) miljevine (nove)[4,5,17,21,23]

Lab.	Tlačna čvrstoća (MPa)			Koef. razmekšanja	
	suho stanje	VZ stanje	nakon smrz.	3/2 (kvašenje)	4/3 (smrz.)
1	2	3	4	5	6
IGH-Mostar (1998)	23,26	17,02	-	0,59	-
IGH-Mostar (2002)	23,9	17,0	-	0,74	-
IGH (Revigrad1)(2016)	18,5	16,2	14,6	0,88	0,79
IGH (Revigrad2)(2016)	18,3	14,7	13,0	0,80	0,71
GFUNSA (2017)	15,1	8,3	-	0,55	-

Ovdje se daje kratki osvrt na neke od dobivenih rezultata ispitivanja iz tablice 4:

- Ispitivanje otpornosti na habanje:

Tenelija i miljevina spadaju u izrazito mekan kamen, pri čemu je rezultat otpornosti na habanje prema Böhme-u kod „miljevine“ iznosio čak 65,6 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, što u ugrađenoj konstrukciji znači sklonost mehaničkom trošenju, zaobljavanju oštih bridova i sl. Na fasadne obloge habajuće mogu djelovati jaki vjetrovi koji nanose pijesak i prašinu;

- Ispitivanje postojanosti na mraz:

- nakon 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja po normi JUS B.B8.001:
- u IGH-MOSTAR (2002) nakon samo 3 od planiranih 25 ciklusa provedenih na 5 uzoraka miljevine, ispitivanje je prekinuto zbog pojave pukotina i loma uzoraka, uz zaključak da je miljevina nepostojana na djelovanje mraza);

Veliko upijanje vode ima izravan utjecaj na smanjenje tlačne čvrstoće u uvjetima kvašenja i na otpornost prema mrazu. Smanjenje tlačne čvrstoće uslijed prisutnosti vlage u kamenu izraženo je koeficijentom razmekšanja  $K_R$ , koji je kod miljevine bio u intervalu od 0,55-0,74, uz razliku u odnosu na ispitivanja 2 niza uzoraka „miljevine“ za tvrtku Revigrad, kada je iznosio od 0,80-0,88 (2016), kao rezultat dobivenih visokih vrijednosti gustoće, koje bolje odgovaraju teneliji nego miljevini. Uz nizak  $K_R$  pokazatelj neprikladnosti primjene miljevine u uvjetima izloženosti kvašenju je i visok koeficijent zasićenja  $K_Z$ , tj. relativno mala razlika u upijanju vode u postupku zasićivanja kuhanjem u vodi u odnosu na postupak pod atmosferskim tlakom. Prilikom ispitivanja postojanosti prema mrazu, uzorci miljevine su prethodno zasićeni vodom postupkom kuhanja u vodi, kojim se postiže za 13% veća ispunjenost pora vodom u odnosu na postupak zasićivanja vodom pod atmosferskim tlakom (kod tenelije je ova razlika zasićenosti 33%). U njenoj sitnozrnatoj strukturi voda se dulje zadržava čime se stvaraju uvjeti za formiranje ledenih leća i samim time manje je postojana na mraz. Visok  $K_Z$  veći od 0,80 upućuje na veliku higroskopsnost i najvjerojatnije vrlo laku ingresiju vlage iz okoliša [24] što znači da miljevina jako osjetljiva na oštećenja od mraza, odnosno da nije postojana na mraz. U starim zgradama koje imaju zidove od miljevine oduvijek se javljao problem povećane vlage, pa su zaštićivane fasadama, uz primjenu druge vrste kamena u donjem dijelu objekta koji je u dodiru sa tlom (za temelje i podrum), što je dio tradicije gradnje, čiji je razlog veliko upijanje miljevine.

U uvjetima suvremene primjene miljevine za fasadna oblaganja, gore navedeni odnosi prema kvašenju i vlazi su izrazito nepovoljni, zbog čega se kamene obloge zaštićuju visokovodoodbojnim impregnirajućim sredstvom. Važno je ocijeniti i predvidjeti mehanizam kretanja vode u kamenu, u njegovoj unutrašnjosti i na površini, jer najveći broj procesa dezintegracije događa se u vrijeme zadržavanja vode i sušenja, a ne u razdoblju upijanja. Na povećanu količinu upijene vode mogu utjecati kiše nošene vjetrom, zatim udari vjetra i tlak zraka mogu pospješiti brzinu i dubinu prodiranja vode u kamen [24,25,26].

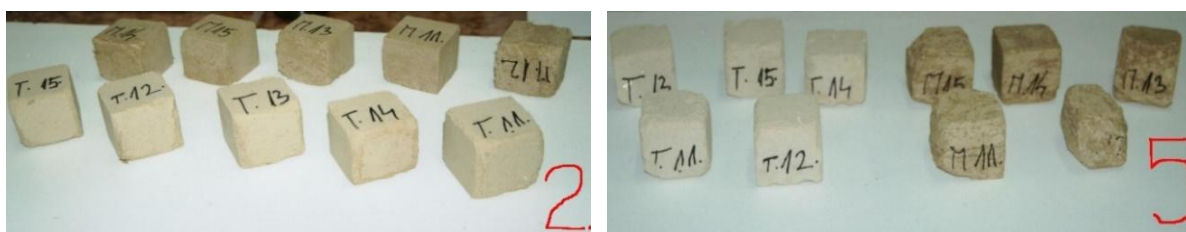
Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**



Slika 17. Slom uzoraka tenelije (nove) i miljevine (nove) i prekid ispitivanja nakon samo 3 od planiranih 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja u IGH-MOSTAR 2002. godine [26]

- kristalizacijskim testom po normi JUS B.B8.002 s 5 ciklusa u zasićenoj otopini natrij-sulfata: u IGH-MOSTAR (2002) od 5 uzoraka 4 uzorka su imali gubitke mase 5,8%, >5%, >10% i >20%, a 1 uzorak je nakon 3. ciklusa imao pojavu pukotine, odnosno gubitak od 100%. Kod svih uzoraka je zapaženo drobljenje pod prstima, uz pokazatelje gubitka mase i čvrstoće, pa je zaključeno da je „miljevina“ nepostojana u zasićenoj otopini natrij-sulfata.



Slike 18.-19. Uzorci tenelije i miljevine nakon 2. ciklusa (lijevo) i 5. ciklusa (desno) ispitivanja otopinom natrij-sulfata (IGH-MOSTAR, 2002) [26]

U tablici 7. prikazani su rezultati ispitivanja postojanosti na mraz u zasićenoj otopini natrij-sulfata miljevine (nove).

Tablica 7. Ispitivanje postojanosti na mraz u zasićenoj otopini natrij-sulfata miljevine (nove)

Uzorak	Ukupan gubitak mase (%)	Oštećenja	Smanjenje tl. čvrstoće (%)	Koef. otp. na mraz
M11	100	Pojava pukotine nakon 3. ciklusa	-	-
M12	> 20	Krunjenje i odvaljivanje manjih komada, drobljenje pod prstima	-	-
M13	> 10		-	-
M14	4,8		43,5	1,8
M15	> 5		-	-

- ispitivanja po BAS EN 12371 s 14 ciklusa smrzavanja na 15 ispitnih uzoraka (10 K 50 i 5 P 40x40x160 mm):

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

## **Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

- u IGH Mostar (2016), vizualnom ocjenom je ustanovljeno da uzorci nisu pokazali nikakve promjene u smislu ljuskanja, krunjenja i prskanja. Čvrsta struktura uzoraka je ostala nepromijenjena, bez promjene prividnog volumena ispitnih uzoraka, što upućuje na zaključak da je miljevina postojana na djelovanje mraza.

### **6. ISPITIVANJE UZORAKA MILJEVINE (NOVE), S POSEBNIM OSVRTOM NA NJENU POSTOJANOST NA MRAZ**

U okviru izrade diplomskog rada Milice Rončević, prvi korak je bio obilazak tvrtke Revigrad te ležišta Mukoša tijekom kojeg su pregledani različiti slojevi, posebno proslojci tenelije unutar slojeva miljevine. Uz analizu raspoložive literature i izvješća o ispitivanjima, obilazak kamenoloma je bio od važnosti za planiranje istraživanja u okviru ovog diplomskog rada (slika 20).

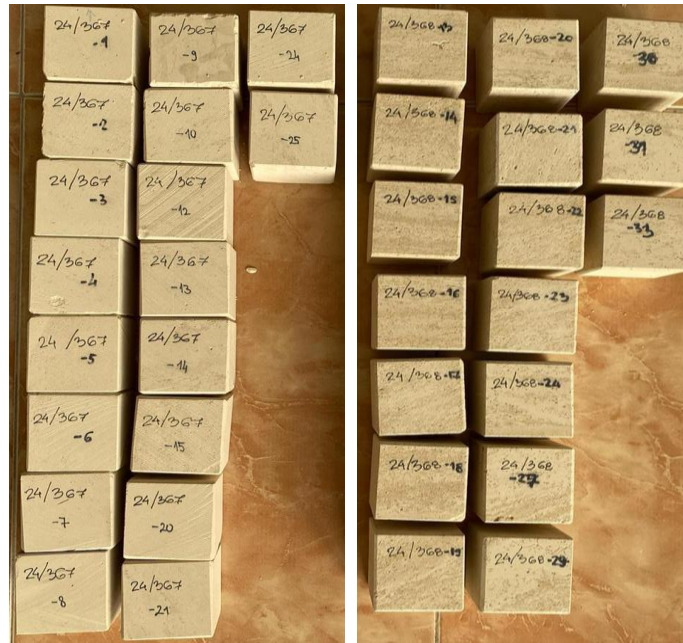


Slika 20. Obilazak ležišta Mukoša kod Mostara na početku izrade diplomskog rada [27]

Pri tome su prikupljeni uzorci miljevine za ispitivanje, i to šarene miljevine i bijele miljevine kao dva tipa miljevine različitih svojstava, koji kao takvi nisu bili prepoznati tijekom ranijih ispitivanja. Šarena miljevina se odlikuje raznobojnim uzorcima i nehomogenom teksturom, kao rezultat različitih mineralnih inkluzija i varijacija u sedimentacijskim procesima. Sastoji od više minerala i često ima šarenu ili raznovrsnu teksturu, pri čemu različiti minerali mogu rezultirati varijacijama u tlačnoj čvrstoći. Nasuprot tome, bijela miljevina je karakteristična po svojoj ujednačenoj, svijetloj boji i homogeno finoj strukturi, što je čini pogodnom za specifične estetske i funkcionalne primjene. Sadržava veću koncentraciju određenih minerala ili ima homogeniju strukturu u odnosu na šareniju varijantu, što doprinosi većoj prosječnoj tlačnoj čvrstoći, jer homogenija struktura je obično mehanički otpornija. Nakon identifikacije i klasifikacije, uzorci oba tipa miljevine su pažljivo ispilani na kocke brida 5 cm u klesarskom obrtu Maslina u Čitluku u cilju ispitivanja njegovih fizikalno-mehaničkih svojstava, koje je izvršeno u akreditiranom Centralnom laboratoriju IGH d.o.o Mostar. Zaprimljeni uzorci laboratorijskih oznaka 24/367 za bijelu miljevinu i 24/368 za šarenu miljevinu su vizualno pregledani, te su im zatupljeni rubovi kako bi se utvrdilo da su u odgovarajućem stanju za ispitivanje. Bilo je važno osigurati da uzorci nisu fizički oštećeni i da ne sadrže vidljive nečistoće.

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**



Slike 21.-22. Zatupljeni rubovi uzorcima bijele miljevine (lijevo) i šarene miljevine (desno) [27]



Slika 23. Mjerenje dimenzija ispitnih uzoraka u Centralnom laboratoriju IGH d.o.o. Mostar [27]

### 6.1. Pojednostavljen petrografski opis (makroskopska i mikroskopska determinacija)

Mineraloško-petrografska analiza bijele miljevine i šarene miljevine izvršena je na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu Univerziteta u Tuzli 2024. godine [28] kojom su dobiveni rezultati opisani u nastavku.

Makroskopska determinacija: Boja stijene je bež u suhom stanju, a djelovanjem vode se mijenja u smeđu. Lako se dezintegrira. Prijelomne površine su neravne i hrapave. Prijelomni rubovi su umjereno oštri. U stijeni nisu uočene pukotine. Na vanjštini stijene i na prijelomnim površinama uočene su nepravilni otvori - pore, promjera do 0,3 mm, prosječno 0,07-0,15 mm.

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Reakcija na razblaženu HCl kiselinu je burna i trenutna uz brzo upijanje kiseline u stijenu. Netopivi ostatak (nakon djelovanja HCl kiseline) je zanemariv. U stijeni nisu konstatirani fosilni ostaci, kao ni opaki minerali.

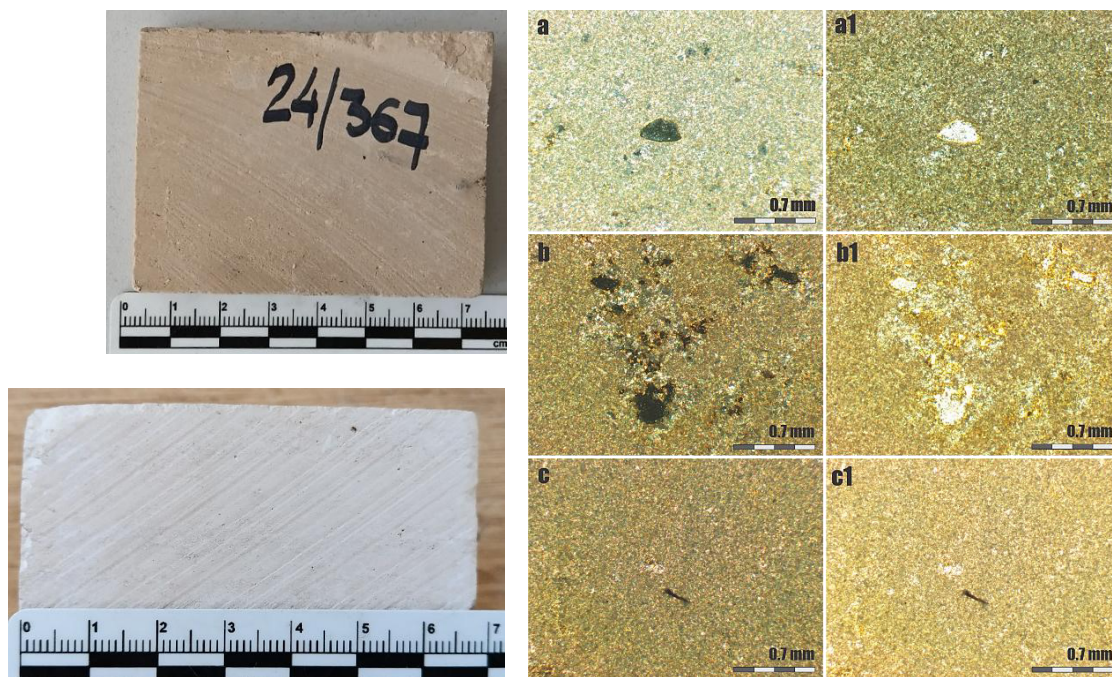
Mikroskopska determinacija: Osnova stijene je izgrađena od kriptokristalastog kalcita - mikrita (do 15  $\mu\text{m}$ ), primarnog sitnozrnastog sastojka karbonatnih taloga. Mikrit se doima kao gusta, muljevita masa. Ovakav promjer zrna uvjetuje jednoličnost u pogledu mineralnog sastava i strukturno-teksturnih karakteristika. U stijeni su detektirani porni prostori, dimenzija do 0,3 mm. Oko granica pornih prostora detektirana je pojava mikrosparita kao rezultat rekristalizacije mikrita u spari kalcit. Promjer spari kalcitnih zrna se kreće u rasponu 0,10-0,20 mm, prosječno 0,15 mm. Prema klasifikaciji Comptona (1962) stijena pripada vapnencima (96,81%  $\text{CaCO}_3$ ).



Slika 24. Klasifikacija stijena prema Comptonu

**Tekstura:** Masivna; **Struktura:** Kriptokristalasta (dominirajuća) do mikrokristalasta;

**Stijena:** Sedimentna, vezana, karbonatna: vapnenac, mikritni, umjereno porozan.



Slike 25.-27. Mineraloško-petrografska analiza uzorka bijele miljevine, oznake 24/367 [28]

Makroskopska determinacija: Boja stijene je bež u suhom stanju, a djelovanjem vode se mijenja u smeđu. Lako se dezintegrira. Prijelomne površine su neravne i hrapave. Prijelomni rubovi su umjereno oštri. U stijeni nisu uočene pukotine. Na vanjštini stijene i na prijelomnim



Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

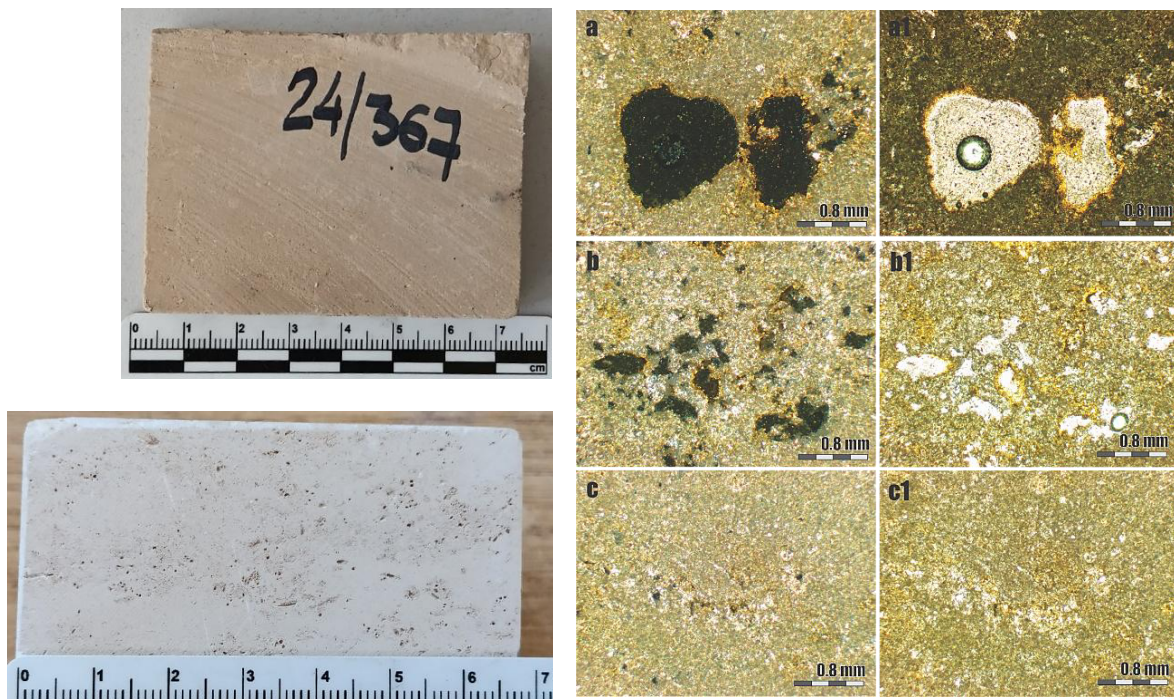
površinama uočene su nepravilni otvori – pore, promjera do 1,2 mm, prosječno 0,4-0,7 mm. Reakcija na razblaženu HCl kiselinu je burna i trenutna uz brzo upijanje kiseline u stijenu. Netopivi ostatak (nakon djelovanja HCl kiseline) je zanemariv. U stijeni nisu konstatirani fosilni ostaci, kao ni opaki minerali.

Mikroskopska determinacija: Glavni petrogeni mineral je kalcit koji se u stijeni pojavljuje kao mikrit (preko 95%). Mikrit predstavlja primarni gradivni segment stijene mehanički taložen kao karbonatni talog nakon duljeg ili kraćeg prijenosa vodom. Ovakav promjer zrna uvjetuje jednoličnost u pogledu mineralnog sastava i strukturno-teksturnih karakteristika. U stijeni su detektirani porni prostori, dimenzija do 1,2 mm, najčešće 0,4-0,7 mm. U osnovi stijene, ali i oko granica pornih prostora detektirana je pojava mikrosparita kao rezultat rekristalizacije mikrita u spari kalcit. Promjer spari kalcitnih zrna se kreće u rasponu 0,20-0,40 mm, prosječno 0,25 mm. Prema klasifikaciji Comptona (1962) stijena pripada vapnencima (93,82%  $\text{CaCO}_3$ ).

**Tekstura:** Masivna

**Struktura:** Kriptokristalasta (dominirajuća) do mikrokristalasta.

**Stijena:** Sedimentna, vezana, karbonatna: vapnenac, mikritni, porozan.



Slike 28.-30. Mineraloško-petrografska analiza uzorka šarene miljevine, oznake 24/368 [28]

Analizirani uzorci bijele miljevine i šarene miljevine, oznaka 24/367 i 24/368 pripadaju sedimentnim, vezanim karbonatnim stijenama vapnencima. S obzirom na strukturne odlike, definirani su kao mikriti (osnovu stijene čine mikriti u iznosu od preko 95%), a s obzirom na učestalost pora, okarakterisani su i kao porozni. U oba uzorka su detektirane pore, koje su gabaritnije i intenzivnije zastupljene u uzorku 24/368. Mikritni strukturni tip ukazuje na okoliš taloženja - plitki jezerski okoliš bez turbulentnih kretanja. U uzorcima nisu konstatirani fosilni ostaci, kao ni opaki minerali.

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

## 6.2. Kemijska analiza

Kemijska analiza bijele miljevine i šarene miljevine izvršena je na Rudarsko-geološko-građevinskom fakultetu Univerziteta u Tuzli 2024. godine, a rezultati su prikazani u tablici 8 i tablici 9 [28].

Tablica 8. Kemijski sastav bijele miljevine, oznake 24/367 [28]

Parametar	Metoda ispitivanja	Rezultat ispitivanja (%)
Gubitak žarenjem	JUS.B.B8.082	44,23
SiO <sub>2</sub> + nerast.	Spektrometrija i volumetrija	1,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Spektrometrija i volumetrija	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Spektrometrija i volumetrija	0,005
CaO	Spektrometrija i volumetrija	54,39
MgO	Spektrometrija i volumetrija	0,22
Na <sub>2</sub> O	Spektrometrija i volumetrija	0,44
K <sub>2</sub> O	Spektrometrija i volumetrija	0,017
MnO	Spektrometrija i volumetrija	0,005
SO <sub>3</sub>	JUS.B.B8.042	0,015
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )	JUS.B.B8.042	0,001
Sulfidi	JUS.B.B8.042	0,009

*Napomena: Stehiometrijom dobiveni udio CaCO<sub>3</sub> je 96,81%.*

Tablica 9. Kemijski sastav šarene miljevine, oznake 24/368 [28]

Parametar	Metoda ispitivanja	Rezultat ispitivanja (%)
Gubitak žarenjem	JUS.B.B8.082	44,32
SiO <sub>2</sub> + nerast.	Spektrometrija i volumetrija	2,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Spektrometrija i volumetrija	0,001
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Spektrometrija i volumetrija	0,001
CaO	Spektrometrija i volumetrija	52,71
MgO	Spektrometrija i volumetrija	0,17
Na <sub>2</sub> O	Spektrometrija i volumetrija	0,43
K <sub>2</sub> O	Spektrometrija i volumetrija	0,013
MnO	Spektrometrija i volumetrija	0,005
SO <sub>3</sub>	JUS.B.B8.042	0,016
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )	JUS.B.B8.042	0,001
Sulfidi	JUS.B.B8.042	0,010

*Napomena: Stehiometrijom dobiveni udio CaCO<sub>3</sub> je 93,82%.*

Kemijski sastav ukazuje na vapnence sa visokim postotkom CaCO<sub>3</sub> (93,82% - 96,81%) i niskim sadržajem štetnih komponenti.

## 6.3. Fizikalno-mehanička ispitivanja

Osušenim ispitnim uzorcima su nakon pažljivog pregledavanja precizno određene mase i dimenzije te su označeni odgovarajućim brojevima. Nadalje, u tablici 10. prikazana je usporedba rezultata ispitivanja uzoraka miljevine (nove) iz kamenoloma Mukoša.

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Tablica 10. Usporedba rezultata ispitivanja uzoraka miljevine (nove) iz kamenoloma Mukoša [27]

SVOJSTVO		1998.-2017. („IGH-MOSTAR“, „IGH“, GF UNSA)*	„Šarena miljevina“ („IGH“, 2024)	„Bijela miljevina“ („IGH“, 2024)
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )		(2,402)* / 2,507 - 2,672	-	-
Prost. masa (g/cm <sup>3</sup> )	suho stanje	(1,759)* / 1,805 - 1,836	<b>1,764</b> (1,655-1,907) 43 uzorka; koef. var. 3,8%	<b>1,919</b> (1,878-1,954) 31 uzorak; koef. var. 1,0%
	VZ stanje	(2,017)*	-	-
Ukupna poroznost (%)		23,6 - 32,5	-	-
Otvorena poroznost (%)		26,5* - 27,0	<b>27,8</b> (23,8-33,2) 43 uzorka; koef. var. 8,3%	<b>25,8</b> (24,2-27,7) 31 uzorak; koef. var. 3,6%
Upijanje vode (%)	pod atm. tlakom	14,10 - 16,24	<b>15,6</b> (13,1-18,3) 43 uzorka; koef. var. 9,3%	<b>13,4</b> (12,7-14,7) 31 uzorak; koef. var. 4,6%
	kuhanjem	16,3	-	-
Koef. zasićenosti (KZ)		-	-	-
Tlačna čvrstoća, K 50 ⊥ (MPa)	suho stanje	(15,1)* / 18,3 - 23,3	<b>12,7</b> (6,3-17,3); 21 uzorak; koef. var. 24,1% <b>12,8</b> (10,1-15,6); 14 uzoraka; koef. var. 12,4%	<b>21,9</b> (6,3-31,1) 21 uzorak; koef. var. 29,3% <b>23,0</b> (19,4-27,5) 15 uzoraka; koef. var. 11,7%
	VZ stanje	(8,3)* / 13,84 - 17,0	<b>8,6</b> (3,8-16,7); 21 uzorak; koef. var. 41,9% <b>7,7</b> (5,7-10,2); 12 uzoraka; koef. var. 22,9%	<b>13,5</b> (5,3-24,0) 21 uzorak; koef. var. 34,1% <b>14,3</b> (10,5-17,5) 15 uzoraka; koef. var. 12,8%
	nakon 25 cik.	-	<b>11,9</b> (7,6-18,8)(?); 17 uzoraka; koef. var. 25,5% <b>12,0</b> (9,6-14,4); 10 uzoraka; koef. var. 13,4%	<b>22,2</b> (14,9-31,5) 18 uzoraka; koef. var. 21,5% <b>21,7</b> (17,8-26,2) 9 uzoraka; koef. var. 13,2%
	nakon 14 c.	13,0 - 14,6	-	-
Koef. razmekš. kvašenjem (K <sub>R</sub> )		-	0,68 0,60	0,61 0,62
Koef. razmekš. smrzavanjem (K <sub>RS</sub> )	25 c.	-	0,93 0,94	1,01 0,99
	14 c.	-	-	-
Otpornost na mraz	14 cikl. smrz.	** ***	-	-
	25 cikl. smrz.	nepostojan	postojan****	postojan****
	5 cikl. Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	nepostojan*****	nepostojan*****
	10 cikl. MgSO <sub>4</sub>	-	nepostojan*****	nepostojan*****
Otp. na hab. (cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> )		65,6	-	-

Analizom dobivenih rezultata ispitivanih varijeteta šarene miljevine može se zaključiti da je dobivena srednja vrijednost prostorne mase od 1,764 g/cm<sup>3</sup>, što je dosta ispod donje granice intervala dobivenih rezultata ispitivanja miljevine u razdoblju 1998.-2016. godine (1,805-1,836 g/cm<sup>3</sup>), ali jako blizu rezultata dobivenog ispitivanjem 2017. godine na Građevinskom fakultet

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

### **Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

Univerziteta u Sarajevu (GF UNSA) od  $1,759 \text{ g/cm}^3$ , koji je godinama bio iznimka u odnosu na ostale rezultate. S druge strane, dobivena srednja vrijednost prostorne mase bijele miljevine od  $1,919 \text{ g/cm}^3$  značajno prevazilazi gornju granicu navedenog intervala ranijih rezultata „miljevine“ i na donjoj je granici ranije dobivenih rezultata ispitivanja tenelije ( $1,920\text{--}2,018 \text{ g/cm}^3$ ). Rezultati su dobiveni na velikom broju ispitanih uzoraka, uz malo rasipanje, posebno kod bijele miljevine. Po rezultatima ispitivanja prostorne mase, moglo bi se reći da „šarena miljevina“ spada u najlošije ispitane miljevine, a bijela miljevina u najbolje. Raniji interval dobivenih rezultata ispitivanja prostorne mase miljevine može se proširiti na  $1,759\text{--}1,919 \text{ g/cm}^3$ .

Ispitivanjem otvorene poroznosti šarene miljevine dobivena je srednja vrijednost od 27,5%, što je loš rezultat koji izlazi izvan intervala ranije dobivenih rezultata (26,5–27,0%), dok je dobivena srednja vrijednost otvorene poroznosti bijele miljevine 25,8%, što je bolja vrijednost u odnosu na navedeni interval ranijih rezultata. Rezultati su dobiveni na velikom broju ispitanih uzoraka, uz malo rasipanje, posebno kod bijele miljevine. Po rezultatima ispitivanja otvorene poroznosti, može se reći da šarena miljevina spada u najlošije ispitane miljevine, a bijela miljevina u najbolje miljevine. Raniji interval dobivenih rezultata ispitivanja otvorene poroznosti miljevine može se proširiti na 25,8–27,5%.

Ispitivanjem upijanja vode šarene miljevine dobivena je srednja vrijednost upijanja vode od 15,6%, sa minimalnom vrijednošću od 13,1% i maksimalnom vrijednošću od 18,3%. Koeficijent varijacije od 9,3% ukazuje na nešto veću varijabilnost rezultata. S druge strane, bijela miljevina pokazuje nižu srednju vrijednost upijanja vode od 13,4%, sa minimalnom vrijednošću od 12,4% i maksimalnom vrijednošću od 14,7%. Koeficijent varijacije od 4,6% sugerira manju varijabilnost i homogenu strukturu kamena. Ovi rezultati ukazuju da je bijela miljevina konzistentnija u pogledu upijanja vode u poređenju sa šarenom miljevinom. Raniji interval dobivenih rezultata upijanja miljevine (14,10–16,24%) može se proširiti na 12,7–18,3%.

Što se tiče analize srednjih rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće, isti su dobiveni na relativno velikom broju uzoraka, uz veliko rasipanje rezultata ispitivanja tlačnih čvrstoća, koje je svojstveno kamenu kao građevnom materijalu. To je i razumljivo jer je kamen materijal koji nastaje u prirodi u vrlo složenim i promjenjivim klimatskim, geološkim, ekološkim i drugim uvjetima, kroz duga vremena u milijunima godina. U praksi se za kamen kada se ispituje vlačna i tlačna čvrstoća uzima koeficijent varijacije u intervalu od 8–20%. Raznolikost rezultata je vidljiva iz veličine koeficijenta varijacije, kao omjera standardne devijacije i aritmetičke sredine rezultata ispitivanja. Stoga je kao granična vrijednost koeficijenta varijacije uzeta 20%, pa je u daljnjoj analizi rezultata ispitivanja odbacivan dio rezultata koji najviše odstupaju, uz izračunavanje nove srednje vrijednosti, standardnog odstupanja i koeficijenta varijacije.

Srednja vrijednost tlačne čvrstoće u suhom stanju na 21 uzorku bijele miljevine je iznosila 21,9 MPa, uz visok koeficijent varijabilnosti od 29,3%. Nakon odbacivanja rezultata koji značajno odstupaju (označeno crvenim u tablici 8), iz preostalih 14 rezultata dobivena je nova srednja vrijednost tlačne čvrstoće u suhom stanju od 23,0 MPa (koeficijent varijacije 11,7%), koja se nalazi na gornjoj granici intervala ranije dobivenih rezultata (18,3–23,3 MPa).

U slučaju šarene miljevine, nakon odbacivanja varijabilnih rezultata, dobivena je srednja vrijednost tlačne čvrstoće u suhom stanju od 12,8 MPa, koja je daleko ispod navedenog intervala rezultata, čak i ispod rezultata dobivenog ispitivanjem 2017. godine na GF UNSA od 15,1 MPa, koji je bio iznimka u odnosu na ostale rezultate i izostavljen iz tog intervala.

Dakle, interval dobivenih rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće u suhom stanju može se proširiti na 12,8–23,3 MPa, pri čemu je interval pojedinačnih rezultata još daleko širi, od samo 6,3 do čak 31,1 MPa.

Srednje vrijednosti tlačnih čvrstoća u vodozasićenom stanju su ispod intervala ranije dobivenih rezultata, i za „bijelu miljevinu“ (14,3 MPa), a posebno za šarenu miljevinu od 7,7 MPa, koja je nešto niža od rezultata dobivenog 2017. godine na GF UNSA od 8,3 MPa, koji je bio iznimka u odnosu na ostale rezultate, tj. od 13,84–17,0 MPa. Interval ranije dobivenih

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

### Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće u vodozasićenom stanju je proširen na (7,7)/13,84-17,0 MPa, uz još širi interval pojedinačnih rezultata, od samo 3,8 MPa do 24,0 MPa.

Za bijelu miljevinu, uz značajne varijacije rezultata, srednja vrijednost tlačne čvrstoće nakon 25 ciklusa ispitivanja mraza, je bila čak 21,7 MPa, što je nešto manje od čvrstoće u suhom stanju (23,0 MPa) i znatno veća nego u vodozasićenom stanju (14,3 MPa). Rezultati su dobiveni na velikom broju uzoraka, pri čemu su neki rezultati odbačeni zbog velikog rasipanja. Većina uzoraka je pokazala minimalne promjene mase i rijetka oštećenja poput ljuskanja, krunjenja i prskanja. Promjene mase su minimalne za većinu uzoraka, što ukazuje na relativno stabilno stanje materijala nakon izlaganja ispitivanju. Najveća promjena mase zabilježena je kod uzorka broj 22, s promjenom od 4,09%, dok su ostale promjene mase u rasponu od 0,08% do 0,49%.

Za šarenu miljevinu, uz značajne varijacije rezultata, srednja vrijednost tlačne čvrstoće nakon 25 ciklusa ispitivanja mraza, je bila 12,0 MPa, što je nešto manje od čvrstoće u suhom stanju (12,8 MPa) i znatno veća nego u vodozasićenom stanju (7,7 MPa). Rezultati su dobiveni na velikom broju uzoraka, pri čemu su neki rezultati odbačeni zbog velikog rasipanja.

Razlozi zašto je tlačna čvrstoća nakon ciklusa mraza veća od čvrstoća u suhom i vodozasićenom stanju mogu biti različiti, pri čemu isključujemo razloge koji se odnose na laboratorij, koji je akreditiran, presa umjerena, ispitivači uvježbani, a temperature osigurane. Mogući utjecaj na rezultate jest to da su uzorci koji su bili izloženi mrazu bili kompaktniji ili manje porozni u usporedbi s uzorcima koji su bili ispitani u suhom i vodozasićenom stanju.

#### 6.4. Ispitivanje postojanosti na mraz

Za oba varijeteta miljevin provedeno je ispitivanje postojanosti na mraz po tri metode, od čega dvije kristalizacijske, magnezijevim sulfatom (BAS EN 1367-2) i natrijevim sulfatom (norma JUS B.B8.002), te nakon 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja (norma JUS B.B8.001) (slike 31.- 32.).



Slike 31.- 32. Prikaz ispitanih uzoraka šarene miljevine, oznake 24/368, razorenih magnezijevim sulfatom (lijevo) i natrijevim sulfatom (desno) [27]

##### 6.4.1. Ispitivanje postojanosti na mraz šarene miljevine

Za ispitivanje postojanosti na mraz u otopini magnezijevog sulfata ( $MgSO_4$ ) korištena je norma BAS EN 1367-2: "Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 2: Magnesium sulfate test", koja se primarno koristi za procjenu otpornosti agregata na degradaciju izazvanu magnezijevim sulfatom ( $MgSO_4$ ). Nakon ispitivanja primijećene su sljedeće karakteristike degradacije šarene miljevine:

- Gubitak oblika: Većina uzoraka kamena izgubila je svoj prvobitni oblik kocke. Rubovi su vidno zaobljeni, a mnogi uzorci više ne izgledaju kao pravilne kocke. Ovo ukazuje na značajno trošenje materijala i eroziju rubova i površina uslijed ciklusa vlaženja i sušenja u rastvoru  $MgSO_4$ .

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

### Prilog istraživanju „mostarske miljevina“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

- Smanjenje dimenzija: Dimenzije uzoraka su vidno smanjene, što znači da je značajan dio materijala erodirao ili otpao tijekom ispitivanja. Komadi su manji nego što bi se očekivalo za kocke s bridom od 5 cm, što potvrđuje degradaciju.
- Pukotine i lomovi: Površina nekih uzoraka pokazuje pukotine i lomove, što je znak fizičkog oštećenja. Moguće je primijetiti sitne komadiće kamena koji su se odvojili od glavnih uzoraka, što dodatno ukazuje na njihovu krhkost nakon izlaganja otopini  $MgSO_4$ .
- Promjena teksture i boje: Tekstura kamena djeluje grublje i manje kompaktno nego prije ispitivanja, što može biti posljedica kristalizacije soli unutar pora kamena i njihovog širenja tijekom ciklusa. Može se primijetiti promjena boje kamena zbog kemijske reakcije između sulfata i mineralnog sastava kamena.

Dakle, uzorci šarene miljevina (24/368) su pokazali veliku degradaciju, što je evidentno iz znatno oštećenijih i deformisanih komada. Na temelju rezultata ispitivanja, može se zaključiti da se šarena miljevina značajno degradirala nakon izlaganja magnezijevom sulfatu. Gubitak oblika, smanjenje dimenzija, prisutnost pukotina i opće trošenje materijala jasno ukazuju na visoku osjetljivost ovog kamena na kemijsku i fizičku eroziju uzrokovanu ciklusima vlaženja i sušenja u rastvoru  $MgSO_4$ .

Za ispitivanje postojanosti na mraz u otopini natrijevog sulfata ( $NaSO_4$ ) korištena je norma JUS B.B8.002, a u istraživanjima u okviru ovog diplomskog rada primijenjena je na kamen bijela miljevina i šarena miljevina.

Nakon ispitivanja primijećene su sljedeće karakteristike degradacije šarene miljevine:

- Površinska degradacija: Na površini uzoraka vidljive su bijele naslage soli, što ukazuje na kristalizaciju natrijevog sulfata unutar pora kamena. Površina uzoraka je gruba i hrapava, što sugerira značajno oštećenje i eroziju materijala.
- Fizička oštećenja: Nekoliko uzoraka pokazuje ozbiljne pukotine i lomove. Dijelovi uzoraka su se odvojili, što ukazuje na visoki stupanj degradacije. Neki uzorci su se raspali na manje komade, što je znak da su unutarnje strukture kamena bile pod velikim stresom uslijed kristalizacije soli.
- Smanjenje dimenzija i oblika: Uzorci više nisu pravilnog kockastog oblika. Rubovi su znatno oštećeni, a dimenzije uzoraka su smanjene zbog erozije. Promjene oblika i volumena jasno pokazuju da je materijal izgubio značajan dio svoje mase.
- Prisutnost pukotina i delaminacije: Vidljive su pukotine i slojevi materijala koji su se delaminirali, što je tipično za kamen koji je podvrgnut cikličkom smrzavanju i odmrzavanju uz prisustvo soli. Ova delaminacija ukazuje na slabosti u strukturi kamena koje su eksacerbirane djelovanjem kristalizacije soli.

Na temelju vizualnog pregleda uzoraka, uzorci šarene miljevine, oznake 24/368, su pokazali visok stupanj degradacije, s ozbiljnijim oštećenjima, pukotinama i delaminacijom.

Ispitivanjem s 25 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja prema normi JUS B.B8.001 simuliran je utjecaj smrzavanja i odmrzavanja na kamen kako bi se procijenila njegova otpornost na cikličke temperaturne promjene koje mogu uzrokovati fizička oštećenja. Norma je posebno korisna za procjenu materijala koji će biti izloženi ekstremnim vremenskim uvjetima. Prije i nakon završetka svih ciklusa, uzorci su vagani kako bi se odredio gubitak mase, koji se izražava kao postotak početne mase uzorka. Uzorci su pregledani na prisutnost fizičkih oštećenja kao što su pukotine, lomovi ili druge vrste degradacije.



Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

### Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz

Slike 33.-35. Prikaz uzoraka šarene miljevine, oznake 24/368, korištenih u toku ispitivanja na 25 ciklusa (lijevo); prikaz oštećenih rubova uzoraka nakon ispitivanja uzoraka oznake 24/368-25 (sredina) i 24/368-32 (desno) [27]

Svi rezultati, uključujući mjerenja gubitka mase, promjene u volumenu, gustoći, te vizualna zapažanja uzoraka šarene miljevine, oznake 24/368, su dokumentirani i analizirani. Promjene mase uzoraka prije i poslije ispitivanja na 25 ciklusa smrzavanja/odmrzavanja na 17 neoštećenih uzoraka od ukupno 21 uzorka su bile minimalne i iznosile su od 0,00-0,19%. Na 4 uzorka su zapažena ljuškavanja, krunjenja i prskanja, uz promjene mase od 0,09%, 0,18%, 1,48% i 4,38%. Na temelju rezultata ispitivanja donesen je zaključak o otpornosti „šarene miljevine“ na cikličko smrzavanje i odmrzavanje i njegovu prikladnost za primjenu u uvjetima gdje će biti izložen mrazu.

#### 6.4.2. Ispitivanje postojanosti na mraz bijele miljevine

Uzorci bijele miljevine su također pokazali degradaciju, što je evidentno iz znatno oštećenijih i deformiranih komada, ali manju u odnosu na šarenu miljevinu (slike 36-37).



Slike 36.-37. Prikaz ispitanih uzoraka bijele miljevine, oznake 24/367, razorenih magnezijevim sulfatom (lijevo) i natrijevim sulfatom (desno) [27]

Dvadeset uzoraka bijele miljevine, oznake 24/367, je pokazala bolju otpornost, ali sa slike je vidljivo da su i ovi uzorci značajno degradirani, ali nešto manje od šarene miljevine. Promjene mase uzoraka prije i poslije ispitivanja na 25 ciklusa smrzavanja/odmrzavanja na 15 neoštećenih uzoraka od ukupno 20 uzoraka su bile minimalne i iznosile od 0,08-0,32%. Na 5 uzorka su zapažena ljuškavanja, krunjenja i prskanja, uz promjene mase od 0,21%, 0,25%, 0,41%, 0,49% i 4,09%.

## 6. ZAKLJUČCI

Slatkovodni vapnenac mostarska miljevina ili skraćeno miljevina, zajedno sa kvalitetnijom tenelijom interkalira se u ležištu Mukoša kod Mostara. Iako su malo degradirani pukotinama i prslinama, prilično su kompaktni, čvrsti i žilavi, pa predstavljaju dobru sirovinu za proizvodnju AGK, tako da se od davnina upotrebljavaju u građevinarstvu. Miljevina ima gustu, submikroskopsku sitnozrnatu strukturu u kojoj ima malo ili nimalo ooida, u kojoj nije izvršeno cementiranje i prekrystaliziranje kalcita (gusti vapnenac). Zbog toga dugo zadržava vlagu, a djelovanje temperaturnih promjena i leda uzrokuje površinsko osipanje i propadanje kamena. U starim zgradama koje imaju zidove od miljevine oduvijek se javljao problem povećane vlage, pa su zaštićivane fasadama, uz primjenu druge vrste kamena u donjem dijelu objekta koji je u dodiru sa tlom (za temelje i podrum), što je dio tradicije gradnje, čiji je razlog veliko upijanje miljevine.

Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

### **Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

U uvjetima suvremene primjene miljevine za fasadna oblaganja i kao ukrasni kamen, gore navedeni odnosi prema kvašenju i vlazi su izrazito nepovoljni, zbog čega se kamene obloge zaštićuju visoko-vodoodbojnim impregnirajućim sredstvom.

Varijetet slatkovodnog vapnenca šarena miljevina se sastoji od više različitih minerala i često ima šarenu ili raznovrsnu teksturu, pri čemu različiti minerali mogu imati različita mehanička svojstva, što može rezultirati varijacijama u tlačnoj čvrstoći. Na temelju svih rezultata ispitivanja vidljivo je da riječ o varijetetu miljevine loše kvalitete jer se dobiveni rezultati ispitivanja svojstava nalaze na donjoj granici, ili ispod donje granice intervala do sada dobivenih rezultata.

Varijetet slatkovodnog vapnenca bijela miljevina sadržava veću koncentraciju određenih minerala ili ima homogeniju strukturu u odnosu na šarenu miljevinu, što doprinosi većoj prosječnoj tlačnoj čvrstoći, jer homogenija struktura je obično mehanički otpornija. Na temelju svih rezultata ispitivanja vidljivo je da riječ o varijetetu miljevine jako dobre kvalitete jer se dobiveni rezultati ispitivanja svojstava nalaze iznad granice intervala do sada dobivenih rezultata, osim rezultata tlačnih čvrstoća. Dobiveni rezultati ispitivanja u okviru diplomskog rada proširili su fond postojećih rezultata ispitivanja miljevine, odnosno interval svih raspoloživih rezultata ispitivanja.

Vezano za ispitivanje postojanosti slatkovodnih vapnenaca, pa i miljevine na mraz, vidljivo je da kristalizacijski testovi nisu pogodni za primjenu kod ove vrste kamena, te da se puno boljom pokazala metoda cikličkog smrzavanja i odmrzavanja s 25 ciklusa, s minimalnim promjenama u masi uzoraka. U tom smislu, predlaže se da se na preostalim uzorcima izvrši dopunsko ispitivanje postojanosti na mraz prema BAS EN 12371 sa 14 ciklusa ispitivanja, koja će se vjerojatno pokazati optimalnom od sve 4 metode ispitivanja za slatkovodne vapnence, pa i za miljevinu.

## **LITERATURA**

1. Bilopavlović, V. Šaravanja, K., Pekić, S.: Ispitivanje petrografskih i fizičko-mehaničkih svojstava kamena tenelije i miljevine, Zbornik radova sa 1. međunarodnog simpozija o kamenu „Hercegovina - zemlja kamena“, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Udruga „Zvuk kamena“ i „IGH“ d.o.o. Mostar, Mostar, str. 145.-153, 2013.
2. Šaravanja, K.: Gradnja kamenom u BiH s posebnim osvrtom na arhitektonsko konstruktivne vrijednosti kamena tenelija i miljevina/muljika, e-ZBORNIK- Elektronički zbornik Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, 2017, broj 13, str. 12-29.
3. Šaravanja, K., Popić, D., Marić, T., Radić-Kustura, J.: Analiza raspoloživih rezultata ispitivanja kamena „Tenelija“, Posebno izdanje „e-ZBORNIKA“, Elektroničkog zbornika Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, 2018, str. 245-273.
4. Šaravanja, K.: Slatkovodni vapnenci neogene starosti, s posebnim osvrtom na arhitektonsko-građevinsku vrijednost i trajnost kamena miljevina (muljika), Doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 2020.
5. Šaravanja, K., Oreč, F: Slatkovodni vapnenci tenelija, miljevina i muljika – arhitektonsko-konstruktivne vrijednosti i trajnost, Udruga za rudarstvo i geologiju „Zvuk kamena“ Posušje i Sveučilište u Mostaru, Posušje-Mostar, 2024.
6. Marić, L.: O kamenu od koga je sadjelan Stari most u Mostaru, Prosvjeta, Zagreb, 1972.
7. Kujačić, M.: Konzervacija Starog mosta u Mostaru, IV. savjetovanje konzervatora FNRJ u Mostaru, Mostar, 1959, str. 207-216.
8. Projekat detaljnih geoloških istraživanja arhitektonsko-građevinskog kamena na lokalitetu Mukoša općina Mostar, PIGIP d.o.o. Sarajevo, Mostar, 2016.
9. Hrvatović, H., Đulović, I.: Kamen za obnovu Starog mosta u Mostaru, Zbornik radova Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta (RGGF), Tuzla, 2004, broj XXVII, str. 71-78.



Rončević, M., Šaravanja, K., Marić, T., Radić Kustura, J.

**Prilog istraživanju „mostarske miljevine“ s posebnim osvrtom na postojanost na mraz**

10. Mandžić, K.: Inženjerskogeološka i geotehnička svojstva kamena Tenelija, magistarski rad, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet u Tuzli, Tuzla, 2006.
11. Izvješće o provedenim preliminarnim istražnim radovima na kamenolomu Mukoša-jug, Geotehnika '94, Mostar, 2006.
12. Hasandedić, H.: Spomenici kulture turskog doba u Mostaru, Islamski kulturni centar, Mostar, 2005.
13. URL1: [www.dinarskogorje.com/geologija-dinarskog-gorja.html](http://www.dinarskogorje.com/geologija-dinarskog-gorja.html)
14. LGA - Geotechnical Institute - Historical Bridges Group: Pilot Cultural Heritage Project: Reconstruction of the Old Bridge over the Neretva in Mostar, Laboratory testing of ancient and new building materials, Sampling and testing of Stones (Ancient and new Stones), Nürnberg, 2001.
15. Hrvatović, H., Đulović, I., Mujezinović, N.: Kamen za obnovu objekata kulturnog naslijeđa - primjer Starog mosta u Mostaru, Šeher-čehajine i Latinske ćuprije u Sarajevu, Evropska konferencija o građevinskim materijalima, Sarajevo, 2004.
16. Oreč, F., Bilopavlović, V.: Arhitektonske vrijednosti miljevine, Zbornik 1 Udruge „Zvuk kamena“, Posušje, 2011, str. 46-55.
17. Šaravanja, K., Bilopavlović, V.: Prikaz rezultata ispitivanja kamena s područja Hercegovine, Rudarsko-geološki glasnik, Hrvatsko rudarsko-geološko društvo, Mostar, broj 5-6, 2002., str. 163-168.
18. Pilot Cultural Heritage Project: Reconstruction of the Old Bridge over the Neretva in Mostar, Laboratory testing of ancient and new building materials; Sampling and testing of Stones (Ancient and new Stones)-Stone Testing Attachment 9-Stone Cutting on Quarry, 2001.
19. Đulović, M., Salčin, M., Čećez, M., Šahinagić-Isović, M.: Dijagnostika stanja i prijedlog sanacije objekta 'Nama' u Mostaru, 15. kongres Društva građevinskih konstruktera Srbije, Zlatibor, 2018.
20. Izvještaj o mineraloško-petrografskom ispitivanju uzorka sa lokaliteta Mukoša, broj: 100/16, „Cerberus“, Tuzla, 2016.
21. Šaravanja, K., Marić, T., Šaravanja, D.: Analiza rezultata ispitivanja arhitektonsko-građevnog kamena s područja Hercegovine i jugozapadne Bosne, Zbornik radova Međunarodnog simpozija o kamenu „Hercegovina - zemlja kamena“, GF SUM, Udruga „Zvuk kamena“ i „IGH“ d.o.o., Mostar, 2013, str. 61.- 83,
22. Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu zaliha arhitektonsko-građevnog kamena oolitnog vapnenca (tenelije i miljevine) na istražnom prostoru „Mukoša“ u Mostarskom polju, „DENT“ Istraživanje, eksploatacija i obrada kamena, Mostar, 1998.
23. IGH d.o.o. Mostar: Izvještaj o ispitivanju fizikalno-mehaničkih svojstava prirodnog kamena, br. 20-10-037/16, 2016.
24. Bilopavlović, V., Pekić, S., Šaravanja, K.: „Characteristics of 'Tenelija' and 'Miljevina' stones“, European Conference on Raw Materials and Coal - New Perspectives ECRBM:04, IP „Svjetlost“ d.d. Sarajevo, 2004.
25. Ademović, N., Kurtović, A., Kadić, N.: Influence of layers direction on the physical-mechanical properties of freshwater limestone (Mudstone)“, 10th International Masonry Conference, Milano, 2018.
26. Tomašić, I.: Suvremena primjena arhitektonsko-građevnog kamena, Rudarsko-geološki glasnik, br. 4, Mostar, 2000.
27. Rončević, M.: Istraživanja slatkovodnog vapnenca „mostarska miljevina“ s posebnim osvrtom na ispitivanja postojanosti na mraz, diplomski rad, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru, Mostar, 2024.
28. Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Univerziteta u Tuzli: Izvještaj o mineralno-petrografskoj i hemijskoj analizi uzoraka stijena sa lokaliteta kamenolom tenelija, 2024.