



## Ispitivanje kamena potpornih zidova HE Jablanica

*Stručni rad/ Professional paper*

*Primljen/Received: 14. 6. 2018.;*

*Prihvaćen/Accepted: 4. 7. 2018.*

### **Merima Šahinagić-Isović**

Građevinski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“, Mostar, vanredni profesor

### **Azra Špago**

Građevinski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“, Mostar, vanredni profesor

### **Marko Čećez**

Građevinski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“, Mostar, viši asistent

**Sažetak:** Prirodni kamen je tradicionalni građevinski materijal koji se u prošlosti, a i danas, mnogo upotrebljava, neovisno o porijeklu. Za pravilnu i racionalnu upotrebu kamena potrebno je poznavati cjelokupan kompleks njegovih općih i specifičnih svojstava. U općem slučaju ispitivanja kamena mogu biti: mineraloško-petrografska, fizičko-mehanička i naročita. U ovom radu dati će se prikaz fizičko-mehaničkih svojstava kamena korištenog kao obloga kod potpornih zidova na širem lokalitetu strojarnice HE Jablanica. Na pripremljenim ispitnim uzorcima ispitano je: tlačna čvrstoća u suhom stanju, tlačna čvrstoća u vodozasićenom stanju, zapreminska masa, upijanje vode, poroznost, te ispitivanje postojanosti uzoraka kamena pod dejstvom mraza upotrebom rastvora natrijum – sulfata ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Uzorci su uzeti iz obloge armirano-betonskih ili betonskih zidova, u svrhu procjene stanja obloge i izrade programa sanacije oštećenih dijelova kamene obloge.

**Ključne riječi:** kamen, fizičko-mehaničke osobine, obloga potpornih zidova

## Testing of stone from retaining walls of HE Jablanica

**Abstract:** Natural stone is a traditional building material which in the past, and even today, is widely used, regardless of origin. For the proper and rational use of stone, it is necessary to know the entire complex of its general and specific properties. In general, the testing of stone can be: mineralogical-petrographic, physico-mechanical and special tests.

This paper presents an overview of the physical and mechanical properties of the stone used as a coating in the retaining walls at the wider location of the engine room at HE Jablanica. The prepared samples were tested for: compressive strength in dry state, compressive strength in water saturated state, bulk density, water absorption, porosity, and stability of stone samples under the effect of frost using sodium sulphate solution ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). The samples were taken from the coating of reinforced concrete or concrete retaining walls, for the purpose of assessing the condition of the coating and preparation of rehabilitation programme for damaged stone coating.

**Key words:** stone, physical-mechanical properties, coating of retaining walls



## 1. UVOD

Kamen je sirovina iz grupe „neruda“, koju možemo svrstati u prirodna bogatstva koja se ne obnavljaju, a koji je izuzetno važan u graditeljstvu. Graditelji se kamenom koriste za zidanje konstrukcija, za oblaganje zidova, popločavanje, izradu gornjih strojeva kolovoza, kao i u obliku različitih frakcija agregata za spravljanje betona, te za razne vrste nasipanja (zastori na željezničkim prugama, slojevi kolovoznih konstrukcija na putevima).

U prošlosti, a i danas, građevinarima je kamen jedan od osnovnih građevinskih materijala koji se upotrebljava u niskogradnji i visokogradnji. Tako je, npr. udio kamena u betonu 70-80%, a u niskogradnji čak više od 90% (Čaušević i Rustempašić, 2014). Fizičko-mehanička, hemijska i ostala svojstva kamena uglavnom odgovaraju svojstvima stijenske mase od koje je taj kamen dobiven. Postoje tri osnovne genetske grupe stijena: magmatske, sedimentne i metamorfne. Za pravilnu i racionalnu upotrebu kamena u građevinarstvu potrebno je poznavati njegove opšte i specifične osobine. Približna ocjena upotrebljivosti kamena se daje na osnovu osobina koje su usko povezane sa osobinama stijenskog masiva, kao što su: struktura, tekstura, boja, sjaj, zvuk itd. (Domone and Ilstone, 2010). Tekstura je osobina koja se definira na osnovu relativne veličine, razmještaja i međusobnog rasporeda minerala koji ulaze u sastav stijene, kao i na osnovu eventualnog prisustva pora i mikroporlina u stijenskoj masi. Tekstura može da bude: masivna, trakasta, mješurasta i sl. Pod strukturom stijene podrazumijeva se oblik, veličina i način vezivanja njenih mineralnih zrna. Struktura stijena može biti: kristalasta, staklasta, porfirska i klastična. Boja kamena je uvjetovana bojom dominantnog minerala ili je sumarni efekat boja različitih sastavnih minerala, pri čemu značajnu ulogu ima i veličina tih minerala kao i prisutnost fino disperzivnih pigmenata pojedinih minerala (Muravljev, 2010).

Cilj ovog rada je prikaz fizičko-mehaničkih svojstava kamena ugrađenog u oblaganje armirano-betonskih ili betonskih potpornih zidova na lokalitetu strojare HE Jablanica. Uzorci kamena su uzeti na dijelu kamene obloge gdje je došlo do odvajanja iste, zato što je na tim mjestima bilo najlakše uzeti uzorke, a nije bilo oštećenja pri uzorkovanju. Na pripremljenim uzorcima ispitano je: tlačna čvrstoća u suhom i vodosasićenom stanju, zapreminska masa, upijanje vode, poroznost, postojanosti kamena pod dejstvom mraza upotrebom rastvora natrijum – sulfata ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

## 2. VIZUALNI PREGLED KONSTRUKCIJE

Za potrebe izrade projekta sanacije potpornih zidova u krugu pogona HE Jablanica izvršena je dijagnostika stanja postojeće konstrukcije. Postupak dijagnostike stanja konstrukcije obuhvaća utvrđivanje trenutnog stanja čitave konstrukcije, te posebno pojedinih kritičnih dijelova konstrukcije. Tok dijagnostike stanja postojeće građevine se može podijeliti u nekoliko koraka: prikupljanje i rekonstrukcija postojeće dokumentacije, pregledi, ispitivanja i proračuni, te ocjenjivanje i odluka o daljnjem postupanju.

Nakon analize dostupne dokumentacije o građevini izvršen je vizualni pregled konstrukcije, izlaskom stručnog tima na teren. Vizualnim pregledom konstrukcije utvrđuju se oštećenja na pojedinim konstruktivnim elementima, njihovi uzroci, raširenost, te utjecaj na nosivost i upotrebljivost tog elementa i konstrukcije u cijelosti. Također se razmatraju i stvari uvjeti korištenja građevine, u smislu stvarnih uvjeta okoliša na lokaciji građevine. Tokom vizuelnog pregleda konstrukcije posebna pažnja se posvetila:

- Geometriji i izmjeri presjeka,
- Izgledu i razlici u boji površine konstrukcije,
- Pojavi pukotina, njihove veličine i rasporeda,



- Znakovima degradacije materijala na površini konstrukcije,
- Vlažnim površinama, odnosno mjestima procurivanja vode.

Vizuelnim pregledom utvrđena su oštećenja na pojedinim konstruktivnim elementima – zidovima, koji su podjeljeni na ukupno 15 segmenata i tri platoa na odvodnim kanalima. Na većem broju zidova uočena su sljedeća oštećenja:

- odlamanje većih i manjih dijelova kamene obloge
- vegetacija
- pojava bijelih mrlja
- mehaničko oštećenje klupica

Prikaz navedenih oštećenja je na sljedećim slikama (slika 1., slika 2.):



Slika 1. Odlamanje dijelova kamene obloge i pojava bijelih mrlja



Slika 2. Pojava vegetacije i mehaničko oštećenje klupica

### 3. REZULTATI I ANALIZA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

U okviru parametara stanja i strukturnih karakteristika kamena ispitana je zapreminska masa i poroznost kamena. Zapreminska masa, poroznost i ispunjenost kamena ispitane su prema standardu B.B8.032. U tabeli 1. je dat prikaz rezultata ispitivanja zapreminske mase uzoraka kamena.



Tablela 1. Rezultati ispitivanja zapreminske mase

Svojstvo	Jedinica mjere	Rezultati ispitivanja	
Zapreminska masa	kg/m <sup>3</sup>	max. 2543	srednja 2516
		min. 2483	

Kategorizacija kamena prema zapreminskoj masi po Crnoviću i Šariću, svrstava ispitani kamen u kategoriju „teškog kamena“ sa zapreminskom masom od 2500 do 3000 kg/m<sup>3</sup>. Kategorizacija kamena prema Crnkoviću i Šariću je dana u tabeli 2.

Tablela 2. Kategorizacija kamena prema zapreminskoj masi (Crnković i Šarić, 2003)

Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> )	Kategorija kamena
Ispod 1000	Izrazito lagan
1000-1500	Lagan
1500-2500	Srednje težak
2500-3000	Težak
Iznad 3000	Izrazito težak

Poroznost kao najznačajnije strukturno svojstvo materijala, je ispitana za dvije serije uzoraka: serija 1. (uzorci uzeti sa vanjskog dijela obloge) i serija 2. (uzorci uzeti sa unutarnjeg dijela obloge). U tabeli 3. je dat prikaz rezultata ispitivanja za poroznost ispitanih uzoraka.

Tablela 3. Rezultati ispitivanja poroznosti

Svojstvo	Jedinica mjere	Seriya 1.	Seriya 2.
Poroznost	%	5,85	2,76
Ispunjenost		94,15	97,24

Kategorizacija kamena prema poroznosti po Crnoviću i Šariću (tabela 4.), svrstava ispitani kamen u kategoriju „dosta porozan“ do „umjereno porozan“ kamen. Naime, uzorci kamena serije 1. koji su uzeti sa vanjskog dijela obloge u odnosu na položaj potpornog zida imaju više izraženu poroznost, u odnosu na uzorke serije 2. koji su uzeti sa unutarnjeg dijela obloge potpornog zida.

Tablela 4. Kategorizacija kamena prema poroznosti (Crnković i Šarić, 2003)

Poroznost (%)	Kategorija kamena
ispod 1,0	kompaktan
1,0-2,5	slabo porozan
2,5-5,0	umjereno porozan
5,0-10,0	dosta porozan
10,0-20,0	jako porozan
iznad 20,0	ekstremno porozan

Upijanje vode, kao najvažnije hidro-fizičko svojstvo kamena je takođe ispitano za dvije serije uzoraka, prema standardu B.B8.010. Rezultati tog ispitivanja su dati u tabeli 5.



Tabela 5. Rezultati ispitivanja upijanja vode

Svojstvo	Jedinica mjere	Serija 1.		Serija 2.	
Upijanje vode	%	max. 3,05	srednja 2,34	max. 1,86	srednja 1,818
		min. 1,78		min. 1,76	

Kategorizacija kamena prema upijanju vode po Bilbiji data je u tabelarnoj formi (tabela 6.). Prema ovoj kategorizaciji ispitani kamen za obje ispitane serije kamena (serija 1. i serija 2.), pripada kategoriji „umjereno“ upijanje vode od 1,0 do 2,5 % suhe mase.

Tabela 6. Kategorizacija kamena prema upijanju vode (Bilbija, 1984)

Upijanje vode (%)	Kategorija kamena
ispod 0,5	vrlo malo
0,5-1,0	malo
1,0-2,5	umjereno
2,5-5,0	osjetno
5,0-15,0	veliko
15,0-30,0	vrlo veliko
iznad 30,0	iznimno veliko

Postojanost na dejstvo mraza je ispitano prema standardu B.B8.002., na po pet uzoraka kamena (serija 1. i serija 2.), upotrebom rastvora natrijum-sulfata ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Provedeno ispitivanje je ustvari dio ispitivanja postojanosti prirodnog kamena pod utjecajem atmosferilija (B.B8.013.) i služi za ocjenu postojanosti pod dejstvom mraza.

Vrijednosti ukupnog gubitka mase uzoraka nakon završetka 5 ciklusa izlaganja zasićenom rastvoru  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  za obje serije dato je u slijedećoj tabeli:

Tabela 7. Rezultati ispitivanja postojanosti na dejstvo mraza upotrebom  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 

Svojstvo	Jedinica mjere	Serija 1.		Serija 2.	
Postojanost na dejstvo mraza ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	Gubitak mase %	max. 4,45	srednja 2,433	max. 1,56	srednja 0,508
		min. 1,24		min. 0,15	

Prema kriteriju za ocjenu postojanosti tačaka 7. standarda B.B8.002., ukupan prosječni gubitak i kod ispitivanja uzoraka serije 1. i serije 2. je manji od 5% od ukupne prvobitne mase, što ukazuje na postojanost ovog kamena na dejstvo mraza. Na slikama 3 i 4 prikazani su uzorci serija 1 i 2 prije i nakon ispitivanja postojanosti na dejstvo mraza, upotrebom rastvora natrijum-sulfata ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).



Slika 3. Uzorci serije 1. prije i nakon ispitivanja upotrebom rastvora natrijum-sulfata



Slika 4. Uzorci serije 2. prije i nakon ispitivanja upotrebom rastvora natrijum-sulfata

Građevinski kamen je materijal koji treba da ima visoku tlačnu čvrstoću, dok su mu vlačna i savojna čvrstoća te čvrstoća pri smicanju znatno manje. U tablici 8. su prikazane tlačne čvrstoće ispitivanog kamena u suhom i vodozasićenom stanju, ispitane prema standardu B.B8.012.

Tablela 8. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

Svojstvo	Jedinica mjere	Serija 1.		Serija 2.	
Tlačna čvrstoća u suhom stanju	MPa	max.115,0	srednja 89,0	max. 101,7	srednja 76,1
Tlačna čvrstoća u vodozasićenom stanju		min. 78,4		min. 49,9	

Kategorizacija kamena prema po Crnkoviću i Šariću, na temelju dobivenih srednjih vrijednosti tlačne čvrstoće u suhom stanju (tabela 9), kamen je „srednje visoke“ čvrstoće od 80,0MPa do 180,0MPa.



Tablela 9. Kategorizacija arhitektonskog kamena prema tlačnoj čvrstoći (Crnković i Šarić, 2003)

Tlačna čvrstoća (MPa)	Kategorija čvrstoće
iznad 280,0	vrlo visoka
280,0-180,0	visoka
180,0-80,0	srednje visoka
80,0-40,0	niska
ispod 40,0	vrlo niska

#### 4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Niti jedan građevinski materijal ne može konkurisati prirodnom kamenu u pogledu čvrstoće, trajnosti i ljepote. Najznačajni utjecaj na propadanje zidova su:

- Kristalizacija soli
- Otapanje u vodi
- Oštećenja uslijed djelovanja smrzavanja
- Biološki faktori
- Mehanička oštećenja

Opći zaključak za potporne zidove u krugu pogona HE Jablanica je da su oštećeni uslijed djelovanja dugotrajnom izlaganju ciklusima smrzavanja i odmrzavanja u više od 50 godina od izgradnje. Naime, zidovi su kroz svoj upotrební vijek bili izloženi niskim temperaturama i vlažnom okolišu (podzemne i atmosferske vode), što je uzrokovalo pojavi karakterističnih oštećenja uslijed djelovanja smrzavanja. Osjetljivost zidnog elementa na smrzavanje ovisi o njegovoj poroznosti, raspodjeli i veličini pukotina, te se općenito može reći da će onaj kojeg karakteriziraju manje pore biti osjetljivi na smrzavanje. Otpornost na smrzavanje se smanjuje sa povećavanjem poroznosti, odnosno sa većim volumenom pora u koje može ući voda. Pored toga, na zidovima su uočeni i procurivanje vode, te pojava vegetacije nastale uslijed vlažnog okoliša, što je uzrokovalo dodatna oštećenja na kamenim zidovima.

Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih osobina uzoraka prirodnog kamena ukazuju na opravdanost njegove upotrebe u građevinarstvu kao i za arhitektonsko-građevinske potrebe, poštujući tehničke uvjete iz projekta konstrukcije i rezultate fizičko-mehaničkih osobina kamena.

Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja i s obzirom na stanje kamena in-situ, može se zaključiti da ovaj kamen spada u kategoriju srednje kvalitetnog krečnjaka i da ga treba ugrađivati u umjereno klimatskoj zoni sa manjim brojem ciklusa smrzavanja.

Iako ovaj kamen pokazuje zadovoljavajuće rezultate u pogledu postojanosti na dejstvo mraza u laboratorijskim uvjetima, pomoću metode primjenom otopine Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5 ciklusa smrzavanja), dugotrajna izloženost (više od 50 godina) djelovanju smrzavanja je uzrokovala pojavu karakterističnih oštećenja na postojećim zidovima.

#### LITERATURA

1. Bilbija N.: *Tehnička petrografija*, Nučna knjiga, Beograd, 1984.
2. Crnković, B., Šarić, Lj.: *Građenje prirodnim kamenom*, IGH-Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 2003.
3. Čaušević A., Rustempašić N.: *Rekonstrukcije zidanih objekata visokogradnje*, Univerzitet u Sarajevu, Arhitektonski fakultet, Sarajevo, 2014.



4. Domone P. and Ilstone J.: *Construction Materials: Their Nature and Behaviour*, Fourth Edition, 2010.
5. Muravljev M.: *Građevinski materijali*, Građevinska knjiga, Beograd, 2010.