

*Primjer degradacije istoga  
kamena ugrađenog u  
razmaku od 50 godina*

Tamara Plastić  
Pučišća

## UTJECAJ SAZRIJEVANJA KAMENA NA NJEGOVE FIZIČKO-MEHANIČKE KARAKTERISTIKE I DUGOTRAJNOST NAKON UGRADNJE

UDK: 679.8(210.7Brač)

Rukopis primljen za tisak 13. 4. 2019.

Klesarstvo i graditeljstvo, Pučišća

Prethodno priopćenje

Preliminary communication

Nije rijetka pojava da brački kamen ugrađen u građevine i objekte posljednjih nekoliko godina pokazuje znakove brže degradacije odnosno smanjene vremenske trajnosti. Događa se da, na istoj lokaciji i u istim uvjetima, kamen iz istoga ležišta novijeg datuma ugradnje izgleda starije od kamena koji je ugrađen desetljećima pa čak i stoljećima ranije. Često se čuju komentari, posebno od krajnjih kupaca, kako brački kamen unatoč svojoj dekorativnosti i ljepoti nije prihvatljiv za određene namjene jer vrlo brzo dolazi do njegova propadanja.

Pri tome malo tko uzima u obzir ljudski faktor ili, bolje rečeno, faktor modernog, ubrzanog načina života. Uglavnom se krivi materijal. Namjera je ovoga članka pokazati kako kamen vapi za razumijevanjem i pravilnim odnosom prema sebi.

Ključne riječi: vremenska trajnost kamena; majdanska ili kamenolomska vlaga; degradacija kamena

### 1. UVOD

Promatrajući kamen koji je ugrađen u posljednjih nekoliko godina u različite objekte: zgrade, zidove, grobnice te kamen od kojega su izrađeni različiti ukrasni i konstruktivni elementi kao što su bifore, rozete, stupovi, balustri i ostalo, može se uočiti njegova znatna degradacija usprkos različitim sredstvima zaštite koja su danas na raspolaganju.

Nameće se pitanje: *Što se to danas događa s kamenom?*, odnosno: *Griješimo li možda u nekoj fazi od eksploatacije kamena do njegove ugradnje?*

Uz pomoć literature, ali i terenskih istraživanja može se postaviti više problemskih pitanja i teza vezanih za ovu pojavu te doći do nekih objašnjenja što se nameću. Primjerice:

*Kakav je utjecaj dubine ležišta s kojega se kamen vadi?*

Budući da se radi o kamenu iz istih ležišta, osnovna razlika koja bi ovome mogla biti uzrok jest dubina s koje se kamen vadi, koja, između ostaloga, ima utjecaj





*Primjer degradacije kamena  
kasnije ugrađenoga – uvećano*

na njegove fizičko-mehaničke karakteristike. Kao da izlaskom na površinu kamen „obolijeva“ od dekompresijske bolesti. Možda bismo trebali razmišljati o svojevrsnoj „barokomori“ koja će pomoći donijeti u vanjski svijet kamen sa što manje trauma. Međutim, ista pojava brže degradacije uočena je i kod kamena iz novijih kamenoloma tj. kamenoloma kod kojih se kamen još uvijek vadi iz „plićih“ dijelova. Kako se radi o znatnim razlikama u pritiscima kojima je kamen izložen, logično je pretpostaviti da se mjesto nastanka odražava na njegove karakteristike. U ovome bi kontekstu trebalo razmisliti o ponavljanju atestiranja kamena nakon određenog perioda koji je protekao od otvaranja kamenoloma ili dubine do koje se došlo vađenjem. Ali, ovo pitanje ostavit će se geolozima i rudarima.

#### *Utjecaj modernih tehnologija i ubrzanog vađenja kamena?*

Tehnologija vađenja kamena znatno se ubrzala modernim strojevima i blokovima su daleko masivniji nego prije. Također, blokovi se vade na način prilagođen strojevima, često stavljajući u drugi plan površine i nagib slojevitosti, što je kod vapnenaca izuzetno važna karakteristika koja definira njihove fizičko-mehaničke karakteristike, a to također može biti jedan od uzroka bržeg propadanja kamena nakon ugradnje. Ovo pitanje, osim geologa i rudara, trebaju rješavati i strojar i drugi stručnjaci koji se bave tehnološkim rješenjima vađenja kamena.

*Utjecaj postupanja s blokovima nakon vađenja i vrijeme koje proteče od vađenja do ugradnje?*

Uspoređujući nekadašnji i današnji način rada u kamenolomima, vidljivo je da se, osim u tehnologiji vađenja kamena, znatno izmijenio i način postupanja s blokovima nakon vađenja. Naime, prije su blokovi i gotovi proizvodi uglavnom bili odloženi na neko vrijeme u skladištu kako bi se iz njih isušila kamenolomska vlaga. To je bilo moguće zbog drugačije dinamike tržišta, ali je i u svijesti kamenara još uvijek bila ugrađena tradicionalna „receptura proizvodnje“ kamena. Kamen je nakon vađenja trebao proći sve faze proizvodnje kako bi krajnji proizvod imao željene karakteristike.

Danas, što zbog dinamike tržišta, što zbog zanemarivanja prirodnih procesa u kamenu, a uglavnom zbog nedovoljne dugoročne planske organizacije, kamen se još nezreo i „nedorastao izazovima vanjskoga svijeta“ upućuje na tržište. Ako se

ova faza pokaže značajna, a vjerujem da hoće, može je se riješiti vrlo jeftino uz dobru organizaciju rada i poslovanja pod uvjetom dobrog poznavanja materijala koji se plasira na tržište.

*Kakav je utjecaj konstruktivnih rješenja građevina s obzirom na položaj građevine ili objekta?*

Svaki objekt trebalo bi praktički promatrati individualizirano s obzirom na atmosferske i klimatske uvjete mikrolokacije na kojoj se nalazi, te na uvjete tla u kojemu se gradi. Dakle, ne samo kako će građevina ili drugi objekt od kamena biti funkcionalan i dekorativan nego i koliko će ga njegov oblik i način konstrukcije zaštititi od propadanja. Konstruktivna rješenja, hidro i termoizolacija i slični problemi moraju biti izazov za arhitekta, projektanta i restauratore.

Nove tehnologije BIM<sup>1</sup> već sada omogućuju, a vjerujem da će ubuduće još i više, upravo ovakav način pristupanja građenju. Građenju upotrebom različitih materijala, a posebno kamenom, prirodnim materijalom koji zahtijeva poseban senzibilitet u primjeni, na koji onda uzvratu višestoljetnim trajanjem.

Naravno, ne možemo zaobići ni održavanje nakon ugradnje, a tu je potrebno da svaki proizvođač daje upute korisnicima o najprimjerenijem načinu zaštite i održavanja.

## 2. DEFINIRANJE PROBLEMA

Na prvo postavljeno pitanje u Uvodu praktički ne možemo puno utjecati. Ekonomski nas čimbenici u tome sprečavaju, a također i, iako se čini pomalo paradoksalnim, nemogućnost napuštanja ležišta dok ga se dovoljno ne „iscrpi“. Pokazalo se, naime, da puno malih kamenoloma čini veću štetu okolišu nego manji broj većih kamenoloma. Dakle, niti je isplativo, niti je prema okolišu prijateljski orijentirano brati površinske slojeve kamena, čak ni u slučaju da je to jedini faktor koji utječe na dugotrajnost kamena. Osim toga, sve se više orijentiramo na podzemne kopove ondje gdje je to opravdano i moguće.

Drugo pitanje također je više-manje zacementirano trenutnim stanjem i stupnjem razvoja tehnologije vađenja kamena. „Hardware“, teška mehanizacija koja se pri tome koristi, ne dopušta upravljanje ovim finesama i, kako sad stvari stoje, tako će ostati još, u referencama ljudskog vijeka, dulje vrijeme.

Konstruktivna rješenja zapravo su izazov za struku i njih se ne bi trebalo smatrati problemom. Pravilno održavanje proizlazi iz dobrog poznavanja materijala i komunikacije s krajnjim kupcem.

Pitanje koje se može najbezbolnije postaviti da bi se načela priča o dugotrajnosti kamena, a za koje se nadam da će onda pokrenuti i ostala spomenuta pitanja jest:

<sup>1</sup> BIM – Building Information Modeling – korištenje informatičkog modeliranja i baza podataka sagledavajući građevinu kroz sve faze, od idejnog rješenja do održavanja i upravljanja te uzimajući u obzir mnogobrojne utjecajne faktore, od lokacije, prometne povezanosti, mogućnosti opskrbe do vremenskih uvjeta.

„Utječe li način postupanja s kamenom i način njegova skladištenja nakon vađenja na njegovu dugotrajnost?“

Polazi se od pretpostavke da je neprikladan način prilagodbe kamena na vanjske uvjete ili uglavnom izostanak te faze u proizvodnji jedan od najutjecajnijih faktora ubrzanog propadanja prirodnog materijala koji je stoljećima osnovni medij za zapis povijesti čovječanstva i civilizacije.

Stoga se, polazeći od iskustvenih pokazatelja i teoretskih i laboratorijskih dokaza o prilagodbi kamena na površinske uvjete, ovim radom nastojalo ukazati na postojanje razlika u nekim karakteristikama kamena bitnih za građevinarstvo i klesarstvo i posebno na potrebu njihova poštovanja s osnovnim ciljem preventivne zaštite kamena.

### 3. OPIS PROBLEMA

Današnja osnovna tehnologija eksploatacije primjenjuje se u cijelom svijetu i omogućuje, za današnje pojmove, ekonomičnu eksploataciju velikih količina kamena. Utjecaj na ovu fazu oslanja se na dostignuća znanosti i razvoj novih tehnologija što je uglavnom skup i dugotrajan put.

Postupanje s kamenom nakon eksploatacije prvenstveno je vezano uz poznavanje karakteristika kamena i posebno organiziranja procesa „prilagodbe“ kamena na novom okruženju – na površini zemlje. Samim time ne iziskuje velika ulaganja osim dugoročnijeg planiranja i eventualnog ulaganja u skladišne prostore.

Ovo se istraživanje temelji na iskustvenoj spoznaji objavljenoj još u 1. st. pr. Kr. u djelu klasičnog rimskog pisca Marcusa Vitruviusa Pollia *De architectura libri decem* ili, na hrvatskom prijevodu, *Deset knjiga o arhitekturi* [1]. On u poglavlju VII. (O kamenju i kamenolomima) kaže: „Zato treba ovako postupiti, tko želi dobro graditi. Kamen treba vaditi dvije godine prije nego se počne graditi, i to ljeti, a ne zimi, pa ga ostaviti da leži na otvorenom mjestu. Ono kamenje koje za te dvije godine oštete vremenske nepogode neka se polaže u temelje. Ostalo, koje ostane neoštećeno, moći će izdržati, ako se uzida nad zemljom, jer ga je priroda isprobala. Na to treba paziti ne samo kod klesanca kamena nego i kod zidanja lomljenim kamenom.“

Do 80-ih godina prošlog stoljeća s kamenom vađenim u bračkim kamenolomima, posebno ako je bio namijenjen za kiparske radove, upravo se tako postupalo. S vremenom je taj postupak potpuno zanemaren.

Dakle, je li moguće pravilnim sazrijevanjem odgoditi odnosno usporiti starenje kamena tj. produžiti vremensku trajnost kamena?

### 4. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja bio je ispitati neke od fizičko-mehaničkih karakteristika kamena relevantnih za primjenu kamena u graditeljstvu u različitim fazama sazrijevanja i oslobađanja od kamenolomske vlage.

Pretpostavljeno je da se razlike opažene iskustvom dobivenog pri obradi kamena različite zrelosti – koje se očituju kao povećana tvrdoća i kompaktnost starijega kamena, a moguće ih je detektirati i sluhom – mogu mjeriti standardiziranim testovima.

Druga pretpostavka temelji se također na iskustvenim opažanjima da kamen koji se ranije koristio, a nakon vađenja se ostavljao određeno vrijeme sušiti, ima veću otpornost na utjecaj atmosferilija.

U slučaju da se obje pretpostavke i mjerenjima dokažu, direktni je cilj prevencijom tj. pravilnim skladištenjem zaštititi prvenstveno kamen od brzog propadanja, a time indirektno i ležišta prirodnoga kamena koji je neobnovljivi resurs. Štitimo tako i vrijedan ljudski rad štiteći radove naših klesara od propadanja te svoju graditeljsku baštinu, postojeću i onu koja se i dan-danas stvara. Graditeljska baština nije samo nastala u povijesti. Oni koji rade s kamenom trebaju biti svjesni da će njihov rad jednom biti dio povijesti i dio baštine ljudske civilizacije. Bar bi tako trebalo biti.

Inducirani ciljevi jesu zaštita tržišnih karakteristika kamena te zaštita potrošača odnosno kupaca kamena. Pod pojmom “kupac“ podrazumijevaju se i obrtnici koji se bave njegovom obradom i ugradnjom, ali i krajnji korisnik.

Zadaci za postizanje zadanih ciljeva jesu ispitivanje karakteristika kamena po vađenju i karakteristika kamena iz istoga bloka nakon skladištenja u zadanim uvjetima u određenom vremenskom periodu.

## 5. METODOLOGIJA RADA

Ispitivanja su provedena na ukupno 36 uzoraka uzetih iz 4 različita kamenoloma locirana na otoku Braču.

Sve četiri vrste kamena sedimentne su stijene karbonatnog podrijetla.

NAZIV	OZNAKA	KAMENOLOM	PETROGRAFSKO ODREĐENJE
Avorio	A	Banja	dolomitični vapnenac
Sivac	S	Punta	dolomitični vapnenac
Sv. Petar	Sv	Banja	vapnenac
Veselje	V	Punta	vapnenac

Uzorci su grupirani u 3 skupine. Prva skupina analizirana je neposredno nakon vađenja. Uzorci su imenovani s A0, S0, Sv0 i V0.

Druga je grupa uzoraka ispitana nakon 6 mjeseci. Dio uzoraka bio je skladišten na vanjskom, a dio uzoraka na unutrašnjem skladištu.

Treća grupa uzoraka ispitana je nakon 14 mjeseci, a također su skladišteni na isti način kao i druga grupa uzoraka.

## 6. ISPITIVANE KARAKTERISTIKE

Ispitivane karakteristike određene su s obzirom na važnost u građevinarstvu, ali i na ograničenost broja uzoraka i cijene ispitivanja te je nađen kompromis između razarajućih i nerazarajućih metoda ispitivanja.

Stoga su analizirane sljedeće karakteristike:

### 6.1. Vlažnost

Sve stijene u Zemljinoj kori sadrže određenu količinu vlage. Tu vlagu nazivamo majdanska ili kamenolomska vlaga. U dubljim slojevima stijene ona je stalna, a u slojevima bližima površini ovisi o atmosferilijama.

Često je kod tek izvađenog kamena uočljivo da mu boja postaje sve svjetlija, a to je upravo posljedica sušenja majdanske vlage. Vlažan kamen je mekši, a samim tim i lakši za obradu te je još u Starome Rimu bila praksa, posebno kod podzemnih kopova, da se kamen obrađuje pod zemljom, radi usporenog sušenja, dok još sadrži svoju prirodnu vlažnost. Gubitkom vlage iskustveno je opaženo da se općenito poboljšavaju fizičko-mehanička svojstva kamena [2]. Sadržaj majdanske vlage ponajviše je određen pornim sustavom kamena. Kod kompaktnijih stijena vlažnost je manja. Gubitak vlage ovisit će o veličini izvađenog bloka, o tipu poroznosti i općenito o strukturi pornog sustava, ali i o okolišu u kojem se kamen nalazi.

Za potrebe rada ispitana je prirodna vlažnost uzoraka bez sušenja odnosno prirodno sušeni uzorci 2. i 3. grupe. Termini ispitivanja određeni su tako da se vanjskim uzorcima nakon padalina ostavi dovoljno vremena za sušenje primljene oborinske vode.

Kako bi se simulirali različiti okolišni uvjeti odnosno vrste skladištenja, dio uzoraka skladišten je na otvorenom prostoru, a dio je skladišten u zatvorenom prostoru na prosječnoj temperaturi od 27° i vlažnosti zraka od 65 %. Pri tome su odstupanja temperature u rasponu od 5°, a vlage u rasponu od 10 %. Ti uvjeti osigurani su smještajem skladišta bez ulaganja dodatne energije, a time i povećavanja troškova skladištenja.

### 6.2. Gustoća

Gustoća ili specifična masa predstavlja odnos mase ( $m_d$ ) čvrste faze i volumena ( $V_c$ ), a izražava se u  $\text{kg/m}^3$  odnosno  $\text{g/cm}^3$ .

$$\rho_r = \frac{m_d}{V_c}$$

Specifična masa kamena ovisi o njegovu mineralnom sastavu tj. o specifičnoj masi minerala koji ga izgrađuju i njihovim volumnim sadržajem. Ta veličina za određenu petrografsku vrstu nije stalna jer su promjenjivi i mineralni sastav i zastupljenost pojedinih minerala u kamenu. Kao tehnička karakteristika, specifična masa nema neposrednu primjenu, ali se posredno može koristiti za određivanje apsolutne poroznosti. Također, kod kamena karbonatnog podrijetla gustoća veća od  $2,72 \text{ g/cm}^3$  može ukazivati na prisustvo dolomita ili nekog drugog minerala veće gustoće.

### 6.3 Prostorna Masa

Nijedan materijal u prirodi, pa tako ni kamen, nije idealno kompaktan. Osim čvrste faze, sadrži pore i šupljine koje u značajnoj mjeri definiraju njegove fizičko-mehaničke, tehničke i tehnološke karakteristike. Zbog toga se volumen kamena u prirodnom stanju sastoji od volumena čvrste faze ( $V_c$ ) i volumena pora i šupljina ( $V_p$ ).

Odnos mase i ovako definiranog volumena ( $V_b$ ) naziva se volumna masa suhog kamena, a izražava se

$$p_b = \frac{m_d}{V_b}$$

gdje su:

$p_b$  – volumna masa

$m_d$  – masa kamena

$V_b$  – volumen čvrste faze sa sadržajem pora i šupljina.

Neosušeni kamen u svojim šupljinama i porama sadrži vodu, a također i plinove te se volumna masa općenito može izraziti kao

$$p_b = \frac{m_d + m_t + m_p}{V_b}$$

Kod sedimentnih stijena volumna masa ovisi o stupnju dijageneze tj. o procesu kompaktacije, cementacije, prekrystalizacije itd. Grupa karbonatnih stijena posebno je zanimljiva po tome što joj od stupnja kemijske čistoće ova vrijednost varira od 2,6 do 2,72 g/cm<sup>3</sup>.

Volumna je masa tehnička karakteristika kamena značajna za njegovu primjenu u građevinarstvu kao arhitektonsko-građevni i kao tehničko-građevni kamen. Ondje gdje je potrebno zadovoljiti kriterije stabilnosti upotrebljava se kamen veće volumne mase odnosno težine dok su varijeteti manje volumne čvrstoće dobri toplinski izolatori. Ova veličina posredno ukazuje na vrijednosti tlačne čvrstoće i modula elastičnosti, a također se može iskoristiti i za kvantitativno određivanje apsolutne poroznosti.

Većina prirodnog kamena koji se upotrebljava u graditeljstvu ima prostornu masu od 2500 do 3000 kg/m<sup>3</sup>.

### 6.4. Specifična i volumna težina

U rezultatima laboratorijske analize izmjerene su vrijednosti za specifičnu i volumnu težinu te se ovdje odvojeno navode.

Specifična težina i specifična masa povezane su preko gravitacijskog ubrzanja izrazom:

$$y_r = p^f \cdot g$$



Pri tome su:

$y_r$  – specifična težina

$p_r$  – specifična masa

$g$  – gravitacijsko ubrzanje.

Također, volumna težina i volumna masa povezane su preko gravitacijskog ubrzanja izrazom

$$y_b = p_b \cdot g$$

Pri tome su:

$y_b$  – volumna težina

$p_b$  – volumna masa

$g$  – gravitacijsko ubrzanje.

### 6.5. Brzina rasprostiranja uzdužnog vala u kamenU

Sposobnost prenošenja zvuka kroz kamen ovisi o njegovoj poroznosti. Brzina prenošenja zvučnih valova raste s kompaktnošću kamena, a definirana je njegovim elastičnim karakteristikama.

Uzdužni ili longitudinalni valovi izazivaju se u kamenu deformacijama skupljanja i rastezanja. Kod minerala i kamena uočava se proporcionalna veza brzine širenja uzdužnih valova i volumne mase. Kod sedimentnih stijena kod kojih je poroznost manja od 30 % uočava se gotovo linearna povezanost poroznosti i brzine uzdužnog vala.

Akustična svojstva kamena za potrebe moderne visokogradnje nisu od presudne važnosti te se samo iznimno ispituju. Ipak, danas se ova metoda koristi kao nedestruktivna metoda za procjenu nekih fizičkih svojstava kamena kao što su čvrstoća, gustoća i poroznost kamena karbonatnog podrijetla i, **što je posebno važno za potrebe ovoga rada, za procjenu vremenske trajnosti kamena.**

Pri tome veća brzina vala implicira duži vijek trajanja kamena.

### 6.6. Poroznost

Poroznost je odnos svih pora i šupljina sadržanih u kamenu u odnosu na volumen kamena, a izražava se u postocima. Razlikujemo otvorenu poroznost, koja uzima u obzir samo one šupljine i pore koje se mogu ispuniti vodom, te ukupnu poroznost koja se odnosi na sve pore i šupljine.

S ovim svojstvom povezana su termička i akustična svojstva, odnos prema vodi, otpornost prema mrazu i druga svojstva. Za njihovo pravilno interpretiranje potrebno je poznavati i porni sustav kamena, a ne samo kvantitativni iznos.

Poroznost je jedna od urođenih karakteristika kamena koja **utječe na trajnost kamena.** Posebno je važna veličina pora. Pore manjega radijusa, odnosno uže kapilare, pospješuju širenje kapilarne vlage, a time i moguća oštećenja kamena. Pore većega promjera uglavnom doprinose dugovječnosti kamena.

### 6.7. Vremenska trajnost kamena

Vremenska trajnost kamena opisuje njegovu sposobnost odupiranja fizičkim i kemijskim utjecajima okoliša. Ono nije izdvojeno fizičko ili mehaničko svojstvo nego rezultanta svih okolišnih djelovanja te sposobnost kamena da se odupre tim djelovanjima i kontinuirano zadrži estetske i funkcionalne karakteristike.

Na trajnost kamena utječu prirodni singenetski, dijagenetski i postgenetski procesi u stijenskoj masi bez obzira na genetsku pripadnost. Bitna značajka jest i sklop kamena tj. njegove strukturne i teksturalne značajke, posebno one koje se odnose na veličinu mineralnih zrna. Naime, kamen izrazito krupnoga zrna ili kamen s velikim razlikama u veličini zrna brže se troši nego kamen sitnijega zrna.

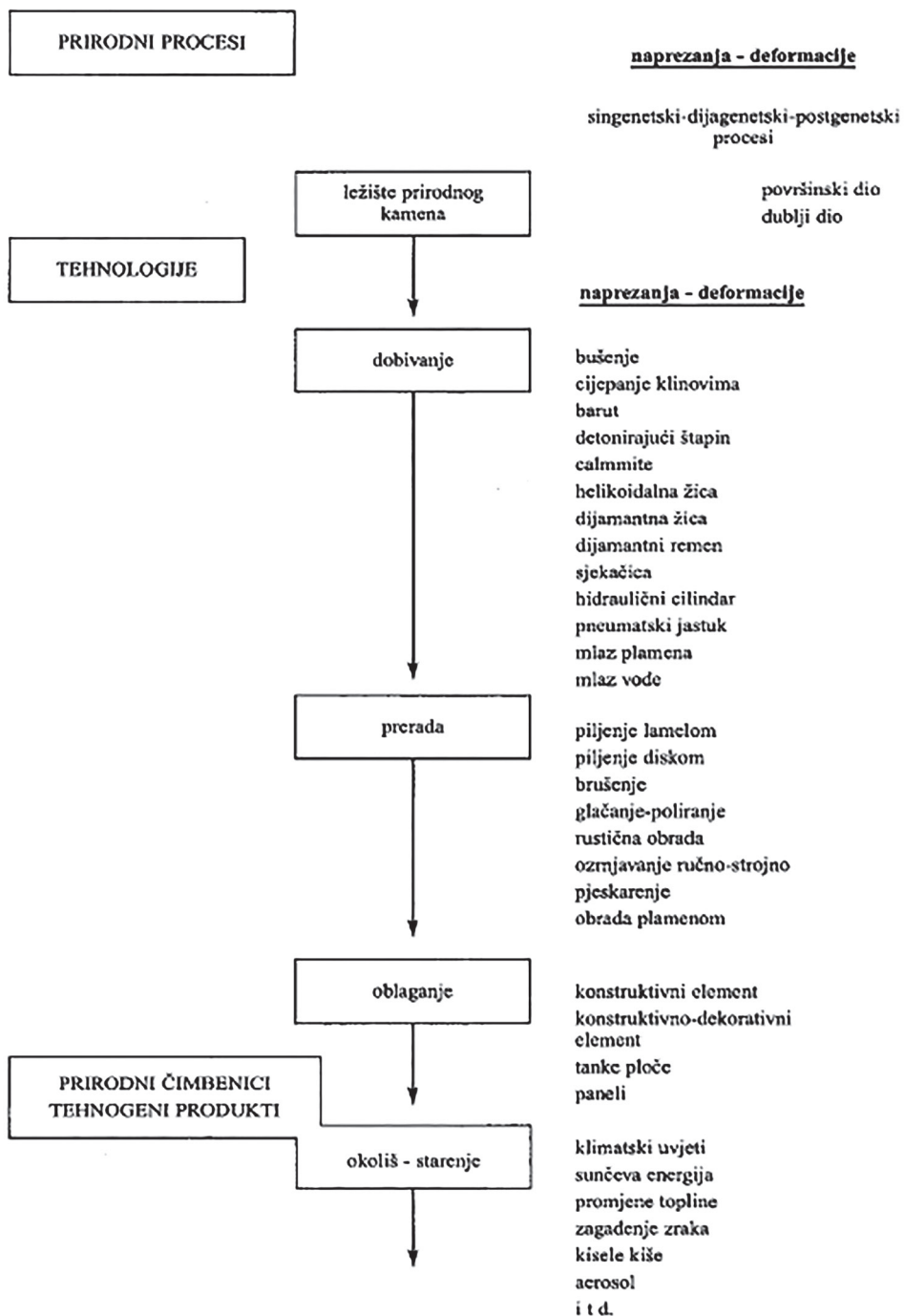
Važna veličina koja utječe na trajnost kamena jest poroznost. Sitnije pore pospješuju širenje kapilarne vlage, a time i mogućnost oštećenja kamena.

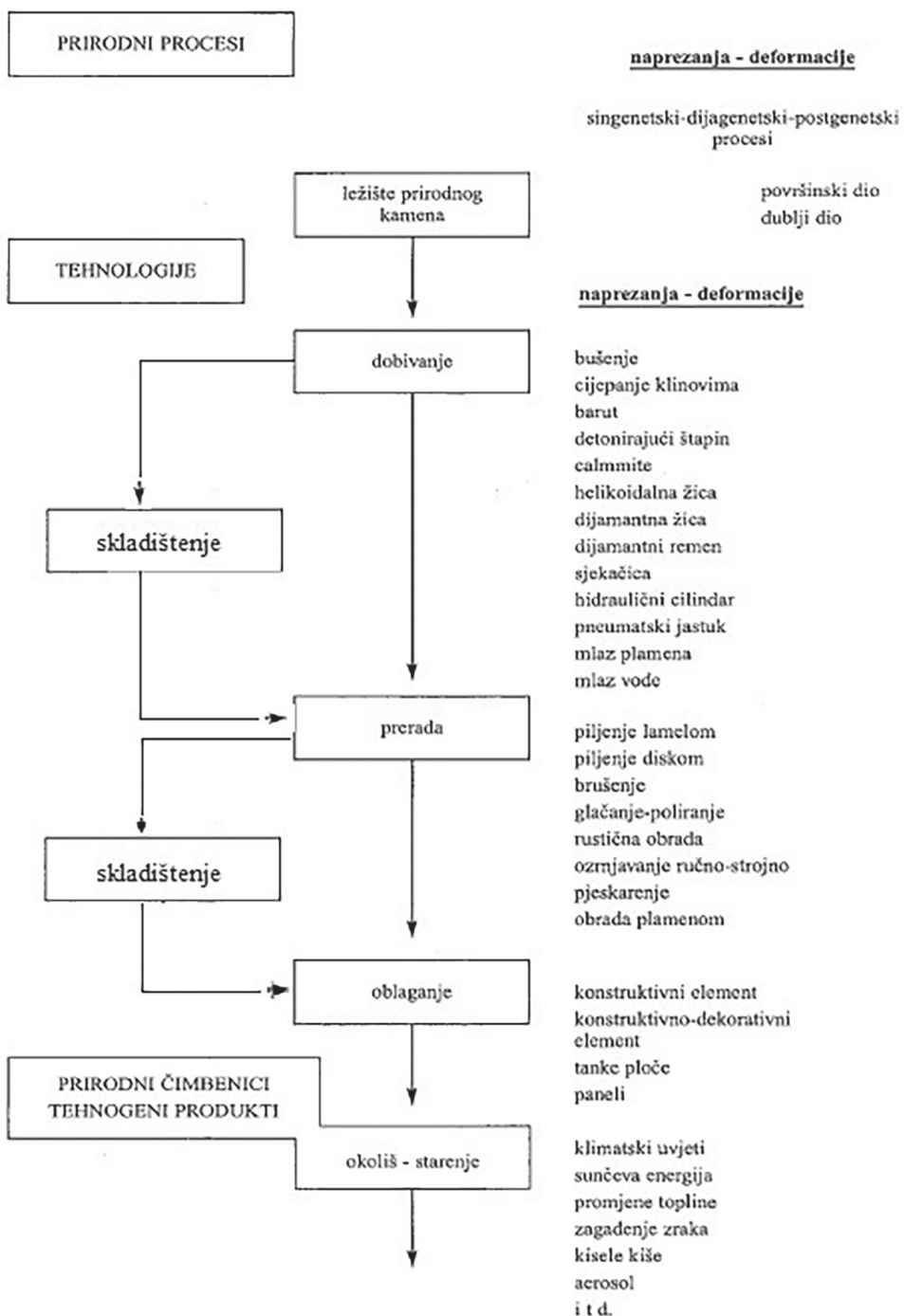
## 7. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA DUGOTRAJNOST KAMENA

U knjizi *Građenje prirodnim kamenom*, svojevrsnom Biblijom svih koji kamen i građenje prirodnim kamenom proučavaju i izvode, grafički su prikazani utjecajni čimbenici o kojima ovisi dugotrajnost kamena (slika 7.1.). Dakle, osim genetskih i postgenetskih procesa, na trajnost kamena utječu i način eksploatacije te način obrade, ugradnje i održavanje kamena, kao i izloženost atmosferilijama. Slika prikazuje naprezanja kojima je kamen izložen od eksploatacije do ugradnje, što pojedinačno i sumarno utječe na vremensku trajnost kamena.

U kontekstu ovoga istraživanja usudila bih se napraviti jednu korekciju koja u obzir uzima upravo skladištenje kamena nakon vađenja (slika 7.2.)

Naglasak je u ovome radu na prevenciji tj. na omogućavanju kamenu da se prilagodi novom okolišu u kojem se generalno nalazi nakon vađenja iz stijene. Upravo s tim su ciljem provedena mjerenja osobina kamena u različitim fazama sazrijevanja prikazana u nastavku.





Čimbenici o kojima ovisi trajnost kamena [2]



## 8. REZULTATI MJERENJA

Provedenim mjerenjima dobiveni su rezultati prikazani donjom tablicom. To je samo dio mjerenja jer su ispitivane i druge karakteristike koje nisu predmet razmatranja ovoga članka.

Kako bi se obuhvatili i relevantni vanjski pokazatelji, praćeni su vlažnost zraka i temperatura u oba prostora skladištenja. Rezultati mjerenja i prosječne vrijednost prikazane su grafički i tablično.

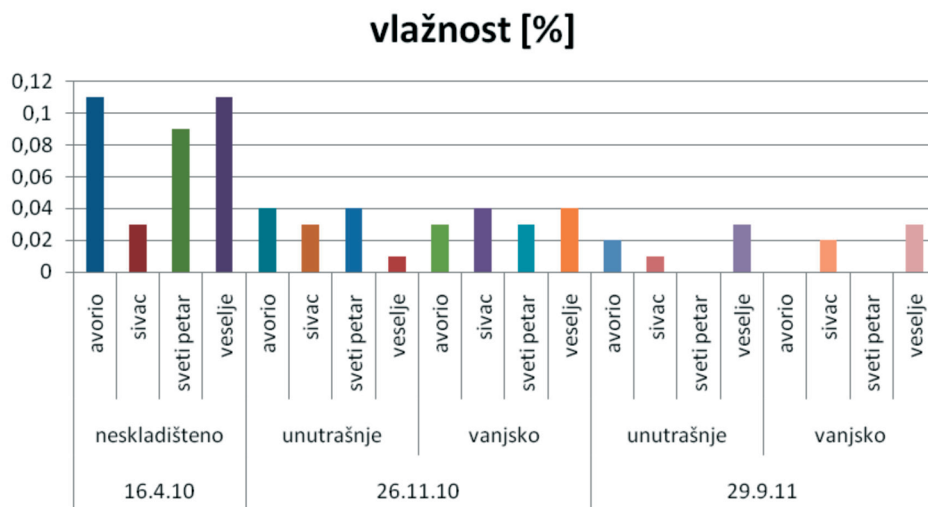
## 9. ANALIZA REZULTATA

Budući da su uzorci ispitivani sa zatečenom vlažnošću, u nastavku su prikazane izmjerene vlažnosti uzoraka. Kod svježih je uzoraka sveukupna vlaga kame-nolomska ili majdanska vlaga. Uzorci koji su skladišteni vani bili su izloženi kiši te je moguće da je osim majdanske vlage prisutna i oborinska vlaga. Također kod svih skladištenih uzoraka, i unutrašnjih i vanjskih, moguća je prisutnost vlage iz zraka.

### 9.8. Vlažnost

Rezultati mjerenja pokazuju da je vlažnost kod većine uzoraka smanjena u odnosu na početne vrijednosti.

U razmatranom periodu kamen iz unutrašnjosti otoka izgubio je svu vlagu pri unutrašnjem i vanjskom skladištenju. Sivac, koji se vadi iz dubljih slojeva ležišta blizu mora, izgubio je manji dio svoje vlage.



*Prikaz razlika specifične i volumne težine za uzorke različite zrelosti*

UZORAK	Skладиštenje	Vrsta	Datum ispitivanja	Vlažnost	Specifična težina	Volumna težina	Volumna težina	Gustoća	Bržina uzdužnog vala	Poroznost
oznaka	vanjsko/unutrašnje	kamen	d.m.egggg	$w_p$ (%)	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	$v_p$ (m/s) × 10 <sup>3</sup>	n (%)
S0	neskladišteno	Sivac	16. 4. 2010.	0,03	27,33	25,33	25,32	2,58	4,916	7,4
V0	neskladišteno	Veselje	16. 4. 2010.	0,11	26,62	24,48	24,45	2,49	5,444	8,2
A0	neskladišteno	Avorio	16. 4. 2010.	0,11	27,42	24,67	24,64	2,51	4,801	10,1
Sv0	neskladišteno	Sveti Petar	16. 4. 2010.	0,09	26,89	23,66	23,64	2,42	4,996	12,1
S1	vanjsko	Sivac	26.11.2010.	0,04	26,79	25,3	25,29	2,58	5,020	5,6
S4	unutrašnje	Sivac	26.11.2010.	0,03	26,22	25,32	25,31	2,59	5,109	3,5
V1	vanjsko	Veselje	26.11.2010.	0,04	26,00	24,48	24,47	2,50	5,551	5,9
V3	unutrašnje	Veselje	26.11.2010.	0,01	26,1	24,54	24,54	2,56	5,512	6,0
A1	vanjsko	Avorio	26.11.2010.	0,03	27,19	24,55	24,54	2,52	4,965	9,70
A4	unutrašnje	Avorio	26.11.2010.	0,04	27,35	24,48	24,47	2,51	4,787	10,5
Sv1	vanjsko	Sveti Petar	26.11.2010.	0,03	26,47	24,03	24,02	2,47	5,169	9,3
Sv3	unutrašnje	Sveti Petar	26.11.2010.	0,04	26,34	23,59	23,58	2,42	5,000	10,5
A2	vanjsko	Avorio	29. 9. 2011.	0,00	27,09	24,77	24,77	2,53	4,952	8,56
A5	unutrašnje	Avorio	29. 9. 2011.	0,02	27,18	24,69	24,68	2,52	4,855	9,20
S2	vanjsko	Sivac	29. 9. 2011.	0,02	26,90	25,31	25,30	2,58	5,139	5,95
S5	unutrašnje	Sivac	29. 9. 2011.	0,01	26,85	25,44	25,44	2,59	5,139	5,25
Sv2	vanjsko	Sveti Petar	29. 9. 2011.	0,00	26,51	23,94	23,94	2,44	5,076	9,69
Sv5	unutrašnje	Sveti Petar	29. 9. 2011.	0,00	26,63	23,40	23,40	2,39	5,027	12,13
V2	vanjsko	Veselje	29. 9. 2011.	0,03	26,48	24,38	24,37	2,49	5,445	7,97
V5	unutrašnje	Veselje	29. 9. 2011.	0,03	26,45	24,45	24,44	2,49	5,441	7,60

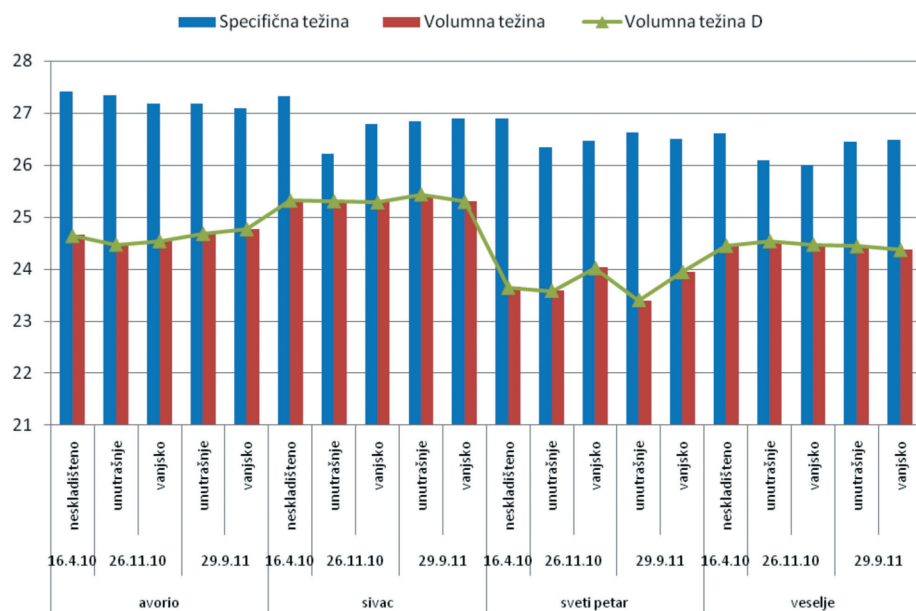
Tablica 8-1: Rezultati mjerenja karakteristika kamena

Može se uočiti da kamen iz kamenoloma uz more, Sivac i Veselje, u vanjskim uvjetima pokazuje veću vlažnost, odnosno veći zaostatak majdanske vlage nakon nekog vremena. Moguće je da se radi o higroskopnosti morske soli koja je zaostala, ali to bi trebalo potvrditi dodatnim ispitivanjima. Budući da se vlaga ipak smanjuje, može se zaključiti da bi ovome kamenu trebalo dati više vremena za akomodaciju. Kamen koji se vadi u unutrašnjosti otoka, Avorio i Sv. Petar, ima veću vlažnost pri skladištenju u unutrašnjem prostoru. Vanjsko skladištenje doprinosi bržem gubitku majdanske vlage u ovim materijalima.

### 9.9. Specifična i volumna težina

Najviše vrijednosti specifičnih težina opažaju se kod svih neskladištenih, odnosno tek izvađenih uzoraka, bez izuzetka. Smanjenje ove vrijednosti kod skladištenih uzoraka posredno ukazuje na smanjenje apsolutne poroznosti tj. ukupnog volumena šupljina i pora u kamenu. Ako uzmemo u obzir da je volumen koji figurira u formuli za specifičnu težinu zbroj volumnih udjela svih minerala, a obrnuto joj je proporcionalan, može se zaključiti da smanjenje specifične težine ukazuje na povećanje „zbijenosti“ odnosno kompaktnosti minerala što znači i kompaktnosti kamena koji ti minerali izgrađuju.

Kod Avoria i Veselja najniže se vrijednosti opažaju kod uzoraka koji su skladišteni vani dok Sivac i Sv. Petar najniže vrijednosti pokazuju kod uzoraka skladištenih u zatvorenom prostoru.



Prikaz razlika specifične i volumne težine za uzorke različite zrelosti

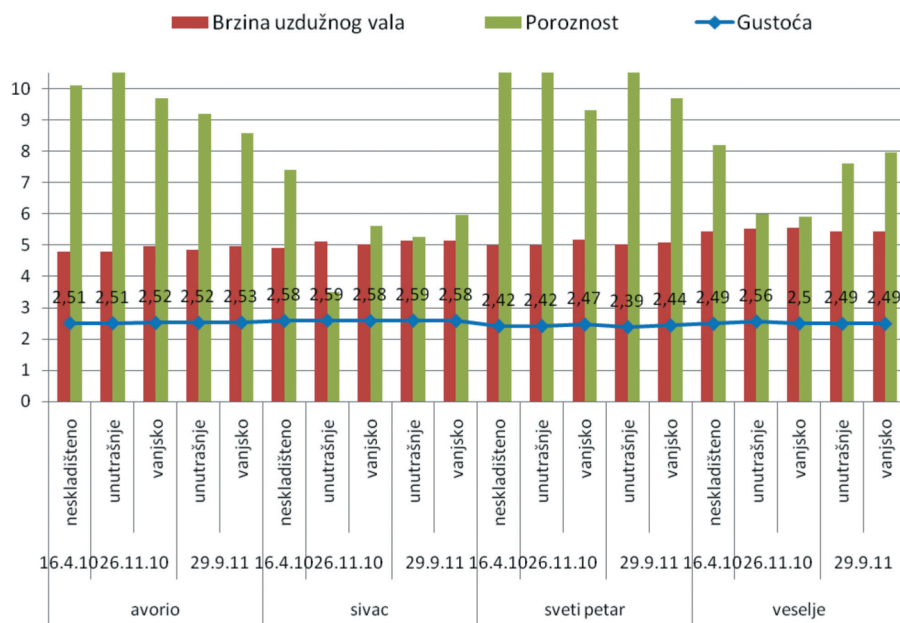
Volumna težina uvijek je manja od specifične jer uzima u obzir i šupljine i pore u kamenu. U ovom slučaju masi, odnosno težini, doprinosi i sadržaj pora, prvenstveno masa vode. Zbog toga je volumna težina kamena sa zatečenom vlažnošću veća od volumne težine suhog kamena (oznaka d na grafikonu i u tablici).

### 9.10. Gustoća, poroznost i brzina uzdužnog vala

Izmjerena gustoća skladištenog kamena u odnosu na svježi kamen općenito je veća ili jednaka. Kamen iz kamenoloma u unutrašnjosti otoka pokazuje povećanje gustoće pri vanjskom skladištenju. Kamen izvučen iz ležišta na morskoj obali ima veću gustoću pri unutrašnjem skladištenju.

Poroznost kamena nakon skladištenja općenito je manja. Za Avorio, Sv. Petar i Veselje poroznost je najmanja kod kamena s vanjskog skladišta dok je Sivcu znatno smanjena poroznost kod uzorka s unutrašnjeg skladišta.

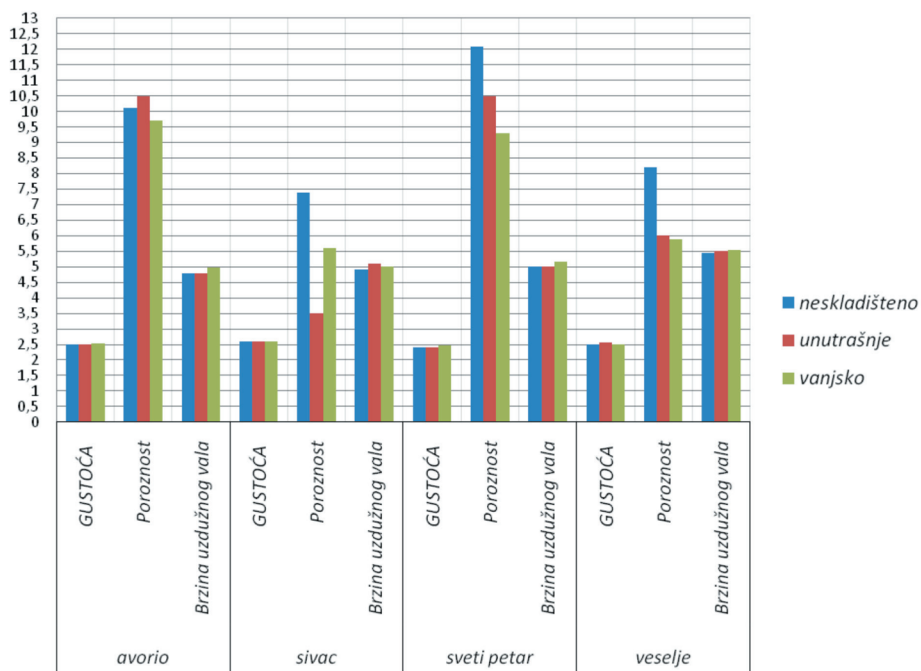
Iznimka je Avorio kojemu je na uzorku s unutrašnjeg skladišta izmjerena veća poroznost nego kod svježeg kamena.



Gustoća, poroznost i brzina uzdužnog vala

Brzina uzdužnog vala koja ukazuje na kompaktnost materijala kod svježeg materijala je najmanja, dok kod svih skladištenih uzoraka pokazuje povećanu vrijednost. Pri tome veća je vrijednost izmjerena kod uzoraka skladištenih vani osim kod Sivca gdje je izmjerena najviša vrijednost za uzorak s vanjskog skladišta. Budući da je u ovom slučaju i poroznost najmanja, ovi su podaci kompatibilni.





Slika 9.3-2: Usporedba razlika u gustoći, poroznosti i brzini uzdužnog vala za različite načine skladištenja i različite faze sazrijevanja

Može se zaključiti da su fizička svojstva kao što su specifična i volumna masa te poroznost i gustoća kamena zrelog materijala općenito poboljšana.

## 10. ZAKLJUČAK

Razmatrajući ove rezultate, daje se zaključiti da svaki materijal, ako se tretira u skladu s njegovom prirodom, može pokazati svoje dobre, bolje i lošije strane.

Prije objave rada bila sam u nedoumici da li nazvati kamen njegovim pravim imenom ili mu dati anonimnost. Mislim da je dobro da ga se nazove pravim imenom jer zapravo ne možemo reći da je neki materijal lošiji ili bolji od drugoga. Uz pravi tretman svi su bolji, a onda je na arhitektima i kupcima da odaberu teksturu koja im se najviše sviđa.

Namjera i intencija ovoga članka jest početak jedne zajedničke priče na multidisciplinarnom pristupu rješavanja pitanja i upitnika koji se provlače u priči o kamenu, od njegova vadenja, preko obrade do ugradnje i održavanja, a sa ciljem produljenja njegove trajnosti nakon ugradnje.

Ljudi su nekako svjesniji da je drvo prirodni materijal i čini mi se da se onda kao takvome pristupa s više pažnje. Za kamen postoji predodžba da je vječan, možda jer nam takvu sliku ostavljaju građevine iz daleke prošlosti, ali on je takav tek kada mu se posvete dužna pažnja i poštovanje.

## 11. NAJAVA OBJAVE OSTATKA ISTRAŽIVANJA

U ovome su radu razmatrane karakteristike koje su, da tako kažem, imanentne kamenu. One su tu uvijek. Nisu posljedica vanjskih sila te se ne pojavljuju kao reakcija na njih, što je zapravo karakteristika svih graditeljskih i konstruktivnih pothvata.

Tijekom istog istraživanja ispitivane su i karakteristike ove druge naravi: jednoosna tlačna čvrstoća, trajanje ispitivanja do sloma, maksimalna sila te Youngov modul elastičnosti.

Rezultati tih istraživanja bit će objavljeni u nastavku.

## LITERATURA

- [1] Marcus Vitruvius Pollio: *De architectura libri decem* ili na hrvatskom prijevodu *Deset knjiga o arhitekturi*.
- [2] B. Crnković i Lj. Šarić: *Gradenje prirodnim kamenom*, IGH, Zagreb, 2003.
- [3] M. Maksimović: *Eksploatacija ispitivanje primena arhitektonskog kamena*, Valjevo-pres, Beograd, 2006.

## IMPACT OF STONE WEATHERING TO ITS PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS AND LONGEVITY AFTER CONSTRUCTION

### *Summary*

The stone from the island of Brač used in construction of buildings and facilities often shows signs of a faster degradation, i.e. reduced durability. It has been known to happen that in the same location and conditions the stones from the same deposits of a newer date look older than the ones used in construction decades, even centuries earlier.

Comments can be often heard, especially by the end users, that stone of Brač, despite its decoration and beauty, is not acceptable for certain purposes because its degradation occurs very quickly.

Very few people take into consideration the human factor, or even better, the factor of modern, accelerated way of life. Usually everyone blames the material. The purpose of this paper is to show that stone needs to be understood and treated the proper way.

*Key words:* durability of stone; natural/Majdan or quarry moisture; stone degradation