

## UTJECAJ STRUKTURNO TEKSTURNIH ZNAČAJKI I DIJAGENETSKIH PROCESA NA POROZNOST ARHITEKTONSKOG KAMENA

Ivan TOMAŠIĆ<sup>1</sup> i Tomislav ŽENKO<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 41000 Zagreb, Hrvatska;

<sup>2)</sup> Institut građevinarstva Hrvatske, J. Rakuše 1, 41000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** Arhitektonski kamen, Poroznost, Upijanje vode, Dijagenetski procesi

Uzorci arhitektonskog kamena vapnenaca te po jedan vapnenački konglomerat i breča podvrgnuti su određivanju upijanja vode, gustoće, prostorne mase te apsolutne i relativne poroznosti. Upijanje vode i relativna poroznost određeni su u uvjetima atmosferskog tlaka i dodatno pod podtlakom. Posebna pozornost posvećena je određivanju značajki u svezi s vrstama i utjecajem pora na dobivene parametre. Dobivene vrijednosti prikazane grafički, posljedica su strukturno-teksturnih i petrografskih značajki, geneze i različitih postgenetskih procesa (tektonika i dijageneza). Posebno je analiziran utjecaj povećanja upijanja vode i relativne poroznosti nakon tretiranja u uvjetima podtlaka te promjene upijanja vode u odnosu na prostornu masu uzoraka kamena.

### Uvod

Poroznost ima velik utjecaj na trajnost arhitektonskog kamena. Bitno utječe na fizičko-mehanička svojstva posebice u uvjetima izlaganja atmosferilijama, kiši te zamrzavanju i zagrijavanju. Oblik, veličina te međusobni prostorni raspored i povezanost pora utječu na primanje, zadržavanje i iscjedivanje vode iz kamena.

Brojna su i raznolika oštećenja kamenih obloga građevinskih konstrukcija u kojima je arhitektonski kamen ugrađen sa zadaćom da zadovolji potrebu za dekoracijom. Oštećenja stoga znatno ovise o izboru kamena te mjestu i načinu ugradnje. Izbor kamena znatno utječe na trajnost i dekorativnost konstrukcija s obzirom da se pojedini petrološki i strukturni varijeteti znatno razlikuju po svojim mnogobrojnim značajkama, posebice po poroznosti. O mjestu ugradnje (vanjska ili unutarnja oblaganja) ovisi koliko će kamen biti izložen upijanju vode bez obzira na njeno porijeklo. Mjesto i način ugradnje (ventilirajuće fasade ili horizontalne i vertikalne površine na koje je kamen ugrađen uz upotrebu cementa) znatno utječu na kretanje i zadržavanje vode i soli različitog porijekla s pojavama eflorescencije i subflorescencije, te postupene dezintegracije kamena.

Poroznost je fizičko svojstvo kamena kojim se definira sadržaj pornog prostora. Kvantitativno se izražava kao odnos izražen u postotcima (%) volumena svih šupljina sadržanih u stijeni prema volumenu te stijene u prirodnom stanju. Tako izražena poroznost predstavlja apsolutnu ili ukupnu poroznost

**Key-words:** Dimension stone, Porosity, Water absorption, Diagenetic factors

A range of test methods was performed on dimension stone samples prevail limestones and carbonate conglomerate and breccia to determine water absorption, density, bulk density, absolute (total) and relative (effective) porosity. Water absorption and relative porosity were tested under atmospheric pressure and additionally under subpressure conditions. The influence of pore properties on the resulting parameters is evaluated attentively. The obtained values which are a consequence of structural-textural and petrographic characteristics, origin and post genetic processes (tectonics and diagenesis) are presented graphically.

The influence of water absorption enhancement and relative porosity after subpressure treatment was analyzed together with water absorption variation compared to stone bulk density.

koja se uobičajeno označava kao poroznost. Ta poroznost nije u potpunosti otvorena tj. dostupna vodi. Zbog strukturno petrografskih i dijagenetskih značajki te povezanosti pora, samo jedan dio pornog prostora može biti ispunjen vodom. Taj prostor ispunjen vodom nazivamo još relativna poroznost, a izražava se u volumnim postotcima. Vrijednost upijene vode u uskoj je svezi s relativnom poroznošću. To je voda koja ispunjava povezani porni prostor odnosno relativnu poroznost. Razlika je samo u mjernim jedinicama. Vrijednost upijene vode izražava se u masenim postotcima. Stoga jednu vrijednost možemo pretvoriti u drugu, pomoću prostorne mase kamena.

Tijekom istraživanja korištene su metode prema važećim normama (HRN), koje predviđaju mogućnost određivanja upijanja vode i relativne poroznosti pod podtlakom od 320 mbar-a korištenjem vakum pumpe i uređaja za vakumiranje.

Određena je apsolutna poroznost te obavljeno ispitivanje upijanja vode i relativne poroznosti u uvjetima atmosferskog tlaka i podtlaka. Sva su istraživanja i određivanja obavljena na uzorcima arhitektonskog kamena karbonatnog sastava (24 vapnenaca te po jedan primjerak vapnenačkog konglomerata i vapnenačke breče).

Istraživanje poroznosti ima posebnu ulogu i važnost u geologiji ležišta nafte i plina. Fluidi ležišta ugljikovodika nalaze se u pornom prostoru porozne stijene. Procjena volumena ležišta, račun količine iscrpka i početnih zaliha ugljikovodika u nekom od



kolektora temelje se na poznavanju značajki poroznosti. U upotrebi su dva pojma, ukupna i rezidualna poroznost, a koji se odnose na povezane i izolirane pore. Posebno je važna efektivna poroznost koja omogućuje kretanje i uskladištenje nafte. Zbog toga je poroznost vrlo temeljito istraživana. Posebno su detaljno obrađene karbonatne stijene, vapnenci i dolomiti.

Na temelju istraživanja, Choquette i Pray (1970) razradili su podjelu pora prema tipovima koristeći kao glavni kriterij njihove singenetske (primarne) i postgenetske (sekundarne) strukturne značajke. Prema obliku i postanku podijelili su pore na međuzrnske (primarne), unutarzrnske (predsedimentacijske komore, klijetke, te prostori među razgranatim skeletima i u obliku kalupa), fenestre i zatvorene pore (primarne), međukristalne (sekundarne), »vug« pore i kaverne te kanali (sekundarne, nastale otapanjem te bušenjem organizama) te frakturne pore (sekundarne, nastale tektonikom).

Porijeklo sekundarnog poroziteta nastalog dijagenetskim procesima, otapanjem, kemijskim i tektonskim procesima ističe Murray (1960) posebice zbog akumulacije nafte i plina.

Prema Gaskell-u iz Chilingar et al., (1967) porast sekundarnog međukristalnog poroziteta u karbonatnim stijenama uslijed kasnodijagenetske dolomitizacije iznosi od 0 do 12% (teoretski i do 13%).

Leighton i Pendexter (1962) ističu četiri komponente koje utječu na strukturna svojstva vapnenca: zrno, vapnenjački mulj (mikrit), cement i pore. Za pore su utvrdili da se mijenjaju ovisno o značajkama pakiranja, sortiranja i vrsti kontakata kristala i zrna.

Značajni utjecaj na formiranje pornog prostora karbonatnih homogenih stijena imaju stilolitski šavovi nastali dijagenetskim procesima uslijed tlaka nadslojeva i postupnog otapanja.

Važnost određivanja značajki stilolitskih šavova (debljine, kontinuiteta, visine amplitude i gustoće pojavljivanja) ističe Tišljarić (1987). Stiloliti su više ili manje izražene barijere za cirkulaciju otopina u smjeru okomito na njih, ali su isto tako dobri kanali za cirkulaciju fluida po stilolitima, osobito nafte, ovisno o utjecaju tektonike te o ispunjenosti glinom ili bitumenom.

#### Osnovne petrografske značajke analiziranih uzoraka arhitektonskog kamena

Određivanju apsolutne poroznosti te ispitivanju upijanja vode i relativne poroznosti podvrgnuto je 26 uzoraka arhitektonskog kamena iz 20 kamenoloma s područja Republike Hrvatske. Ispitivanju su podvrgnuti uzorci vapnenaca te dolomitiziranih i dedolomitiziranih dolomitičnih vapnenaca. Od svakog je uzorka izrađena polirana pločica i izbrusak za promatranje u reflektiranoj svjetlosti i u mikroskopu. Kamen je petrološki determiniran po Dunham-u (1962). Analizirani uzorci odlikuju se svim bitnim značajkama vezanim za primarnu (singenetsku) i sekundarnu (postgenetsku) poroznost.

*Humac* (1), ot. Korčula, je visokoporozni žučkastostmedkasti kamen, grubohrapave i neravne površine prijeloma; petrografski je to dedolomitizirani

rani dolomitični vapnenac odnosno bioklastični packstone do floatstone gornjokredne starosti.

*Seget* (2), kraj Trogira, je arhitektonski kamen homogene do mikroslojevite građe, žučkastobijele i sivkaste boje, grubo-hrapavih površina prijeloma; određen je kao rudistni vapnenac, tipa bioklastični packstone do grainstone, odnosno mikrokokinit gornjokredne starosti.

*Rasotica* (3), ot. Brač, gust arhitektonski kamen, homogene teksture, mjestimično slojevite građe, sivosmede boje, oštrobriđnih, grubo-hrapavih površina prijeloma; određen kao vapnenac-bitumenizirana rudistna kokina, odnosno bioklastični floatstone gornjokredne starosti.

*Jadran zeleni* (4 i 5), kraj Omiša, arhitektonski kamen homogene strukture zelenkastosive boje, grubo-hrapav i neravan na površini prijeloma; po petrografskim značajkama to je bioklastični vapnenac tipa grainstone te bioklastični packstone-grainstone. Uzorak 5 je sitnijeg zrna. Stratigrafska pripadnost: eocen.

*Rozalit* (6), Pakovo selo kraj Drniša, brečokonglomerat crvenkastoružičaste boje, nepravilne površine loma, sastavljen od valutica i fragmenata vapnenaca tipa intraklastični grainstone, peletni packstone-wackestone te bioklastični rudstone i mikritnog matriksa pigmentiranog limonitom i hematitom. Pripada konglomeratima »Prominske formacije«.

*Valtura* (7), kraj Pule, tip unito, arhitektonski kamen bijele do žučkaste boje, homogene teksture te fino hrapavih površina prijeloma. To je gornjokredni bioklastični vapnenac tipa mudstone do wackestone.

*Veselje* (Punta), *Kupinovo* i *Barbakan* (8, 9 i 15), ot. Brač, tipa unito, vrlo slični uzorci arhitektonskog kamena, žučkastobijele do smeđkaste boje, grubo-hrapava i neravna prijeloma te homogene teksture. *Veselje* (Punta) je gornjokredni vapnenac tipa rudistna kokina odnosno bioklastični packstone. Kamen *Kupinovo* je gornjokredni vapnenac tipa rudistna mikrokokina odnosno rudistni bioklastični wackestone do floatstone. *Barbakan* je kamen gornjokredne starosti tipa rudistna mikrokokina odnosno bioklastični packstone do floatstone.

*Vinicit* (10), Vinica kraj Varaždina, žučkastobijeli jako porozni pjeskuljavi miocenski vapnenac tipa bioklastični globigerinski wackestone, grubo-hrapave površine prijeloma. Homogene je teksture

*Krševina* i *Krtolina* (11 i 12), kraj Šibenika, vrlo porozni bijeli gornjokredni vapnenci, grubo-hrapava prijeloma i žučkastobijele do smeđkaste boje. Arhitektonski kamen *Krševina* je određen kao rudistna mikrokokina odnosno floatstone-rudstone, a *Krtolina* kao bioklastični rudistni packstone do floatstone, odnosno mikrokokinit.

*Romanovac* (13 i 14), kraj Obrovca, crvene vapnenačke breče, grubo-hrapavih i nepravilnih površina prijeloma. Uzorak arhitektonskog kamena 13 petrografski je stilolitizirana tektonska breča gornjokredne starosti sastavljena od fragmenata rekristaliziranih litoklasta mudstone-a, a 14 stilolitizirana breča s litoklastima mudstone-a. Uzorak 14 je krupnijeg zrna.



*Sivac* (16 i 17) te *Mlavica* (20 i 21), svi s ot. Brača, uzorci su sivkastobijelog gornjokrednog arhitektonskog kamena, pretežno mikrokristalaste strukture i homogene teksture te grubo do finije hrapavih površina prijeloma što ovisi o veličini dolomitnih i kalcitnih partikula. Uzorci kamena *Sivac* (16 i 17) određeni su kao kasnodijagenetski dolomitični vapnenci tipa mudstone do wackestone, a *Mlavica* (20) dedolomitizirani dolomitični mikrokokinit odnosno bioklastični sitnozrni floatstone. Kamen *Mlavica* (21) određen je kao mikrokristalasti dolomit idiotipne strukture s reliktima nedolomitiziranog mudstonea.

*Kanfanar* (18 i 19), kraj Pazina, žučkastosmedkasti uzorci arhitektonskog kamena, donjokredne (aptske) starosti, školjkasta do nepravilna i grubo do fino hrapava prijeloma. Petrografski su to stilolitizirani vapnenci tipa onkoidnih floatstone-a.

*Lucija* (22 i 23), kraj Buja, bitumenizirani gornjokredni rudistni vapnenci sive boje, slojevite teksture i grubo-hrapava prijeloma, tipa bitumeniziranih rudistnih mikrokokina, odnosno bioklastičnih rudstonea do floatstonea.

*Kirmenjak* (24), kraj Poreča, gusti muljeviti gornjojurski-titonski vapnenac bijele do žučkaste boje (tip »avorio«), plitkoškoljkastog i glatkog loma te porcelanskog izgleda ispresijecan stilolitima. Petrografski je to ultrasitnozrnasti mudstone.

*Lipovac* (25), Samobor, kamen tamnosive do crne boje prošaran rijetkim kalcitnim žilicama, fino hrapavih površina prijeloma; određen kao piritizirani, bituminozni kalcilititni vapnenac tipa mudstone s rekristaliziranim gnjezdima ispunjenim mikrosparitom. Stratigrafska pripadnost: trijas.

*Istranka* (26), Lupoglav u Istri, smeđkasti foraminifersko-alveolinski vapnenac, grubo-hrapavih površina prijeloma, određen kao bitumenizirani bioklastični floatstone.

Gotovo svi analizirani uzorci pripadaju istoimenim kamenolomima. Kamen *Veselje-unito* (8) potječe iz kamenoloma *Punta*.

## Metode i rezultati ispitivanja

Sklonost kamena upijanju vode te određivanje promjena relativne poroznosti u uvjetima atmosferskog tlaka i podtlaka ispitivana je u Laboratoriju za kamen Građevinskog instituta Hrvatske. Dodatno su još određene prostorna masa i gustoća uzoraka te izračunata apsolutna poroznost.

Ispitivanja su obavljena na 26 različitih varijeteta arhitektonskog kamena karbonatnog sastava od kojih su pripremljena po dva probna uzorka. Uzorci za ispitivanje bili su pravilnog oblika, mase između 150 i 350 grama. Postupak ispitivanja je obavljen prema važećim normama (HRN B.B8.010 i HRN B.B8.032).

Uzorci su potapani u destiliranu vodu i vagani nakon zasićenja tj. do konstantne mase (nakon 1–3 dana). Upijanje pod podtlakom obavljeno je potapanjem uzoraka u uređaju za vakumiranje koji se sastojao od staklenog eksikatora s čepom za odzračivanje i vakum pumpe. Vakum pumpom postignut je podtlak od 320 mbar-a. Uzorci su bili izloženi podtlaku 3 sata, a nakon toga obavljena su mjerenja.

Rezultati ispitivanja obrađeni su i prikazani grafički na dijagramima (slike 1, 2 i 3).

Dijagram na sl. 1 prikazuje rezultate ispitivanja apsolutne i relativne poroznosti (u vol. %) u ovisnosti od prostorne mase (u g/cm<sup>3</sup>) ispitivanih uzoraka. Vrijednost relativne poroznosti dobivena je ispitivanjem u uvjetima atmosferskog tlaka. Na slici su prikazane granice apsolutne poroznosti koje su konstanta za svaki varijetet kamena te relativne poroznosti koja se može mijenjati ovisno o uvjetima tlaka odnosno podtlaka pod kojim se obavljaju ispitivanja.

Iz dijagrama se može zaključiti da postoji dobra funkcionalna veza apsolutne i relativne poroznosti u odnosu na prostornu masu. Povećanjem prostorne mase smanjuju se vrijednosti obje poroznosti a s time i razlika između njih.

Najveća odstupanja od prikazanih vrijednosti pokazuju uzorci kamena *Mlavica* (21) i *Lipovac* (25), a granice između relativne i apsolutne poroznosti za pojedine uzorke kamena znatno variraju ovisno o brojnim strukturnim i petrografskim značajkama.

Grafičkim su načinom na slici 2 prikazane vrijednosti upijanja vode (u mas. %), dobivene ispitivanjem u uvjetima pod atmosferskim tlakom i povećanje upijanja vode pod podtlakom (u %). Na apscisi su te vrijednosti nanizane prema promjenama prostorne mase ispitivanih uzoraka.

Pojedini uzorci (sl. 2) pokazuju znatno povećanje upijanja vode ispitivanog u uvjetima podtlaka. Izuzetak su uzorci kamena *Valtura* (7) i *Kirmenjak* (24). Povećanje upijanja posebno je izraženo kod uzoraka s većom prostornom masom.

Najveće povećanje upijanja vode nakon tretiranja podtlakom pokazuju uzorci *Humac* (1), *Rasotica* (3), *Kanfanar* (19), *Romanovac* (14 i 13), *Jadran zeleni* (4 i 5) i *Rozalit* (6) a zatim nešto manje *Mlavica* (21 i 20), *Kanfanar* (18) i *Lipovac* (25).

Veće razlike u vrijednostima upijanja (u %) pojedinih uzoraka kamena u uvjetima određivanja pod podtlakom u odnosu na atmosferski tlak (sl. 1) ukazuju na povećanje pornog prostora dostupnog vodi ali i na povećanje komunikacije između pora. Ove razlike u značajkama poroznosti još se bolje vide na grafičkom prikazu slika 3.

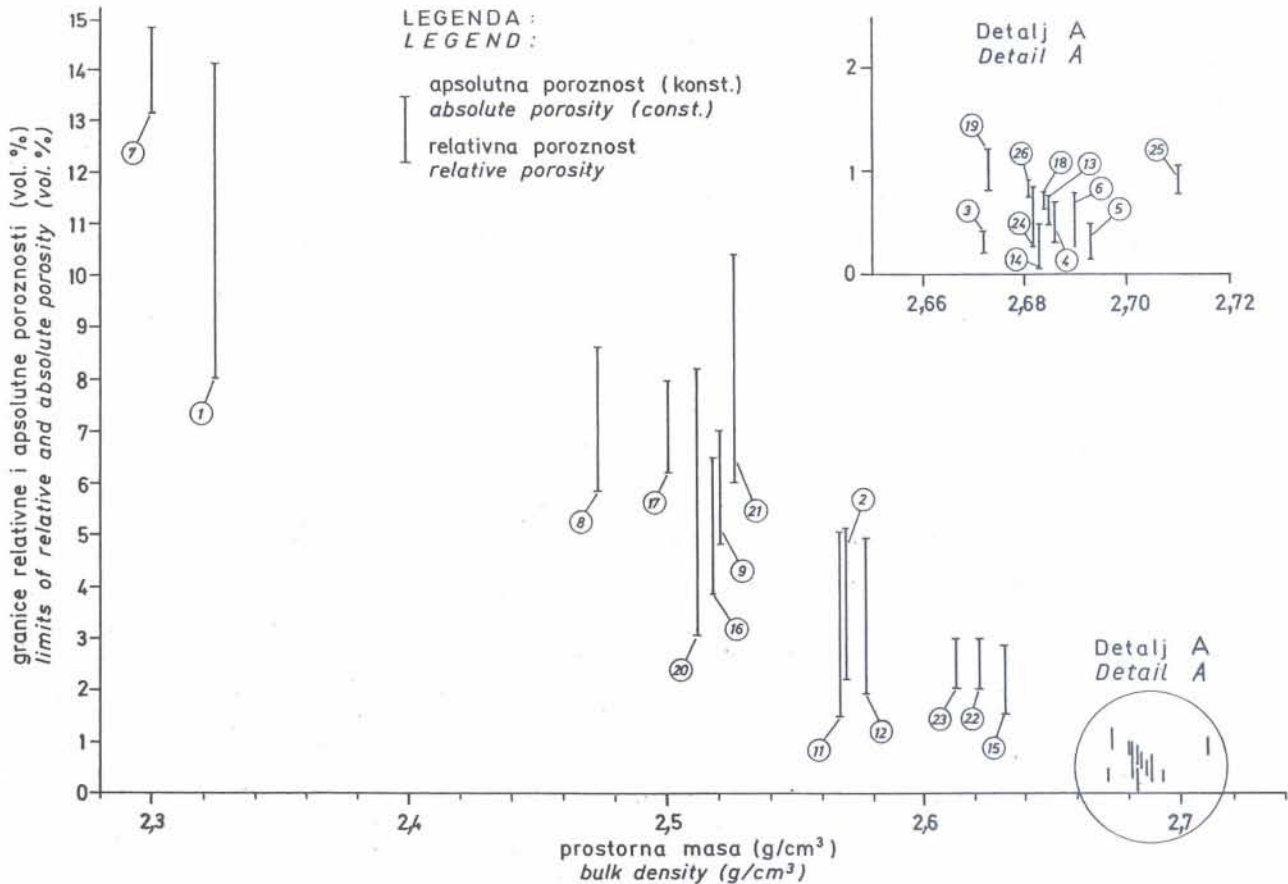
Na slici 3 dat je grafički prikaz vrijednosti apsolutne ali i relativne poroznosti (u vol. %) koja je određena u uvjetima pod atmosferskim tlakom i podtlakom. Na apscisi su te vrijednosti nanizane ovisno o promjenama prostorne mase ispitivanih uzoraka.

Na slici se jasno ističu vrijednosti relativnog poroziteta pod atmosferskim tlakom i podtlakom te njihova relativna ovisnost od prostorne mase.

Prema rezultatima na slici 3 posebno se jasno ističu uzorci kod kojih je značajno porasla relativna poroznost u uvjetima podtlaka za uzorke kamena *Humac* (7) – 51%, *Krševina* (11) – 45%, *Rasotica* (3) – 71%, *Kirmenjak* (24) – 181%, *Romanovac* (14 i 13) – 320 i 60%, *Jadran zeleni* (5 i 4) – 54 i 126%, *Rozalit* (6) – 67% te nešto manje *Mlavica* (20) – 21%, *Kanfanar* (19 i 18) – 20 i 23% i *Lipovac* (25) – 22%.

Uzrok povećanju relativne poroznosti možda se može tražiti u povećanju slabije vidljive međukri-





Sl. 1. Ovisnost apsolutne i relativne poroznosti o prostornoj masi (relativna poroznost određena je pod atmosferskim tlakom)

Fig. 1. Dependence of absolute and relative porosity with bulk density (relative porosity determined under atmospheric pressure)

Legenda - Legend:

1) Humac, 2) Seget, 3) Rasotica, 4) i 5) Jadran zeleni, 6) Rozalit, 7) Valtura unito, 8) Veselje unito, 9) Kupinova, 11) Krševina, 12) Krtolina, 13) i 14) Romanovac, 15) Barbakan unito, 16) i 17) Sivac, 18) i 19) Kanfanar, 20) i 21) Mlavica, 22) i 23) Lucija, 24) Kirmenjak, 25) Lipovac i 26) Istranka (zbog prostorne mase 1,699 g/cm<sup>3</sup> uzorak 10-Vinicit nije ucrtan u dijagram) (because of bulk density 1,699 g/cm<sup>3</sup> sample 10-Vinicit is not fcted in diagram)

stalne poroznosti koja se aktivirala u uvjetima određivanja pod podtlakom.

### Diskusija i zaključak

Provedena istraživanja ukazuju na veliki utjecaj brojnih strukturno-petrografskih značajki te veličine i karaktera pora na upijanje vode, odnosno apsolutnu i relativnu poroznost, posebice pod podtlakom (320 mbar-a). Na uzorcima su utvrđeni razni tipovi pora, ovisno o spomenutim značajkama te singenetskim i postgenetskim dijagenetskim procesima. Prema rezultatima određivanja upijanja vode te utvrđivanja apsolutne i relativne poroznosti (pod atmosferskim tlakom i pod podtlakom) uzorke možemo podijeliti u 4 skupine.

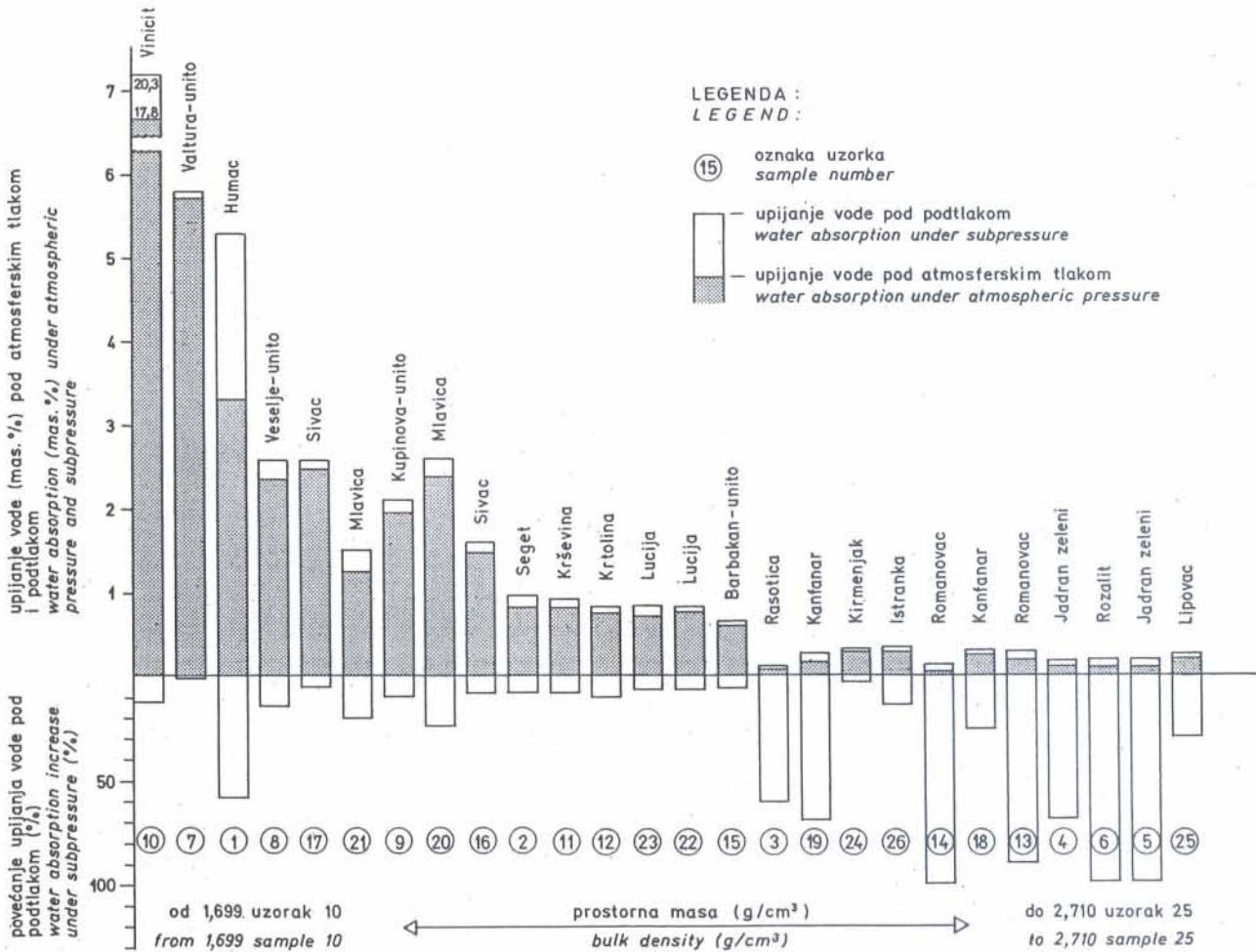
U prvu skupinu svrstan je visokoporozni uzorak kamena Vinicit te srednjeporozni Valtura unito i Humac. Odlikuju se nepotpunom cementacijom mezurnskih pora. Pod atmosferskim tlakom i podtlakom imaju upijanje vode od 3,3 do 20,3 mas.%. U drugu skupinu (upijanje vode pod atmosferskim tlakom u podtlakom iznosi od 1,25 do 2,6 mas.%, a relativna i apsolutna poroznost od 3,1 do 10,3 vol.%) svrstani su uzorci kamena Veselje unito (Punta), Kupinova, Sivac (16 i 17) i Mlavica (20 i 21).

U treću skupinu (upijanje vode pod atmosferskim tlakom i podtlakom iznosi od 0,6 do 0,95 mas.%, a relativna i apsolutna poroznost od 1,5 do 5,1 vol.%) svrstani su uzorci kamena Seget, Krševina, Krtolina, Barbakan unito i Lucija (22 i 23).

U četvrtu skupinu (upijanje vode pod atmosferskim tlakom i podtlakom iznosi od 0,05 do 0,35 mas.%, a relativna i apsolutna poroznost manje su od 1,0 vol.%) svrstani su uzorci kamena Rasotica, Jadran zeleni (4 i 5), Rozalit, Romanovac (14 i 15), Kanfanar (18 i 19), Kirmenjak, Lipovac i Istranka.

Utvrđene granice prema upijanju vode jasno su izražene. Prema rezultatima određivanja apsolutne poroznosti te relativne poroznosti u uvjetima atmosferskog tlaka i podtlaka za iste uzorke, granice nisu oštre, posebno između druge i treće skupine.

Poroznost ispitivanih i analiziranih uzoraka ukazuje na veliki utjecaj brojnih dijagenetskih procesa koji su usko vezani za tvorbu i konsolidaciju sedimenta te za pojedine faze tektonizacije (»otvaranje sedimenta«). Harbaugh (1967) tvrdi da je teško izvršiti oštru podjelu između primarne i sekundarne poroznosti. Analizirani uzorci u potpunosti potvrđuju predhodnu konstataciju. Također on tvrdi da otapanje i precipitacija (kristalizacija) mogu biti često



Sl. 2. Grafički prikaz vrijednosti upijanja vode pod atmosferskim tlakom i podtlakom te povećanje upijanja vode pod podtlakom

Fig. 2. Graphical display of water absorption values under atmospheric pressure and subpressure, and uncrease of water absorption under subpressure

istovremeni procesi te da je u pojedinim karbonatima na uskom prostoru utvrđeno više generacija novonastalih kristalica.

Teško je utvrditi koja od strukturno-teksturnih te petrografskih i dijagenetskih značajki ima presudni značaj na poroznost a s time i na pripadnost pojedinim skupinama, niti je moguće ukazivati na bitne i velike razlike u fizičko-mehaničkim svojstvima pojedinih varijeteta, iako one postoje.

Dakle, prema dobivenim podacima vidljivo je da pojedini uzorci kamena pokazuju određene posebnosti koje nije jednostavno objasniti. Vrijednosti relativne poroznosti pod atmosferskim tlakom i podtlakom ponekad se međusobno slabo razlikuju a ponekad su razlike vrlo velike. Obe ove vrijednosti ili jedna od njih ponekad se približavaju ili znatno udaljuju od vrijednosti apsolutne poroznosti. Svaka od njih na svoj način ukazuje na oblik, veličinu i povezanost pornog prostora.

Posebno su važne pukotinska, međuzrnska i međukristalna poroznost, a koje značajno utječu na upijanje vode te vrijednosti apsolutne i relativne poroznosti.

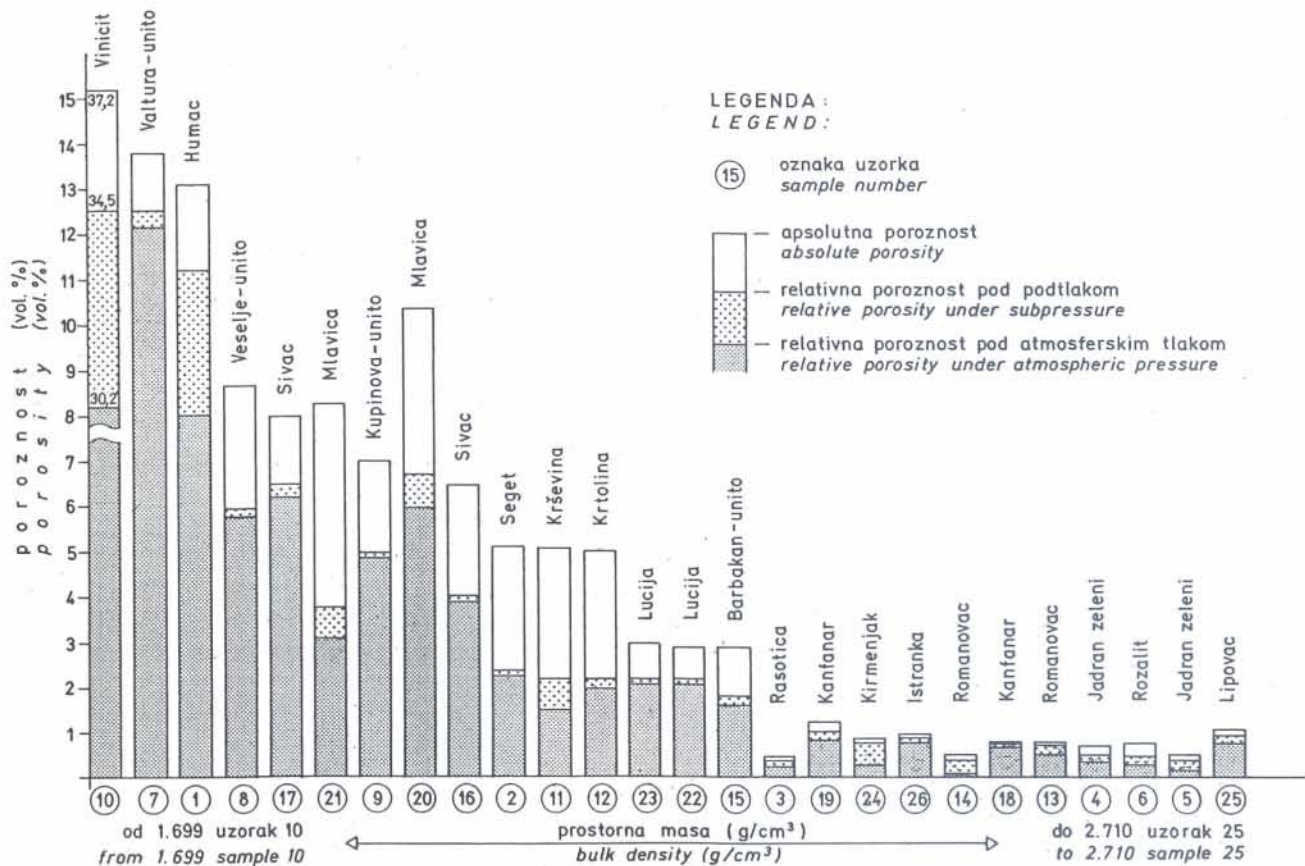
Pojedini uzorci sadrže mikropukotine tektonskog porijekla (Rasotica, Istranka, Jadran zeleni, Krtolina i Romanovac) ili pak pukotine isušivanja (Kanfanar, Kirmenjak i Lipovac). U drugim uzorcima nisu usta-

novljene pukotine tektonskog porijekla s obzirom da su tretirani uzorci bili relativno malih dimenzija. One se sa sigurnošću pojavljuju u gotovo svim varijetetima ovisno o dimenzijama uzoraka odnosno blokova kamena. Na prvom su mjestu od utjecaja na blokovitost stijenske mase a mogu biti i od velikog utjecaja na fizičko mehanička svojstva (čvrstoću i savijanje) te na otpornost na zamrzavanje.

Međuzrnska poroznost između zrna intraklasta, bioklasta i različitih fragmenata stijena sastavljenih pretežno od kristalica kalcita, uglavnom se dobro uočava, posebice kod uzoraka kamena Humac, Seget, Jadran zeleni, Lucija, Kupinova, Kanfanar, Krševina, Krtolina, Vinicit, Valtura te Romanovac i Rasotica kod kojih je pretežno ispunjena limonitom i bitumenom. Kod većine drugih uzoraka slabo je izražena. Uzorci Vinicit, Valtura te dijelom Humac odlikuju se nepotpunom cementacijom primarnih međuzrnskih pora.

Posebno je teško determinirati međukristalnu poroznost, slabo vidljivu u petrografskim izbruscima. Na nju najbolje ukazuju promjene vrijednosti relativne poroznosti određivane u uvjetima podtlaka. Samo podtlakom može se vodu utisnuti među kristale u prostore gdje preteže subkapilarna do kapilarna poroznost. Može se pretpostaviti da je njeno povećanje, a s time i povećanje prostora dostupnog vodi





Sl. 3. Grafički prikaz vrijednosti poroznosti (apsolutne i relativne određene pod atmosferskim tlakom i podtlakom)

Fig. 3. Graphical display of porosity values (absolute and relative determined under atmospheric pressure and subpressure)

upijanjem, vezano za postdijagenetske procese, naprezanja i tlakove, u pojedinim fazama tektonizacije stijenskih masiva. Međukristalna slabo vidljiva poroznost najbolje se uočava u rekristaliziranim dijelovima uzorka stijena, posebice u onima koji su dolomitizirani.

Na uzorcima koji se pretežno ili dijelom sastoje od vrlo sitnih kristalića dobivene su male vrijednosti upijanja vode te relativne i apsolutne poroznosti. Sitni kristalići imaju znatno viši stupanj uređenja kristalne rešetke (Goldschmidt i Graf, 1958), a u ispitivanim uzorcima su ujednačene veličine, znači da nisu pretrpjeli veće promjene uslijed tektonizacije, manje su skloniji drobljenju, imaju manje defekata, manje su rekristalizirani te su tako zadržali bolje međukristalne veze. Ovo pravilo citiranih autora utvrđeno je na dolomitima. Međutim, poznato je da se može primjeniti i na druge vrste stijena, a to posebno dobro potvrđuju brojni rezultati ispitivanja otpornosti na habanje.

Od pretežno sitnih kristalića te od zrna koja su izgrađena od sitnih kristalića sastoje se uzorci kamena Kirmenjak, Kanfanar, Rasotica, Romanovac, Jadran zeleni, Rozalit i Lipovac, ali i neki drugi uzorci u kojima prevladavaju bioklasti.

Vug poroznost, vezana uz procese otapanja, najbolje je izražena u uzorcima koji su tektonizirani, stilolitizirani i sporadično rekristalizirani. Tektonizacija je obično popraćena pojačanim otapanjem ali i rekristalizacijskim procesima. Otapanjem se pore proširuju a rekristalizacijom i cementacijom se zatva-

raju, uslijed čega se poroznost smanjuje. Ponovnom tektonizacijom nastaju defekti i kristali se počinju drobiti. Prvi su skloni drobljenju krupniji kristali ispunje tj. mozaični družni cement, kao npr. sparikalcit, rekristalizirane i dolomitizirane nakupine. Oni su skloniji drobljenju (Tomasić i ost. 1990; Salopek i Tomasić, 1990) od sjtnokristalaste mikritske osnove ali i od pojedinih zrna bioklasta i intraklasta koja se također sastoje od sitnih i bolje povezanih kristalića.

Ovaj proces pospješuje otapanje i tvorbu pora koje su smještene na čvorištima kristalića sparikalcita a sporadično su povezane razgranatim mikropukotinama nastalim pod utjecajem tektonike te sporadično i stilolitskim šavovima niskih amplituda. Ove su pojave uočene na uzorcima kamena Romanovac (13 i 14), Krtolina, Barbakan, Lucija, Kanfanar i Rozalit. U manjem obimu mogu se zamjetiti i u nekim drugim uzorcima.

Na povećanje poroznosti u kamenu jako utječu procesi stilolitizacije te manjim dijelom rekristalizacije, tj. tvorba uskih nakupina mikrosparita. Na sve to utjecaj imaju i procesi tektonizacije. Višestrukom tektonizacijom se smanjuju amplitude stilolitskih šavova, drobe se predhodno rekristalizirani krupniji kristali te nastaje veći i bolje povezani porni prostor. Stiloliti čine značajan porni prostor koji znatno utječe na kretanje, zadržavanje i cijedenje vode iz kamena. U svojim apikalnim dijelovima većih amplituda, gdje su sporadično stiloliti vrlo gusti i malih amplituda,



uslijed otapanja, utvrđene su okrugle pore koje su također vrlo značajne za komunikaciju vode.

Brojni stiloliti su utvrđeni u uzorcima onkolitnih vapnenaca u kojima omogućuju kretanje fluida na kontaktu između onkoida i mikritskog mulja zbog međusobne razlike u gustoći. Stiloliti su brojni u uzorcima kamena Kirmenjak, Kanfanar, Romanovac, Rozalit, Jadran zeleni (česti suturni kontakti između zrna), Rasotica i Lucija.

Osim toga, stiloliti su s obzirom na izraženost, bez ili s ispunom (glina, bitumenska i limonitna supstancija) od velikog utjecaja na fizičko mehanička i korozivna svojstva kamena.

U pojedinim uzorcima prostori stilolita s malim amplitudama ispunjeni su limonitnom ili bituminoznom supstancijom. Drobljenje uslijed tektonike cementiranih i rekristaliziranih dijelova oko i unutar stilolita omogućilo je penetraciju tih supstancija. Takvi uzorci imaju vrlo slabu vertikalnu i nešto veću horizontalnu propusnost. Ove su pojave uočene na uzorcima kamena Lucija, Romanovac i Rasotica. Takva mjesta znatno oslabljuju otpornost kamena na savijanje.

O korozivnom djelovanju alkalijskih soli, klorida, sulfata, cementnog morta s morskim pijeskom i alkalijska iz cementa na kamene obloge karbonatnog sastava (uzorci istih značajki kao u ovom radu) tipa Selina, Kirmenjak, Bale, Lakovići i Kanfanar pišu Halle i ost. (1974). Posebno ističu djelovanje alkalijske iz cementa koje difuzijom migriraju kroz porni prostor kamena (stilolite), dajući kristaliće alkalijskih spojeva, sode, termonatrita i trone, a koji se s vremenom disociraju uz tvorbu  $\text{HCO}_3^-$  iona koji korozivno djeluje na kalcit i pojačava oštećenja. Pri tome dolazi do kristalizacije topivih natrijevih karbonata u površinskom dijelu pornog prostora koji je pogodan za ispunu, te do mehaničkog (rast kristalića) i kemijskog djelovanja te odjeljivanja finih listića i korice s površine karbonatnih ploča, tj. finih korica i ljuspica. Tom se tumačenju može dodati da intenzitet djelovanja vjerojatno znatno ovisi i o kutu pod kojim stilolit izlazi na površinu kamena.

Bitumen u uzorcima Istranke, Lipovca i naročito u Rasotici značajno utječe na smanjenje upijanja vode. Pretežno ispunjava međuzrnsku te dijelom međukristalnu poroznost.

Dolomitizirani (Sivac 16 i 17, Mlavica 21) i dijelom dedolomitizirani dolomitični vapnenac (Mlavica 20) pokazuju povećano upijanje vode. Zbog bolje povezanosti međukristalne poroznosti uzorci Sivca (16 i 17) u odnosu na uzorke Mlavica (20 i 21) pokazuju manje razlike između relativne poroznosti u uvjetima atmosferskog tlaka i podtlaka.

Uzorci Mlavica (20 i 21) pokazuju velik neispunjen dio apsolutne poroznosti i posebno veliku apsolutnu poroznost kod uzorka Mlavica (20). Uzorak Mlavica (20) pokazuje znakove dedolomitizacije u centrima kristalića dolomita, u kojima su smještene novonastale zatvorene pore.

Dakle, i dolomitizacijom i dedolomitizacijom se poroznost povećava, osim što dedolomitizacijom nastaju zatvorene pore. To potvrđuju i uzorci Humac, Sivac (16 i 17) i Mlavica (20 i 21), a postoje

indikacije da su sličnim procesima zahvaćeni i uzorci Seget, Krtolina, Krševina i Lipovac.

Poroznost je dakle vrlo važno fizičko svojstvo arhitektonskog ali i tehničkog kamena. Jako utječe na kretanje odnosno na primanje, zadržavanje i procjeđivanje fluida u kamenu, posebno vode ali i otopljenih soli u vodi. Kristalizacijom vode odnosno zaledivanjem te kristalizacijom otopljenih soli u porama dolazi do značajnih tlačnih i vlačnih naprezanja koja ovisno o obliku i dimenzijama pora mogu dovesti do destrukcije kamena. Također kod zagrijavanja kamena zasićenog vodom, uslijed insolacije, može doći do znatnih naprezanja zbog parnih tlakova, jer će nakon većeg zasićenja vodom tlakovi biti izrazitiji.

Utvrđivanje poroznosti, pored poznavanja ostalih fizičkih i mehaničkih svojstava, posebno kod karbonatnih kamenih varijeteta, može bitno utjecati na izbor kamena za pojedina konstruktivna rješenja ovisno o izloženosti naprezanjima te klimatskim uvjetima.

Istraživanje utjecaja strukturno-teksturnih značajki i dijagenetskih procesa na poroznost ukazuje da se ne mogu utvrditi oštre granice u kvaliteti pojedinih varijeteta kamena s obzirom na poroznost. Kameni materijali mogu sadržavati razne tipove pora a imati gotove slične vrijednosti apsolutne i relativne poroznosti. Međutim, poznavanje značajki vezanih uz poroznost, obim, povezanost, orijentaciju i veličinu u konstruktivnim kamenim elementima-oblogama i slično, može bitno utjecati na primanje, zadržavanje i cijedenje vode te na otpornost u uvjetima zamrzavanja i zagrijavanja. Može se sa sigurnošću konstatirati da oblici i tipovi pora s obzirom na povezanost, tj. kontinuitet i položaj u odnosu na ostala strukturno-teksturna svojstva, značajno utječu na otpornost kamena na savijanje što je posebno važno kod kamenih obloga ventilirajućih fasada.

*Primljeno:* 22. II. 1993.

*Prihvaćeno:* 27. V. 1993.

## LITERATURA

- Chilingar, G. V., Bissell, H. J. and Wolf, K. H. (1967): The diagenesis of carbonate rocks. In: Larsen, G. and Chilingar, G. V. (ed.), *Diagenesis in Sediments*. – Elsevier Publ. Co.
- Choquette, P. W. and Pray, L. C. (1970): *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. – Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 54, 207–250.
- Dunham, R. J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. – In: Ham, W. E. (ed.): *Classification of carbonate rocks*. – Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 1, 108–121.
- Goldschmidt, J. R. and Graf, D. L. (1958): Structural and compositional variations in some natural dolomites. *J. Geol.*, 66, 678–693, Chicago.
- Halle, R., Carin, V., Hvala, M. i Crnković, B. (1974): Utjecaj sastava cementa za vezivni mort na oštećenja kamene obloge: Zbornik radova, Simpozij ukrasni i tehnički kamen, 49–59, Opatija.
- Harbaugh, J. W. (1967): Carbonate oil reservoir rocks. – In: Chilingar, Bissell and Fairbridge (ed.), *Carbonate Rocks*. – Developm. in Sedimentol., 9A, Elsevier Publ. Co., 349–398.
- Leighton, M. V. and Pendexter, C. (1962): Carbonate rock types. In: Ham, W. E. (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. – Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 1, 33–61.



- Murray, R. C. (1960): Origin of porosity in carbonate rocks. *J. Sediment. Petrol.*, 30, 59–84.
- Salopek, B. and Tomašić, I. (1990): Textural-structural characteristics of dolomites and their influence on the comminution behaviour of the rock. 7th European symposium comminution, 1, 283–293, Ljubljana.
- Tišljar, J. (1987): Petrologija sedimentnih stijena. Sveučilište u Zagrebu, 242 str., Zagreb.
- Tomašić, I., Salopek, B. i Krašić, D. (1990): Utjecaj dijagenetskih i tektonskih procesa u dolomitima na njihovo sitnjenje. – *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 2, 47–51, Zagreb.

## The Influence of Structural-Textural and Diagenetic Factors on Dimension Stone Porosity

I. Tomašić and T. Ženko

A range of test methods was performed on dimension stone samples to determine water absorption, density, bulk density, absolute (total) and relative (effective) porosity. Water saturation (absorption) and relative porosity were tested under atmospheric pressure and additionally under subpressure conditions. The influence of pore properties on the resulting parameters is evaluated attentively. The obtained values which are a consequence of structural-textural and petrographic characteristics, origin and post genetic processes (tectonics and diagenesis) are presented graphically.

The influence of water absorption enhancement and relative porosity after subpressure treatment was analyzed together with water absorption variation compared to stone bulk density.

During the investigation standard HRN test methods were applied which anticipate the feasibility of water absorption and relative porosity determination in subpressure conditions of 320 mbar provided by a vacuum pump and vacuuming apparatus.

Twenty-six samples of limestone, dolomitized and dedolomitized dolomitic limestone from Croatia were analyzed. Polished sections of the stone samples were prepared for reflective light microscopy. Petrographic identification was determined according to Dunham (1962).

The samples were immersed in deionised water and allowed to saturate (for a period of 1 to 3 days) to gain constant mass and then weighted. Water absorption tests under subpressure conditions were performed by immersion of the specimens in a vacuum desiccator. The attached vacuum pump provided a pressure of 320 mbar and a vacuum was applied for 3 hours after which testing and measurements followed. The results are reported graphically on diagrams in figures 1, 2, and 3.

The diagram in figure 1 displays the relationship between the values of absolute and relative porosity (in vol.%) and volume mass (in g/cm<sup>3</sup>) in the analyzed samples. Relative porosity values were obtained under atmospheric pressure conditions. The figure shows total porosity limits that are constant for each stone variety and the values of relative porosity that is effected by pressure conditions under which the measurements were conducted. It can be readily seen from this diagram that a good functional relationship exists between relative and absolute porosity, and bulk density. The raise of bulk density causes a decrease in values of both porosity's and their differences.

The diagram in figure 2 illustrates the difference (in percentage) between water absorption (in mass %) under atmospheric pressure

conditions and those under vacuum. On the abscise these values are arranged in a series according to changes in bulk density of the analyzed samples.

The values of absolute and relative porosities (in vol. %) determined under atmospheric pressure and vacuum conditions are presented on the diagram in figure 3. On the abscise these values are also as in figure 2 arranged in a series according to changes in bulk density of the analyzed samples.

The results in figure 3 clearly distinguish the samples with notably raised relative porosity under subpressure conditions. These are: Humac (7) – 51%, Krševina (11) – 45%, Rasotica (3) – 71%, Kirmenjak (24) – 181%, Romanovac (14 and 13) – 320 and 60%, Jadran zeleni (5 and 4) – 54 and 126%, Rozalit (6) – 67%, and in a lesser extent Mlavica (20) – 21%, Kanfanar (19 and 18) – 20 and 23%, and Lipovac (25) – 22%.

Various types of pores were determined according to their structural-textural, petrographical and diagenetic properties. These were predominantly interparticle and intercrystalline pores. Whilst the interparticle pores between intraclasts, fossil and various other rock fragments are clearly deduced under the microscope, the identification of intercrystalline pores was not as easy. Intercrystalline pores are clearly indicated by changes of relative porosity values determined under different pressure conditions (fig. 3). Only subpressure can force water into intercrystalline space which is dominated by capillary and subcapillary porosity.

In some samples relative porosity is effected in a large extent by various tectonization phases, dissolution and recrystallization processes and also by dolomitization and dedolomitization. Vug porosity, formed by solution, is best observed in samples that had undergone stillolitization, tectonization and recrystallization. Tectonization most frequently affects the coarse fill crystals e. g., mosaic druse cement which is mainly sparicalcite, and various recrystallized and dolomitized aggregates.

The results of the performed investigations imply that a rigid distinction between stone variety quality on the basis of porosity can not be made. Nevertheless, porosity characteristics; volume, interconnection, orientation and size in dimension stone can essentially influence the capability of absorption, retainance and drainage of water and its resistance in conditions of freezing and heating. Thus porosity has great influence on physical and mechanical properties and especially on the durability of dimension stone.