

# Utjecaj poroznosti na postojanost kamena

---

**Tomašić, Ivan; Ženko, Tomislav**

*Source / Izvornik:* **Klesarstvo i graditeljstvo, 1995, 6, 34 - 40**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:773014>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum  
Engineering Repository, University of Zagreb](#)



# KLESARSTVO I GRADITELJSTVO

BROJ 3 — 4

GOD. VI.

PROSINAC, 1995.

## SADRŽAJ



### Izdavač:

Klesarska škola, Pučišća, otok Brač

### Urednik:

Tomislav Bužančić, dipl. ing. grad.

### Članovi uredništva:

Zdravko Matijašić, meštar radionice  
Prof. dr. Branko Crnković  
Prof. dr. Vladimir Jelaska  
Prof. Davor Dragičević

### Tehnički urednik:

Tomislav Bužančić, dipl. ing. grad.

### Za izdavača:

Pero Dragičević

### Redakcijske usluge:

»Franjo Kluz« d.d. - Omiš

### Adresa uredništva:

Časopis »Klesarstvo i graditeljstvo«  
Klesarska škola, 21413 Pučišća  
Telefon: 021/633-114, fax: 633-076  
Telefon urednika: 021/43-517

Informacije o pretplati i oglašavanju možete dobiti na telefon 021/633-114 ili na adresu uredništva.

### NASLOVNA STRANICA:

DETALJI S IZLOŽBE U PARIZU

Radovi učenika klesarske škole iz Pučišća i bračkih klesara obrtnika na izložbi u Parizu ..... 3

### Ljubomir Šarić

Smjernice za postavljanje i polaganje prirodnog kamena ..... 6

### Ljubomir Šarić

Primjena klesanaca u suvremenoj gradnji kamenih obloga ..... 22

### Siniša Dunda

Eksploatacija i obrada arhitektonskog kamena vodenim mlazom ..... 27

### Ivan Tomašić - Tomislav Ženko

Utjecaj poroznosti na postojanost kamena ..... 34

### Rajko Dobrić

Arhitektonsko-gradevinski kamen, najinteresantnija mineralna sirovina Dalmacije ..... 41

### Jelena Balent

Čišćenje i zaštita arhitektonskog kamena ..... 49

### Tomislav Bužančić

Bilješke u prolazu ..... 53

### Branko Crnković

Rječnik nazivlja Kamen ..... 56

Žiro račun: 34491-603-154

Cijena dvobroja 25 kn  
Godišnja pretpata 45 kn, plativo u kn po sr. teč. N.B.H.

Na osnovu mišljenja Ministarstva prosvjete, kulture i športa RH br. 532-03-1/7-91-02 (KLASA: 612-10/91-01-198) od 3. 12. 1991. god. časopis »KLESARSTVO - GRADITELJSTVO« smatra se proizvodom iz članka 19. točka 14. Zakona o porezu na promet proizvoda i usluga.

officine meccaniche

# BOMBIERI & VENTURI

costruzione macchine per la lavorazione del marmo e granito

37023 grezzana (vr) italy - via tavigliana, 2

tel. 045/8650303 r.a. - Telex 482488 BIVI I - Fax 045/8650100

COM ADRIA

SPLIT, Dinka Šimunovića 20 - tel./fax: 021/355-738, 561-016, 563-601  
ZAGREB, Županova 16 - tel./fax: 01/2300-871, 211-734

## UTJECAJ POROZNOSTI NA POSTOJANOST KAMENA

### UVOD

Poroznost je jedno od najvažnijih svojstava kamena. Ima velik utjecaj na trajnost arhitektonskog kamena. Bitno utječe na njegova fizikalna i mehanička svojstva posebice u uvjetima izlaganja atmosferilijama, zagađenom okolišu te zamrzavanju i zagrijavanju. Oblik, veličina, te međusobna prostorna raspodjela i povezanost pora utječu na primanje, zadržavanje i iscjeđivanje vode kod ugrađenih kamenih elemenata. Ti su kameni elementi ugrađeni s određenom funkcijom i oblikom u građevinskim i arhitektonskim konstrukcijama.

Veličinom i prostornom raspodjelom pore znatno utječu na količinu upijene vode i vodene pare u kamenu. Voda je jedan od redovitih pratilaca gotovo svih procesa dezintegracije i slabljenja mehaničkih i kemijskih svojstava kamena. Najvažniji je čimbenik postojanosti i trajnosti kamenih elemenata. Brojni procesi koji negativno utječu na kamen, ali i oni rjeđi koji utječu pozitivno, bit će potpuno isključeni bez prisustva vode. Izostat će kemijske reakcije s mineralnim sastojcima kamena, otapanje, kretanje topivih soli i njihova kristalizacija, rekristalizacijski procesi, kristalizacija leda a s tim i različita mikro i/ili makro tlačna i vlačna naprezanja.

Vrlo je važno ocijeniti i unaprijed predvidjeti mehanizam kretanja vode u kamenu, u njegovoj unutrašnjosti i na površini. Taj mehanizam kretanja vode je značajan jer se najveći broj procesa dezintegracije događa u vrijeme zadržavanja vode i sušenja, a ne u razdoblju upijanja.

Najveća količina vode koju porozna kamena konstrukcija-element upija potječe iz atmosfere. Kiše, nošene vjetrom, mogu svojim intenzitetom i trajanjem najviše utjecati na količinu upijene vode. Udari vjetra i tlak zraka mogu pospješiti brzinu i dubinu prodiranja vode u kamen.

Osim kiše na količinu upijene vode u kamenu najviše utječu relativna vlažnost zraka i temperatura okoliša. Ovi čimbenici utječu na higroskopnost i kondenzaciju vode u kamenu, a koja ovisi o parcijalnim pritiscima i relativnoj vlažnosti vodene pare u zraku, te temperaturi zraka i kamena.

Veličina kapilarnog prostora i intenzitet stvaranja kapilarne napetosti između vode i stijenki kamena također utječu na dubinu prodiranja vode u kamen.

Pored atmosferske vode na kamen znatno utječe voda koja se kapilarnim silama diže iz tla u kamene zidove i konstrukcije.

Prema tome na objektima kamen dolazi u dodir s vodom na razne načine ovisno o arhitektonskom rješenju i funkciji u konstrukciji.

### Poroznost

Poroznost je svojstvo kamena kojim se definira sadržaj pornog prostora. Razlikuje se apsolutna ili ukupna poroznost koja se uobičajeno označava kao poroznost, nepotpuno otvorena tj. dostupna vodi, te relativna ili otvorena poroznost koju voda može ispuniti u uvjetima normalnog tlaka. Vrijednost upijene vode u uskoj je vezi s relativnom poroznošću. To je voda koja ispunjava povezani porni prostor odnosno relativnu poroznost.

Poroznost je stoga posebno značajna za vijek trajanja prirodnog arhitektonskog kamena. Oblik, veličina i raspodjela pora kod karbonatnih varijeteta znatno ovise o dijagenetskim i postdijagenetskim procesima u kamenu. Distribucija pora u kamenu znatno utječe na njegovu homogenost i heterogenost odnosno na izotropiju i anizotropiju. Spomenuti elementi najbolje se mogu analizirati i prikazati na pojedinim varijetetima prirodnog arhitektonskog kamena.

Kvantitativno se poroznost izražava kao odnos izražen u postocima (%) volumena svih šupljina sadržanih u kamenu prema volumenu te stijene u prirodnom stanju, ili pak prema odnosu gustoće i prostorne mase kako slijedi:

$$P = \frac{V - V_o}{V} = \frac{\rho_s - \rho_m}{\rho_m} = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_s} * 100(\%)$$

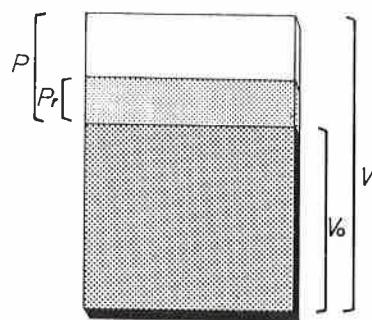
- V* - volumen s porama  
*V<sub>o</sub>* - volumen bez pora  
*P<sub>g</sub>* - gustoća  
*P<sub>m</sub>* - prostorna masa

Tako izražena poroznost predstavlja apsolutnu poroznost koja se uobičajeno označava kao poroznost. Ta poroznost nije u potpunosti otvorena tj. dostupna vodi. Zbog strukturno-petrografskih i dijagenetskih značajki te povezanosti samo jedan njen dio može biti ispunjen vodom. Taj ispunjen prostor nazivamo još relativna poroznost. Izračunava se prema formuli:

$$P_r = \frac{M_v - M_s}{V} * 100(\%)$$

- P<sub>r</sub>* - relativna poroznost (dostupna za vodu)  
*M<sub>v</sub>* - masa vodom zasićenog uzorka  
*M<sub>s</sub>* - masa suhog uzorka kamena  
*V* - volumen uzorka kamena

Odnos relativne i apsolutne poroznosti i čvrste faze može se još prikazati i grafički (sl. 1):



$V$  - volumen kamena s porama  
 $V_p$  - volumen kamena bez pora  
 $P$  - apsolutna poroznost  
 $P_r$  - relativna poroznost

Sl. 1. - Grafički prikaz odnosa relativne i apsolutne poroznosti i čvrste faze (volumen kamena bez pora).

Za prirodni arhitektonski kamen je najpovoljnije da je razlika između apsolutne i relativne poroznosti što veća. To znači da kamen ima vrlo malu relativnu poroznost odnosno da u normalnim uvjetima atmosferskog tlaka upija malu količinu vode. Strukturna građa i raspodjela pornog prostora takvog kamena je povoljna. Dio pornog prostora nije međusobno povezan, zbog čega je mogućnost upijanja vode manja. Na taj se način svi mogući i prethodno spomenuti negativni procesi u kamenu mogu svesti na najmanju moguću mjeru.

Pore su međusobno jako povezane kod karbonatnih varijeteta kod kojih je mala razlika između apsolutne i relativne poroznosti. Takav kamen treba pomno analizirati prije ugradnje. Treba voditi računa o raspodjeli pornog sustava u kamenu. Kamen treba tako orijentirati na objektu da se upijena voda što kraće zadržava i brzo iscijedi. Stoga voditi računa o intenzitetu i raspodjeli pornog sustava u kamenu znači povećati njegov vijek trajanja.

### Tipovi pora

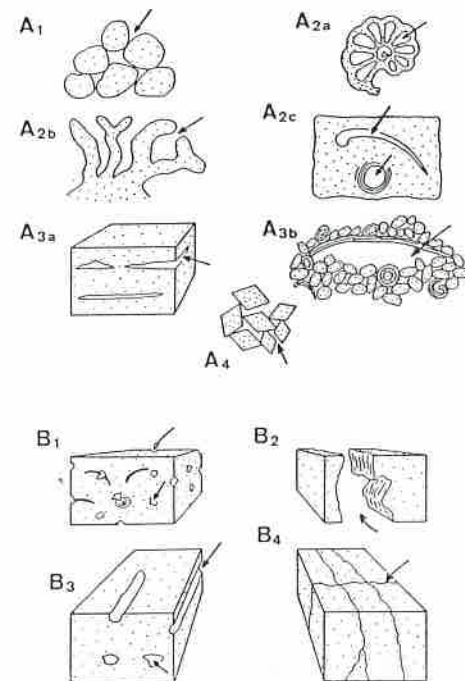
Danas se u svijetu u primjeni različite klasifikacije pora. Jedna od pogodnih za primjenu u analizi pornog prostora kod arhitektonskog kamena jest ona prema klasifikaciji Choquette & Pray-a (1970). Prema njima pore su grupirane u 15 tipova, odijeljene u dvije kategorije, svaka s 4 podgrupe (sl. 2). Namjena klasifikacije je kategorizacija i spajanje tipova pora sličnih geometrijskih oblika i načina postanka.

Prema ovoj klasifikaciji kod vapnenaca i dolomita razlikuju se primarna i sekundarna poroznost.

**Primarna poroznost** dijeli se na međuzrnske, unutarzrnske, zatvorene i međukristalne pore. **Međuzrnske** pore su sinsedimentacijskog podrijetla, a odnose se na prostor između zrna sa zrnskom potporom. Takve se pore nalaze kod breča, pješčenjaka i zrnastih vapnenaca greystone tipa ( $A_1$  na sl. 2). **Unutarzrnske** pore mogu biti "komore" ili neki drugi otvori unutar skeleta ili bioklasta ( $A_{2a}$  na sl. 2); formirati porni prostor unutar skeletne rešetke, nastao rastom skeletnih elemenata rastuće strukture kod kolonija koralja i nepravilnih skeleta algi ( $A_{2b}$  na sl. 2); te kalupne šupljine raznih oblika nastale dijagenetskim otapanjima ranijih sedimentnih čimbenika kao što su ljušturice, ooidi ili kristali anhidrita ( $A_{2c}$  na sl. 2). **Zatvorene** pore su pore sinsedimentacijskog podrijetla. Pojavljuju se kao fenestre ( $A_{3a}$  na sl. 2) ili pak kao "pore efekta

kišobrana" koje nastaju zatvaranjem relativno velikim sedimentnim česticama npr. fragmentima školjaka koji mogu spriječiti ispunjavanje finijim česticama susjednih otvora pora ( $A_{3b}$  na sl. 2). Fenestre su primarni otvori u građi stijene, veći od međuzrnskih pora. Mogu se formirati raspadaanjem sedimentata koji je pokriven "algalnim livadama", stezanjem uslijed sušenja ili akumulacijom plina u "džepovima". Fenestre mogu biti spljoštene ili paralelne sa slojevitošću (tada se zovu "ptičje oko"). **Međukristalne** pore, zavisno od vrste minerala, su sinsedimentacijskog ili postsedimentacijskog podrijetla ( $A_4$  na sl. 2).

**Sekundarna poroznost** jest postsedimentacijskog podrijetla, a sastoji se od šupljinske ili "vug"-poroznosti, kaverna, kanala i rasjeda. "Vug" poroznost tvori šupljine, pore koje se formiraju pri donosu nekih komponenti u stijene često duž sjecišta mikropukotina ( $B_1$  na sl. 2). **Kaverne** su otvori velikih dimenzija ( $B_2$  na sl. 2). **Kanali** su značajno produljene pore u dvije ili tri dimenzije. Formiraju se na različite načine: anorganskim putem za vrijeme dijageneze; bušćim ili rovaćim organizmima te prijelazom ka fenestralnim porama, stezanjem ( $B_3$  na sl. 2). **Frakture** nastaju na različite načine: urušavanjem zbog otapanja, te propadanjem ili raznim vrstama tektonskih deformacija uključujući pukotine ( $B_4$  na sl. 2).

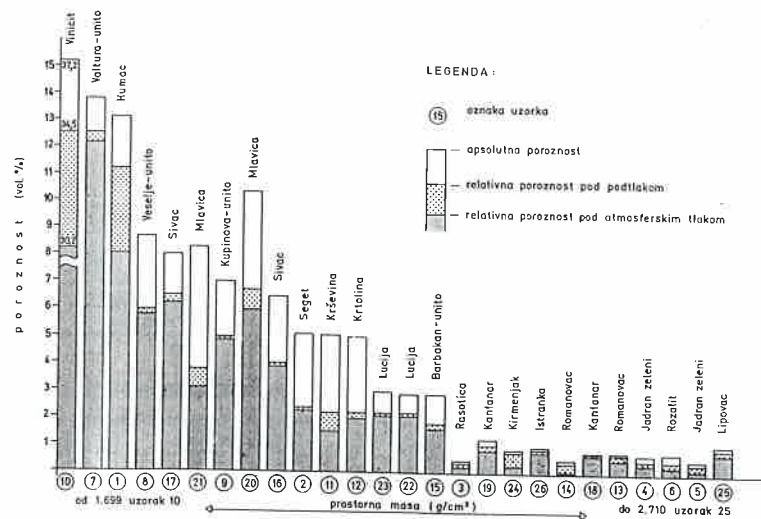


Sl. 2. - Klasifikacija tipova pora vapnenaca i dolomita prema Choquette & Pray (1970. god.).

### Utjecaj tlaka na poroznost

Da bi se samo djelomično shvatilo kakav je utjecaj pornog prostora kod različitih varijeteta domaćeg karbonatnog kamena, na sl. 3 prikazani su rezultati ispitivanja apsolutne i relativne poroznosti u uvjetima normalnog atmosferskog tlaka te relativne poroznosti u uvjetima podtlaka od 320 mbar-a.

Dobivene vrijednosti prikazane grafički, posljedica su strukturno-teksturnih i petrograskih značajki, geneze i različitih postgenetskih procesa (tektonika i dijageneza). Posebno je analiziran utjecaj povećanja relativne poroznosti u uvjetima podtlaka. Rezultati pokazuju da se ne mogu utvrditi oštre granice u kvaliteti pojedinih varijeteta kamena s obzirom na poroznost. Kameni materijali mogu sadržavati tazine tipove pora, a imati gotovo slične vrijednosti apsolutne i relativne poroznosti. Međutim, poznavanje značajki vezanih uz poroznost, obim, povezanost, raspodjelu, orijentaciju i veličinu pora u odnosu na ostala strukturno-teksturna svojstva u konstruktivnim kamenim elementima-oblogama i slično,



Sl. 3. - Grafički prikaz vrijednosti poroznosti (apsolutne i relativne određene pod atmosferskim tlakom i pod tlakom) za domaće varijetete karbonatnog kamena prema Tomašiću i Ženku (1993.).

može bitno utjecati na primanje, zadržavanje i cijedenje vode, te na otpornost u uvjetima zamrzavanja, zagrijavanja i savijanja.

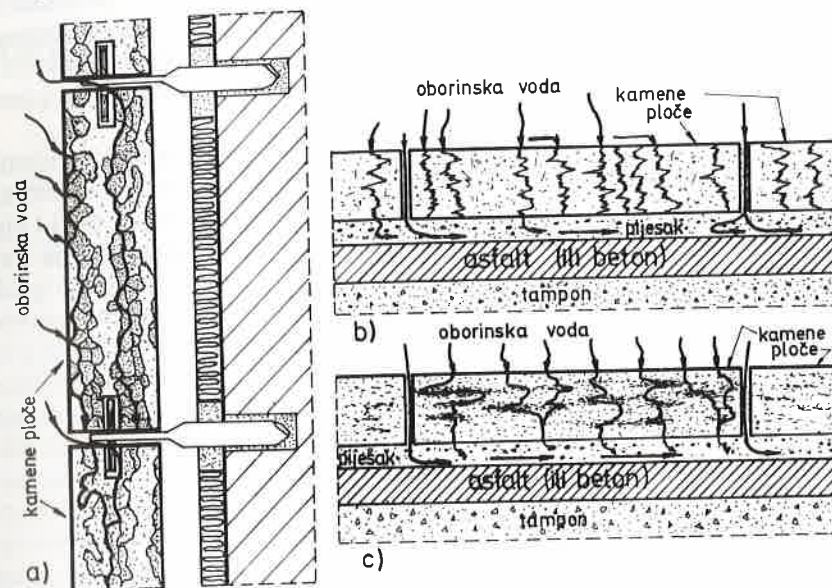
Na grafikonu su prikazani analizirani uzorci karbonatnog kamena iz ležišta: Kirmenjok, Lucija, Kanfanar, Valtura, Istranka, Romanovac, Sivac, Barbakan (unito), Kupinova (unito), Punta (Veselje unito), Humac, Mlavica, Seget, Jadran zeleni, Rozalit, Krševina, Krtolina, Žaganj Dolac (Rasotica), Jadran zeleni, Rozalit, Lipovac i Vinicit.

### Primanje, zadržavanje i cijedenje vode

Poroznost je dakle vrlo važno fizikalno svojstvo prirodnog arhitektonskog kamena. Jako utječe na kretanje, odnosno zadržavanje i procjeđivanje fluida u kamenu, posebno vode, ali i otopljenih soli. Kristalizacijom vode odnosno zaleđivanjem, te kristalizacijom otopljenih soli u porama dolazi do značajnih tlačnih i vlačnih naprezanja u kamenu koja, ovisno o obliku i dimenzijama pora, mogu dovesti do destrukcije kamena. Distribucija prethodno prikazanog pornog prostora jako utječe na anizotropnost kamenih varijeteta. Na sl. 4 prikazani su neki primjeri karbonatnih kamenih varijeteta u konstrukcijama s obzirom na njihov funkcionalni i estetski značaj u objektima, te s obzirom na primanje, zadržavanje i cijedenje vode u ovisnosti od pornog prostora i strukturno-teksturnih značajki.

Iz slike 4 je vidljivo da strukturne i teksturne značajke pojedinih litotipova značajno utječu na usmjeravanje toka vode, ali i na, ukoliko dođe do zaleđivanja, mogući oblik oštećenja i destrukciju kamena. Litotipovi (na sl. 4a i 4b) pokazuju jaku anizotropiju a litotip (na sl. 4c) slabiju.

Onkolitni vapnenci (sl. 4a) imaju jako izraženu anizotropiju. Ona se očituje u relativno pravilnom nizanju onkoida u karbonatnom mikritnom matriksu. Oni su i međusobno i od veziva oštro odvojeni pretežito slabije izraženim stilolitima malih amplituda. Ovisno o njihovom mogućem dodirivanju i nizanju jača intenzitet anizotropije te mogućnost procjeđivanja upijene vode. Voda se kroz njih kreće s lakoćom. Potpuno je različita postojanost onkolitnih vapnenaca postojani na vertikalnim u odnosu na horizontalne površine. Na horizontalnim površinama su zahtjevniji u pogledu načina ugradnje i održavanja.



Sl. 4. - Shematski prikaz nekih strukturnih litotipova kamena i raspodjele pornog prostora obzirom na procjeđivanje vode i njegovo funkcionalno značenje u konstrukciji, a) kod onkolitnog vapnenca u ventilirajućoj fasadnoj oblozi, b) kod vapnenca sa stilolitima u horizontalnoj oblozi i c) kod vapnenih biokalkarenita tipa "unito" u horizontalnoj oblozi.

Mikritni vapnenci s jako izraženim stilolitima velikih amplituda (sl. 4b) odlikuje se izuzetno jakom anizotropijom. Stiloliti uvjetuju njihova fizikalna i mehanička svojstva te procjeđivanje vode ovisno o njihovoj otvorenosti. Njihova otvorenost i/ili ispunjenost glinom, bitumenskom i limonitnom tvari ovisi o vrsti i obimu dijagenetskih procesa kojima je vapnenac bio podvrgnut u stijenskoj masi ležišta. S vremenom se ispuna izlužuje, te se povećava mogućnost procjeđivanja. Ukoliko su otvoreni, tada izuzetno dobro procjeđuju vodu.

Biokalkareniti tipa "unito" procjeđuju vodu sporo, ovisno o udjelu i raspodjeli mikritnog veziva, sparikalcita, bioklasta i intraklasta. Često imaju izrazito slabo vidljivu laminaciju ili paralelno nizanje spomenutih sastojaka. Procjeđivanje vode također ovisi o dijagenetskim procesima ali i o defektima nastalim uslijed tektonskih naprezanja. Mozaični družni cement, kao npr. sparikalcit, rekristalizirane, dolomitizirane i dedolomitizirane nakupine sklone su drobljenju pri tektonizaciji. Duž takvih zona voda se lakše procjeđuje.

### Zaključak

Iz napisanog je vidljivo da su brojni problemi vezani osobito za primjenu pojedinih varijeteta arhitektonskog kamena karbonatnog sastava, komercijalno nazvanih "mramori". Oni zahtijevaju mnogo više pozornosti i stručnosti pri izboru, održavanju i njezi, ovisno o mjestu i načinu ugradnje te funkciji u konstrukciji. To se ponajviše odnosi na domaći kamen karbonatnog sastava s kojim Hrvatska raspolaže u svojim ležištima i sudjeluje na tržištu.

Utvrdivanjem značajki vezanih uz poroznost, tj. obim, povezanost, raspodjelu, orijentaciju i veličinu pora u odnosu na brojna druga strukturna i teksturna svojstva, te fizikalna i mehanička svojstva, a s obzirom na funkciju u konstrukciji, može se bitno utjecati na postojanost i vremensku trajnost kamena.

Svi spomenuti elementi mogu se utvrditi laboratorijskim metodama. Koristeći rezultate takvih istraživanja i stečenih iskustava na starim objektima o postojanosti sličnih ili istih varijeteta kamena, moguće je obaviti bolji i sigurniji izbor kamena. Vremenska postojanost tako izabranog kamena bit će veća i do nekoliko puta.

### Rajko Dobrić

## ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKI KAMEN - NAJINTERESANTNIJA MINERALNA SIROVINA DALMACIJE

Područje Dalmacije je jedno od najstarijih područja eksploatacije arhitektonsko-gradevnog kamena (u daljnjem tekstu: AG kamen). Ona datira još iz 1. stoljeća p.n.e. Ona se vezuje za izgradnju antičke Salone, a najveći zamah doživljava u III. i IV. vijeku naše ere u doba gradnje Dioklecijanove palače kao i mnogih manjih i većih građevina iz tog vremena diljem istočne jadranske obale. U kasnijem razdoblju eksploatacija AG kamena stagnira sve do XV. stoljeća, do doba rane renesanse. Iz tog doba su i najpoznatiji naši graditelji: Aleši, Radovan, Dalmatinac i drugi. U daljnjem razdoblju eksploatacija oscilira od vremena do vremena. Poslije drugog svjetskog rata nastoji se oživiti ova proizvodnja objedinjavanjem cijelog ovog područja u jednu organizaciju (1947- Jadrankamen-Split). Daljnji tok događaja doveo je do cijepanja ove organizacije na više manjih: Kamen Trogir, Obrovac, Sinj, Kamen Split, koji kasnije objedinjava pogone u Trogiru, Kaštel Sućurcu te kamenolome u dalmatinskoj zagori i okolici Drniša. Korčula postupno zamire kako u eksploataciji tako i u preradi AG kamena. Dubrovnik u sklopu GP "Dubrovnik" formira kamenolom "Visočane" i pogon prerade. Obrovac također formira pogon prerade uz pripadajuće kamenolome. Benkovac organizira u sklopu "Komunalca" preradu pločastog kamena, dok na području Sinja ova proizvodnja potpuno zamire. Jedino "Jadrankamen" Brač sa manjim pogonima na otoku i dalje zadržava ključno mjesto kako u eksploataciji i preradi AG kamena, tako i u nastojanju da modernizira proizvodne procese koji dosežu europsku razinu. U zadnje vrijeme se javlja više malih preradivača i grupa za ugradnju kamena, ali bez čvrste osnove u eksploataciji AG kamena.

### SADAŠNJE STANJE I PROBLEMI

Prema prikupljenim podacima za 1994. god. stanje u eksploataciji AG kamena na području četiri dalmatinske županije je slijedeće:

- kamenolomi u okolici Drniša ne rade i vjerovatno su devastirani
- kamenolomi u okolici Obrovca ne rade
- "Visočani" kod Dubrovnika ne rade i dobrim dijelom su opljačkani.