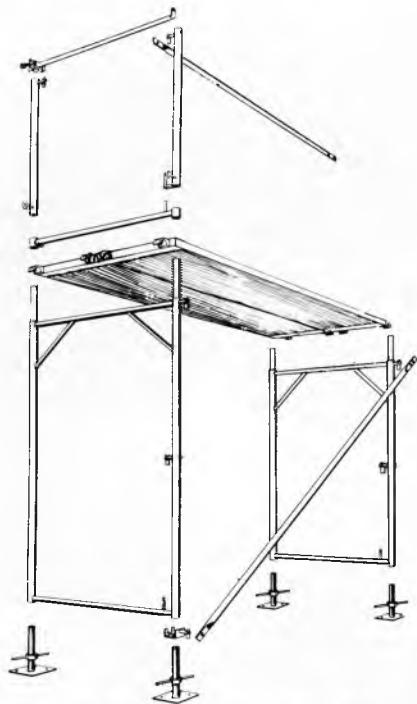


Sl. 23. Dijelovi okvirne cijevne skele



Sl. 24. Montirana okvirna cijevna skela

vorne osobe za projektiranje i izvođenje te za kontrolu kvalitete skela u toku radova. Osim toga, osobe koje su sklone nesvestici, padavici, grčevima mišića, vrtoglavici, kratkovidni i gluhi ne smiju se zapošljavati na radovima gdje bi njihovi nedostaci bili opasnost za njih i za njihovu okolinu.

I. Philipp

**GRAĐEVNI KAMEN**, dio stijene (sastavni dio litosfere ili Zemljine kamene kore) odvojen na prirodnji ili umjetni način. To je mineralni agregat određene teksture, strukture, geoloških karakteristika, fizičkih i mehaničkih svojstava. Najviše se upotrebljava kao građevni materijal.

Kamen kao sirovina može se svrstati u tri skupine: arhitektonsko-građevni kamen, tehnički kamen, te pjesak i šljunak. Osim što se upotrebljava u prirodnom stanju, kamen se prerađuje različitim postupcima.

*Arhitektonsko-građevni kamen* poznat je i kao ukrasni ili dekorativni kamen (npr. mramor, granit). Tri su kriterija za vrednovanje arhitektonsko-građevnog kamena: estetski (umjetnički) koji se osniva na subjektivnoj ocjeni izgleda kamena (boja, šare i sl.), tehnički (fizičko-kemijska i mehanička svojstva)

i geološki (pogodnost eksploatacije i dobivanje blokova traženih dimenzija). Arhitektonsko-građevni kamen upotrebljava se i kao građevni materijal, a danas se upotrebljava za skulpture, kao konstrukcijski element za oblaganje pročelja i unutrašnjosti građevina.

*Tehnički kamen* ima široku primjenu u građevinarstvu i ocjenjuje se prvenstveno na osnovi njegovih fizičkih i mehaničkih svojstava. Primjenjuje se kao tučenac sortiran u frakcije odgovarajućih veličina zrna. Tučenac i frakcionirani kameni agregati raznovrsno se primjenjuju u građevnim konstrukcijama, u cestogradnji, za donji ustroj željezničkih pruga, kao punilo za beton i žbuku.

*Mineralni agregat* ili kamen sitnje višestruko je usitnjeni agregat sa zrnima od 0 do tridesetak mm. Prirodni kamen za izradbu mineralnih agregata razvrstava se u dvije grupe: silikatne stijene (magmatske, sedimentne i metamorfne) i karbonatne stijene (sedimentne i metamorfne). Obje grupe razlikuju se po svojim fizičkim, mehaničkim i tehnološkim svojstvima, te geološkim karakteristikama ležišta. O tim svojstvima ovise eksploatacija ležišta, tehnologija preradbe i oplemenjivanje kamena, te njegova primjena.

Pjesak i šljunak su prirodno granulirani, djelomično selezionirani i već prema duljini transporta vodom oplemenjeni agregati. To su prvenstveno nanosi rijeka. Prirodna granulacija rezultat je mehaničkog trošenja postojećih stijena. Granulacija ovisi o brzini vode i o masi kamenih blokova, valutica, zrnaca pjeska i mulja određene krupnoće koji se talože na određenom dijelu toka rijeke. U toku transporta vodom zbog međusobnog trenja i sraza čestica, manje otporni sastojci se raspadaju, a lakše topljivi se otapaju (prirodno se oplemenjuju). Mineraloški i petrografski sastav pjeska i šljunka ovisi o petrografskom sastavu i građi stijena u sливном području.

Fizička i mehanička svojstva kamena vrlo su različita i ovise o tekturnim i strukturnim značajkama i mineralnom sastavu. Zbog toga te značajke mogu biti osnova za praktičnu klasifikaciju stijena kao prirodnog građevnog materijala.

B. Crnković

## VRSTE STENA

Stene su prirodni mineralni agregati određenog sastava i fizičkih osobina od kojih je izgrađena Zemljina kora. (v. *Geologija*). Mnoge osobine minerala, prirodnih anorganskih tela konstantnog hemijskog sastava i određenih morfoloških i fizičkih osobina, prenose se i na stene koju formiraju. Od više hiljada vrsta i varijeteta minerala samo oko tridesetak znatno učestvuje u sastavu stena. Sve stene od kojih se može dobiti dobar građevni kamen grupisane su u tri grupe: magmatske (vulkanske, eruptivne), sedimentne i metamorfne stene.

**Magmatske stene** nastaju očvršćavanjem i iskristalisavanjem fluidne mineralne mase (magme) koja kulja iz dubine Zemlje; zbog toga su kristalaste i neslojevitne (masivne) i ne sadrže u sebi organskih ostataka (fosila). Prema načinu postanka one su: dubinske — intruzivne (plutoniti) i površinske — efuzivne ili ekstruzivne stene (vulkaniti). Mase magmatskih stena razlikuju se po mineraloškom i po hemijskom sastavu. Mase očvrsele magme uglavnom su silikatne. Struktura magmatskih stena zavisi od stepena i načina iskristalisavanja sastojaka, od krupnoće, oblika i rasporeda tih sastojaka i od načina njihove agregacije i može biti: zrnasta ili porfirska. *Zrnasta struktura* je najčešće struktura dubinskih stena i u njoj su svi sastojci iskristalisani u obliku zrna nepravilnog oblika i manje-više iste krupnoće. *Porfirska struktura* je karakteristična za površinske magmatske stene i manifestuje se u krupno i pravilno iskristalisanim mineralima (fenokristali) rasutim u osnovnoj masi stene (hipokristalasta masa). Osim ovih osnovnih struktura javljaju se i mnogi strukturni varijeteti. Osim navedene podele, grupacija magmatskih stena može se podeliti i po: mineraloškom i hemijskom sastavu, načinu postanka, odnosno strukturi, geološkoj starosti, sadržaju silicijum-dioksida ili, što je najčešće, na osnovu vizuelnog i optičkog određivanja karakteristika. Od magmatskih stena dobija se kvalitetan građevni kamen.

**Granit** je najrasprostranjenija intruzivna magmatska stena u litosferi. Osnovni sastojci granita jesu: feldspat, kvarc i liskun. Varijeteti granita koji prema bojenom sastojku dobijaju ime jesu: normalni ili dvolskunski granit (sa biotitom i muskovitom), biotitski granit (sa biotitom) ili muskovitski granit (sa muskovitom); amfibolski (sa hornblendom) i augitski granit (sa augitom) rede se javljaju. Granit se pojavljuje u obliku gromada i lako-lita, rede batolita i debelih žica, a luči se pločasto (bankovito), kuglasto i sasvim nepravilno; boja mu varira od svetlosive do sive i tamnosive, ali ga ima i zelenkastog, ružičastog, crvenkastog i crnog. Gustoća varira  $2,5\cdots2,7\text{t/m}^3$ , najčešće oko  $2,6\text{t/m}^3$ , a poroznost  $0,3\cdots5\%$ . Čvrstoća je na pritisak  $110\cdots245\text{ MPa}$  ( $1100\cdots2450\text{kpcm}^{-2}$ ). Struktura granita je zrna-sta, od krupnozrnaste do sitnozrnaste (hipidiomorfna zrnasta); rede porfiroidna. Granit je postojan, lako se obrađuje i dobro glaća; kao svež malo je porozan, otporan na mraz, no slab je otporan na visoke temperature. Upotrebljivost granita je velika i raznovrsna.

**Sjenit** je ređa intruzivna magmatska stena i razlikuje se od granita što nema kvarca; ima zrnastu strukturu. Glavni sastojci su alkali feldspati i biotit. Prema vrsti bojenog sastojka dobijaju i imena: biotitski, amfibolski, augitski sjenit i dr. Boja im je od svetlosive do sive, rede ružičasta ili zelenasta. Javlja se u obliku lakolita, masiva i žica. Lučenje je adekvatno granitima. Gustoća varira  $2,7\cdots2,9\text{t/m}^3$ , najčešće  $2,8\text{t/m}^3$ , a čvrstoća na pritisak  $120\cdots250\text{ MPa}$ , najčešće oko  $170\text{ MPa}$ . Ukupna poroznost je oko 1%. Građevinska upotrebljivost je slična granitima.

**Granodiorit** je vrlo sličan granitu. Takođe, pripada grupi intruzivnih magmatskih stena i sastavljen je uglavnom od kvarca, plagioklasa, alkaličnih feldspata, hornblende i biotita. Pojedini varijeteti nazivaju se prema bojenoj komponenti normalni, amfibolski, biotitski i augitski, koji je najređi. Ako su podjednako zastupljeni (procenatno) plagioklasi i ortoklasi, onda se takav granodiorit zove kvarcmonikot. Struktura im je hipidiomorfna zrnasta (i to uglavnom srednjozrnasta i sitnozrnasta), rede porfiroidna. Boje je sive do ružičaste, a gustoća varira  $2,62\cdots2,73\text{t/m}^3$ , a čvrstoća na pritisak  $115\cdots270\text{ MPa}$ , najčešće oko  $200\text{ MPa}$ . Ukupna im je poroznost  $0,4\cdots3,3\%$ . Upotrebljivost i ostale osobine granodiorita slične su granitima.

**Dioriti** su takođe hipidiomorfne zrnaste strukture i pripadaju istoj grupaciji intruzivnih stena magmatskog porekla. Sastavljeni su od bezbojnih minerala plagioklasa i od bojenih sastojaka — biotita, augita i diopsida. Pojedini varijeteti nazivaju se prema bojenoj komponenti (amfibolski, biotitski, augitski ditor i dr.); kada je u dioritu bitno zastupljen u kvarc, takav ditor se naziva kvarc-ditor. Tonalit je vrsta ditora sastavljena od kvarca, plagioklasa, amfibola i biotita. Tonaliti su stalnog mineraloškog sastava u pojedinim nalazištima (vredno je pomena nalazište tonalita kod Mežice, na Pohorju). Ditor je zatvoreno-sive do tamnozelene i crne boje; javlja se i luči kao granit i sjenit.

**Gabro** je stena tipsko hipidiomorfne zrnaste strukture, a može da ima i svoju specifičnu gabrovsku strukturu, kada mineralni sastojci duboko zadiru jedni u druge i međusobno se uklapaju. Osnovni sastojci gabra jesu: bazični plagioklasi (labrador, bitavit i rede anortit) i dijalag, a zavisno od vrste bitnih sastojaka poznati su normalni gabro sivozelene boje (od plagioklasa i dijalaga) i olivinski gabro sive do tamnosive boje (od plagioklasa, dijalaga i olivina); norit je gabro sa bazičnim plagioklasima. Gabri se javljaju u obliku lakolita, masiva i debelih žica; luče se bankovito i paralelopipedski. Čvrstoća na pritisak varira  $100\cdots130\text{ MPa}$ , a gustoća od  $2,65$  do  $3,05\text{t/m}^3$ . Ukupna poroznost  $0,1\cdots5,1\%$ , no i pored velike poroznosti gabri su praktično vodonepropustljivi jer pore međusobno ne komuniciraju. Nešto se teže obrađuju, a glaćaju se do savršenstva. Neki varijeteti gabra (sa više plagioklasa) lako se cepaju.

**Peridotiti** su stene sastavljene od olivina i piroksena i pojavljuju se sa gabrima; uglavnom su hipidiomorfne zrnaste strukture. Varijeteti peridotita jesu: dunit (sa olivinom i piroksenom), lercolit (sa olivinom, dijalagom i bronzitom; dijalag je sastavljen isključivo od dijalaga, a bronzit samo od bronzita), biotitski i amfibolski peridotit i drugi. Boja im je od

tamnozelene do crne sa varijacijama. Gustoća varira  $3,0\cdots3,2\text{t/m}^3$ , a čvrstoća na pritisak  $100\cdots340\text{ MPa}$ ; ukupna poroznost  $0,1\cdots1,7\%$ . Nerado se upotrebljavaju zbog znatne gustoće i zbog mogućih prslina i pukotina.

Sve navedene intruzivne magmatske stene imaju svoje ekvivalentne u efuzivnim stenama koje su nastale očvršćavanjem na površini litosfere. One su se kristalisale delomično u unutrašnjosti, a delom na površini litosfere, pa je zbog toga i struktura efuzivnih stena porfirска. Opisani su važniji predstavnici efuzivnih stena sa gledišta dobijanja građevnog kamena.

**Rioliti i kvarcporfiri** su stene granitske magme sa jasno izraženom porfirskom strukturu. Osnovni mineralni sastojci jesu: sanidin, kvarc, biotit i ponekad hornblend. Osnovna masa je staklasta (kompaktna) i šupljikava i ima školjkast lom. Boja varira od beličaste, sive do žučkaste, crvenkaste, zelenkaste, tamnosive ili crne. Gustoća je  $2,4\cdots2,6\text{t/m}^3$ , a čvrstoća na pritisak  $130\cdots180\text{ MPa}$  (sa kristalastom osnovnom masom i do  $280\text{ MPa}$ ). Obradljivost srednja.

**Porfiri i trahiti** su stene sijenitske magme, takođe sa jasno izraženom porfirskom strukturu. Osnovni je sastav sanidin (rede plagioklas), biotit, hornblend i augit. Kvarca obično nema. Osnovna masa je kristalasta (rede staklasta) sa nepravilnim lučenjem, a boja im varira od sive, sivozelene do zelene i zelenosmede. Ukupna poroznost je  $0,5\cdots7,5\%$ , a čvrstoća na pritisak  $130\cdots260\text{ MPa}$  (u nekim primercima i do  $460\text{ MPa}$ ). Gustoća varira  $2,5\cdots2,8\text{t/m}^3$  (u poroznim varijetetima i znatno manje). Obradljivost srednja. Rđavo se glaćaju.

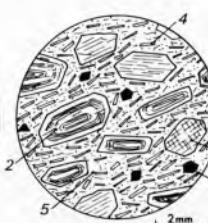
**Daciti i kvarcporfiriti** su stene granodioritske magme sa osnovnim sastojcima: minerali kvarca i plagioklasa. Varijeteti nazivaju se prema kvantitetnoj bojenoj komponenti: sanidinski, biotitski, amfibolski, augitski dacit, odnosno porfirit i drugi. Struktura im je porfirска, a boja varira od svetlosive do sivo-zelene, zelenkaste i zelenosmede. Čvrstoća je na pritisak  $210\text{ MPa}$  ( $85\text{ MPa}\cdots350\text{ MPa}$ ). Čvrstoća na pritisak dاقتa je manja od čvrstoće porfirita. Gustoća je  $2,25\cdots2,84\text{t/m}^3$ , a poroznost varira  $0,3\cdots13\%$ . Postojani su, podložni kvalitetnoj obradi i znatno se iskorisćavaju za dobijanje građevnog kamena.

**Andeziti i porfiriti** su stene dioritske magme. Imaju porfirsku strukturu (sa varijetetima). Sastavljeni su od plagioklasa, biotita, amfibola i piroksena. Pojedini varijeteti zovu se: biotitski, amfibolski, hiperstenski, olivinski i drugi. Sveži andeziti su mahom sive do tamnosive boje (u fazi raspadanja su zelenkastosivi i ljubičastosmede). Čvrstoća na pritisak varira  $90\cdots320\text{ MPa}$ , najčešće oko  $190\text{ MPa}$ . Ukupna je poroznost  $0,6\cdots20\%$  (najčešće 4,3%). Građevnu primenu imaju kao sveži, dok im je u fazi raspadanja primena znatno smanjena.

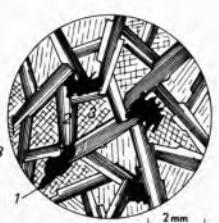
**Bazalti, melafiri i dijabazi** jesu stene gabrovske magme. Bazalti su sastavljeni od plagioklasa, piroksena, hornblende i olivina. Prema količini pojedinih sastojaka i njihovom međusobnom odnosu bazalti dobijaju svoje mnogobrojne varijetetske nazine. Boja bazalta je smeđa, tamnosmeda do crna. Imaju



Sl. 1. Gabro, homogene tekture i holokristalaste, zrnaste strukture. 1 magnetit, 2 plagioklas (polisintetski zonarne grade), 5 piroksen



Sl. 2. Bazalt, fluidne tekture i porfirske strukture, 1 magnetit, 2 fenokristali plagioklas (zonarne grade), 3 fenokristali piroksena, 4 mikroliti plagioklasa, 5 vulkansko staklo



Sl. 3. Dijabaz, homogene tekture i ofitske strukture, 1 ilmenit, 2 plagioklas, 3 piroksen

porfirsku, ponekad ofitsku i intersertalnu strukturu. Melafiri i dijabazi se razlikuju prema kvantitetu bojenih i bezbojnih sastojaka; ako bojenih ima više (među njima i olivin), to je

melašir, a ako su bojeni i bezbojni sastojci u istim odnosima, to je dijabaz. Boja melašira može da varira i obično je smeđe, zelenosmeđe i ljubičasto-smeđe boje. Za melašire je karakteristična mandolasta struktura, i kada su te mandole potpuno ili delimično ispunjene kalcitom dobija se poseban koloritni kamen, pa se tada rado primenjuje u dekorativne svrhe. Dijabazi su tamnosive do crne boje (crni granit). Sveži bazalit, dijabazi i melaširi mnogo se iskorišćavaju za dobijanje građevnog kamena. Čvrstoča na pritisak je najveća u bazaltu (najtvrdja magmatska stena), 100–280 MPa (u nekim primercima i do 580 MPa), u melaširu 200–260 MPa a u dijabazu 140–390 MPa (najčešće oko 220 MPa). Gustoča je 2,6–3,3 t/m<sup>3</sup> (najčešće oko 2,7 t/m<sup>3</sup>).



Sl. 4. Iz oborina metamorfozom nastali serpentin

**Sedimentne (taložne) stene** nastale su taloženjem i kasnije očvršćavanjem materijala drugih stena, na primarnim ili sekundarnim lokalitetima. U mineraloškom sastavu ima mnogo manje pravilnosti nego u magmatskim stenama (pogotovo onih koje su nastale od heterogenih detritusa). Pored različitih klasifikacija, najpodesnija je ona prema genezi i sastavu sedimentnata. Po toj klasifikaciji sedimentne stene jesu: klastične — minorogene (šljunčane — psefiti; peščane — psamiti; prašinaste — alevriti i glinene stene — peliti), hemijske i organogene (biogene) i sedimentne (zoogene, fitogene i fitozoogene stene). Karakteristike sedimentnih stena, koje su interesantne sa aspekta njihove upotrebe kao građevnog kamena, manifestuju se u kvalitetu i kvantitetu veziva i načinu vezivanja čestica sedimenta i slojevitosti. Od prirodnih veziva najkvalitetnije je kvarcno ili silicijsko vezivo, mada su dobra i kalcitska — najčešća, aragonitska, magnezitska i dolomitska veziva. Slojevitost sedimentnih stena ne mora da bude pravilo; na primer, krečnjačke stene mogu da budu neslojevite. Debljina slojeva je različita: 1,0–1,5 mm (banci) pa sve do 1 mm, pa i manje (za stene sa lisnatim slojevima kaže se da su škriljave). Svaki sloj u vertikalnom pravcu je istog petrografskog sastava — produkt jednog ciklusa taloženja. Struktura sedimentnih stena može da bude *kristalasta* (krupnokristalasta i sitnokristalasta), karakteristična za krečnjake, dolomite, gips, anhidrit i sl., i *klastična* (psefitska, psamtska, alevritska i pelitska struktura u zavisnosti od krupnoće zrna), karakteristična za mehaničke sedimente.

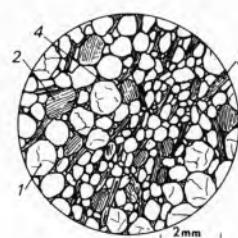
Sedimentne stene od kojih se dobija kvalitetan građevni kamen jesu: drobina, breča, konglomerat, peščar, lapor i laporci, anglošist, bigar, mermerni oniks, krečnjak.

**Drobina** pripada grupi nevezanih klastičnih stena. To je detritus čija su zrna različite krupnoće i imaju oštре ivice. Kao građevni kamen ima ograničenu primenu (za izradu nasipa, ispuna i slično).

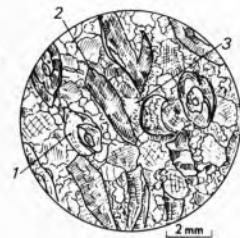
**Breča** je prirodno vezana klastična stena nastala vezivanjem drobine. Može biti homogena ili heterogena i međusobno se razlikuje prema vrsti komada stena od kojih se sastoje breče (krečnjačke, mermernе, dioritske breče i dr.), a i prema lokalitetu gde su nastale (padinske, raselinske i dr.). Breče su uglavnom neslojevite stene i imaju čvrstoču 10–150 MPa, zavisno od vrste

sastojaka i kvaliteta vezivanja i veziva. Dobro se glaćaju i imaju široku primenu kao ukrasni kamen.

**Konglomerat** je vezana klastična stena, i za razliku od breče sastavljena je od zaobljenih prirodno vezanih zrna. Kao građevni kamen ima ograničenu primenu.



Sl. 5. Kremeni pješčenjak, slojevite grade i klastične psamtske strukture. 1 čestice kremena, 2 čestice gline, 3 listići muskovita, 4 kremeni matriks

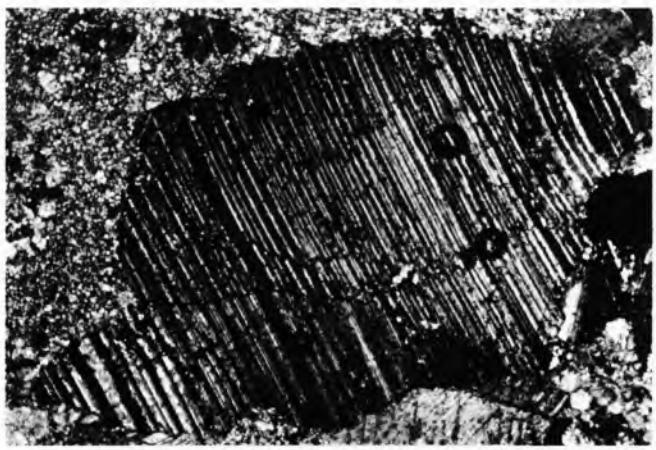


Sl. 6. Organogeni vapnenac. 1 kalcitni skeleti mikroorganizama, 2 detritus kalcitnih skeleta makroorganizama, 3 kalcitni matiks

**Peščar** je klastična vezana stena i pripada grupi peščanih stena (psamiti). Nastaje očvršćavanjem — vezivanjem peskova sa veličinom zrna 0,2–2 mm. Prema mineraloškom sastavu razlikuju se kvarčni, liskunski, kalcitski peščar i dr.; pojedini varijeteti peščara nazivaju se prema vrsti veziva — silicijski (kvarčni cement), vapnoviti (kalcitski cement), laporoviti (lapor), glinoviti (kaolinski minerali) i dr. Boja peščara je uglavnom uslovljena bojom cementa i varira od svetložute do smeđecrvene, sive i zelenosive. Krupnoća zrna peščara je promenljiva kao i u peskovima, pa se razlikuju krupnoznasti, srednjoznasti, sitnoznasti i sasvim sitnoznasti peščari. Čvrstoča na pritisak, poroznost i druge osobine peščara zavise od kvantiteta i kvaliteta veziva. Kao građevni kamen peščari se mnogo primenjuju, i to uglavnom sa čvrstočom na pritisak 100–180 MPa. U nas se peščari pojavljuju skoro u svim geološkim formacijama.

**Lapor i laporci** su takođe klastične, uglavnom slatkodvodne, odnosno jezerske poluvezane sedimentne stene. Lapori su za razliku od laporca, trošne, neplastične i dosta stišljive stene. Laporci su očvrslji lapor. Sa kalcijum-karbonatnim supstancama upotrebljavaju se u industriji cementa.

**Anglošist** je glineni škriljac i odlikuje se lakom cepljivošću u tanke ploče. Upotrebljava se za pokrivanje zgrada (krovni škriljci).



Sl. 7. Kristalodefekti u krupnom kristalu kalcita u vapnencu. Tvorba tlačnih sraslačkih lamela i mikropomak duž fine prsline (povećanje 100×)

**Bigar** je jako porozna kalcijum-karbonatna stena nastala sedimentacijom u hladnim vodama. Većinom je bele, ružičaste i, ređe, sive boje i ima nezнатну čvrstoču na pritisak (3–15 MPa). Otporan je na uticaj mraza. Dobar je zvučni i toplotni izolator (znatna poroznost); lako se obraduje i mnogo se primenjuje za dobivanje građevnog kamena.

**Mermerni oniks** je jedra i čvrsta karbonatna stena sa dekorativnim izgledom i ubraja se u najkvalitetniji ukrasni građevni kamen. Posebno su lepi prozračni i trakasti varijeteti mermernog onksa.

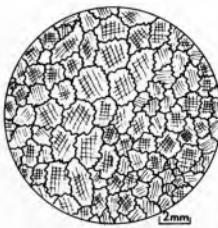
**Krečnjak** je najrasprostranjenija stena u nas. To je kalcijum-karbonatna stena sa strukturom koja može da bude zrnasta, oolitska i detritična. Krečnjaci nastaju na više načina, a pojavljuju se u slojevima i bez izražene slojevitosti. Osnovni sastojak krečnjaka je mineral kalcit; no, osim kalcita, krečnjaci sadrže i druge sastojke — primese po kojima se pojedini varijeteti nazivaju: glinoviti, laporoviti, peskoviti, dolomitski krečnjak i drugi. Krečnjaci su najčešće bele do svetlosive boje, a ima ih i različito obojenih — sivi do crni, žuti, smeđežuti do crveni. Čvrstoća je na pritisak 20–290 MPa, zavisna od poroznosti; poroznost je 0,3–27% (najčešće oko 1,8%). Gustoća krečnjaka je oko 2,66 t/m<sup>3</sup> (2,10–2,87 t/m<sup>3</sup>).

**Metamorfne stene** su nastale metamorfozom sedimentnih i magmatskih stena, uglavnom u dubljim slojevima litosfere (veliki pritisici i temperature). Metamorfizmi obuhvataju sve fizičko-hemijske procese kojima je promenjena struktura, mineraloški i hemijski sastav stene izložen metamorfisanju. Svi ovi, vrlo raznovrsni agensi deluju pod različitim uslovima od kojih su dva posebno važna: veliki pritisici uslovljeni pokretima Zemljine kore i visoke temperature. Metamorfne stene mogu biti *parastene* (metamorfisane sedimentne stene) i *ortostene* (metamorfisane magmatske stene). Metamorfne stene od kojih se dobija kvalitetan građevni kamen jesu: gnajs, mikašist, mermeri, kvartit, serpentini i amfibolit.

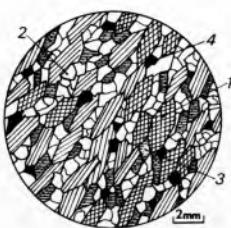
**Gnajs** je stena granoblastične strukture. Po mineraloškom sastavu slična je granitu (sastoji se od kvarca, feldspata i liskuna) sa mnogobrojnim varijetetima (muskovitski, biotitski, augitski gnajs i dr.). Oblik zrna je nepravilan i kristalast, a zrna su ujednačene krupnoće. Upotrebljivost gnajsa zavisi od stepena škriljavosti — uz veću škriljavost teže se dobijaju veći blokovi. Uglavnom se upotrebljava kao lomljeni i grubo doterani kamen. Čvrstoća je na pritisak 56–280 MPa, a gustoća 2,52–2,94 t/m<sup>3</sup>; poroznost 0,4–5,5%.

**Mikašist** za razliku od gnajsa ima veću škriljavost i nema feldspata. Ima belu, sivu do crnu boju. Čvrstoća je na pritisak, upravno na škriljavost, 30–50 MPa, a gustoća 2,5–2,72 t/m<sup>3</sup>. Povjaluju se zajedno sa gnajsevima. Ima neznatnu primenu kao građevni kamen.

**Mermeri** su kompaktne metamorfne stene nastale metamorfisanjem krečnjaka i dolomita u epizoni, mezozoni i kataazoni.



Sl. 8. Mramor, homogene teksture i granoblastične strukture (monomineralna stijena izgrađena od kalcita)



Sl. 9. Amfibolit, škriljavke i nematoblastične strukture. 1 amfibol, 2 kremen, 3 glinenac, 4 magnetit

Struktura im je obično zrnasta — nazubljena zrna sa veličinom koja varira od makroskopski jedva vidljivih do prečnika od nekoliko mm. Mermeri mogu biti sasvim beli, potpuno čisti i raznoliko obojeni uticajem primesa — žuti, ružičasti, zelenkasti i sivi; pri tome cela masa može biti u jednom tonu ili u nijansama — zonarno ili u mlazevima kolorisana. Mermeri su, kao građevni kamen, slični krečnjacima, ali su zbog manje poroznosti otporniji i postojaniji. Gustoća je mermera 2,65–2,82 t/m<sup>3</sup>, a čvrstoća na pritisak 54–266 MPa, najčešće oko 120 MPa. Lepo se obrađuju, glačaju se relativno lako i izvanredno lepo. Čuveni su mermeri u Grčkoj (sa ostrva Parosa), kararski mermer u Italiji.

**Kvartit** je stena uglavnom od zrnaca kvarca (metamorfisanjem kvarcnih peščara). Nema veliku primenu i pored zadowoljavajuće čvrstoće na pritisak zbog teške obrade.

**Serpentini** su jedre masivne metamorfne stene u kojima prevladjuje mineral serpentin. Boja mu je svetlozelena do tamnozelena do crne sa pegama i prugama beličaste boje. Upotrebljava se uglavnom kao lomljeni kamen.



Sl. 10. Kristalodefekti u krupnom kristalu dolomita u dolomitu iz tektonske zone. Zrno je segmentirano, podijeljeno na mikroblokove s različitim orijentacijom kristalooptičkih elemenata (povećanje 100×)

**Amfibolit** je nastao metamorfisanjem gabra i dijabaza. Ima zrnastu strukturu (varijetet sa škriljavom strukturu naziva se amfibolitski škriljac), znatnu čvrstoću i žilavost što utiče na obradljivost. Ima ograničenu upotrebu, uglavnom kao lomljeni kamen i za izradu tucanika.

D. Gojković D. Lazarević

#### GRAĐEVNI KAMEN U JUGOSLAVIJI

U Jugoslaviji ima raznorodnog i estetski raznovrsnog kamena. Upotrebljava se kao estetskodelokativni, arhitektonsko-građevni i skulpturni materijal i kao sirovina za izradbu betona, kolovoznih zastora, donjeg stroja željezničkih pruga itd.

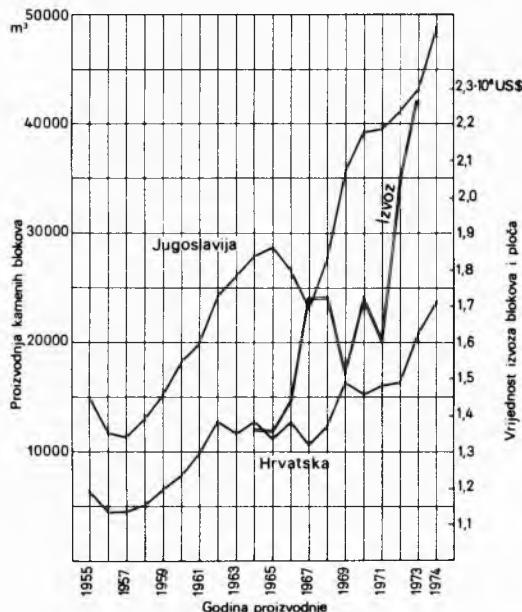
**Nalazišta građevnog kamena**, odnosno njegovo dobivanje i obradba, danas su u prvom redu koncentrirana u regijama u kojima, još iz antičkih vremena, postoji tradicija takve eksploracije. To su: Tršćansko-komenska visoravan, Istra, Dalmacija s otocima i jugozapadna Makedonija.

Magmatske i metamorfne stijene koje daju arhitektonsko-građevni kamen različito su rasprostranjene u Jugoslaviji po republikama i regijama. Takve se stijene danas eksploriraju u tri ležišta: tonalit u Pohorju (Slovenija), gabro u Jablanici (Hercegovina) i granit kraj Knjaževca (Srbija). Sve tri vrste kamena s umjetničkog i tehničkog stanovišta jesu prvaklasni materijali široke upotrebe. S obzirom na prostrane magmatsko-metamorfne komplekse moguća su i nova nalazišta, npr. ležište granodiorita Kukul kraj Prilepa.

Mramori i dolomitni mramori genetski su vezani za paleojojske naslage, a regionalno su koncentrirani prvenstveno u Makedoniji i Srbiji, nešto u Bosni, a u neznatnim količinama u Sloveniji. Glavna su ležišta u zapadnoj Makedoniji i u Pelagonskom masivu. U zapadnoj Makedoniji proizvodi se: sivo-ljubičasti mramor vitez; svijetlosivi mramor ispresijecan smeđim i crvenosmeđim žilicama imperator; crveni mramor s primjesama smeđih i bijelih žilica Aleksandar Makedonski (ležišta Banjica kod Gostivara); mramor tri cveta, miješanih boja, svijetlocrvene, smeđecrvene i sive (ležišta Padalište kod Gostivara); sivo-ljubičasti mramor (ležišta Plasnica kraj Kičeva); crveni mramor sa spletovima i trakama tamnijih nijansi (ležišta Miokazi kod Kičeva); ružičasti mramor uzunov i bjeličasti mramor polarna lisica (ležišta Cer na planini Baba Sač); ružičasti mramor roze-Mavrovo (ležišta Mavrovo). U području je Pelagonskog masiva snježnobijeli dolomitni mramor sivec (kraj Prilepa); bijeli do sivkasti, krupnozrnasti mramor čaška (kraj Prilepa);

sivi do tamnosivi mramor trakaste građe (kraj Debrešta). U Srbiji ima manje nalazišta nego u Makedoniji (poznati su mramori plavi tok i venčac kraj Aranđelovca).

Trijaske naslage u Jugoslaviji znatno su rasprostranjene (pripadaju najslabije produktivnom razdoblju mezozoika), prvenstveno vezane za razvoj određenih neproduktivnih faciesa. Izuzetak je bijeli kristalasti dolomit Miljevine kraj Foče. U nedavnoj su prošlosti u Sloveniji eksplorirane dekorativne trijaske naslage oko Drenovog Griča, Lesnog Brda i Hotavlja.



Sl. 11. Prikaz proizvodnje kamenih blokova ( $m^3$ ) od 1955–1974. god. i vrijednosti izvoza blokova u pločama (u SAD-dolarima) od 1964–1973. god.

U jurskim naslagama posebno se ističe svojom dekorativnošću poseban facies vanjskih Dinarida, tzv. litiotis vapnenac (kamen crne boje, prošaran s bijelim dugoljastim skeletima školjaka). Isprekidana zona tog faciesa proteže se iz Slovenije u Hrvatsku i Crnu Goru.

Od krednih su naslaga posebno zanimljive naslage gornje krede, i to prvenstveno rudisti vapnenci. One se protežu od Slovenije do Crne Gore i obuhvaćaju Tršćansko-komenšku visoravan, područje Istre, Primorja i Dalmacije s otocima, zahvaćaju Posušje i područje Godoljevači i Kosjerića u Srbiji. S umjetničkog i tehničkog stanovišta razlikuju se tri osnovna varijeteta: tvrdi vapnenci (vapnenci kraškog tipa: vapnenac Repentabor u Sloveniji i Kirmenjak u Istri), ili srednje tvrdi i umjereni porozni vapnenci tipa unito i fiorito (Valtura i Lucija u Istri, Veselje i Kupinovo na otoku Braču), mekani i fino porozni do šupljikavi vapnenci tipa statuario i travertino (Vinkuran i Marčana u Istri). Svaki od spomenutih vapnenaca, te kamen ostalih ležišta u zoni odlikuju se svojim posebnostima. Posebno je dekorativan tamnosmeđi vapnenac rasotica s otoka Brača, pigmentiran organogenom supstancijom.

Paleogenska ležišta su također vezana za jadranski pojaz od Istre do Crne Gore. S obzirom na petrografski sastav, to su različiti varijeteti vapnenaca, breča, konglomerata i pješčenjaka. Posebno se ističu tamnosmeđi numulitni vapnenac istranka (Lupoglav u Istri), žućkastosiva breča krupnjeg zrna mandorlato, zelenkastosiva breča sitnjeg zrna granitelio i rozalit, crvenkasti konglomerat (Pakovo Selo kod Šibenika).

Neogenske naslage također su jednim dijelom, već prema sastavu i svojstvima, produktivne i eksplorabilne (sjeverni dijelovi Slovenije i Hrvatske, te sjeverozapadna Bosna), iako se s umjetničkog i tehničkog stanovišta ne mogu usporediti s vapnencima starijih epoha ili mramorima. To su litotamnijski vapnenac, vrlo porozni, organogeni vapneni pješčenjak vinicit i bihacit. S obzirom na slabu otpornost na habanje, vinicit i bihacit upotrebljavaju se jedino za oblaganje vertikalnih površina

interijera i eksterijera. Iste je starosti i finozrnasti kremeni pješčenjak Belih Voda i Brajkovića kraj Kruševca u Srbiji.

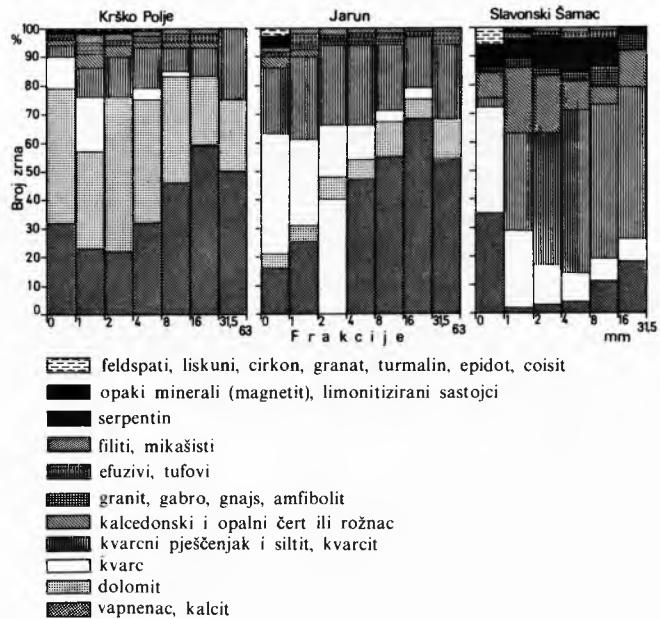
Kvarterni ležišta sadrže plemenite kamene materijale: onikstravertin i travertin. Najznačajnija su ležišta travertina u Makedoniji, a nešto ih ima i u Srbiji. U Makedoniji su ležišta: Velmej kod Ohrida, Lipkovo kod Kumanova, te Kučkovo, Svilari i Matka kod Skopja.

*Proizvodnja kamenih blokova u Jugoslaviji i Hrvatskoj znatno je povećana u posljednjih dvadesetak godina. To vrijedi i za izvoz kamenih blokova (sl. 11).*

**Ležišta tehničkog kamenja** za proizvodnju visokokvalitetnih mineralnih agregata nalaze se u ovim područjima: istočnoštajersko-zagorska regija, eksploriraju se dijabazi (Medvednica i Kalnik), piroklastici (Ivančića), keratofir (Radovljica u Sloveniji) i andezit (Rogaška Slatina); slavonsko-potkozarska regija, dijabazi (potok Radovac kod Orahovice, Kozara kod Bosanske Gradiške), amfiboliti (Vetovo kod Sl. Požege) i amfiboliti i graniti (Šeovica kod Pakrac i Buk kod Okučana); kordunsko-goranska regija, dijabazi (Hrvatsko Selo kod Topuskog) i andezit (Fužinski Benkovac kod Fužina); vojvodanska regija, trahit (Rakovac u Fruškoj gori); zapadnosrpska regija, dacit (kamenolom Ljubovija); ibarska regija, andezit (kamenolomi Kamenica kod Kraljeva, Brvenik i Rudnica kod Raške); makedonsko-južnosrpska regija, bazalti (kamenolomi Slavijevac kod Preševa, Žebrnjak i Nikuštar kod Kumanova, Ježevi Brdo kod Štipa). Na području južne Hrvatske, južne Bosne i Hercegovine, Crne Gore i zapadne Makedonije nema ni jednog aktivnog kamenoloma koji proizvodi mineralni agregat na bazi silikatnih stijena, jer je takva geološka građa i petrografska sastav tog dijela Jugoslavije.

Kao tehnički kamen iskorištavaju se još vapnenci i dolomiti, i to prvenstveno kao agregat za beton i žbuku. Njihova je preradba jednostavna zbog manje čvrstoće na mehanički udar i na habanje, te manje žilavosti.

Šljunak i pijesak eksploriraju se iz recentnih ili fosilnih riječnih nanosa. Najkvalitetniji su dravski i moravski. Razlike u krupnoći valutica šljunka uočavaju se lako u različitim dijelovima toka rijeke Drave. Šljunak u okolini Maribora je krupan (mora se drobiti prije upotrebe), od Varaždina do Koprivnice srednjeg zrna (ne mora se drobiti), a nizvodnije prevladava pijesak. Dravski se šljunak sastoji od kremena, mineralnih i



Sl. 12. Mineraloško-petrografska sastav pjeska i šljunka rijeke Save u ležištima Krško Polje, Jarun i Slavonski Šamac

stjenovitih sastojaka. Mineraloško-petrografska sastav šljunka rijeke Save kod Krškoga Polja, Jaruna i Slavonskog Šamca prikazan je na sl. 12.

B. Crnković

### FIZIČKO-MEHANIČKE OSOBINE GRAĐEVNOG KAMENA

Vrednost i upotrebljivost stena kao građevnog kamena zavisi od mnogih njenih osobina. Neke od ovih osobina mogu se konstatovati samo na većim masama stene, na terenu — na samonikloj steni, a druge se mogu utvrditi tek na osnovu laboratorijskog ispitivanja. Kvalitet i podobnost neke vrste stene zavisi od geoloških prilika pod kojima je nastala (koje mogu da budu osetno različite) i mogu bitno da utiču na njezinu upotrebljivost. Tako mnoge stene koje su po svom sastavu i strukturi odličan građevni kamen mogu naknadnim geološkim procesima da budu oštećene do te mere da se nikako ne mogu upotrebiti u građevne svrhe. Način pojavljanja i raspored stenskih masa bitno utiče na kvalitet građevnog kamena. Nije svejedno da li su stene kompaktne, u slojevima ili su škriljave. Svaka od ovih osobina ima svoje dobre i loše strane; masivnost stene otežava upotrebu i obradu, slojevitost olakšava eksploraciju i obradu, ali ograničava upotrebljivost, škriljavost pojačava loše osobine. Svi se ovi parametri registruju prilikom otvaranja kamenoloma za eksploraciju kamena. Upotrebljivost kamena za kamene konstrukcije zavisi od osobina stena koje su opisane u nastavku članka.

**Prsline**, odnosno pukotine, bitno utiču na kvalitet i ekonomiju vodenja građevnog kamena. Prsline mogu biti različitih dimenzija, od sasvim nevidljivih pa do znatnih; mogu biti zatvorene (makroskopski čak i nevidljive) i otvorene. Ako su prsline velike, a pri tome još i otvorene, onda su to pukotine. Njihov broj i raspored u masi stene olakšava dobijanje kamena. U ubranim i rasednutim slojevima treba izbegavati partie oko temena antiklinala i dna sinklinala i partie oko raselina, jer u njima stenske mase obiluju za oko nevidljivim prslinama.

**Struktura građevnog kamena**, odnosno stene, manifestuje se u karakterističnom obliku zrna, odnosno njihovoj krupnoći i načinu egzistiranja u stenskoj masi. Struktura je uslovljena procesom nastajanja stene. Mnoge osobine građevnog kamena zavise od krupnoće, oblike i načina vezivanja zrna. Posebno je za kvalitet kamena važna relativna krupnoća zrna, tj. u kakvom su međusobnom odnosu krupnoće zrna. Krupnoća zrna se može odrediti mikroskopski i makroskopski. Pored krupnoće, i oblik zrna utiče na pojedine osobine kamena (zrna mogu biti: okruglasta, čoškasta, zaobljena, pločasta, ljkuskasta, lisnata). Međusobna veza zrna može biti dvojaka: neposredna (iskristalisavanje magmatskih stena) i posredna (kada su zrna spojena kakvim cementom). Od krupnoće i oblika zrna zavisi, s jedne strane, čvrstoća, žilavost i otpornost na habanje, a, s druge strane poroznost; poroznost stene utiče na gustoću, vodopropustljivost, hidrokskopnost i otpornost na mraz.

**Gustoća građevnog kamena** je masa jedinice zapremine zajedno sa porama i šupljinama. Pri određivanju gustoće uzorak se suši na temperaturi  $100\cdots110^{\circ}\text{C}$ . Gustoća materije kamena, bez pora i šupljina određuje se ispitivanjem uzorka koji je prethodno usitnjenu u prah.

**Poroznost građevnog kamena** najvažnija je fizička osobina i ima bitnog uticaja na ostale fizičke i mehaničke osobine. Poroznost  $p$  je odnos, izražen u procentima, zapremine pora i šupljina prema ukupnoj zapremini kamena (zajedno sa porama i šupljinama). Razlikuje se: slabo porozan ( $p = 1$  do 2,5%), umereno porozan ( $p = 2,5$  do 5%), dosta porozan ( $p = 10$  do 20%) i suviše porozan kamen ( $p \geq 20\%$  — po L. Mariću).

**Hidrokskopnost** je svojstvo građevnog kamena da drži tj. upija veću ili manju količinu vode zahvaljujući kapilarnim i supkapilarnim porama. Ukupna poroznost kamena ne utiče na hidrokskopnost, već samo jedan njen deo — kapilari i supkapilari (pore koje komuniciraju). Ispituje se na uzorcima koji mogu da budu pravilnog ili nepravilnog oblika s tim da zapremina jednog uzorka ne bude manja od  $50\text{cm}^3$ . Hidrokskopnost  $H_g$  kamena u težinskim procentima u odnosu na suv kamen data je odnosom  $H_g = \frac{G_m - G_s}{G_s} 100$ , gde je  $G_m$  masa uzorka zasićenog vodom, stalna masa posle potapanja u vodi;  $G_s$  masa suvog uzorka sušenog na temperaturi  $100\cdots110^{\circ}\text{C}$ . Hidrokskop-

nost u procentima u odnosu na zapreminu uzorka (prividna poroznost) data je odnosom  $vH_g = \frac{G_m - G_s}{V} 100$ , gde je  $V$  zapremina uzorka. Hidrokskopnost kamena različita je pod različitim uslovima: nije svejedno da li je kamen zasićen vodom slobodnim natapanjem ili pod pritiskom (uzorak se izlaže pritisku od  $15\text{MPa}$ ). Ako je  $H_g$  hidrokskopnost — upijanje vode pod normalnim pritiskom, a  $H_{gp}$  — upijanje vode pod povećanim pritiskom ( $15\text{MPa}$ ), onda je odnosom  $Z = \frac{H_g}{H_{gp}} \leq 1$  dat koeficijent zasićenosti  $Z$  koji je važan kao merilo jačine, otpornosti i postojanosti građevnog kamena.

**Propustljivost za vodu** (permeabilnost) se manifestuje u sposobnosti kamena da propusti izvesnu količinu vode pod utvrđenim pritiskom i za određeno vreme. Utvrđuje se na posebnim uzorcima i zavisi uglavnom od poroznosti, ali ne postoji proporcionalnost između poroznosti i vodopropustljivosti.

**Prirodna vлага** (majdanska vлага) je vlažnost građevnog kamena, odnosno stene, koja dolazi od prirodno upijene vode dok je kamen još u svom primarnom nalazištu. Sve se stene lakše i ekonomičnije obrađuju dok sadrže prirodnu vlagu koju kamen gubi posle dužeg izlaganja suncu, vazduhu ili promaji. Obraden kamen posle gubljenja prirodne vlage dobija u svojoj otpornosti (smanjivanjem površinske poroznosti). Jedanput izgubljena prirodna vлага teško se vraća.

**Postojanost na mrazu** direktno je zavisna od poroznosti i hidrokskopnosti kamena. Voda u njegovim porama štetno utiče na njegovu postojanost — na običnoj temperaturi rastvaranjem pojedinih supstanci, a na niskim temperaturama razara njegovu strukturu, umanjuje mu mehaničke osobine. Postojanost kamena na mrazu zavisi od koeficijenta zasićenosti  $Z$ , pa se smatra da na kamen ne utiče mraz ako je  $Z \leq 0,92$ ; kada je  $Z \leq 0,80$  smatra se da je kamen postojan na mrazu. Temperaturne promene utiču na strukturu kamena, jer se minerali različito ponašaju pri promjeni temperature. Otpornost stena na mraz utvrđuje se na probnim uzorcima koji se najizmenično zamrzavaju i odmrzavaju (do 30 puta), od  $+20^{\circ}\text{C}$  do  $-25^{\circ}\text{C}$ , pa je koeficijent otpornosti na mraz dat odnosom  $K_m = \frac{\beta_0}{\beta'}$ , gde je  $\beta_0$  čvrstoća na pritisak u suvom stanju pre smrzavanja, a  $\beta'$  čvrstoća na pritisak posle smrzavanja. Ukoliko je  $K_m$  bliži vrednosti 1, utoliko je kamen postojaniji na mrazu. Pojedini autori predlažu da se za kriterijum postojanosti kamena na mrazu uzme  $K_m \leq 1,11$ , što znači da treba da bude ispunjen uslov  $\beta' \geq 0,9\beta_0$ .

**Postojanost na visokim temperaturama** zavisi od uticaja povišene temperature na pojedine sastojke kamena. Do temperature  $+55^{\circ}\text{C}$  skoro sve stene dobro se ponašaju. Međutim, pri povišenoj temperaturi kamen se širi, gubi svoj zvonak zvuk pod udarcem čekića, nepravilno puca, prska, odnosno kvar se njebove mehaničke osobine. Koeficijent širenja kamena različit je čak i za istu vrstu stene.

**Modul elastičnosti**  $E$  je promenljiv i zavisi od prirode i vrste kamena i od sastavnih komponenata stene. Modul elastičnosti varira u dosta širokim granicama: jedar krečnjak i mermur  $2,5\cdots7,7 \cdot 10^4\text{ MPa}$ ; krečnjaci  $0,5\cdots6,3 \cdot 10^4\text{ MPa}$ ; eruptivne stene  $0,5\cdots8,8 \cdot 10^4\text{ MPa}$  itd.

**Tvrdoća** je otpornost kamena na paranje (zarezivanje) kakvim tvrdim predmetom. Tvrdoća kamena zavisi od njegovih sastavnih delova, odnosno od kvaliteta cementa kojim su čestice kamena međusobno povezane. To svojstvo je posebno važno pri izboru alata za obradu kamena.

**Čvrstoća na pritisak**  $\beta_p$  je jedna od najvažnijih mehaničkih osobina građevnog kamena i određuje se iz odnosa sile sloma  $P_s$ , do koje se dolazi postepenim opterećenjem uzorka (naprezanje prilikom uvećanja sile  $P_s$  treba da raste brzinom od  $1,2\cdots1,5\text{ MPa/s}$ ) i površine poprečnog preseka uzorka  $F$ , odnosno  $\beta_p = \frac{P_s}{F}$ . Za uzorce se uzimaju kocke sa dužinom ivica  $5\text{cm}$  i ispituju se tri različita stanja: a) suvo (na vazduhu sušeno)

stanje  $\beta_p$ , b) u vodi zasićeno stanje  $\beta'_p$  i c) posle 25-strukog smrzavanja i odmrzavanja  $\beta''_p$ . Za svako od ovih ispitivanja potrebno je po pet uzoraka. Odnos između  $\beta'_p$  i  $\beta_p$  naziva se koeficijenat razmekšavanja kamena  $K_0$  i daje smanjenje čvrstoće u zavisnosti od vlaženja i služi kao kriterijum dobrote kamena. U jedrim stenama  $K_0 = \frac{\beta'_p}{\beta_p} \leq 1$ , a može da bude u

glinovitim stenama i 0,66. U upotrebljivom građevnom kamenu koeficijenat razmekšavanja iznosi 0,75...0,90. Čvrstoća na pritisak  $\beta_p$  je veoma važna za kamene konstrukcije. Samo jedan deo ove čvrstoće, dozvoljeno naprezanje na pritisak  $\sigma_p$  iskoriščava se prilikom projektovanja kamenih konstrukcija, odnosno  $\sigma_p = \frac{\beta_p}{n}$ . Broj  $n$  naziva se koeficijenat sigurnosti i zavisi

od homogenosti stene, tvrdoće pojedinih minerala i jačine povezanosti sastojaka kamena, vrste i namene konstrukcije, od funkcije kamena u konstrukciji, od kvaliteta i kvantiteta spojnog sredstva, od složenosti naponskog stanja. Koeficijenat sigurnosti iznosi 10...40.

**Čvrstoća na savijanje  $\beta_s$  i zatezanje  $\beta_z$ .** Građevni kamen ima relativno malu čvrstoću na savijanje i zatezanje. Kamen je retko opterećen na savijanje, ali se ipak takva naprezanja pojavljuju, npr. u kamenim pločama kojima su obložene fasade zgrada.

**Čvrstoća na smicanje** je važna pri izboru kamena za kolovozne konstrukcije. Ispituje se na prizmatičnim epruvetama ( $5 \times 5 \times 15$  ili  $10 \times 10 \times 30$  cm) i posebnim spravama, a data je odnosom  $\tau = \frac{P}{2F}$ , gde je  $P$  sila sloma, a  $F$  površina počasnog preseka na mestu loma.

**Otpornost na habanje** je svojstvo kamena kada se on više ili manje troši pri trenju i kada se na dodirnim površinama usled trenja javlja struganje (otiranje materijala). Otpornost na habanje zavisi od tvrdoće pojedinih sastojaka i načina njihove agregacije i od načina kako se haba. Ispituje se u specijalnim mašinama i pod posebnim uslovima. Gubitak materijala usled trenja i struganja daje koeficijenat habanja  $K_h$  odnosom:

$$K_h = \frac{G_0 - G}{\gamma} = \frac{\Delta G}{\gamma}, \text{ gde je } G_0 \text{ masa uzorka pre ispitivanja,}$$

$G$  masa posle ispitivanja,  $\Delta G$  gubitak materijala posle ispitivanja i  $\gamma$  gustina kamena. Koeficijenat habanja  $K_h$  zavisi od načina ispitivanja pa uvek uz njegovu vrednost treba dati i podatak kako je dobijen.

**Jačina na udar i čvrstoća ivica** važna je u nekim slučajevima. Procenat habanja na udar i čvrstoće ivica utvrđuje se ispitivanjem uzorka i dat je odnosom  $\alpha = \frac{G_0 - G}{G_0} 100$ , gde je  $G_0$  masa uzorka pre ispitivanja, a  $G$  masa posle ispitivanja.

**Žilavost kamena** je njegova otpornost na udare i ispituje se na probnim uzorcima udarima do razaranja. Za građevni kamen koji je otporan na udare kaže se da je žilav, i obrnuto, za kamen koji nije otporan na udare kaže se da je krt. Ispitivanje žilavosti izvodi se specijalnim mašinama i data je odnosom  $A / V$  između ukupnog udarnog rada i zapremine uzorka.

Za žilavost kamena uzima se ukupan rad udarima sveden na  $1 \text{ cm}^3$  zapremine.

**Adhezija maltera za kamen** jest svojstvo da blokovi kamena jače ili slabije prianjaju na malter. Ta osobina je od posebne važnosti za kamene konstrukcije koje nisu monolitne, već su formirane od pojedinih komada kamena međusobno spojenih malterom. Intenzitet adhezije zavisi od obrade naležućih površina kamena, njegove strukture i vrste te kvaliteta maltera. Što je naležuća površina kamena hravapija i kamen porozniji, veća je adhezija maltera za kamen. Ispituje se laboratorijskim postupkom pomoći probnih uzoraka koji treba da budu tako pripremljeni da budu što adekvatniji budućem stanju kamena u konstrukciji.

**Boja građevnog kamena** je važna kada kamen treba da bude uokomponovan u građevinu kao ukrasni dio. Boja kamena dolazi od mineraloškog sastava stene od koje je dobijen, odnosno od vrste cementa u sedimentnim stenama. Pri izboru stene, odnosno kamena, treba voditi računa o postojanosti boje uticajem atmosferilja. Nepostojanost boje kamena pokazaće se ako se uglačani, odnosno polirani uzorak izloži atmosferskim uticajima i uticaju razblaženih rastvora sumporne i hlorodvične kiseline.

**Glačanje vidnih površina kamena** zavisi uglavnom od mineraloškog sastava i strukture kamena. Tvrda, sitnozrnast i jedar kamen, dobijen od kvalitetno iskrystalisanih stena koje imaju komponente približno iste tvrdoće, daje dobre i kvalitetne glaćane površine. Glačane površine apostrofiraju boju i strukturu građevnog kamena i otpornije su na utjecaj atmosferilja.

**Obradljivost stena** je svojstvo koje dopušta lakše ili teže dobijanje pogodnih komada kamena upotrebljivih za zidanje kamenih konstrukcija. Pri istoj upotrebi alata različite stene se različito ponašaju u zavisnosti od agregacije sastojaka, slojevitosti, škriljavosti stene, prirode cementa (peščari), majdanske vlage, žilavosti, odnosno krtosti stene i slično. Velika intergranularna poroznost i šupljikavost olakšavaju rad na obradi, utiču na obradljivost stene, ali pri tome treba biti obazriv jer mnoštvo krupnih pora i šupljina utiče na kvalitet vidnih površina građevnog kamena.

**Podobnost stena za dobijanje građevnog kamena** optimalnog kvaliteta zavisi kako od fizičkih osobina tako i od opštih geoloških prilika u kojima je stena nastala. Na izbor vrste stene utiču i blizina kamenoloma, transport, vrsta objekta,

Tablica 1  
POŽELJNE I NEPOŽELJNE OSOBINE STENA

Vrsta stene	Poželjne osobine	Nepoželjne osobine
Granit Sijenit	Svežina, naročito feldspat. Sitnozrnatost. Ujednačena krušnoća zrna. Malo ravnomerne raspoređenog liskuna. Obilje minerala kvarca. Debeli banci i retke i pravilno raspoređene prsline.	Izgubljena svežina mase. Feldspat u procesu raspadanja — može nožem da se zapara. Mnogo liskuna koncentrisanog u pojedinim zonama.
Diorit Gabro	Ravnomeran raspored sastojaka. Svežina mase. Sitnozrnatost. Granitska zrnasta struktura u gabru. Pravilno lučenje.	Nedostatak lučenja ili sfroidalno lučenje. Krupnozrnatost. Gabrovska struktura (ljuskastozrnasta)
Kvarc-porfir, Porfir i Porfirit	Malo svežih i krupnih sastojaka. Osnovna masa kristalasta i sveža. Ne paraju se nožem i imaju gladak prelom. Debeli banci.	Mnogo krupnih sastojaka. Raspadnuti feldspati. Mirisu na glinu. Ljuskasto cepljanje. Crvena boja porfira i porfrita.
Riolit Trahit Andezit	Fenokristali sitni i ujednačene krušnoće. Osnovna masa mikrokristalasta. Tamna boja andezita.	Poroznost. Jako izraženo porfirsко lučenje. Otvorena boja andezita.
Bazalt Dijabaz	Jedar i zatvorene (crne) boje. Malo olivina i nefelina. Bez staklaste mase. Gladak prelom. Debeli banci ili prizme.	Porozan. Otvorene boje. Mnogo olivina i nefelina. Hrapav ili iverast prelom. Sferoidalno lučenje. Bele (sunčane) pege.
Gnajs	Svež feldspat. Malo liskuna. Dosta kvarca. Slabo izražena škriljavost. Ravne površine. Debeli banci.	Mnogo liskuna. Raspadnuti feldspati. Slaba vezanost. Neravnomerna slojevitost. Škriljavost.
Peščari	Što više kvarćnih zrnaca. Kvarcni cement. Dobro izražena slojevitost u debelim bancima.	Feldspat i liskun. Mnogo glinovitog cementa. Škriljavost.
Krečnjak Dolomit	Jedar. Čvrst. Ne mirisu na glinu. Debeli banci. Pravilne i udaljene poprečne prsline.	Zemljasta struktura. Zagsite boje. Mirisu na glinu. Tanki slojevi i ploče. Nepravilne i bliske poprečne prsline.



Sl. 13. Mehaničko oštećenje, pukotina u nadvratniku na crkvi Sv. Križa u Ninu

naprezanje u pojedinim presecima, estetski efekt koji se želi postići, kvalitet radne snage i alata za obradu i ugrađivanje kamena i drugo. Zaključak o podobnosti neke vrste stene donosi se posle svestranog razmatranja i analize svih ovih parametara. U tabl. 1 (delimično po J. Wilseru) date su povoljne i nepovoljne osobine stena koje se najčešće sreću u građevinskoj praksi.

D. Gojković      Đ. Lazarević

**Oštećenja kamena** na skulpturama, spomenicima i kamenim oblogama imaju različite uzroke. Ona se mogu pojavitи zbog mehaničkog djelovanja kad se pojavljuju pukotine i lomovi



Sl. 14. Posljedica izluživanja viška kalcij-oksida u cementu; uzduž sljubnica kamenih ploča nastaju bijele kalcitne cijedine i sige

(sl. 13). To se pojavljuje kad su naprezanja u kamenu nepovoljno raspodijeljena. Oštećenja mogu nastati zbog promjene nestabilnih minerala u kamenu (oksidacija pirita).

Oštećenja su česta na kamenim pločama kojima su obloženi zidovi. Ta su oštećenja uzrokovana kemijskim promjenama. Kad cement, npr., sadrži višak slobodnog kalcij-oksida ( $\text{CaO}$ ), on se izlučuje iz betona. Ta supstancija migrira kroz sljubnice kamenih ploča, te se na njihovoj površini stvaraju bijele



Sl. 15. Teško oštećenje kamene obloge na betonskoj konstrukciji spomenika zbog niza uzroka, prvenstveno slabe izolacije

kalcitne cijeline i sige (sl. 14). Beton se neovisno o opterećenju skuplja, a pod trajnim opterećenjem teče (puže). Tečenje betona pojavljuje se nakon što je obložen kamenim pločama, pa se kamene ploče oštećuju ako su kruto pričvršćene cementnim mlijekom za betonsku podlogu. Moguća su i oštećenja zbog termičkih utjecaja. Pri povišenju temperature od  $-15$  na  $+60^{\circ}\text{C}$ , npr., mramor se širi za  $0,6\text{mm}$  po m, a beton za  $1,05\text{mm}$ .

Konstrukcije obložene kamenom posebno su osjetljive na djelovanje vlage i leda. Zbog vlage mogu se na površini kamene obloge pojaviti otopljene soli uz tvorbu prevlaka i pjega i uz smanjenu otpornost prema djelovanju leda. Zbog vlage i leda mogu nastati znatna oštećenja kamene obloge (sl. 15).

Štetan utjecaj alkalija iz cementa nastaje kad se za podlogu kamenih ploča upotrebljava beton s cementom bogatim alkalijsima bez pucolanskih dodataka. Tada se na površini kamenih ploča pojavljuju iscvjetavanja u obliku praška i nakupina. Ona sadrže različite modifikacije natrij-karbonata. Slične pojave iscvjetavanja zapažaju se i na kamenim pločama, kad se kao agregat za beton upotrijebi morski pijesak koji sadrži natrij-klorid.

Ugljik-dioksid i sumpor-dioksid štetno djeluju na kamene obloge u gradovima i industrijskim područjima. Njihovim dje-

lovanjem na površini obloge od vapnenca stvara se kalcij-sulfit, anhidrit i gips. Oni su redovito praškasti, s tankom i krhkrom korom na površini. Da bi se smanjila oštećenja uzrokovana zagađenom atmosferom, površine kamene obloge i skulpture od vapnenca zaštićuju se različitim premazima, prvenstveno silikonima.

Površine se kamena i kamenih obloga čiste mehanički i kemijski. Mehaničkim čišćenjem skida se površinski sloj kamena prebrusavanjem, pjeskarenjem (mlazom finogranuliranog kamenog pjeska) i obrad bom zupčastim čekićem. Za kemijsko čišćenje predlažu se različiti postupci i otopine. Pri tome treba paziti da se za čišćenje kiselih stijena (granit, kvarcit, kvarcni pješčenjak) ne upotrijebe bazični, a za čišćenje karbonskih stijena (vapnenac, mramor) kisele otopine i detergenti. Njegom kamenih površina pogodnim načinom i sredstvima za čišćenje prođuže se njihov vijek trajanja.

### DOBIVANJE I OBRADA KAMENA

Može se samo nagađati kako su se u davnim vremenima odvajali kameni blokovi, pogotovo kad se znaju dimenzije izvadenih blokova. Tada se kamen obrađivao kamenim alatom.

U rimskim antičkim kamenolomima zabijali su u prirodne pukotine željezne ili suhe drvene klinove, koji bi nabubrili nakon što su se zalili vodom. Potisak, nastao njihovim širenjem, odvaljivao je velike kamene blokove. Takvi nepravilni blokovi obrađivali su se klesanjem, dlijetom i čekićem. Od grubo obrađenih paralelepipedova rezane su ploče dvoručnim pilama. Odvajanje ploča u smjeru slojevitosti (po versu ili daski) znatno je lakše. U to doba postojali su kamenolomi i na našem području npr. kod Prozora i podzemni kamenolom kod Zvornika (cava romana).

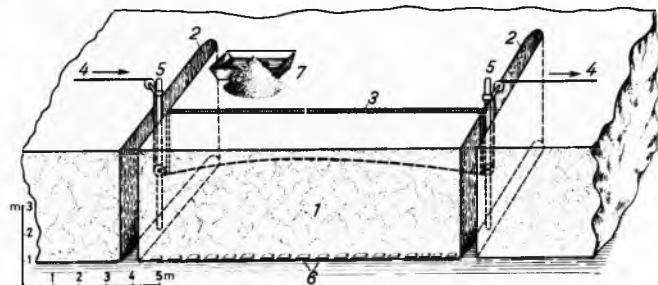
Veliki blokovi transportirali su se na drvenim saonicama stazama od drvenih oblica. Vjerojatno je da su se tako transportirali i ogromni kameni blokovi, npr. blok pred vratima Baalbeka (sl. 16).



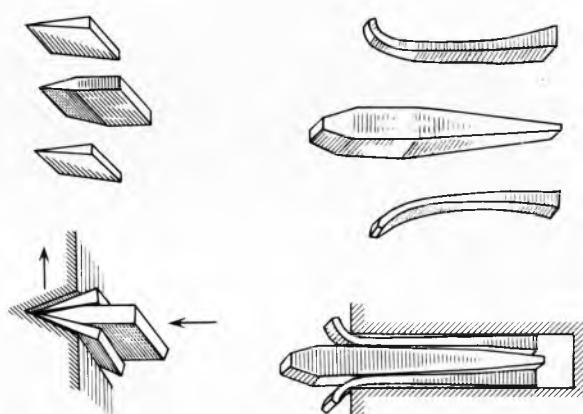
Sl. 16. Kameni blok pred vratima Baalbeka (duljine 21,5 m, širine 4,8 m i visine 4,3 m)

Kasnije je crni barut zamijenio drvene klinove, a alati s komprimiranim zrakom dlijeto i čekić. Odvajanje stijenske mase okomito na slojeve znatno je olakšano upotreboom helikoidne čelične žice (1895).

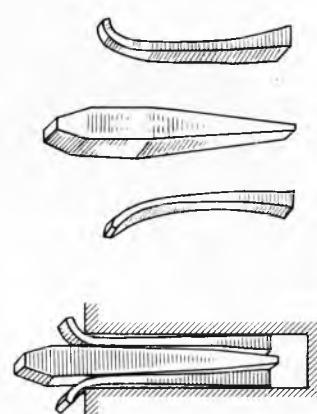
Da bi se iz stijenske mase odvojio blok (sl. 17), najprije se izrađuju kanali 2 okomito na slojeve, u njih se smještaju nosači 5 i vodilice 4 koje vode čeličnu žicu 4. Žica pili stijensku masu uzduž reza 3 u koji se sipa kremeni pjesak s vodom 7. Na taj se način blok 1 odvaja od stijenske mase sa pet strana. S donje strane, po versu ili daski, odnosno po sloju, blok se podiže izradbom plitkih udubljenja (formela 6). U njih se zabijuju plosnati klinovi uzduž umetnutih pločica (sl. 18), pa se tako blok odvaja po slojnoj plohi. Umjesto formela izgrađuju se bušaćim čekićem gušće bušotine i u njih zabijuju klinovi s pločicama (sl. 19). Za smještaj nosača vodilica helikoidne žice



Sl. 17. Shema eksploracije građevnog kamena: 1 blok koji se odvaja od stijenske mase i vadi, 2 izrađeni kanali za smještaj nosača i vodilica za helikoidnu žicu, 3 rez izrađen helikoidnom žicom, 4 helikoidna žica, 5 nosači vodilica i vodilice za žicu, 6 formele za dizanje bloka po slojnoj plohi zabiljanjem klinova, 7 kremeni pjesak i voda za rezanje kamena. Pjesak se sipa u rez izrađen žicom i abrazijom reže kamen (vapnenac ili mramor)



Sl. 18. Klin i pločice za zabijanje u izrađene forme i dizanje bloka po versu

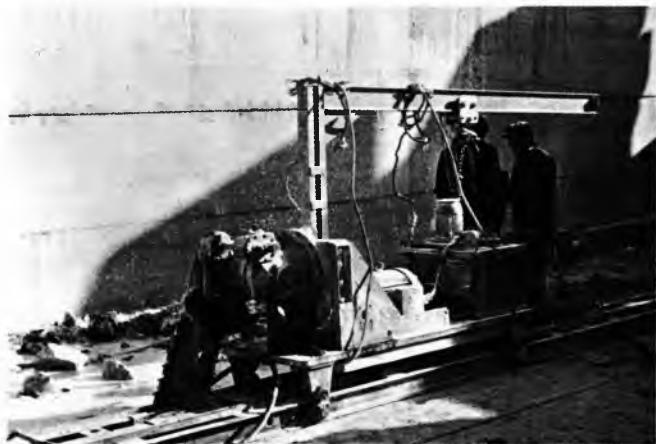


Sl. 19. Klin i pločice za zabijanje u izrađene rupe ručno ili pneumatskim alatom i dizanje bloka po versu

u povoljnim geološkim uvjetima upotrebljavaju se kanali nastali prirodnim proširenjem pukotina. Helikoidna žica, kojom se uz abrazivno djelovanje kremenog pjeska reže kamen, vodi se iznad radilišta radi hlađenja (sl. 20). Blokovi se mogu odvajati i pomoću detonirajućeg štapina ili crnog baruta. Izradba je bušotina za odvajanje blokova danas automatizirana (obično rade u bateriji po dva bušača čekića na tračnicama, uz automatski prestanak rada i automatsko pomicanje). Blokovi se odvajaju i pomoću zasjekića za kamen (sl. 21). Ima kombiniranih strojeva s dijamantnim kružnim pilama koje režu vertikalno i horizontalno. Kameni se blokovi odvajaju i pomoću hidrauličkih klinova. Oni su posebno pogodni za odvajanje raspuštanih stijena. Dijamantnim kružnim pilama ekonomično se



Sl. 20. Nosači i vodilice helikoidne žice povrh radilišta, sa žicom koja se nakon što je prošla kroz rez u stijeni mora ohladiti



Sl. 21. Izradba vertikalnih rezova zašjekačicom za kamen

režu stijene koje nisu tektonski poremećene, u kojima nema planarnih elemenata, pukotina ni slojeva. Granitne se stijene mogu rezati i obradivati mlazom plamena (sl. 22). Tekuće ili plinovito gorivo izgara u struji kisika. Plinovi izgaranja imaju temperature oko  $2500^{\circ}\text{C}$  i struje iz sapnice brzinom oko  $1500\text{ m s}^{-1}$ .

Drobljeni i mljeveni kamen (tehnički kamen) dobiva se (eksploatira) pomoću brizantnih eksploziva, kojima se pune izbušene rupe. Rupe za stavljanje eksploziva buše se bušaćim čekićima ili bušilicama u nožici vertikalne stijene radilišta (sl. 23), ili iznad fronte radilišta, obično u više redova. Raspored rupa i punjenje eksplozivom izračunava se s obzirom na mehanička svojstva kamena, tektonsko stanje njegove mase i svojstva eksploziva. Danas se minira velikom količinom eksploziva, kojim se odvaljuje i po nekoliko desetaka tisuća kubika kamenja. Kameni materijal odvozi se u postrojenje za drobljenje. U njemu se kameni materijal usitnjava u drobilicama. Drobljenje je obično višestruko. Za primarno drobljenje upotrebljavaju se obično čeljusne konusne drobilice koje sitne materijal gnječenjem, te udarna čeljusna drobilica koja sitni kamen udarom. Nakon toga se kamen drobi u drobilicama s ravnim ili nazubljenim valjcima, u zupčastim drobilicama, ili u mlinovima čekićarima i mlinovima s valjcima. Usitnjeni se kameni materijal sije,



Sl. 22. Rezanje granitnog bloka mlazom plamena

a njegov finalni proizvod (agregati različitih frakcija) spremaju se u silose ili skladišta iz kojih se gravitacijski ili transportnim trakama utovaruje u vozilo za odvoz na gradilišta.

Prema krupnoći zrna razlikuje se: tucanik (grubi 50...70mm i fini 15...50mm), sitnozrni tucanik — grus (1...30mm za asfalterske radove) i mljeveni kamen (za izradu asfalta, fasada i sl.).

B. Crnković

**Obrada kamenja.** Građevni kamen upotrebljava se, zavisno od vrste konstrukcije i namene građevine, bez ikakve obrade — što je redi slučaj — ili sa obradom čiji je kvalitet i kvantitet uslovjen konstrukcijskim karakteristikama objekta u koji se ugrađuje. U zavisnosti od stepena obrade građevnog kamena razlikuju se lomljeni, doterani, polutesani, tesani kamen, kocke i prizme, ploče i pločice, te drobljeni i mleveni kamen.

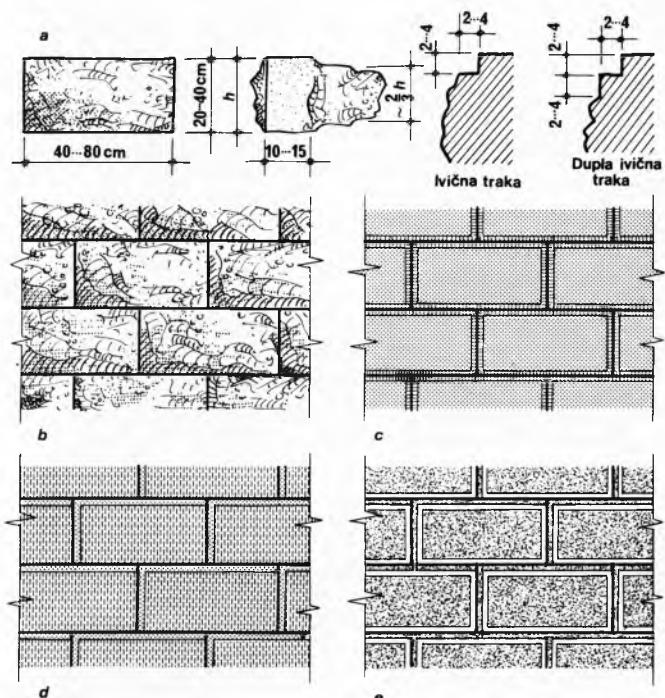
**Lomljeni kamen** to je građevni kamen dobijen iz kamenoloma prilikom vađenja — bez ikakve obrade. U zavisnosti od mesta i načina ugrađivanja, čekićem i maljevima se razbijaju u komade pogodnih veličina. Lomljeni kamen može biti ili potpuno nepravilnog ili pločastog oblika — pločasti lomljeni kamen (u zavisnosti od prirode stene od koje je dobijen). Kad se upotrebljava pločasti lomljeni kamen, preporučuje se da debљina ploča ne bude manja od 15cm.



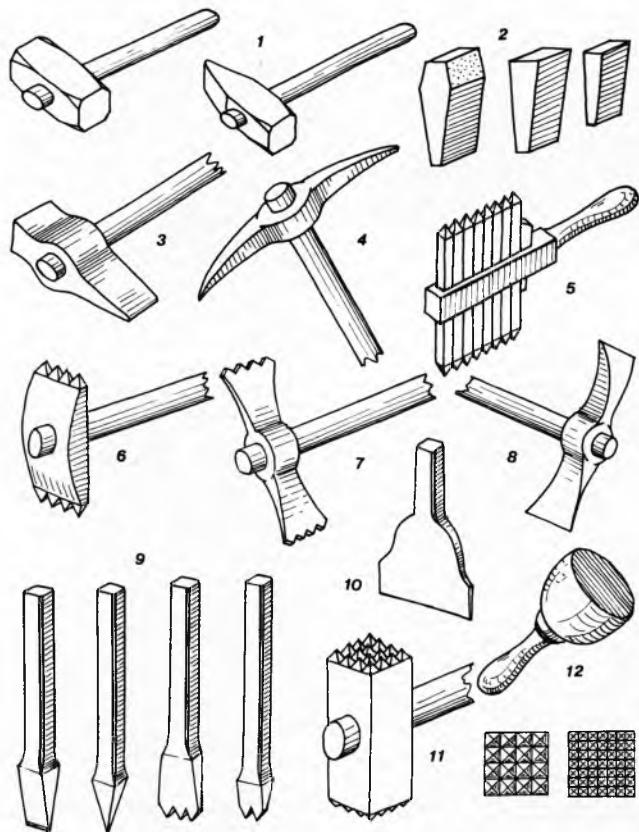
Sl. 23. Bušenje rupe za stavljanje eksploziva u nožici vertikalne fronte radilišta

**Doterani kamen.** To su blokovi kamena pogodne veličine koji su obrađeni isključivo čekićem. Ako je kamen izrazito pločastog oblika, bočne, dodirne površine doteruju se tako da budu približno pod pravim uglom prema ležišnim površinama. Kad je kamen nepravilnog oblika, komade kamena za zidanje treba tako probrobiti da se na licu zida dobije pravilna veza i kvalitetno prevezivanje blokova ujednačenog oblika i dimenzija. Tom prilikom treba težiti, koliko je to moguće, da se dobiju komadi kamena što približniji obliku paralelopipeda.

**Polutesan kamen** (sl. 24) je obrađen samo na svojoj vidnoj površini, površini koja je sastavni deo lica zida, i delimično na bočnim površinama, i to na dubini 10...15cm. Ostale površine, koje se nalaze u zidnoj masi, grubo su doterane. Za obradu vidnih površina kamena, osim čekića, upotrebljavaju se i druge alatke. Vidna površina polutesanog kamena može da bude različito obrađena; sa naglašenim ivičnim trakama koje mogu da budu ravno ili oborenno (koso) izvedene, sa trakama po celom obimu lica ili delimično, već u zavisnosti od toga kakav se želi estetski sadržaj lica zida u celini. Ivične trake se skoro redovno po obradi razlikuju od obrade lica kamena. Vidne površine mogu biti: bunjaste, kada su grubo obrađene, sa znatnim neravninama koje treba da istaknu rustiku lica kamena, da deluju grubo i masivno svojim neravninama, da istaknu nedobrađenost obrade lica kamena. Gruba obrada lica kamena, bunjnost, može biti naglašena finijom obradom ivičnih traka; bosirane ili špicovane, kada je lice kamena obrađeno posebnim alatkama ili špicevima. U zavisnosti od kvaliteta obrade i vrste upotrebljene alatke bosirana, odnosno špicovana površina može da bude fina, srednje gruba i gruba. Posebna obrada lica kamena



Sl. 24. Lice zida od polutesanog kamenja: a osnovni oblik i detalji ivičnih traka kamenja, b lice zida sa bunjastom obradom tesanika i bez ivičnih traka, c sa ivičnim trakama i ravno obrađenim površinama, d ivične trake izvedene samo gore i levo, e delimično duple ivične trake



Sl. 25. Alatke za ručnu obradu kamena

pogodna za krečnjake, postiže se zubačom. U zavisnosti od vrste zubača i ova obrada može da bude gruba i fina; štokovane površine imaju znatno manje neravnine od špicanih i mogu biti fino ili grubo štokovane, u zavisnosti od vrste čekića za štokovanje; strugane površine se dobijaju kad se lice kamenja

obrađuju širokim dletom. To je ravna površina dobijena kretanjem dleta u različitim pravcima. Opljene površine se dobijaju struganjem, piljenjem, uglavnom mašinski. U zavisnosti od vrste pile zavisi i kvalitet opiljene površine: brušene, odnosno polirane površine izvode se nakon prethodne obrade (piljenjem ili struganjem) brušenjem ili poliranjem uz dodavanje potrebnih i svrsišodnih aditiva.

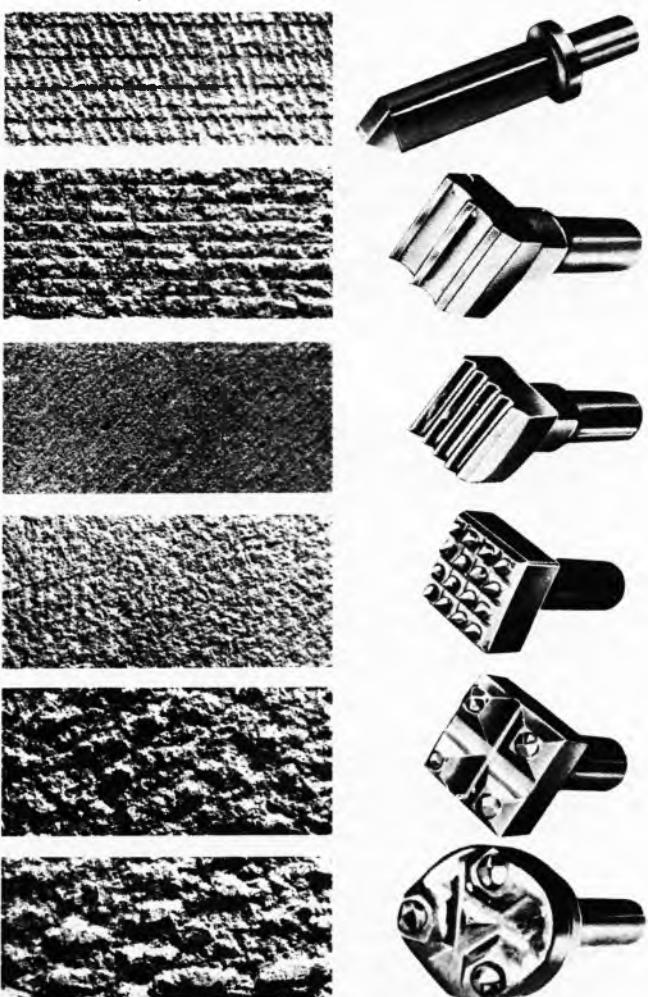
*Tesani kamen* je obrađen na svim svojim površinama. Blokovi tesanog kamenja se dobijaju od prethodno grubo obrađenog kamenja, koji je u svim smerovima veći za 3 do 5 cm od budućeg bloka tesanika. Rade se prema prethodno izrađenim detaljima ili šablonima i imaju različite oblike — od profilisanih i bogat profilišanih do paralelopipednog oblika. I vidne površine tesanog kamenja mogu biti različito obrađene kao i polutesani kamen.

Kocke i prizme od kamenja pogodnog kvaliteta primenjuju se u izradi kolovoznih konstrukcija. Sve površine krupne i sitne kocke jednak su obrađene, po potrebi doterane špicom, i sa oštrim ivicama. Razlika između pojedinih vrsta kocke manifestuje se u kvalitetu obrade i širini spojnica (posle ugrađivanja).

Ploče i pločice raznovrsnog oblika i dimenzija upotrebljavaju se uglavnom u objektima visokogradnje za oblaganje pojedinih elemenata. Izrađuju se piljenjem (debljine do 4 ili 5 cm, pa i više, u zavisnosti od vrste stene), pravilnog su oblika i oštrih ivica. Vidne površine su uglavnom polirane, a mogu da budu i hrapave.

*Alat za obradu kamenja* može se svrstati u dve grupe: alat za ručnu i alat za mašinsku obradu.

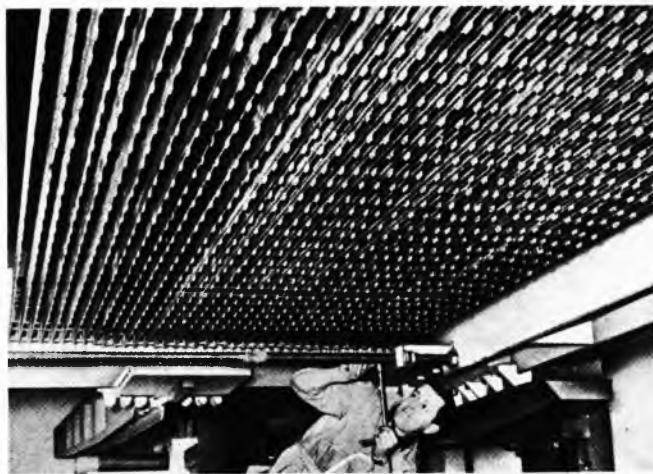
*Alat za ručnu obradu kamenja* uglavnom se sastoji od (sl. 25): čekića (macola) 1 i klinova različitih oblika i veličina 2; čekića



Sl. 26. Oblici kruna pneumatskih alatki za obradu površine kamenja i izgled s njima obradenih površina

za bosiranje i ravnanje bosiranih površina 3; dvokrakog pijuka 4 — za grubu obradu; krunara sa različitim brojem umetaka 5 (od čelika 12/12 do 14/14mm); zubača sa različitim brojem i veličinom zubaca 6; ozubljenih 7 i ravnih sekira 8; različitih dleta — ravnih, sitno i krupno ozupčenih, uskih 9 i širokih 10 — i špicova; čekića za štokovanje sa različitim brojem piramidalnih zubaca 11; drvenih čekića različitih oblika i veličina 12; alata za obeležavanje, sprava za grubi i neposredni transport pri obradi, nogara, šablona i drugog što je potrebno za obradu kamena (kovačke vatre i pogodni uređaji za održavanje i oštrenje alata). Danas se lice kamena najčešće obrađuje pneumatskim alatom (sl. 26).

**Mašinska obrada** kamena provodi se u pilanama. Tamo se blokovi pile u ploče različitih debljina. Blokovi krečnjaka i mermera pile se običnim pilama, čeličnim listovima uz abraziv od kvarcnog peska. Umesto kvarcnog peska kao abraziv upotrebljavaju se i drugi materijali (npr. željezna strugotina). Visoki kapacitet postiže se rezanjem kamena posebnim pilama s listovima obloženim dijamantima (sl. 27). Kamen se može piliti u ploče i druge oblike dijamantnim kružnim pilama. Izrezane ploče se glaćaju i poliraju na polirnim mašinama do visokog sjaja. Tako obrađene ploče dalje se oblikuju dijamantnim kružnim pilama. Za serijsku proizvodnju kamenih ploča upotrebljavaju se posebne mašine u kojima se ploče glaćaju i poliraju pomicući se na traci.



Sl. 27. Dijamentne lame supergatera za rezanje kamenih blokova u ploče

**Izbor vrste obrade** lica građevnog kamena i odgovarajućeg alata za njegovu obradu zavisi od vrste i kvaliteta stene od koje se dobija građevni kamen. Jedna se obrada predviđa za infrastrukturne objekte saobraćajnica, a druga za objekte u naseljenim mestima. Grubla, rustičnija obrada kamena upotrebiće se za mostovske stubove (rečne i obalne), te za elemente koji ne traže, a nije ni ekonomski opravdano, finiju (samim tim i skupljim) obradu. Finija obrada kamena nalazi mesta u pojedinim elementima eksterijera, u posebno oblikovanim monumentima, spomenicima i slično. Polirane i glaćane površine kamena primenjuju se uglavnom u interijerima, mada to nije pravilo, i na onim mestima gde je to opravdano.

### GRAĐENJE KAMENOM

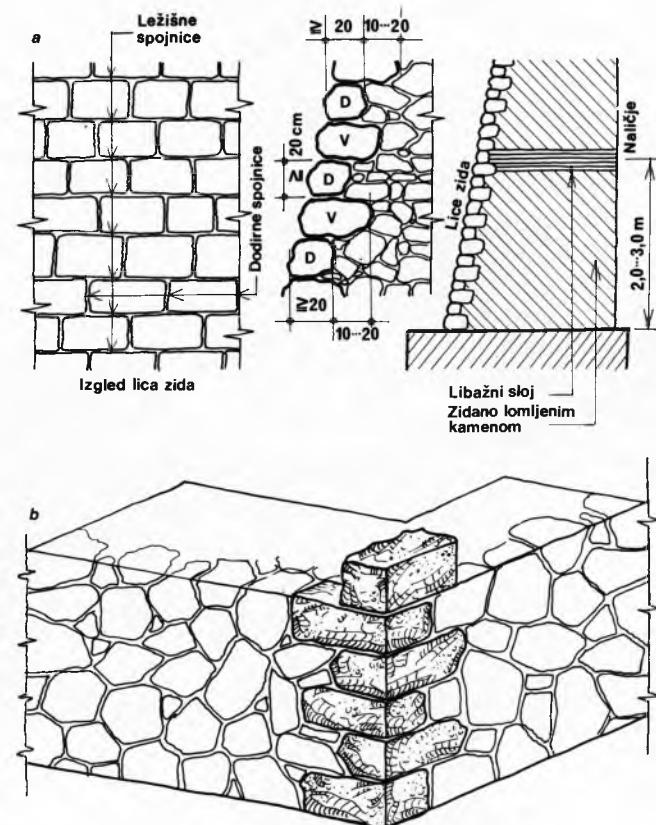
Slaganjem kamena (obrađenog ili prirodnog) i njegovim povezivanjem vezivom (malterom) zidaju se objekti od kamena — kamene konstrukcije.

#### Zidanje kamenom

Za vezu pojedinih komada kamena u celinu upotrebljava se malter koji bitno utiče na kvalitet kamene konstrukcije. Pored posebnih kvaliteta koji se od maltera zahtevaju, svi malteri bez razlike treba da su dovoljno plastični i ugradljivi, da imaju dovoljnu adheziju i da su dovoljno postojani i otporni na mraz. Mehaničke osobine maltera su od presudnog značaja

za stabilnost kamenih elemenata. Za zidanje kamenom upotrebljavaju se krečni, cementni i produžni malter. Kada će se koji malter upotrebiti zavisi od naponskog stanja elementa, odnosno njegovog značaja u integralnoj dispoziciji građevine.

**Zidanje lomljenim kamenom** (sl. 28), blokovi lomljenog kamena moraju biti čisti, bez prašine i organskih materija.

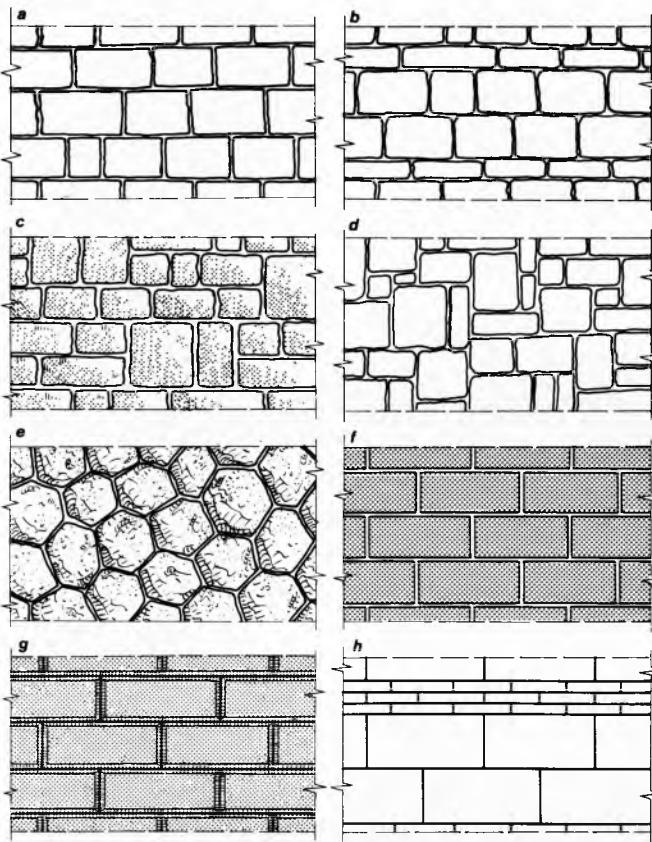


Sl. 28. Zidovi od lomljenog kamena: a lice zida zidano doteranim kamenom paralelopipednog oblika, b ugao zida ozidan krupnjim komadima doteranog kamena

Pri upotrebi prašnjavog i prljavog kamena treba kamen oprati pre ugradivanja; prilikom zidanja u suvom vremenu, pogotovu u toku letnjih dana, dobro je da se kamen pre ugradivanja nakvari vodom. Kada u spojinama ima dosta maltera, zbog nepravilnog oblika lomljenog kamena, na takvim se mestima utiskuju sitniji komadi kamena i na taj se način smanjuje količina maltera i postiže veća čvrstoća zida. Ovi sitniji komadi kamena koji se utiskuju zovu se čivije, a radnja čivijanje. Lice zida od lomljenog kamena zid se sa više pažnje i bez čivijanja. Kada se zida lomljenim kamenom u slojevima, nagibe slojeva treba tako podešavati da budu približno upravni na rezultujući pritisak. Pri zidanju krečnim malterom treba računati sa većim sleganjem zidne mase za vreme građenja, nego što je to pri zidanju cementnim malterom. Kad su veće zidne mase, zidovi i stubovi većih visina, na svakih 2 do 3 m visine, u zavisnosti od važnosti objekta i njegovog opterećenja, izvode se izravnjujući slojevi, tzv. libažni slojevi — libaže, koji se rade od grubo doteranog i doteranog kamena. Izvode se od dva ili više slojeva upravnih na rezultujuće opterećenje i imaju zadatak da ujednače već ozidanu zidnu masu, odnosno pospeši ravnomernije prenošenje opterećenja na zidnu masu između dva libažna sloja. Zidovi od lomljenog kamena nalaze primenu tamo gde su naponi neznatni.

**Zidanje doteranim kamenom** izvodi se uglavnom na vidnim površinama zidova zidanih lomljenim kamenom. Svaki blok doteranog kamena treba najmanje 20cm da ulazi u zidnu masu. Osim toga, radi bolje veze sa zidnom masom dobro je da na svaki kvadratni metar površine lica zida bude ugrađen po jedan veći blok doteranog kamena, koji će ulaziti u zidnu masu

50–60 cm. Za zidanje doteranim kamenom važe isti principi i pravila kao i za zidanje lomljenim kamenom. Kad se zida doteranim kamenom u zavisnosti od oblika ugrađenih blokova, lice zida može da ima različite izglede (sl. 29).

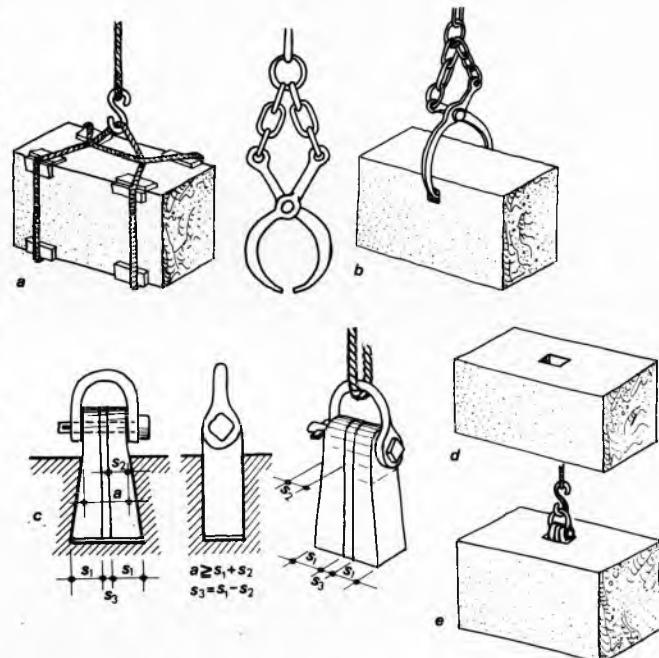


Sl. 29. Neki mogući izgledi lica zida: a slojevi ujednačene visine; b slojevi različitih visina, c slojevi spojeni krupnjim kamenim blokovima, d bez izražene slojevitosti, e zidanje na ciklop, f slojevi ujednačenih visina sa boljom obradom vidnih površina kamena; g izraženost spojnica posebnom obradom ivičnih traka, h smenjivanje slojeva različitih visina

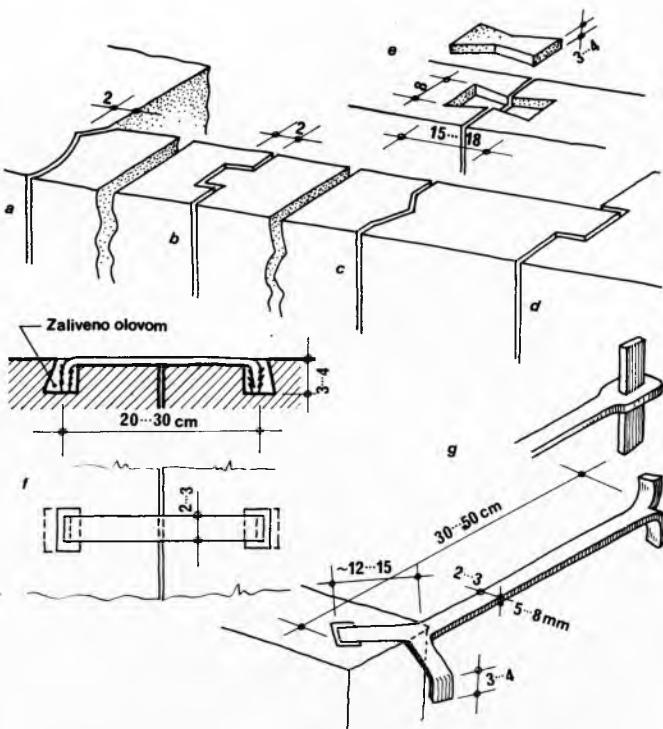
**Zidanje polutesanim kamenom** nalazi primenu pri oblaganju vidnih površina stubova, krilnih i čeonih zidova mostova, zidova uopšte, brana i objekata visokogradnje. U takvim se slučajevima lice zida polutesanim kamenom, a masa elementa izvodi se od lomljenog kamenja, betona ili nekog drugog materijala. I ovde se vodi računa o pravilnom prevezivanju unutar zidne mase. Lice zida može biti formirano na različite načine, slično kao kad se zida doteranim kamenom.

**Tesanim kamenom** zidaju se objekti kad se posebna pažnja obraća na izgled i stabilnost konstrukcije; kad se zahtevaju posebni estetski efekti i gde se očekuju veliki pritisci te pojedini ukrasni elementi — venci, ograde, plastični ornamenti i slično. Spojnice (ležišne i dodirne) mogu biti minimalnih dimenzija i obično se naknadno obrađuju. Prilikom zidanja, koje se razlikuje od prethodnih, posebna pažnja se poklanja transportovanju (sl. 30) i ugrađivanju tesanika kako bi se kamen neošteteć ugrađuo u konstrukciju. Sve ostalo rečeno za zidanje manje obrađenim kamenom važi i za zidanje tesanim kamenom.

**Oblaganje kamenom.** Kada se lice elementa zida tesanim ili polutesanim kamenom, a jezgro — masa lomljenim ili grubo doteranim kamenom, zida se istovremeno i vodi se računa o vezivanju konstrukcije obloge za zidnu masu. No, često je da se masa, osnovni deo konstrukcije, izvodi od betona ili nekog drugog materijala (opeke), a vidne površine od tesanog, odnosno polutesanog kamenja. Tada je oblaganje dvojako: paralelno sa betoniranjem, odnosno zidanjem i naknadnim oblaganjem kamenim blokovima. Pri istovremenom oblaganju (obloga od kamenja, izvedena na opisani način, služi kao oplata za betoniranje), potrebno je tesanike dužnjake vezati čeličnim pijavicama ili specijalnim ankerima na svakoj drugoj-trećoj spojnjici za zidnu masu (na ostalim spojnicama ugrađuju se obične pijke za međusobnu vezu blokova) ili veze ostvariti vezom na pero i žleb (izvedenu u kamenju) (sl. 31). U već ozidanim ili izbetoniranim elementima, koji se naknadno oblažu kamenom, površine za oblaganje treba izvesti ozupčene kako bi se ostvarila što bolja veza između oblage i već izvedenog elementa. I tada se veza između kamenih blokova i zidne mase, samo sa kvalitetnjom izradom, izvodi pomoću čeličnih, specijalno projektovanih ankera. Deo između oblage i mase već izvedenog elementa zaliva se cementnim malterom ili sitnjim betonom.



Sl. 30. Transport tesanika: a pomoću užeta, b specijalnih makaza, c metalnih čepova iz tri dela, d tesanik sa rupom za čep i e montiran čep



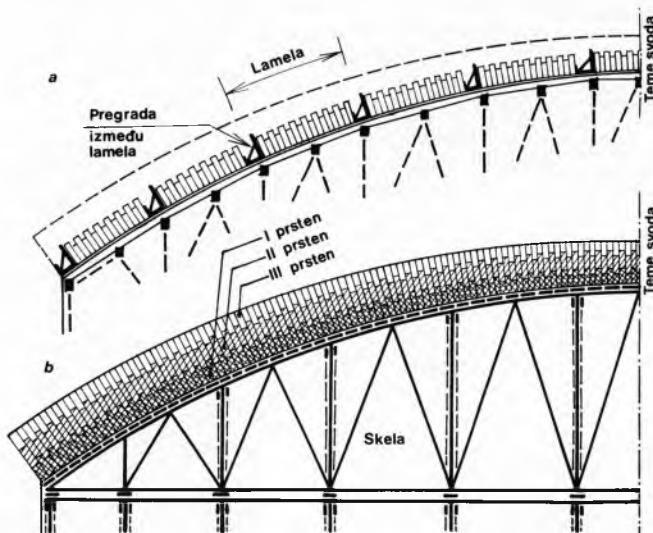
Sl. 31. Vezivanje blokova tesanog kamenja: a, b, c i d žlebovima i čepovima različitog oblika, e metalnim pločicama na lastin rep, f metalnim pijavicama, g dvokrakim pijavicama i ankerima

Radi uštede materijala elementi se oblažu tankim kamenim pločama (debljine 2–8 cm, proizvedene mašinski) čije su vidne površine skoro redovno glaćane ili polirane. Takve se ploče međusobno vezuju pocinkovanim, bakarnim ili mesinganim ankerima i trnovima, a međuprostor se ispunjava cementnim malterom. Debljina je spojnica između ploča 2–4 mm i može biti ispunjena cementnim malterom ili olovnim folijama.

**Zidanje svodova** izvodi se iznad prethodno izvedene svodne skele, pomoćne građevine, koja ima zadatak da nosi svod sve do onog momenta dok on ne bude sposoban da primi opterećenje sopstvene težine i, kasnije, opterećenje od superstrukture mosta. Način izvođenja nekog svoda zavisi od organizacije gradilišta, kvaliteta i kvantiteta radne snage, raspoložive mehanizacije, veličine i raspona svoda i dinamike građenja. Zidanje manjeg svoda počinje od oporaca ka temenu svoda. Zida se po celoj debljini svoda, simetrično i istovremeno uz permanentnu kontrolu deformacija svodne skele i blagovremenu intervenciju na korekciju eventualnih deformacija. Tokom zidanja stalno se kontroliše pravac i položaj radikalnih spojnica i efikasno ispunjava spojnica malterom. Zidanje svodova većih

raspona, zbog simetričnog i ravnomernog opterećivanja svodne skele, izvodi se na dva načina: u lamelama po celoj debljini svoda i u prstenovima. Svodovi velikih raspona i pojedini prstenovi zidaju se u lamelama (sl. 32, sl. 33). Prilikom zidanja svodova u lamelama, gde se broj i raspored lamela određuje simetrično u odnosu na teme svoda, prostor između lamela ostvaruje se posebnim podupiračima od drveta kojih dimenzije treba da odgovaraju veličini ostavljenog prostora između lamela. Ovi prostori se zaziđuju nakon završetka zidanja svoda u lamelama i nanošenja skoro punog opterećenja svodne skele, i posle konstatovanja da je skela zadržala projektovani oblik. Redosled zidanja lamela treba da omogući ravnometerno i prostudirano nanošenje opterećenja na svodnu skelu. Svod u prstenovima (sl. 32, sl. 34) ne zida se po celoj svojoj debljini, već se zasvodiće u prstenovima (a svaki prsten zida u lamelama). Po zatvaranju prvog prstena, koji je sposoban da zajedno sa skelom nosi drugi, sledeći prsten, pristupa se svedenju drugog prstena na identičan način, zatim trećeg prstena i tako dok se ne završi zidanje svoda u celini. Takav način svedenja daje znatne uštede u konstrukciji skele, a pogodnim konstrukcijskim merama ostvaruje se potrebna veza između pojedinih prstenova. Konstrukcije svodova mogu se izvesti i tako da vidne površine svoda budu ozidane tesanim ili polutesanim kamenom, a samo telo — masa svoda da bude ozidana lomljenim ili grubo doteranim kamenom (obično je dobar pločast lomljeni kamen) ili, što je češće, da masa svoda bude izvedena od nearmiranog betona. U prvom slučaju zida se istovremeno i čelo svoda i deo svoda od lomljenog, odnosno doteranog kamenja, a u drugom slučaju, posle završenog zidanja vidnih površina svoda, čela svoda, pristupa se betoniranju svoda. I tom prilikom izvođenje svoda može da se izvede u lamelama, odnosno u prstenovima.

**Zidanje stubova mostova** (sl. 35) izvodi se većinom tako što se vidne površine zidaju tesanim, polutesanim ili lepo doteranim, a masa stuba lomljenim kamenom ili se izvodi od nearmiranog betona. Pri tome treba težiti da za oblogu bude upotrebljen građevni kamen otporan na atmosferilije i eventualnu agresivnost vode iz rečnog toka. Obrada vidnih površina treba da bude svršishodna i prijatna za oko, odnosno da se uklapa u opštu dispoziciju građevine. Prilikom zidanja obloge vodi se računa o pravilnom prevezivanju, međusobnoj vezi između kamenih blokova, odnosno o pravilnom ugrađivanju celičnih pijavica, spona i ankera, što važi za zidanje polutesanim kamenom. Posebnu pažnju treba obratiti na krupnoću blokova, i to tako da na mestima stuba koja su izložena udarima vode



Sl. 32. Zidanje svodova. a zidanje svodova u lamelama, b zidanje svodova u prstenovima



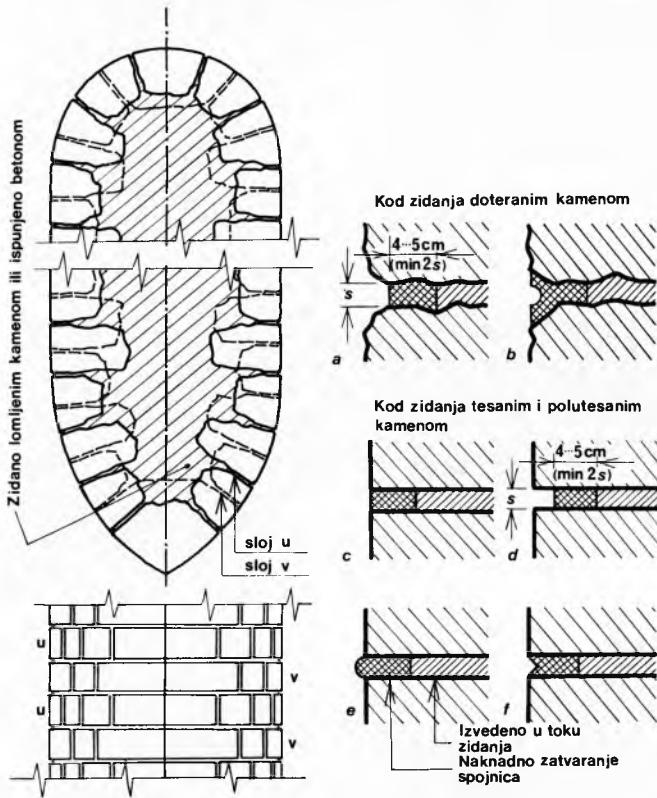
Sl. 33. Zidanje svodova u lamelama



Sl. 34. Zidanje svodova u prstenovima

i nanosa (leda) budu ugrađeni krupniji komadi kamenja. Obično debljina spojnica treba da bude što manja.

Obrada spojnica bitno utiče na izgled i stabilnost elementa zidanog građevnog kamenom. Što je kamen za zidanje bolje obrađen to je moguće izvesti tanje spojnice i obrnuto. Praktično, u tesanom i polutesanom kamenu dubljina je spojnica 2–3 mm.



Sl. 35. Slojevi polutesanog kamenja na horizontalnom preseku rečnog stuba mosta

Sl. 36. Obrada vidnih delova spojnica:  
a) uvučeno, b) ravno s fugovanjem,  
c) ravno, d) uvučeno, e) izbočeno, f) uvučeno i profilisano (ili fugovano)

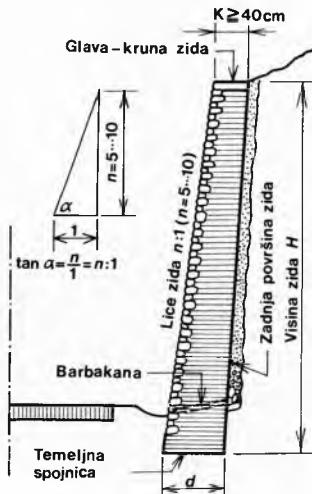
Prema debljini spojnica bira se i određuje krupnoća maltera — za tanje spojnice malter sa sitnjim peskom i obrnuto. Posle završenog zidanja, kada je završen proces sleganja zidne mase, pristupa se definitivnoj obradi vidljivog dela spojnica — fugovanju. Zatvaranje spojnica treba izvesti kvalitetnim malterom na dubini 4–5 cm, odnosno na dužini jednakoj dvostrukoj debljini spojnice. Boja maltera na završnom delu spojnica ne mora da bude adekvatna boji maltera unutar spojnica i bira se, dodavanjem pojedinih aditiva, prema željenom izgledu lica zida. Vidna površina spojnica može da bude različito obrađena (sl. 36). Spojnice minimalnih debljina mogu da budu ispunjene i drugim materijalom: olovnim folijama malih debljina, gipsom. Njih treba zaštiti ako su izložene uticaju atmosferilija.

#### Kamene građevine

**Sivi zidovi**, odnosno zidanje u suvo, bez maltera, primenjuje se za osiguranje kosina nasipa i useka, za zaštitu nožica nasipa od podlokavanja i kada su zidovi manje opterećeni te ako u neposrednoj blizini ima dovoljno kvalitetnog kamena. Sivi zidovi su ~1,5 puta većih dimenzija od zidova izvedenih u malteru. Za zidanje sivih zidova upotrebljava se lomljeni i grubo doterani kamen.

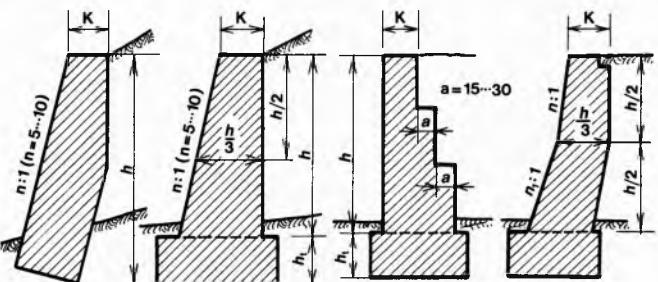
**Obložni zidovi** (sl. 37) služe za oblaganje kosina nasipa i useka, za zaštitu strmih kosina od uticaja atmosferilija, za oblaganje površina u naseljenim mestima i slično. Obložni zidovi štite površinu koja se njima oblaže i opterećeni su samo svojom sopstvenom težinom. Lice zida može da bude vertikalno ili u nagibu (5:1 do 10:1). Kruna obložnog zida završava se *poklopnom pločom* — krupnjim komadom doteranog ili polutesanog kamena. Lice se zida doteranim ili polutesanim kame-

nom. Da bi se sprečilo eventualno prskanje zida zbog neravnomernog sleganja i radi lakšeg izvođenja, ukupna dužina zida deli se vertikalnim razdelnicama (fugama) u lamele (kampade) dužine 3–6 m. Prostor između zida i terena koji se oblaže drenira se i eventualna voda kanalima pogodnih dimenzija (barbakana) odvodi se van zida. Stabilnost obložnih zidova ispituje se samo na utjecaj sopstvene težine, i to tako da se analizira deo zida dužine 1 m i posmatra kao kruto telo.



Sl. 37. Poprečni presek obložnog zida

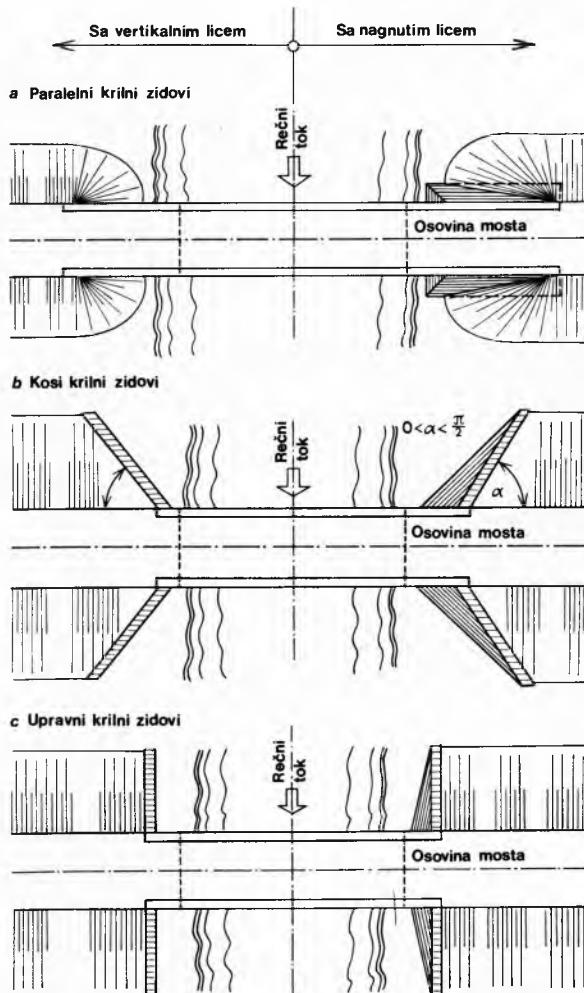
**Potporni zidovi** treba da prime potisak zemlje i primenjuju se kada treba rešiti denivelaciju nivoa, odnosno kada treba na maloj širini rešiti prelaz između kosine nasipa ili useka sa linijom terena. Potporni zidovi svojom masom suprotstavljaju se potisku zemlje uz odgovarajuću sigurnost protiv preturanja i klizanja. Potisak zemlje mora se najkrćim putem, preko konstrukcije potpornog zida, dovesti do temeljne spojnice i to tako, da pored stabilnosti na preturanje i klizanje naprezanje tla ostane u dozvoljenim granicama. Najčešće primenjivani oblici potpornih zidova dati su na sl. 38. Optimalan je onaj oblik koji sa najmanje volumena zadovoljava uslov da u svakom preseku zida, i u temeljnoj spojnici, stalno vladaju naponi pritiska uz punu stabilitet na klizanje i preturanje. I potporni zidovi se izvode u lamelema i sa drenažnim sistemom za odvođenje vode sa terena adekvatno obložnim zidovima. Stabilnost zidova se ispituje tako da se analizira najnepovoljnije opterećen elemenat dužine 1 m i posmatra kao kruto telo opterećeno potiskom zemlje i sopstvenom težinom.



Sl. 38. Uobičajeni poprečni preseci potpornih zidova

**Krilni zidovi** su po definiciji oni zidovi koji služe za vezu između trupa saobraćajnice i infrastrukturnih objekata. Prema položaju krilnog zida u odnosu na osovinu objekta uz koji se grade razlikuju se: paralelni krilni zidovi — u kojima je osovina zida paralelna sa osovinom objekta, upravljni krilni zidovi — koji su upravljeni na osovinu objekta i kosi krilni zidovi — koji su osovinom objekta zaklapaju ugao <90° (sl. 39). Svi ovi zidovi mogu biti sa vertikalnim ili nagnutim licem. Osim prednjih, nalaze primenu i cilindrični, odnosno konusni krilni

zidovi kojima je lice deo cilindrične ili konusne površine. Konstrukcija krilnih zidova može biti monolitno vezana sa konstrukcijom objekta ili razdvojena vertikalnom razdelnicom — fugom. Vertikalna razdelnica se izvodi kada se očekuju različite deformacije krilnih zidova u odnosu na objekat i kada se želi da konstrukcija objekta radi nezavisno od krilnih zidova.



Sl. 39. Shematske osnove krilnih zidova

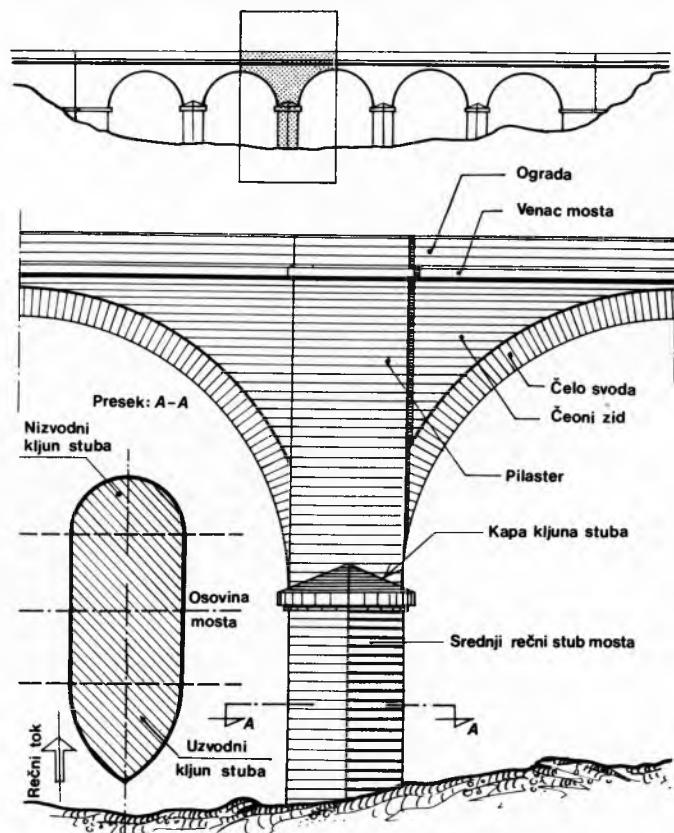
Dužina krilnog zida zavisi od visine i nagiba kosine nasipa, odnosno useka, i od nagiba i konstrukcije kegle u paralelnim zidovima. Kada se vidne površine krilnih zidova projektuju od polutesanog i tesanog kamena onda se raspored kamenih blokova, određivanje veličina i oblika ima izvršiti u onoj projekciji gde se lice zida vidi u pravoj veličini, odnosno u obreroj projekciji u krilnim zidovima sa nagnutim licem. Ispitivanje stabilnosti krilnih zidova adekvatno je ispitivanju stabilnosti u potpornim zidovima, sa napomenom da prilikom određivanja veličine potiska treba voditi računa o konačnoj masi zemlje između zidova.

**Brane od građevnog kamena** izvode se kada u neposrednoj blizini ima kvalitetnog i za gradnju upotrebljivog kamena. To su uglavnom nasute brane, od kamenog nabačaja, od kamenog zidanog u suvo — bez maltera i od kamenog zidanog u malteru te u kombinacijama prethodnih slučajeva. Građevni kamen može se upotrebiti i samo za oblaganje vidnih površina brana, potpuno ili delimično (v. *Brane*, TE2, str. 119).

**Kejski zidovi** grade se uglavnom u reonima pristaništa, mada to ne mora da bude pravilo, i treba da utvrde i prilagode rečne ili morske obale uslovima pristajanja i manipulacije plovnih objekata. Grade se uglavnom kao masivni potporni zidovi od krupnijih kamenih komada. Kejski zidovi od kamena u principu su neekonomični i primenjuju se kada u neposrednoj

blizini ima dobrog i kvalitetnog kamena. Krupniji i veći blokovi građevnog kamena nalaze primenu u izgradnji morskih pristaništa, obalnih utvrda i zaštitnih lukobrana. Prilikom statičkog ispitivanja u račun se uvođe mogući uticaji u različitim i za kejski zid najnepovoljnijim kombinacijama.

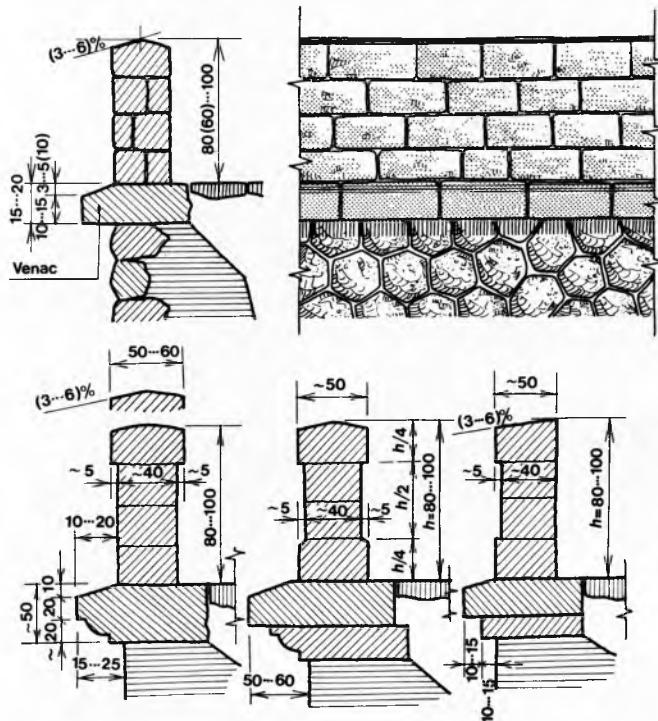
**Mostovi od prirodnog kamena**, odnosno kameni ili zidni mostovi, zadnjih decenija nalaze manju primenu uglavnom iz ekonomskih razloga. Jedna je od osnovnih karakteristika kamenih mostova veliko stalno opterećenje i horizontalne sile na obalnim stubovima usled prirode statičkog sistema osnovnog elementa mosta — svoda. U konstrukciji svoda vladaju uglavnom sile pritiska — normalne sile, dok su ostali statički uticaji, momenti i transverzalne sile, koji se javljaju uglavnom od saobraćajnog opterećenja, manjeg značaja. Kako je u zidanim mostovima svod izveden od kamena, to kamen sa uspehom, ukoliko se svod pravilno i optimalno konstruiše, prima navedene statičke uticaje. Jednako dobro mogu da se primene i za drumski i za železnički saobraćaj. Kamene mostove karakteriše i činjenica da je za zidanje svoda potrebna skela, koja je usled znatnog opterećenja i dosta teška i za svaki je svod poseban problem. Svojom cenom skela znatno utiče na ukupno koštanje mosta. Za kamene mostove karakteristično je i to da se vrsta kolovoza na mostu ne razlikuje od kolovoza ispred i iza mosta. Mostovi većih raspona, a da bi se smanjila težina ispune, a samim tim i sopstvena težina mosta, izvode se sa olakšavajućim otvorima koji mogu da budu vidljivi ili nevidljivi. Mostovi sa dva i više otvora (sl. 40) imaju srednji ili rečni stub mosta. Rečnim stubovima se daje poseban oblik u horizontalnom preseku kako bi se smanjilo turbulentno kretanje vode oko stuba i omogućilo bolje proticanje vode ispod mosta. Zakošenja stuba na uzvodnoj i nizvodnoj strani zovu se kljunovi stuba, koji se završavaju posebno oblikovanim površinama — kapama kljunova stuba.



Sl. 40. Srednji rečni stub mosta sa više otvora

**Ograde** (sl. 41) na kamenim mostovima uz estetske zahteve moraju imati dovoljnu visinu i potrebnu jačinu. Visina je kamene ograde 0,9–1,0 (1,2)m, a debljina 40–50 cm. Ograda može biti oblikovana kao kontinualan zid konstantnog preseka

ili mestimično naglašena harmonijskim rasporedom stubova ograda. U ogradama sa stubovima, koji se postavljaju na razmaku 2...3 m, treba da stubovi ograde frankiraju karakteristične detalje opšte dispozicije mosta. Stabilnost masivnih kamениh ograda postiže se uglavnom njihovim dimenzijama.

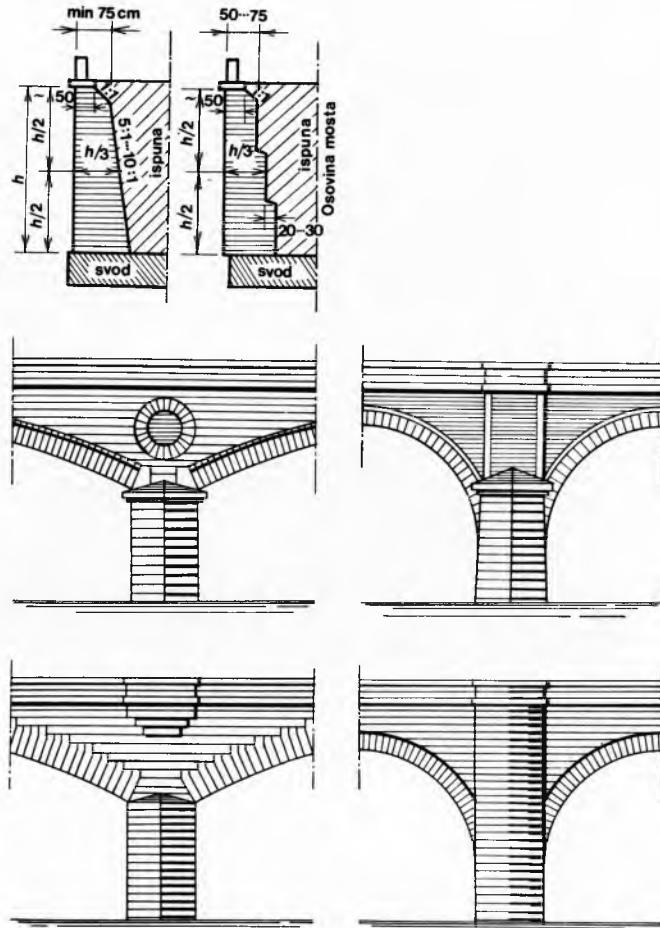


Sl. 41. Ograde i venci od kamena na zidanim mostovima

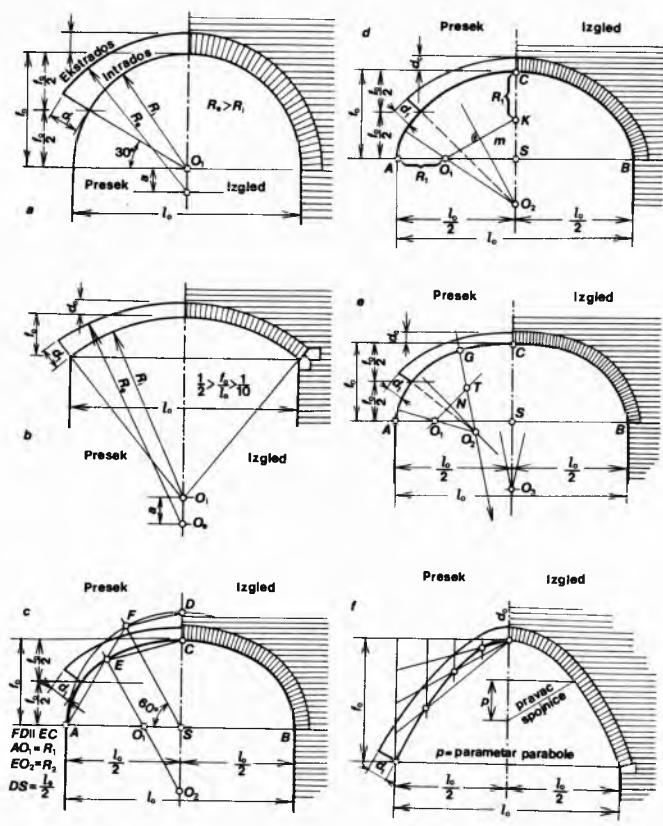
**Čeonii zidovi** (ili timpani) su oni zidovi koji drže ispunu mosta iznad svoda i oslanjaju se na svod, odnosno upornjake svoda (sl. 42). Poprečni presek čeonih zidova je uglavnom identičan poprečnom preseku paralelnih krilnih zidova, što znači, da je oblikovanje, statičko ispitivanje i konstrukcija čeonih zidova adekvatna krilnim zidovima. Vidne površine čeonih zidova (lica) jesu skoro redovno vertikalne, a zadnja površina, u zavisnosti od toga kako se vrši pojačanje proporcionalno sa visinom, u nagibu (5:1 do 10:1) ili sa stepenastim pojačanjem. Da ne bi deformacije svoda uticale na stabilnost i deformacije čeonih zidova, čeonii zidovi se zidaju posle zidanja i očvršćavanja maltera u spojnicama svoda, posle skidanja svodne skele i posle izvršenog sleganja svoda. Kako konstrukcija čeonih zidova direktno opterećuje svod to se ona radi, ukoliko je to moguće, od zapreminski lakšeg kamenja. U kompoziciji opštег izgleda kamenog mosta izgled čeonih zidova ima znatnog uticaja. Mogućnost da se za izradu čeonih zidova upotrebni kamen druge boje, drugog tona, poseban način obrade kamenja, drugačiji način zidanja ili variranje krupnoće, izgradnja plastičnih ukrasa (pilastra, rizalita i sl.) može u mnogome da poboljša izgled mosta.

**Svodovi.** U doba rimskog građevinarstva najviše je primenjivan polukružni oblik svoda, kasnije, evolucijom nauke o poznavanju i otpornosti materijala, sistem svoda dobija raznovrsne oblike, da bi razvitetkom statike konstrukcija dobio svu svoju vrednost.

Prilagođavajući se statičkim zahtevima, što boljem iskoriscenju ugrađenog materijala, karakteru i veličini prepreke koja se premošćuje i estetskim zahtevima mogući su raznovrsni oblici svodova (sl. 43). Osnovni i najčešće primenjivani oblici svodova od građevnog kamena jesu: *a* polukružni oblik svoda čiji je oblik donje svodne linije polukrug; debljina svoda je promenljiva i skoro redovno nije vidljiva na čelu svoda koje uglavnom ima konstantnu debljinu iz estetskih razloga; *b* segmentni oblik primenjuje se na otvorima sa manjom konstruktivnom visinom; linija intradosa ima oblik pravilnog seg-



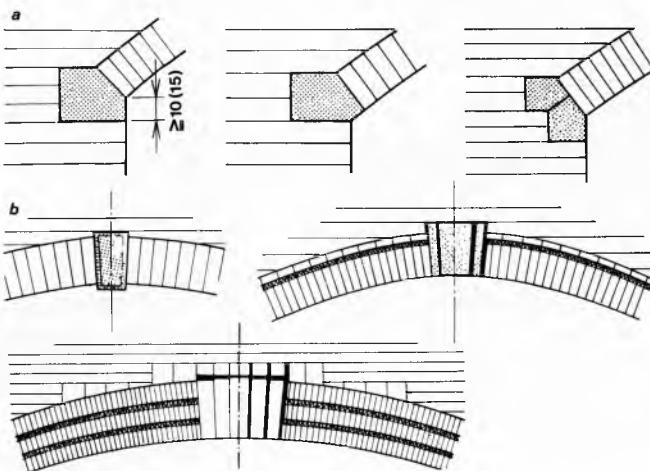
Sl. 42. Čeonii zidovi. Preseci i izgledi



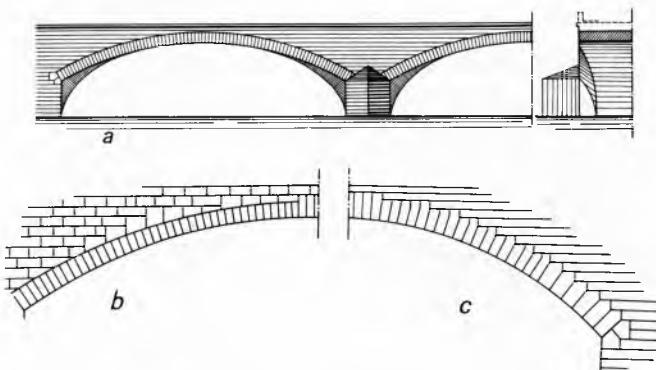
Sl. 43. Oblici svodova: *a* polukružan, *b* segmentni, *c* eliptičan, ( $R_1$  i  $R_2$  dobiteno grafičkom konstrukcijom), *d* eliptičan (za usvojeno  $R_1$ ), *e* eliptičan (tri centra krivine), *f* parabolican oblik svoda

menta, u estetskom pogledu najpovoljniji su oblici svodova sa  $f_0 = \frac{1}{7.5} \dots \frac{1}{8}$ ; c, d i e eliptični oblik svoda, odn. oblik svoda iz tri, pet i više centara krivine primenjuje se pri malim konstruktivnim visinama i kada se želi ublažiti prelaz između krivine intradosa i vertikalnih linija stubova; uvek treba usvajati neparan broj centara krivine intradosa, i to tako da se, što je  $f_0$  manje, usvoji više centara krivine i obrnuto; f paraboličan oblik svoda kada linija intradosa ima oblik parabole. Osim toga mogući su i drugi, složeniji oblici svodova.

Još prilikom projektovanja svoda detaljno se rasporeduju kameni blokovi u svodu. Sa posebnom pažnjom se obrađuje kamen završac (ključni kamen) i kamen ramenik (sl. 44), na koji se oslanja konstrukcija svoda. Promenom linije intradosa i ekstradosa čela svoda, pri većim svodovima uglavnom eliptičnog oblika, može se pozitivno uticati na izgled mosta u celini. Tako se, delimičnim zakošenjem ivice između čela svoda i intradosa, dobijaju u izgledu mosta posebni estetski efekti. Takav



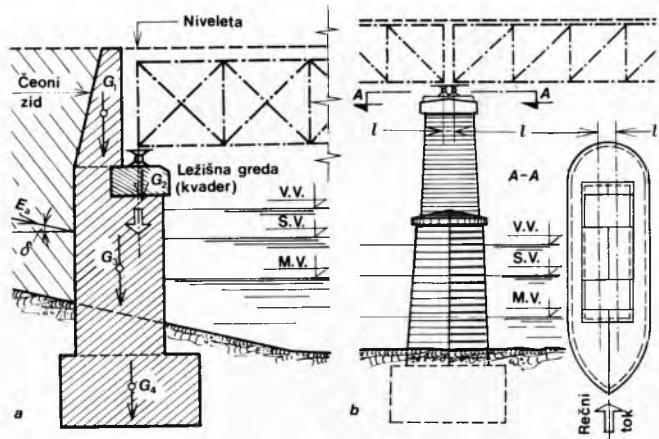
Sl. 44. Detalji kamenog ramanika (a) i završca-ključnog kamena (b)



Sl. 45. Izgled mosta s elementom kravljih rogova (cornes de vache) (a) i veza između čela i svoda i čeonog zida (b) i (c)

način oblikovanja i obrade čela svoda poznat je pod imenom kravljih rogov (Cernes de vache: Kuhhörner) (sl. 45). Veza između čela svoda i čeonih zidova može da se izvede dvojako: da se čuva kontinuitet linije ekstradosa ili da se veza ostvari prevezivanjem, odnosno da pojedini tesanici pripadaju istovremeno i konstrukciji čela svoda i čeonom zidu.

*Masivni obalni i srednji rečni stubovi* (sl. 46) izvode se od građevnog kamena kada treba opterećenje sa čelične, drvene ili kakve druge konstrukcije mosta preneti na tlo. Oblik masivnog obalnog, odnosno rečnog stuba treba da bude tako izabran da zadovolji način oslanjanja glavne konstrukcije, vezu sa trupom saobraćajnice, stabilnost na sve spoljne uticaje u najpovoljnijim kombinacijama, kako za vreme građenja tako i kasnije,



Sl. 46. Masivni obalni (a) i rečni stub (b)

u eksploraciji. Takvi stubovi treba da prime sledeća opterećenja: stalno i korisno opterećenje od noseće konstrukcije i konstrukcije stuba koje se preko ležišne grede, odnosno kvadra i ležišta prenosi na stub; aktivni i eventualno pasivni zemljani potisk sa različitim kombinacijama (sa korisnim opterećenjem ili bez njega); hidrostatski pritisak vode i pritisak nanosa, odnosno leda. Horizontalni presek srednjeg ili rečnog stuba može da bude pravougaonik, kada je lociran na suvom, ili da ima hidraulički povoljan presek kada se nalazi u rečnom toku. Oblik stuba može da bude i kombinovan, delimično pravougaonog preseka, a delimično (deo koji zahvata velike vode) hidraulički obrađen, sa kljunovima. Na vidnim površinama stubova ugrađuju se krupniji komadi kvalitetnijeg kamena, pogotovo ako je stub izložen udarima. Obrađa vidnih površina, pravilnost i način prevezivanja i obrada spojnica zavisi od željenog estetskog izgleda i forme stuba u celini.

*Obalni stubovi*, upornjaci, imaju zadatku da stalno i korisno opterećenje svoda najkrćim putem prenesu na nosivo tlo. Svojom masom i težinom obalni stub prima opterećenje od svoda, vertikalne i horizontalne reakcije, aktivni zemljani potisk sa nasipa i deo vertikalnog opterećenja iznad stuba i prenosi na izabrane slojeve zemljišta za fundiranje. Na osnovu karakteristika svoda i poprečnog profila prepreke pretpostavlja se oblik i dimenzije pa se zatim statički ispituju pretpostavljene dimenzije. Najčešći oblik obalnog stuba je trapez u kojem odnos dimenzija paralelnih strana zavisi od intenziteta horizontalnih sila.

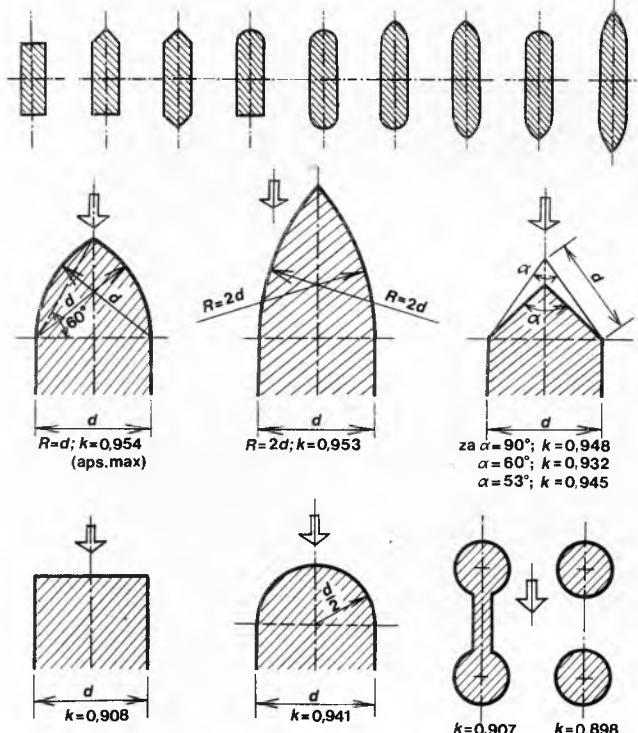
*Srednji rečni stubovi* mostova sa dva i više otvora imaju zadatku da sigurno prime i prenesu opterećenje na zemljište iz dva susedna otvora i uz to da uđe do rečnog dna, integralnoj estetici objekta te da budu laki za izvođenje pod optimalnim okolnostima. Horizontalni presek stuba mora da bude hidraulički povoljan u odnosu na dubinu i brzinu vode i u odnosu na kvalitet tla rečnog dna, kako bi bio siguran od podlokavanja. Oblik rečnih stubova zavisi od toga da li je stub na suvom ili u vodi, od rečnog dna, karakteristika svodova susednih otvora, širine mosta, visine stuba i dr. Koeficijent proticanja vode k zavisi od horizontalnog preseka stuba i njegovog odnosa na pravac rečnog toka (sl. 47).

*Olaščavajući otvori*, čiji broj i veličina mogu da budu različiti, primenjuju se pri svodovima većih raspona radi smanjenja težine ispuñe iznad svoda. Mogu da budu izvedeni dvojako: da budu vidljivi u izgledu mosta kada su sastavni deo superstrukture mosta i kada sa puno intenziteta učestvuju u formiranju konačnog izgleda građevine i da budu skriveni čeonim zidovima. Kada su vidljivi, olaščavajući otvori su zasvođeni skoro redovno polukružnim svodovima.

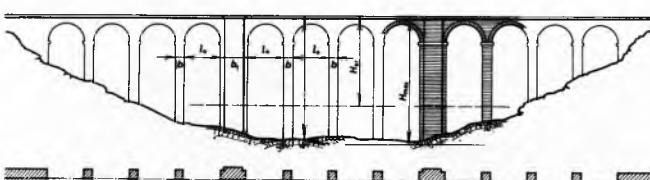
*Vijadukti* (sl. 48) su masivne konstrukcije na nizu srednjih stubova i izvode se uglavnom umesto visokih nasipa, preko dugih i suvih dolina, jaruga i sl. Osnovna konstrukcijska karakteristika sastoji se u tome što su im otvori zasvođeni polukružnim svodovima koji se oslanjaju na visoke stubove pravougaonog ili kvadratnog preseka. U dugačkim vijaduktima, izvedenim od građevnog kamena, obično se svaki n-ti stub

izvede tako da može da primi nesimetrično opterećenje, a međustubovi dimenzionisu se samo na simetrično opterećenje. U poprečnom preseku vijadukta stub također može da bude sa vertikalnim ili nagnutim površinama. U vijaduktima u krivini, naročito za železnički saobraćaj i kada je znatna visina stuba u pravcu dejstva centrifugalne sile, može nagib da bude intezivniji. Vrlo visoki vijadukti, na srednjim stubovima velikih visina, mogu biti izvedeni u dve etaže. Na taj način smanjuje se visina stubova, odnosno njihova vitkost.

**Akvedukti** su konstrukcije od kamena slične vijaduktima i mostovima, kako po konstrukcijskim karakteristikama tako i po oblicima (konturama), samo što služe za prebacivanje kanala za vodu preko prepreke. Posebna pažnja se obraća vodoneprostupljivosti kanala, koji može biti otvoren ili zatvoren. Konstrukcije akvedukata od kamena mnogo su korišćene u rimskom građevinarstvu (v. *Akvedukti*, TE 1, str. 69).



Sl. 47. Mogući oblici horizontalnih preseka rečnih stubova



Sl. 48. Izgled i osnova vijadukta od kamena

#### Istoriski pregled

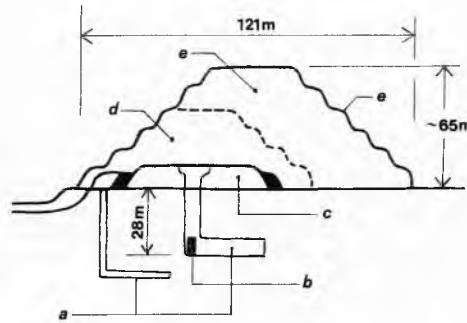
Gradnje kamenom datira od najranijih vremena. Prve kamene konstrukcije bile su delo prirode i poslužile su kao uzor prvim graditeljima koji su gradili kamenom, neimarima iz doba paleolita. Evolucijom ljudske zajednice, upotreboom i usavršavanjem oruđa, čovek je počeo smišljeno da podražava objekte koje je stvorila priroda. U zavisnosti od stepena inteligencije i uslova pod kojima je živio, čovek je u početku stvarao da bi zadovoljio svoje potrebe, a kasnije da bi uživao u svojim tvorevinama ili da bi ovekovečio svoju moć.

Kamene konstrukcije starog veka ilustruju zavidna stvaralačka dostignuća u Egiptu, Mesopotamiji, Persiji, Fenikiji, Palestini, nekim egejskim ostrvima, Indiji i Kini. Proizvodna snaga i ostvarene kreacije rezultirale su iz ukupnog potencijala robova, seljaka i zanatlija usmerenog i vodenog od sveštinstva, pojedinih vladara — bogova ili polubogova. Mnoga konstrukcija od prirodnog kamenja (granit, diorit, bazalt, porfir i dr.) koje su ponikle na teritoriji Egipta sačuvale su se do današnjih dana.

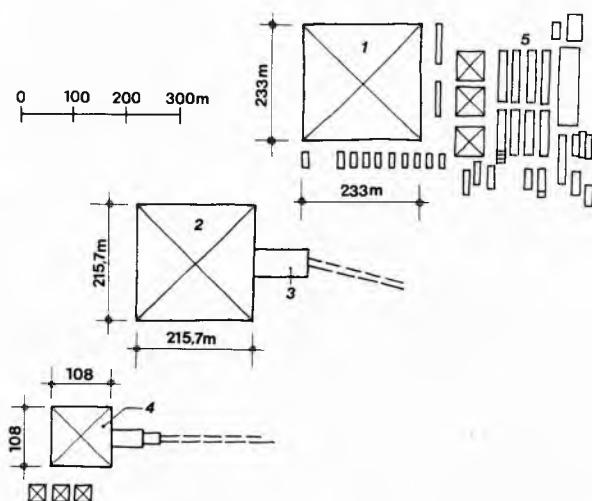
Prvi poznati graditelj, na osnovu istorijskih činjenica, bio je Imhotep ( $\sim 3000$  god.), koji je podrškom faraona Džesera (Zoser), za veoma kratko vreme, ostvario mnogo toga što se tada smatralo nevidenim i što je imalo za posledicu da je kasnije proglašen za božanstvo i u njegovu su čast podizani hramovi. Nova tehnologija građenja, prekid građenja niskih grobnica, tzv. mastaba, i novi elementi i forme u građenju faraonskih grobnica poznati pod imenom piramide i izgradnja prve stepenaste piramide (sl. 49), upotreba tesanog kamena, primena stubova kao konstrukcijskih elemenata i sl. tvorevine su i dostignuća Imhotepa. Iz drevne prošlosti Egipta, pored ostalog, treba pomenući sledeće kamene konstrukcije: hramove u Luksoru, Karnaku i Tebi. Tutankamonovu grobnicu, hramove Ramzesa III i Abu Simbel (građen u samonikloj stenskoj masi), nekropolu piramida kod Gize (sl. 50) i dr. Kamene konstrukcije drevnog Egipta karakterišu monumentalnost, posebno interesantan i do savremenstva usavršen način vodenja kamena i njegova obrada, kvalitet poliranja ležišnih i dodirnih površina kamenih blokova, obrada ivica i kvalitet spojnica, transport i ugradnjava blokova velikih dimenzija, usavršavanje tehnologije građenja, pojava konstrukcije kamenog stuba (baza, stablo, kapitel) sa kamenom gredom koja se oslanja na stubove (arhitravne konstrukcije); zidanje kamenih zidova, izrada ravnih tavаницa te precizno i solidno izvođenje građevina od kamena bez štednje materijala, radne snage i vremena.

U razvoju kamene konstrukcija prilog su dali i *Hetiti*. Glavni grad Hetita bio je opasan masivnim zidovima i kulama izvedenim od doteranog, polutesanog i tesanog kamena sa monumentalnim kapijama. Ulice i trgovci bili su popločani pločama od tesanog kamena. Hetitski graditelji su za građenje upotrebjavali velike kamene blokove. Vidne površine objekata bile su izvedene od polutesanog i tesanog, a ispuna od lomljenog kamena. Drvene grede i rešetke od drveta u konstrukcijama od lomljenog i doteranog kamena služile su za bolje vezivanje (armiranje) mase zidova.

Kamene konstrukcije *egejske civilizacije*, čiji se ostaci nalaze u Troji, Miken, Tirinsu, Kritu (najstarije žarište) i dr., odlikuju se posebnim intenzitetom stvaranja i određenim konstrukcijskim karakteristikama. Između ostalog, ciklopski zidovi sa svim spojnicama i od krupnih kamenih blokova tvorevina su mikenskih graditelja. Iskorišćenje građevnog kamena za građenje luka i pristaništa, utvrđenje gradova, raznovrsnih komunalnih građevina, hramova i drugih objekata osnovne su karakteristike kamenih konstrukcija Feničana. U pojedinim kamenim konstrukcijama bili su ugrađeni i vrlo krupni blokovi tesanog, polutesanog i doteranog kamena. Veština građenja njihovih graditelja uticala je kasnije i na konstrukcije u Palestini, od kojih treba pomenuti građenje hrama i palate kralja Solomona u Jerusalimu.

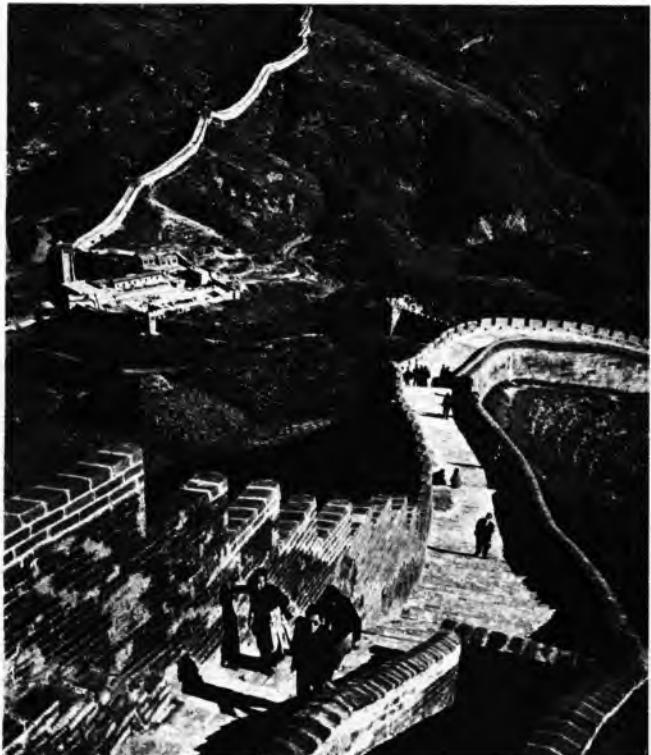


Sl. 49. Presek stepenaste piramide — grobniča faraona Džesera ( $\sim 2700$  g.): a podzemni rovovi (stolne), b granitna grobniča, c originalna »mastaba« kasnije nadograđena pirimidom, d tokom rada napuštena gradnja manje piramide, e konačna forma i oblik stepenaste piramide



Sl. 50. Shematski prikaz piramide u nekropoli kod Gize (Kairo — ~2720 do ~2560 g.): 1 Keopsova piramida, 2 Kefrenova piramida, 3 Kefrenov spomen-hram, 4 Mikerinova piramida, 5 grupa grobniča — mastaba

## GRAĐEVNI KAMEN



Sl. 51. Detalj velikog Kineskog zida



Pozorište u Epidaurusu: sagrađeno je oko ←350 g. od arhitekte Polikleta mladeg. Spoljni mu je prečnik ~120m, može da primi 14 000 gledalaca



Današnji izgled atinskog akropolisa

Gradjenje kamenom na teritoriji današnjeg Iraka (civilizacija Persije) baziralo je na tekovinama naroda Mesopotamije, Egipta i Bliskog istoka, i u poređenju sa prethodnim istorijskim periodima nije obogatilo i unapredilo starovekovni način gradenja kamenom. Graditeljska vesteina *Persianac*, između ostalog, ostavila je kasnijim generacijama put kralja Darija I., koji je bio dug oko 2500km sa nizom odmorista i postaja, palate Darija (imala je 100 kamenih stubova visine 12m i prečnika 94cm) i Kserksa (stubovi visine 16,5m i prečnika 150cm) te mnogo tvrdava i bedema pojačanih kulama. U IV v. oblastima klasične Persije i većeg dela Mesopotamije zavljadali su Sasanidi, čiji su graditelji osim građenju gradova realizovali više mostova.

I zemlje Dalekog istoka, Indija i Kina, dale su svoj doprinos razvoju kamenih konstrukcija. Konstrukcije građevnog kamena i monumentalnost gradenja u *Indiji* dolazi do izražaja prorodom Persijanaca (između ←VI i ←V v.) i helinizma (Aleksandar Makedonski), i to uglavnom na sakralnim građevinama, gde se građevnim kamenom podražavaju bogato ukrašene drvene konstrukcije. Građenje hramova u samonikloj stenskoj masi, u pećinama, takođe je tvorevina indijskih graditelja. Kamene konstrukcije na području *Kine* razvijaju se zavisno od uzroka ranog formiranja snažne države, nešto pre ←trećeg milenijuma. Građe se građevine neposredno vezane za egzistenciju života, fortifikacioni objekti, kanali, brane, saobraćajnice i mostovi. Veliki kineski zid. (sl. 51), čiji su temelji postavljeni za vreme cara Ši-Huang-Tia (-220 god.), a završen za vreme dinastije Minga (XV v.), značajna je kamena konstrukcija: dug je 2450km i izveden je sa nizom kula i kapija. Visina zida je na nekim mestima i 16m, a debljina varira od 5 do 8m. Krunom zida lociran je put širine 5m. Konstrukcija zida izvedena je od kamenja: delimično su mu samo vidne površine od kamenja, a ispuna je izrađena od zemlje. Građevni kamen dobija veću primenu uticajima koji prodiru u Kinu iz zapadne Azije i Mediterana te proširenjem budizma. Jedna je od karakteristika objekata da su donji delovi izvedeni od kamenja, a nadgradnja od drveta sa specifičnim konstrukcijskim odlikama.

Razvoj kamenih konstrukcija *Grčke* temelji se na izvesnim tekovinama drugih naroda (preko drevne Mikene i ostalih egejskih civilizacija), ali se grade nove i originalne građevine sa specifičnim oblicima i konstrukcijskim karakteristikama. Tu se sreću prvi tragovi racionalnosti u gradenju i posebni arhitektonski stilovi, jedinstveni i potpuno originalni. U pojedinim konstrukcijama ugrađeni kameni blokovi bili su obradeni do savršenstva, pojedini elementi izvedeni sa puno logike i konstrukcijske funkcionalnosti, kako u detalju tako i u celini. Primena grednih nosača od kamenja jedna je od osnovnih konstrukcijskih karakteristika grčkih graditelja. U Grčkoj se sreću konstrukcije od kamena



Detalj sa Partenona



Partenon, zidan 447–434 g. za vreme Perikla; arhitekte Iktinos i Kalikrates, skulptorski radovi od Fidije

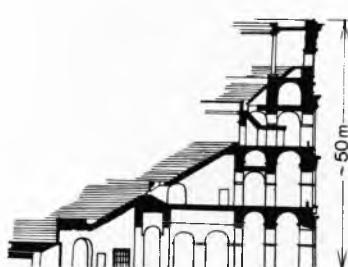
koje nisu bile namenjene pretežno vladarima i religiji, već su služile celom stanovništu. Mirne i jasne konstrukcije, ortogonalne sheme građevina, kreacije sa puno duha i inventivnosti graditelja, sa konstantno pozitivnom razvojnom linijom, monumentalnost i raskošnost obrade fasadnih površina, sa određenom komponentom jedinstva koncepcije i stila u građenju upotpunjaju osnovne karakteristike grčkih kamenih konstrukcija. Mnogi graditelji iz ovog perioda ostavili su kasnijim generacijama sintezu konstrukcija od kamena koja se sastoji od hramova, akropolisa, pozorišta, hipodroma, staciona, gimnazona, društvenih i stambenih zgrada, stambenih regionala, gradskih zidina i utvrđenja, vodovoda i drugog. Vredno je pomena, a sa aspekta građenja kamenom, nezavršen hram u Agrigentu (osnove 56,3 x 113,45 m), hram u Miletu sa stubovima visine 19 m, hram boginje Atine — Partenon na Akropolju u Atini, Posejdonov hram u Pestumu, Dionisovo pozorište u Atini i starogrčko pozorište u Epidaurusu (i danas se koristi) i mnoge druge građevine (sl. 52).

Konstrukcije od kamena u *etrurskom gradevinarstvu* javljaju se kao preteča rimskih kamenih konstrukcija, negde početkom → prvog hiljadogodišta (na tlu današnje Italije). Između ostalog, etruski graditelji razradili su i usavršili konstrukciju svoda, koja je masovnom primenom u doba Rimljana dostigla svoj vrhunac kako po komponenti oblika tako i po konstrukcijskim karakteristikama. Prvi počeci rimskog graditeljstva datiraju negde oko → III veka i predstavljaju kontinuirani nastavak etruskog graditeljstva.

Kamene konstrukcije *rimskog gradevinarstva* nastale su na tekonjama ranijih epoha, a usavršene i prilagođene tadašnjim prilikama i potrebama Rima. U istoriji građenja kamenom zauzimaju značajno mesto kako po konstrukcijskoj vrednosti tako i po svom intenzitetu i zamahu. Svoje palate i gradevine Rimljani su gradili od opeke i kamena. Kamen je ugradivan samo na vidnim površinama. Veće objekte Rimljani su gradili isključivo od tesanog ili polutesanog kamena. U velikim zidnim masama za ispunu je upotrebljavani šljunak, tucanik i kameni otpaci vezani malterom (između dva lica zidana polutesanom kamenom). To je bila neka vrsta betona, poznata u istoriji građenja kao rimski beton (*Concretum* i *Opus caementicium*). U elemente zidane lomljenjem kamenom mestimično po visini ugradivani su slojevi opeke, neka vrsta libaža i kao dekorativni elemenat na licu zida (*Opus mixtum*). Razvoj kamenih konstrukcija bio je u Rimskoj Imperiji u stalnom progresu, sa najvećim intenzitetom za vreme cara Augusta

(I vek), sve do raspada Rimskog Imperija — krajem IV veka. Veličinu i ostvarene kreacije kamenih konstrukcija u Rimskoj Imperiji, na čijim se sačuvanim ostacima sagledavaju konstrukcijske i druge karakteristike, predstavljaju forumi (kompleksi građeni za potrebe funkcije i reprezentacije javnog života), hramovi (građeni mnogobrojnim božanstvima, karakteristični, pored ostalog, po raskošnosti oblikovanja i konцепцијi osnove), bazilike (za potrebe trgovine i javnog života), terme (sa bogatstvom konstrukcijskih oblika: Dioklecijanove terme mogle su da prime odjednom 3000 ljudi), kompleksi raskošnih paviljona (dvoraca), cirkusi (ovalne osnove za borbe gladijatora i sl.), sa nizom stubova i svodova, odnosno lukova; rimski Koloseum (sl. 53), Cirkus maksimus (sagrađen za vreme cara Nerona, a dograđen za vreme cara Trojana, bio je dug 600 m i mogao je da primi 150 000 ljudi), hipodromi i pozorišta, slavofoci (stubovi sa statuama imperatora na vrhu; sa spiralnim stepenicama kroz stub), stub Marka Aurelija (II vek; bio je visok ~44 m), grobniči i mauzoleji, bogata mreža drumskih saobraćajnica sa mostovima (sl. 54), vodovodi (sl. 55); Rim je imao osam akvedukata koji su dnevno dovodili oko  $10^7 \text{ m}^3$  vode; od ukupne dužine vodovoda, koja se ceni na oko 350 km, kamenih konstrukcija iznad terena vodenog je oko 47 km).

U srednjem veku vodeću ulogu Rima preuzima *Vizantija*. Izgradnjom utvrđenog grada Konstantinopolsa (grad osniva Konstantin Veliki na izdijaju Rimske Imperije, a na ostacima antičkog grada Vizanta) sa obimnim fortifikacionim utvrđenjima, sa mnoštvom palata, foruma, akveduktima, termama i brojnim stambenim i društvenim zgradama i kasnije, u grozničavoj gradevinskoj deflatnosti u vreme Justinijana I (527—567: osnivač Vizantijskog Carstva), javljaju se mnoga originalna i nova konstrukcijska ostvarenja u kamenim konstrukcijama. Osnovne su karakteristike tih ostvarenja, koja su imala uticaja i na naš graditelje i objekte realizovane na današnjem, jugoslavenskom tlu, zidovi od lomljenog kamena sa mnogo maltera i libažnim slojevima od opeke; naizmeničnost slojeva od polutesanog kamena i opeke na vidnim površinama zidova; smenjivanje slojeva od tesanog kamena i opeke u konstrukcijama lukova; korišćenje tankim mermernim pločama za oblaganje interijera; konstrukcijska rešenja svodova različitog oblika; konstrukcija kupola malih debljina i sa karakterističnim oblicima baza kupola i rešenjima baznih prstena kupola; konstrukcijska i arhitektonska rešenja stubova od kamena i bogato korišćenje plastičnom ornamentikom na skoro svim elementima.



Sl. 53. Rimski Koloseum, izgled i presek. Sagrađen je za vreme Vespazijana 72. g., a dograđen za vreme Titusa 80. g. (zadnji sprat). Spoljne su mure 188 x 156 m, mere arene 76 x 46 m imao je 72 ulaza a mogao je da primi 50 000 gledalaca



Sl. 54. Most preko Tibra i Hadrijanov mauzolej u Rimu (Andeoska tvrđava)



Sl. 55. Akvedukt u Segoviji (Španija). Dužina akvedukta je oko 300m, a najveća visina 28.5m. Sagraden je za vreme imperatora Trajana (98–117. g.)

Kamene konstrukcije *islamskog gradevinarstva* koristile su tekovine ranijih civilizacija, prilagodavajući ih svojim uslovima. Mnoge građevine su obnovili, služili se nasledenim konstrukcijama uz dogradivanje, a padom Bizantije u njihovim konstrukcijama se oseća uticaj vizantijskih graditelja. Građevni kamen više se koristi za gradnju svodova i kupola, a na konstrukcijama se oseća uticaj lokalnih majstora. Značajne kamene konstrukcije ostvario je veliki turski graditelj Kodža Mimar Sinan (1490/91–1588); neka od tih ostvarenja nalaze se u nas.

U *zapadnim delovima Evrope* kamene konstrukcije u periodu X–XII vek razvijaju se i dobijaju oblike uticajem romanske arhitekture i karakteriše ih, između ostalog, opeka protkana tesanim kamenom, bogatiji poprečni preseci stubova, bogatstvo oblika i složenost svodova i korišćenje kontraforoma kao konstrukcijskim elementom. Taj period smenjuju raskošne konstrukcije gotske arhitekture, čije je žarište bilo u Francuskoj i odatle se širilo po celoj Evropi. Konstrukcije gotike odlikuju se: novim oblicima svodova i lukova, tzv. gotskim oblicima, stubovima bogatijeg poprečnog presek i kontraforom koji dostižu savršenstvo oblika, funkcije i forme, za čije se gradnje upotrebljavaju uglavnom tesanici od peščara. Tražeći inspiracije na tekovinama i stvaralaštvu graditelja Rimskog Imperija, krajem XIV i početkom XV veka na tu Italiju javlja se plođan period renesanse, koji traje sve do XVII veka, posle čega nastupa dekadencija u razvoju kamenih konstrukcija. Period dekadencije, barok i kasnije rokoko, ustupa mesto neoklasicizmu koji se ponovo vraća na klasične uzore, u početku direktno kopirajući rimske tekovine i concepcije u konstrukcijama od kamena, da bi se nešto kasnije opredelio za primenu klasične u smislu tekovina renesanse.

D. Gojković D. Lazarević

*Natlu Jugoslavije* postoje mnogi ostaci kamenih građevina i mnoge građevine izgrađene od kamena. U ljudskom staništu jedne od najstarijih kultura na Balkanu, Lepenskom Viru (oko -6000), kamen (crveni porfir, crveni pješčenjak i raznobojni vapnenac) upotrebljavao se za gradnju temelja kuća, za ograde, ploče, svetišta i skulpture. Uzimao se iz neposredne okolice. Skulpture su izrađene od pješčenjaka, koji se relativno lako obraduje. U antičko doba kamen se mnogo upotrebljavao kao građevni materijal i kao materijal za gradnju sarkofaga i izradbu skulptura. U nas ima iz tog doba mnogo nalaza građevnog, arhitektonskog i skulpturnog elementa u kamenu. Arhitektonski elementi i skulpture u Herakleji (danas Bitola) izrađeni su od bijelog mramora iz okolice Prilepa. U rimskom Stobiju, na ušću Crne reke u Vardar (II i III st.), upotrebljava se također mramor iz okolice Prilepa. Antičke građevine u Puli i amfiteatar (iz I st.) gradeni su najvećim dijelom od vapnenca iz i danas aktivnog kamenoloma Cava romana u Vinkuranu južno od Pule. Dioklecijanova palača u Splitu izgrađena je od vapnenca s otoka Brača. Za konstrukcije svoda upotrebljena je sedra. Osim domaćeg kamena, na Peristilu ima afričkog crvenog granita,

crnog bazalta i mramora. Na Pohorju su Rimljani imali oko 30 kamenoloma iz kojih su vadili (pohorski) mramor. Skulpture iz pohorskog mramora nadene su i u Varaždinskim Toplicama. Eufragizjeva bazilika u Poreču iz VI st. grada je od grčkog mramora, kameni iz sjeverne Italije i vapnenca iz okolice Kirmenjaka i Buja u Istri.

Odlaskom Rimljana upotreba kamena u nekim našim krajevima vrlo je smanjena ili potpuno zamire. Nalazi su iz toga vremena rijetki, ali posebno su važni kao historijski dokumenti (spomenici iz vremena hrvatskih narodnih vladara).

Od XII–XV st. crkveno je graditeljstvo posebno razvijeno u Srbiji i Makedoniji. Neimari tzv. raskle škole umjeti su iskoristiti umjetničku i dekorativnu vrijednost kamena pri gradnji manastira. Manastir Studenica s crkvom Sv. Bogorodice iz XII st. graden je bijelim studeničkim mramorom, a manastir Vaznesenja u Dečanima graden je crvenobijelom dečanskom brečom i žutim pećkim oniksom.

Trogirska katedrala s portalom Majstora Radovana podignuta je u XIII st. od vapnenca iz kamenoloma Seget kraj Trogira. U primorskom dijelu Hrvatske (Šibenik, Split, Dubrovnik) u XV st. radi Juraj Dalmatinac. Najpoznatije njegovo djelo, friz glava na apsidi i krstionica u šibenskoj katedrali, izrađeno je od bračkog kamena. U doba Jurja Dalmatinca izvozio se naš kamen iz bračkih, brijuških i istarskih kamenoloma u Italiju.

U našim se krajevima pod Turcima kamen upotrebljavao prvenstveno kao građevni materijal. Poznate su građevine Daut-pašin hamam u Skoplju iz XV. st. i Šišman Ibrahim-pašina džamija u Počitelju iz XVI st. Iz toga su doba kameni most u Višogradu (Sokolovićeva čuprija, sl. 56), djelo turskog graditelja Kodže Mimara Sinana i kameni most u Mostaru (sl. 57), djelo njegovog učenika mimara Hajrudina. Most u Mostaru izgrađen je od oolitskog vapnenca, nazvanog tenelija, i sitnozrnastog vapnenca, nazvanog miljevinu. Oba vapnenca vađena su na kosi Mukoš oko 5km južno od Mostara.



Sl. 56. Most Mehmed paše Sokolovića preko reke Drine u Višogradu. Most je sagradio u vremenu od 1571. do 1577. (po nekim autorima) vrhovni graditelj Turske Carevine Kodža Mimar Sinan. Ukupna dužina mosta zajedno sa prilazima jest 328 m. Otvori svodova su 10,70...14,79 m



Sl. 57. Stari most preko Neretve u Mostaru. Most je sagradio (1566–1569), po naređenju Sulejmana II Veličanstvenog graditelj Hajrudin, učenik i suradnik čuvenog Kodže Mimara Sinana. Otvor mosta jest 28,70 m

U kontinentalnom dijelu Hrvatske i u Sloveniji u doba gotike, renesanse i baroka upotrebljavao se litotamnijski vapnenac i vapneni pješčenjak, vrlo porozni vapneni pješčenjak vinic, hotaveljski mramor i trbiška breča. Tu se u XVIII st. eksploracija i obrada kamena toliko razvila da je u Varaždinu osnovan ceh kamenoklesara (1728. god. dobio je svoja cehovska prava od kralja Karla III).

B. Crnković

LIT.: R. Kregar, Naravni i umetni kamen za tehniku i okras, Ljubljana 1947. — L. Marić, Petrografija za studente arh. grad. lik. i prim. umjetnosti, Zagreb 1951. — C. C. Hadisye, Building materials, London 1961. — H. E. Davis, G. E. Troxell and C. T. Wiskocil, The testing and inspection of engineering materials, New York 1964. — E. B. Kapaylov, Каменные конструкции, Москва 1966. — F. d'Quervain, Technische Gesteinskunde, Basel-Stuttgart 1967. — N. B. Illashić, Razradba. Mecstrojrođenih gradova, Москва 1968. — R. Macaulay, Symfonije u kamenu, Beograd 1968. — R. L. Bates, Geology of the industrial rocks and minerals, New York 1969. — L. Marić, Minerali, stijene i rudna ležišta u našoj zemlji od preistorije do danas, Zagreb 1974.

B. Crnković D. Gojković D. Lazarević

## GRAĐEVNI MATERIJALI

svi materijali koji se upotrebljavaju u građevinarstvu.

Isprva je čovjek upotrebljavao samo prirodne materijale koje je nalazio u svojoj neposrednoj okolini. Poslije se, s razvojem ljudskog stvaralaštva, razvijala ne samo preradba i obrada prirodnih građevnih materijala već i industrija novih umjetnih građevnih materijala. Danas postoji mnogo različitih vrsta građevnih materijala, a njihovo je poznavanje jedan od najvažnijih uvjeta za ispravnu primjenu pri projektiranju i gradnji građevinskih objekata.

Poznavanje građevnog materijala znači poznavanje tehnoloških postupaka za njegovo dobivanje i preradbu, njegovog kemijskog sastava i tehničkih svojstava prije upotrebe i za vrijeme obradbe, ponašanja nakon ugradnje, te svih bitnih promjena koje s vremenom mogu nastati.

Poznavanje građevnih materijala omogućuje odabiranje najpovoljnijeg materijala za određeni građevinski objekt, kako u pogledu postavljenih zahtjeva za taj objekt tako i u pogledu svih ostalih specifičnih uvjeta da bi objekt potpuno odgovarao svojoj namjeni: da bude stabilan, dugotrajan, jeftin za održavanje i lijep.

Građevni materijali mogu se klasificirati prema načinu proizvodnje i prema njihovoj upotrebi.

### Podjela prema načinu proizvodnje

Prema načinu proizvodnje razlikuju se prirodni i umjetni građevni materijali.

**Prirodni građevni materijali** (tabl. 1) jesu oni koji se nalaze u prirodi i koji se mogu ugrađivati uz manju ili veću pretvodnu obradbu i preradbu. Najvažniji prirodni građevni materijali jesu drvo i kamen, te pjesak i šljunak kao prirodno usitnjeni kamen.

Iako je *drvo* (v. Drvo, TE3, str. 419) najosjetljiviji građevni materijal, ipak zauzima veoma važno mjesto među građevnim materijalima, jer uz lijep izgled ima i povoljna prirodna svojstva, zbog čega se upotrebljava u građevinarstvu za različite svrhe.

*Kamen* (v. Grad. kamen) je od davnine dominantan materijal u građevinarstvu zbog svoje trajnosti, dobrih mehaničkih svojstava i lijepog izgleda. Međutim, pojavom betona i umjetnog kamena prirodni kamen sve se manje upotrebljava u konstrukcijske, a sve više u ukrasne svrhe za izvedbu različitih obloga.

Od ostalih materijala i danas primitivni narodi upotrebljavaju za gradnju svojih nastambi različite prirodne (priručne) materijale, npr.: glinu, granje, veliko lišće tropskih biljaka, slamu, životinjske kože, pa čak i kocke snijega i leda, već prema klimatskom području.

**Umjetni građevni materijali** (tabl. 2) proizvode se iz prirodnih sirovina (materijala), mineralnog ili organskog podrijetla, i to kemijskom ili mehaničkom preradbom. To su danas glavni građevni materijali.

Dugo su vremena graditelji imali relativno malo građevnog materijala. Oni su pored prirodnih materijala upotrebljavali i

umjetne materijale, istina, proizvedene na primitivan način, i to: keramiku, vapno, sadru, mortove, staklo, bakar, oovo, te prvi beton (poznat već u rimsko doba).

*Vapno* (v. Vapno) i vapneni mort upotrebljavali su Egipćani prije gotovo 5000 godina pri gradnji piramide, a također i u Izraelu u vrijeme kralja Salamona. U nas je upotreba vapnenog morta poznata od pamтивјека, ali se također gradilo i bez morta *u suho*.

*Sadra* (gips) je kao građevni materijal poznata od davninе. Već su Egipćani, a poslije i Rimljani, dodavali sadru u mort.

*Cement* (v. Cementi, TE2, str. 585) je danas, a s njime i beton, najvažniji građevni materijal. Već su stari Rimljani poznivali prva hidraulička veziva, npr. prirodnii cement vulkanskog podrijetla, koji se kopao na padinama Vezuva i pomoću kojeg su pripremali prve betone. Poslije, u srednjem vijeku, narušeno je građenje betonom. Tek početkom XIX vijeka pro-nalaskom portland-cementa (J. Aspdin 1824. godine prvi put je žario smjesu vapneca i gline) započela je nova era gradnje betonom. Prva tvornica cementa u nas proradila je 1865. godine kod Splita.

Izradba predmeta od *gline* jedan je od najstarijih zanata. Prvobitna upotreba gline u građevne svrhe, oblijepljivanje pletera, sačuvala se sve do danas. *Pečenu opeku* (v. Opeka) upotrebljavali su Egipćani već prije 6000 godina. Asirci i Perzijanci izradivali su šarene pločice za oblaganje zidova i podova.

*Staklo* (v. Staklo) je poznato također više tisuća godina. Egipćani su ga poznivali prije 5000 godina. Oni su ga obrađivali ručno, bojadisali i od njega izradivali i nakit. Rimljani su staklo obrađivali puhanjem. Od XV do XVII vijeka u Veneciji se razvija umjetnička obrada venecijanskog stakla od kojeg su se proizvodile čaše, pehari i ukrasni predmeti. Prozirno brušeno kristalno staklo proizvedeno je najprije u Češkoj. Krajem XVII vijeka u Francuskoj se počinju lijevati i brusiti velike staklene ploče za ogledala. Prvo ravno staklo, koje se od davnina upotrebljava u zgradarstvu za ostakljivanje prozora, izradivalo se puhanjem u valjak. Staklenom cilindru odrezuju se krajevi, presijeca ga se i razvija u ravnu ploču.

Iako se *željezo* (v. Gvožde) u povijesti čovječanstva pojавilo poslije brončanog doba, oko ← 2500, njegova prava primjena u građevinarstvu nastaje tek s razvojem industrijske proizvodnje željeza i čelika (Bessemeterov postupak 1855. godine). Sve do tada željezo se veoma malo upotrebljavalo kao građevni materijal, i to uglavnom za izradbu spojeva i ukrasa, a sve zbog teškog postupka dobivanja, nedovoljne proizvodnje, teškoća u obradi i visoke cijene. Danas je čelik (v. Čelik, TE3, str. 43) potreban

Tablica 1  
PRIRODNI GRAĐEVNI MATERIJALI

	Vrsta materijala	Naziv materijala
Kamen	eruptivni	granit, sijenit, diorit, gabro, porfir, dijabaz, bazalt, vulkanski tufovi
	sedimentni	pješčari, konglomerati i breče, vapnenci, dolomit, pjesak i šljunak
	metamorfni	gnajsi, filit, serpentin i mramor
Drvo	bjelogorica	hrast, bukva, jasen, brijest, grab, javor, bagrem, topola, hrast plutnjak (pluto) i dr.
	crnogorica	ariš, bor, jela, smreka (omorika) i tisa
	tropsko drvo	tik, mahagoni, palisander, ebanovina
Zemlja		glina i ilovača
Prirodni bitumen		bituminozni vapnenci, bituminozni škriljavci i prirodni asfalt
Prirodni asfalt		trinidadski asfalt
Različiti prirodni (priručni) materijali		koža, trska, slama, lišće tropskih biljaka, led, snijeg i voda kao pomoćni materijal za izradbu različitih umjetnih građevnih materijala