

Povijest dobivanja prirodnog kamena

Dunda, Siniša; Cotman, Ivan; Hudec, Mladen; Crnković, Branko

Source / Izvornik: **Klesarstvo i graditeljstvo, 1997, 8, 79 - 92**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:584967>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

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

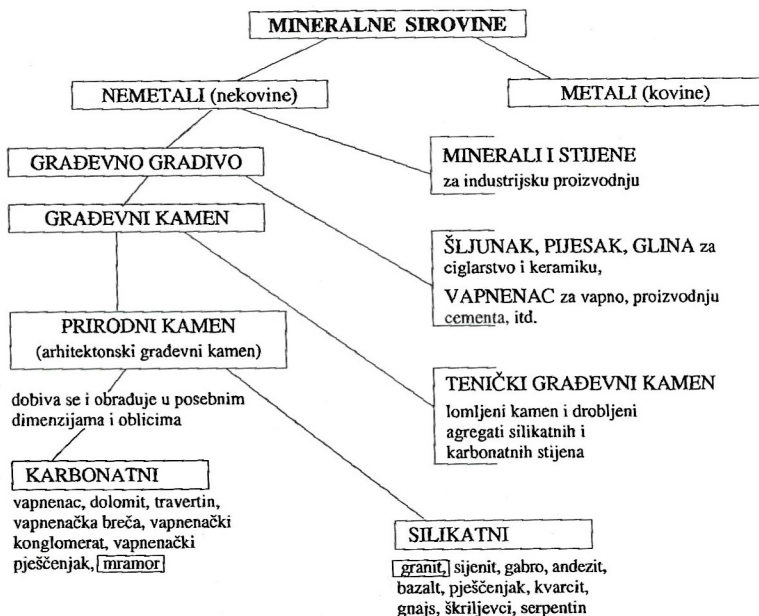


POVIJEST DOBIVANJA PRIRODNOG KAMENA

Uvod

Kamen je bez sumnje najstarije poznato prirodno građevno gradivo u povijesti čovječanstva. Tragovi i ostaci njegovog dobivanja, obrade i ugradbe sežu daleko u prošlost. Zahvaljujući njegovoj trajnosti postoje brojni, slabije ili bolje očuvani, ostaci sakralnih i profanih materijalnih kulturnih dobara na našem tlu. Njegovo je mjesto u mineralnim sirovinama prikazano tablicom 1.

Podjela mineralnih sirovina



Od prvih početaka uporabe kamena u graditeljstvu do danas zanimljivo je pratiti, koliko je to moguće, tehnologiju dobivanja blokova iz stijenske mase, često i enormnih veličina, pred kojima i danas zastajemo zadivljeni.



Sl. 1. Površinski kop, plitki, kamenolom Kirmenjak u Istri (foto: J. Tišljar, 1980)

Podjela kamenoloma

Kamenolomi u kojima se dobivaju blokovi kamena mogu se grubo podijeliti u dvije kategorije, odnosno pet potkategorija.

1. Dobivanje površinskim kopom:

- a) plitkim, kao što su primjerice kamenolomi Kirmenjak (sl. 1), Kanfanar i Selina u Istri; površinski kop Kirmenjak dugačak je 2,5 km,
- b) dubinskim, kao što je primjerice kamenolom dolomitičnog vapnenca Sivac kraj Pučišća (sl. 2)
- c) brdskim ili visinskim, usječene ili zasječene padine, kao što su kamenolomi kraj Pučišća (sl. 3)

2. Dobivanje podzemnim kopom:

- a) podsijecanjem ili radom pod "strehom", što bi se moglo smatrati kao prije-laz u pravi podzemni rad; to je djelomično podzemno dobivanje pri kojemu za osvjetljenje radilišta služi dnevno svjetlo (sl. 4). (Q. Capuzzi, 1989),
- b) komorni sistem otkopavanja, kako su se dobivali blokovi u starom kamenolomu Sv. Stjepan u dolini Mirne i kao što je današnja probna podzemna eksploatacija u Kanfanaru u Istri (sl. 5)

Razvojni put alata i sredstava za dobivanje blokova

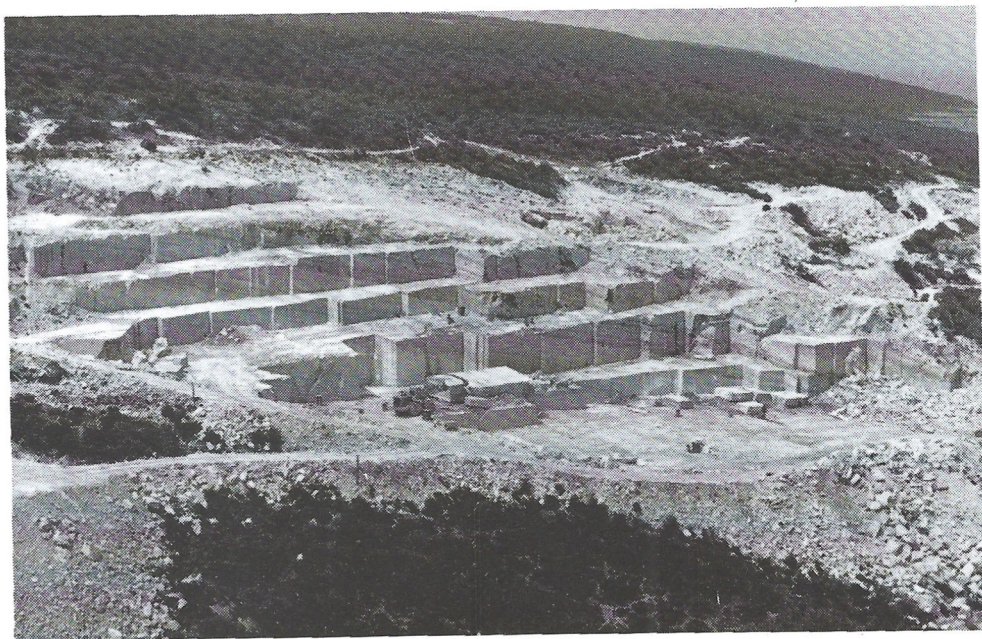
Najstarija "alatka" kojom su se ljudi koristili za dobivanje kamena su ruke. Naime, i prva metoda dobivanja kamena je sakupljanje ili branje većih, prirodno slobodnih komada kamena i njihovo ugrađivanje bilo za zaštitu od vremenskih nepogoda, bilo za zaštitu od neprijatelja, bilo za premoštavanje vodenih tokova.



Sl. 2. Površinski kop, dubinski, kamenolom Sivac na otoku Braču (foto: D. Jovičić, 1996)

Naravno da se ovdje radi o pretpostavkama, međutim za vjerovati je, da je u dalekoj prošlosti bilo tako.

Razvojem čovjeka kao jedinke i društva, počinje se s uporabom gradiva iz neposrednog okoliša, kao što su zemlja i drvo. Za njihovu obradu počele su se razvijati i alatke za kopanje i rezanje. Iz alatki za obradu drveta i zemlje razvijale su se polagano i alatke za obradu kamena.



Sl. 3. Površinski kop, brdski ili visinski, kamenolom Veselje na otoku Braču (foto: D. Jovičić, 1996)



Sl. 4. Podzemni kop, pod "strehom"

Prema zapisima starog Egipta, jedna od najstarijih alatki koja se rabila pri dobivanju i obradi kamena bile su kugle dolerita promjera približno 12 - 30 cm, s kojima se udaralo o stijenu. S obzirom na veliku razliku u tvrdoći i žilavosti dolerita i stijene koju se udaralo, doleritnom kuglom polagano se razarala površina stijene tvoreći utore koji su kasnije prerastali u kanale. Uporaba kugli zabilježena je hijeroglifima u jednom grobu u Tebi iz 1500. prije Krista. Kugla se držala u ruci ili je bila vezana remenom, pa se njome moglo snažnije udarati. Mase nadenih kamenih kugli ili oblutaka u kamenolomima su između tri i šest kilograma.

Za otkopavanje kamena samaca rabile su se različite vrste dlijeta i pijuka koje su od kamenih artefakata prelazile u bakrene, brončane, željezne do čeličnih i posebnih kovina u današnje vrijeme. Šiljastim dlijetom i

pijukom usijecali su se utori ili prosijecali prosjeci i kanali (pašarini). Dlijeto i pijuk moraju u tu svrhu imati veću tvrdoću od stijene, pa su se bakarna i brončana dlijeta i pijuci rabili samo u vapnencima.



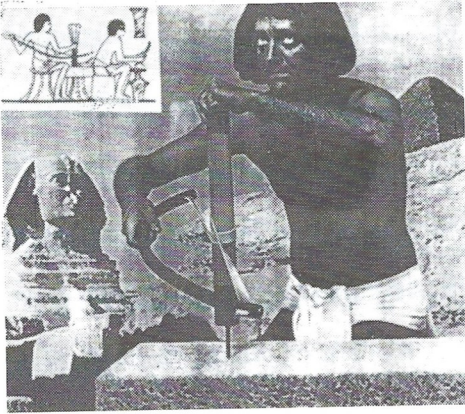
Sl. 5. Podzemni kop Sv. Stjepan u dolini Mirne u Istri

Za rezanje kamena, izradu ureza struganjem, služile su prvo različite alatke od tvrdog kamena, potom od metala, uz dodavanje abrazivnog praha, prvenstveno kvarcnog pijeska. Struganjem pomoću abrazivnog praha može se urezati prorez

ili utor čak i kada je alatka mekanija. Uporaba crijeva, užadi ili drvenih letvi te vode i abrazivnog praha nije u potpunosti dokazana, ali je vrlo vjerojatna.

Bušenje kamena pomoću cijevi, bakarne, brončane ili bambusove trske, s abrazivnim prahom i vodom, primjenom rotacije i pritiska, obavljalo se već u starom Egiptu (sl. 6).

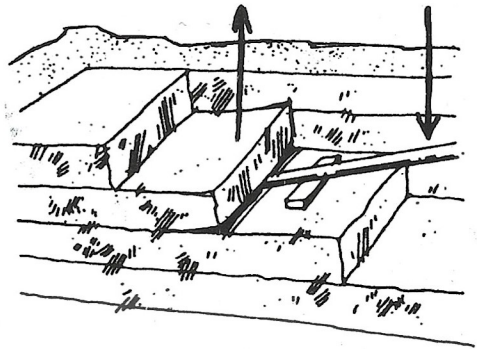
Cijepanje kamena je operacija kojom se od stijenske mase odvajaju veliki blokovi što se naknadno obrađuju. Za cijepanje su se rabili suhi drveni klinovi nabijeni u prirodne diskontinuitete koji su nakon toga polijevani vodom. Natopljeno je drvo



Sl. 6. Bušenje rupa u kamenu u starom Egiptu

počelo bubriti čime je narastao tlak kojim se kamen cijepao duž ravnine najmanjeg otpora. Taj je postupak bio u uporabi više u vapnencima negoli u kamenolomima čvrstih i tvrdih stijena poput granita. U kamenolomima starog Egipta nađeni su znakovi prosijecanja utora za klinove. Rabljeni su metalni klinovi pomoću kojih se cijepala stijena. Da bi se spriječilo drobljenje kamena na mjestu utiskivanja klina, na ta se mjesta umetalo metalne pločice ili pera. Time se izbjeglo direktno trenje metalnog klina o kamen. U starim kamenolomima granita pronađeni su i klinovi i pera.

Poluga kao alatka bez koje nema dobivanja blokova kamena vjerojatno je našla svoju primjenu u vrlo ranoj povijesti čovjeka. U dobivanju blokova kamena, za njihovo odvaljivanje i dizanje, poluga je nezamjenjiva (sl. 7). Poluga je u kamenolomima imala različite nazive, a jedan od popularnijih od prije tridesetak godina bio je "Marijana", po popularnoj hrvatskoj pjesmi. Naime, poluga je bila nerazdvojni pratilac pri dobivanju blokova, kao i djevojka mladiću. Bez nje klesar nije bio potpun.



Sl. 7. Poluga, nezamjenjiva alatka u dobivanju kamena

Jedno od sredstava koje je bilo u uporabi za dobivanje blokova u kamenolomima granita u starom Egiptu bila je vatra. U kamenolomima se na horizontalnoj ili nagnutoj plohi palila vatra ograđena zidićem od ćerpića. Stijena se, nakon što se zagrijala, polijevala vodom. Ostataka vatrom oštećenog granita našlo se u kamenolomima kod Asuana. Izvjesno je da se tim načinom uklanjalo gornje, slabije dijelove stijene ili najgrublje oblikovao blok. Ovaj je postupak pose-

bice učinkovit za granite. Glavni sastojci granita jesu kvarc i feldspati, minerali različitog toplinskog koeficijenta rastezanja i stezanja, što izaziva međusobno odvajanje duž dodira zrna i pucanja u području temperaturnog djelovanja. Uz to, kvarc zagrijan na 573 C° mijenja svoju strukturu i volumen, što izaziva njegovo prskanje i smanjenje čvrstoće granita.

Pojavom kovanih željeznih alati rupe u stijeni počele su se izrađivati ručnim načinom dlijetom i čekićem, uz rotaciju dlijeta u rupi. Tako se radilo do druge polovine XIX. stoljeća, kada počinje primjena strojnog bušenja pneumatskim, a potom i hidrauličnim čekićem. Kameni blok se od stijene odvaljivao bilo pobijanjem klinova, bilo uporabom "vatrenog praha" ili baruta, a kasnije i detonirajućeg štapina. Barut se u Europi počinje primjenjivati u XIII. stoljeću, a u kamenolomima u Apuanskim alpama 1700-tih godina. Tada su se u stijenskoj masi počele izrađivati komore u podzemlju kosina i litica i stijena se minirala. Budući se na taj način stijena u dobroj mjeri uništavala, ta je metoda ubrzo napuštena.

Razvojem tehnike i uvođenjem helikoidalne žične pile s abrazivnim prahom, koncem XIX. stoljeća, unaprijeđena je izrada rezova u stijenskoj masi. U nas se prva helikoidalna žična pila u dobivanju blokova kamena uporabila na otoku Hvaru u kamenolomu Pokojni dol, u vlasništvu ing. Sponze. Prva helikoidalna žična pila u području Istre montirana je vjerojatno 1937. u kamenolomu Vinkuran. Godine 1939. tvrtka Zaccaria iz Splitske na otoku Braču nabavlja helikoidalnu žičnu pilu, ali Drugi svjetski rat onemogućava njenu primjenu i uzrokuje njen nestanak. Novo formirano poduzeće "Brač-Industrija jadranskog kamena i mramora Split" krajem 1947. montira u kamenolomu Veselje prvu helikoidalnu žičnu pilu. Zbog nedostatka sredstava za nabavku više pila, s jednom se pogonskom jedinicom postavljenom u kamenolomu Veselje pililo i u kamenolomu Kupinovo, a i u kamenolomu Punta. Budući je kamenolom Punta od kamenoloma Veselje bio udaljen preko 800 m zračne linije, pri takvom se radu često rabilo i preko 2400 m helikoidalne žice. Pozitivni rezultati ostvareni ovom pilom pridonose njenom bržem uključivanju na ostale kamenolome na otoku Braču. Uvođenjem električne energije na bračke kamenolome 1958. helikoidalna žična pila u potpunosti osvaja kamenolome poduzeća "Jadrancamen" na Braču.

Dalji napredak rezanja blokova u stijenskoj masi postignut je uvođenjem u dobivanje prirodnog kamena dijamantne žice. Početak uporabe dijamantne žice u dobivanju kamena je uvođenje mobilnog stroja nazvanog "bicicletta" 1977. Za svega nekoliko godina taj je stroj u uporabi u stotinjak kamenoloma na području Carrare. Njegove prednosti u odnosu na helikoidalnu žičnu pilu jesu: veći učinak (brzina rezanja), jednostavnost rukovanja, kvaliteta reza uz manji gubitak sirovina i nestanak "paukove mreže" helikoidalne žične pile u području kamenoloma. Primjena dijamantne žice u Istri počela je 1981., a 1985. je njena primjena već masovna. Početkom 1984. Jadrankamen uvozi pet dijamantnih žičnih pila i uspješno ih uključuje u dobivanje blokova kamena, prvo na kamenolomu Sivac, a potom i na ostalim kamenolomima. Danas je to alatka bez koje se suvremeno dobivanje prirodnog kamena ne može ni zamisliti.

Tijekom posljednjih dvadesetak godina veliki razvoj za rezanje imaju lančane sjekačice. Prva primjena suvremene lančane sjekačice namijenjene isključivo za rezanje kamena započela je u tvrtki "Jadrancamen" 1980., kada je

nabavljena sjekačica marka Korfman za potrebe otvaranja dubinskog kamenoloma Sivac. Prezentacija toga stroja održana je 4. studenog 1980.

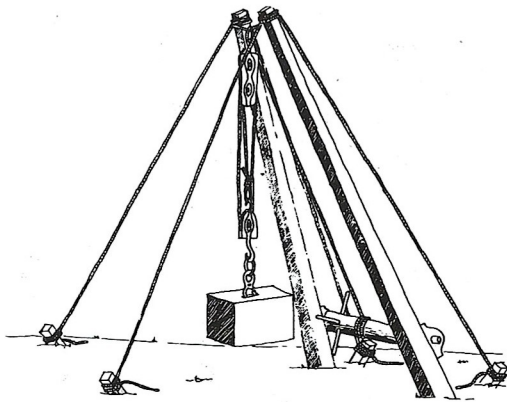
Osim žičanih pila i sjekačica za rezanje se rabe i strojevi za piljenje diskovima velikog promjera. Zbog glomaznosti, velike potrošnje vode i nepraktičnog rada ovi su strojevi danas praktično napušteni. U našim kamenolomima nisu bili u primjeni.

U dobivanju blokova granita rabi se rezanje plamenom. Kod nas, budući da nema dobivanja granita, takva se tehnologija ne rabi.

Tehnologija rezanja vodenim mlazom pod velikim tlakom je u razvoju, u nas nije u uporabi.

Rezanje laserima je još uvijek u eksperimentalnoj fazi i primjena u kamenolomima predstavlja daleku budućnost.

Blokovi kamena bilo kojom alatkom odvojeni od stijenske mase obarali su se polugom, koju su kasnije zamijenili hidraulični potiskivači i zračni jastuci.



Sl. 8. Jednostavna naprava dizalica za dizanje kamenih blokova s vitlom na ručni pogon

U radilištu kamenoloma blokovi su se premještali čeličnim užetom obavijenim oko bloka i namotanim na bubanj vitla, na ručni, a potom na strojni pogon. U kamenolomima su se blokovi pomoću vitla preko rampe utovarivali na prijevozna sredstva.

Za dizanje blokova rabile su se različite jednostavne naprave, bilo oblika običnog jarbola s radnom konzolom koja je kružila oko njegove osi, bilo pomoću čeličnim užetima pričvršćenih kosih greda s koloturima (sl. 8). Te jednostavne naprave kasnije su zamijenjene različitim stabilnim dizalicama.

Razvoj tehnologija dobivanja blokova

S razvojem alatki za kopanje, rezanje, bušenje i odvaljivanje kamena razvijaju se i metode dobivanja. Dobivanje kamena je proces koji datira u daleku prošlost čovječanstva. Dobivanje blokova površinskim otkopnim metodama, kao i podzemnim radovima, zabilježeno je tijekom povijesti u svim krajevima zemaljske kugle.

Najstarija metoda dobivanja kamena najvjerojatnije je sakupljanje ili branje kamena. Ljudi su za svoje potrebe jednostavno sakupljali ili brali veće i djelomično oblikovane komade kamena i s njime gradili ono što su zamislili. Ovom su metodom dobiveni kamenovi za izradu prvih nadgrobnih spomenika, za zidanje prvih utvrda i kamenih kuća. Ležišta koja su prva dolazila u obzir za takvo dobivanje su vjerojatno bila tankoslojevita ležišta vapnenaca i škriljavaca koji se na površini raspadaju u tanje ili deblje ploče.

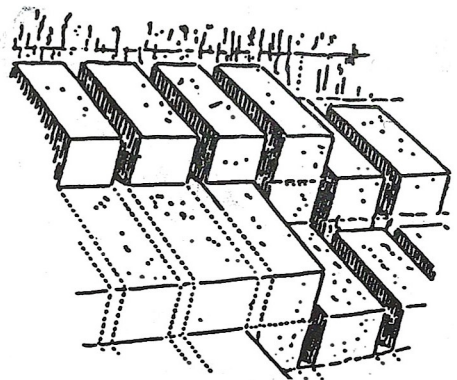
Prva "prava" metoda dobivanja počinje uporabom poluge i primitivnih alatki za kopanje. Polugom se prvo počinju dobivati kameni "samci" što su se nalazili okruženi zemljom.

Temeljni zahtjev u dobivanju prirodnog ili arhitektonskog građevnog kamena jest iz stijenske mase izvaditi cjeloviti blok kamena bez prirodnih i/ili primijenjenom tehnologijom izazvanih oštećenja. Znači da se uz postojeće slobodne površine blok mora duž svih ploha osloboditi i odvojiti od stijenske mase, bez da se ošteti. To se postiže izradom umjetnih kanala ili “pašarina” u stijenskoj masi, ili se za odvajanje koriste prirodni diskontinuiteti u njoj.

Prirodni diskontinuiteti ili plošne isprekidanosti u stijenskoj masi jesu:

- plohe lučenja u eruptivnim stijenama koje nastaju ohlađivanjem magme ili lave,
- prekidi taloženja koji po visini ograničavaju dimenzije slojeva u sedimentnim stijenama,
- plohe škriljavosti u metamorfnim stijenama, te
- pukotine različitoga postanka i rasprostiranja uzrokovane tektonikom.

Prema dostupnim nam podacima, pravo rudarsko dobivanje blokova nalazi se u Egiptu. Stari su Egipćani za potrebe graditeljstva dobivali vapnence, pješčenjake, alabaster, granit i bazalt. Blokovi kamena dobivali su se izradom paralelnih kanala i dizanjem po plohi oslabljenja (sl. 9). Već u to doba blokovi kamena dobivali su se podzemnim kopovima. Kod svih tih eksploatacija rabile su se opisane alatke za rezanje, bušenje i odvaljivanje. Tehnologiju Egipćana naslijedili su Grci i kasnije Rimljani.

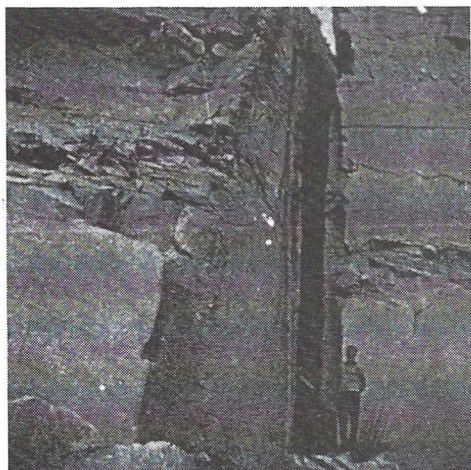


Sl. 9. Shematski prikaz dobivanja blokova izradom vertikalnih pašarina i dizanjem duž oslabljenog dijela stijenske mase, slojnice

Na našem su tlu u doba Ilira i nemirnim stoljećima podizane gradine od velikih pločastih blokova kamena autohtonoga porijekla, tanje ili deblje slojevitih vapnenaca. Visine tih blokova u gradinama odgovaraju debljinama slojeva vapnenaca. Znači da su se u plitkim površinskim kamenolomima jednostavnim podizanjem pomoću poluge blokovi odvajali duž prirodnih diskontinuiteta, slojnice. Ostale su se plohe ploča najvjerojatnije odvajale duž pukotinskih diskontinuiteta, obično približno okomitih na slojevitost. Dalje dotjerivanje i oblikovanje ploča bilo je jednostavno, oklesavanjem okomito na slojevitost. Na isti su način dobivane i dotjerivane kamene pokrovne ploče grobova koje imaju značajne površine.

Takvo je dobivanje blokova i ploča bilo moguće u svim našim krajevima gdje su naslage vapnenaca horizontalne ili neznatno nagnute. Kamenolomi su bili znatnijeg prostiranja kad se upad slojeva podudarao s nagibom terena. U protivnom se površ povoljnih naslaga vrlo brzo povećavala debljina nekorisne krovine, što je uzrokovalo preseljenje eksploatacije na drugo mjesto.

Ostaci antičkoga kamenarstva u našoj zemlji su brojni. Ima ih od Istre do Konavala, a u kontinentalnom dijelu i na otocima. Svima je zajednička tehnologija dobivanja blokova kamena iz stijenske mase. Prvo su dljetom i čekićem ili pijukom šiljkom izrađivani kanali ili “pašarini”, koji mogu biti znatnih dubina,



Sl. 10. Kamenolom Splitska na otoku Braču, antički pašarin izraden ručno, isklesan dlijetom i čekićem

poput onoga u antičkom kamenolomu Spliska na otoku Braču (sl. 10). Na taj je način bloku kamena što se otkopava oslobođeno pet ploha. Šesta je ploha obično horizontalno položena i oslobađa se izradom utora ili "formela" i pobijanjem klinova uloženi u njih. Formele su se obično izradivale duž naglašanih slojnica.

Izrada pašarina i formela nije trebala predstavljati poseban problem, budući su svi antički kamenolomi u nas u vapnencima.

Dobivanje blokova kamena u antičkom kamenolomu u sjeveroistočnom području gradina Veliki i Mali Vital u blizini sela Prozora nedaleko Otočca opisao je I. Šarić (1980.). Taj je kamenolom, s obzirom na izgled vidljivog dijela, na prijelomu stoljeća, bio proglašen "napojištima isklesanim u kamenu", pa kasnije za "kamene klupe". Nakon njegova iskopavanja od 1970. do 1974. godine otvoreni su svi dijelovi nekada aktivnog kamenoloma u kojemu su se dobivali blokovi netom opisanom tehnologijom. U većini slučajeva dužina kamenog bloka bila je približno 2,5 m, širina oko metar, a visina između 40 i 60 cm, odgovarala je debljini slojeva. U kamenolomu su vidljivi izvađeni pašarini, duž njihovih stijenki strije ili rigade nastale uporabom dlijeta, te plitke formele i hrapava koritasto udubljena horizontalna površina duž koje je blok odvojen i dignut po dasci ili "veršu". Taj će antički kamenolom ostati sačuvan, jer je poradi bogatih arheoloških nalaza ovdje zabranjena eksploatacija kamena.



Sl. 11. Kamenolom vapnenca istarski žuti Selina u Istri. Na lijevom bloku jedna grupa radnika izraduje formele duž slojnice, a druga pneumatskim čekićem buši vertikalne rupe. Na lijevom bloku jedna grupa radnika pobija klinove u formelama, a druga u vertikalnim bušotinama (foto: J. Tišljar, 1963)

Dobivanje blokova strojnim bušenjem vertikalnih rupa, izradom formela i pobijanjem klinova u vertikalne rupe i forme, u nas se zadržalo do bliskih nam dana. Tako se u nekim kamenolomima Istre radilo još u sedmom desetljeću ovoga stoljeća (sl. 11).

Pojavom deflagrantnog eksploziva, baruta iz Kine, vjerojatno je došlo do temeljite promjene u tehnologiji eksploatacije kamena. Vjerojatno se počelo s miniranjem kojim se stijenska masa razbijala, a od većih su se komada obrađivali blokovi. Ta je tehnologija ubrzo napuštena jer se nije moglo postići veće iskorištenje stijenske mase. Eksploziv je danas ostao u uporabi kao pomoćno sredstvo kod miniranja debljih krovinskih naslaga, uz prethodnu izradu umjetnog diskontinuiteta između krovine što se minira i korisne sirovine ispod nje. Barut se danas uspješno rabi pri eksploataciji "bouldera", velikih prirodnih blokova samaca eruptiva. Usmjerenim bušotinama u tim stijenama prema plohama oslabljenja i barutom koji "pogurava" dobivaju se ravne plohe do nekoliko desetaka kvadratnih metara površine, duž kojih se blok odijelio od stijenske mase.

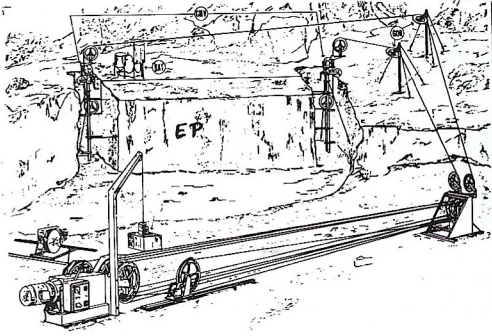
Uporaba baruta u našim kamenolomima datira polovinom ovoga stoljeća. U kamenolomu Kirmenjak u Istri barutom je "odrezan banak" koji se kasnije bušenjem i klinovima dijelio u blokove. Ova je metoda ubrzo napuštena, jer je i uz najveći oprez dolazilo do oštećenja zdrave kamene mase. Ta su oštećenja stvarala nepremostive probleme u pilanama.

Od eksplozivnih sredstava u eksploataciji prirodnog kamena rabio se i detonirajući štapin koji se stavljao u bušotine izbušene na razmaku od 15-ak centimetara. Istovremenim aktiviranjem štapina dolazilo je do cijepanja i odvajanja blokova od stijenske mase. Takav način dobivanja blokova upotrebljavao se u kamenolomima na otoku Braču i posebice u kamenolomima splitskog zaleđa. U bušotine se često stavljala voda radi pojačanja djelovanja štapina.

U novije se vrijeme na tržištu za potrebe kamenarske industrije nalaze ekspanzijske smjese koje se stavljaju u bušotine umjesto eksploziva. Proces cijepanja pomoću njih je dobar i bez oštećenja odvaljenog kamena, ali dugotrajan, pa nije našao veću primjenu. Treba spomenuti pokuse koje je izvodio Bračanin Josip Baturić, sveučilišni profesor, sa živim vapnom kao ekspanzijskom smjesom, desetak godina prije pojave na tržištu prve ekspanzijske smjese za razbijanje kamena.

Pojavom helikoidalne žice počinje pravi razvoj različitih tehnologija eksploatacije prirodnog kamena, kako na površini, tako i u podzemlju. Naime, uporabom žice dobila se mogućnost izrade horizontalnih, kosih i vertikalnih rezo-va velikih površina, koje su u kamenolomima u Istri dosezale do 1400 mm/rezu. Uvođenjem ovih žica u kamenolome razvijaju se sistemi eksploatacije koji koriste mikrotektonske značajke ležišta u kombinaciji s gravitacijskom silom. Tada se prvi puta spominje pojam "primarni blok", veliki odvaljeni dio stijene čijih je svih šest ploha slobodno i koji je približno paralelopipednog oblika. Tehnologijom rezanja žicom teži se dobivanju što većeg primarnog bloka, kako bi se od njega dobivali "sekundarni" blokovi ili "fete", a iz njih blokovi komercijalnih dimenzija.

Tehnologija dobivanja prirodnog kamena heliokoidalnom žicom relativno je jednostavna i shematski prikazana slikom 12. Kamenolomi u kojima se kamen dobivao tom tehnologijom bili su pokriveni spletom žice razapetom između



Sl. 12. Shematski prikaz dobivanja prirodnog kamena pomoću helikoidalne žične pile. Helikoidalna žica velike dužine razapeta je preko vodilica (CMV i GOR) "usadenih" u stijenu. Između dva pašarina u kojima su vertikalne vodilice za žicu nalazi se rezervoar a vodu i kvarcni pijesak (BAT), čime se prihranjuju žice. Kvarcni pijesak nošen žicom abrazijom reže stijenu. Da bi dobila oba pašarina prvo se kopa bunar iz kojega se s dva reza prema čelu odvaja dio stijenske mase koji se mora izvaditi. Na taj je način eksploabilni dio stijenske mase (EP) otvoren sa četiri strane. Zadnja se strana i podnožje režu žicom ili se u podnožju buše rupe pa se blok odvaja pobijanjem klinova.

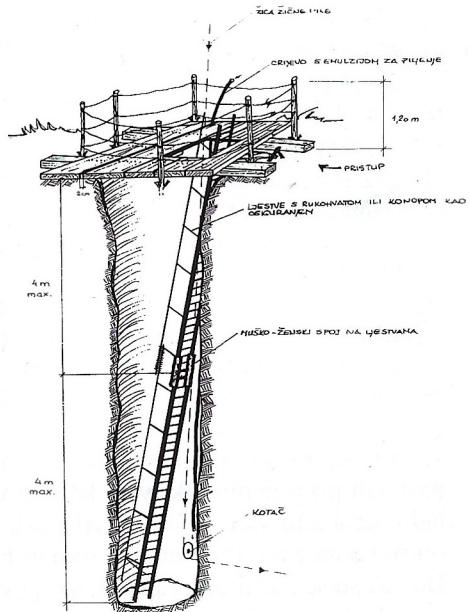
vodilica koje su obično bile ubetonirane u zdravu stijenu (sl. 13). Za smještaj vodilica za rezanje duž vertikalne plohe izrađivali su se posebni bunari (sl. 14). Izradom usjeka od čela radilišta prema bunarima izrađeni su paralelni pašarini između kojih se nalazio eksploabilni dio stijenske mase.

Rad s helikoidalnom žičnom pilom mogao se kombinirati na različite načine, ovisno o maštovitosti projektanta rudarskog projekta.

Kao primjer domišljatosti spomenimo dobivanje blokova u površinskom kopu visinskog tipa Valtura. Helikoidalnom se žicom prvo između dva pašarina, koji su dijelom bili prirodne pukotine u stijenskoj masi, horizontalnim i vertikalnim rezovima odvojio i otkopao eksploabilni sloj (sl. 15). Potom se vertikalnim rezom krovinska jalovina oborila na padinu eksploabilnog sloja. Takav je postupak bio moguć zahvaljujući dobrim inženjerskogeološkim svojstvima krovinskoga vapnenca.



Sl. 13. Kamenolom Fantazija u Isri. Vodilica za helikoidalnu žicu "usadena" u stijenu

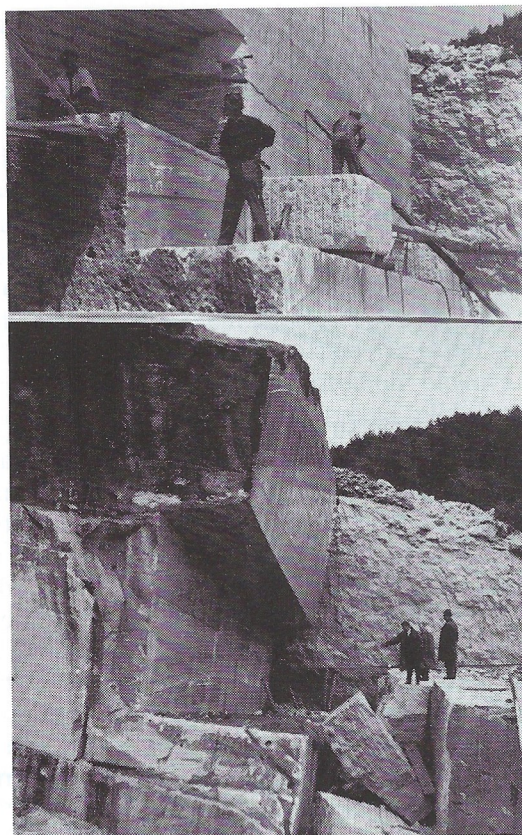


Sl. 14. Shematski prikaz bunara za uvođenje vodilice i rad helikoidalne žice

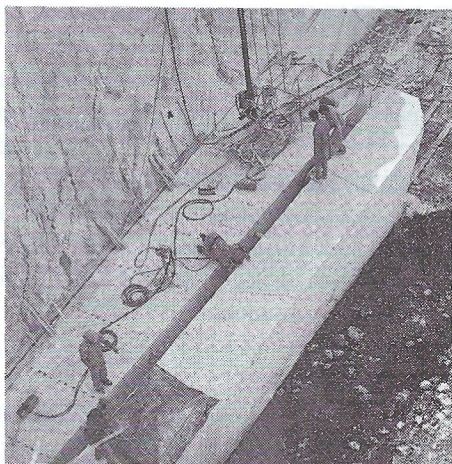
U kamenolomu Vinkuran se svojevremeno kamen dobivao metodom izrade usjeka s rudarskim hodnicima i kasnijim istovremenim prevrtanjem otkrivke i korisne supstancije. Na bočnim stranama eksploatabilnog dijela stijenske mase na nultoj etaži izrađena su dva hodnika širine 1,5 m, sve do granice zadnje planirane plohe. S gornjeg, površinskog dijela terena povrh hodnika izbušene su do hodnika po dvije bušotine. Od tih bušotina s obje strane svakoga hodnika prema čelu radilišta helikoidalnim su žicama, rezovima odjeljeni dijelovi stijena budućih pašarina, koji su otkopani miniranjem. Miniranje tog dijela bilo je moguće, jer su izvedeni rezovi predstavljali umjetne diskontinuitete koji su spriječili utjecaj eksplozija na eksploatabilni dio. Na taj je način bio oslobođen veliki dio eksploataibilne sirovine, koja se stavljanjem vodilica u dobivene pašarine i helikoidalnom žicom mogla dalje otkopavati obaranjem, kako površinske jalovine, tako i eksploatabilnog dijela stijenske mase.

Poseban način eksploatacije horizontalnim rezovima velikih površina razvijen je danas u kamenolomima Istre. Takvim rezovima nastaju površine paralelne slojevitosti i na udaljenosti debljine /visine sloja/ bloka, od 1,2 do 1,8 m. Od tako ispiljenog "banka" dobivaju se komercijalni blokovi. Četiri stranice komercijalnog bloka dobivaju se bušenjem i cijepanjem klinovima ili rezanjem lančanom sjekačicom. Primarni su se blokovi odvojeni rezovima potiskivali hidrauličnim potiskivačem i obarali zračnim jastukom (sl. 16). Tijekom posljednjih desetljeća ovo je bila nezamjenjiva metoda dobivanja blokova. Bila je visokoproduktivna, ali je zahtijevala veliku pažnju, trosmjenski i četverosmjenski rad, a posebni su problemi nastajali pri piljenju otkrivke, koja je visine od 15 m. Rez ispod otkrivke piljen je helikoidalnom žicom što je vrlo osjetljiva operacija, da ne dođe do "sjedanja" otkrivke na žicu. Problemi su nastali i pri izradi bunara za postavljanje žične pile. Bunari su se radili miniranjem, što je vrlo često oštećivalo zdravu stijensku masu.

Daljim razvojem tehnike i uvođenjem dijamantne pile mijenjaju se i metode dobivanja blokova. Dijamantna je pila ograničena svojom dužinom i time maksimi-



Sl. 15. Kamenolom Valtura u Istri 1964. godine. Horizontalnim rezom između krovinske jalovine i eksploatabilnih slojeva, te vertikalnim rezom pozadi vapnenačkog bloka, izvađen je odvojeni dio vapnenca. Nakon toga krovinska je jalovina vertikalnim rezom i gravitacijski oborena na podinske naslage



Sl. 16. Kamenolom Kanfanar u Istri. Primarni blokovi odvojeni horizontalnim rezovima paralelno sa slojevitosti od debele krovine i u podini. Blokovi su po dužini odvojeni lančanom sjekačicom. Vanjski "primarni" blok je hidrauličnim potiskivačem odvojen od unutarnjeg, a u pripremi je zračni jastuk za njegovo obaranje na pripremljenu posteljicu. Unutrašnji se "primarni" blok bušenjem rupa priprema za cijepanje klinovima i dobivanje komercijalnih blokova

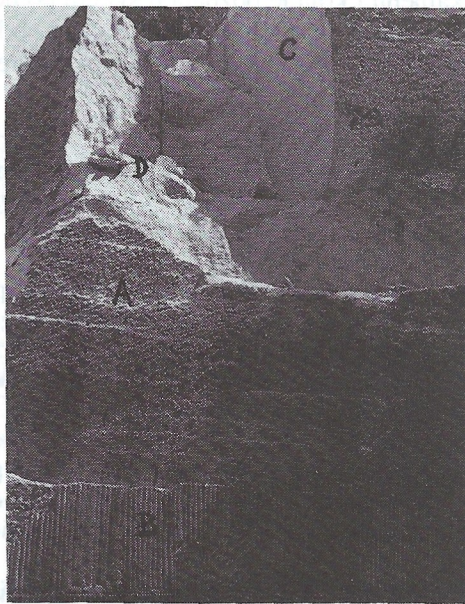


Sl. 17. Površinski kop dubinskog tipa Sivac na otoku Braču. Lančana sjekačica u radu, reže komercijalne blokove koji se odvoze u pilanu ili na tržište

malnom površinom reza. U kombinaciji s lančanom sjekačicom, dužine mača od 1,5 do 5 m, veličine primarnih blokova ograničavaju se na te dimenzije. Obično se već u kamenolomu tim metodama dobivaju ili beru komercijalni blokovi, kao što je to slučaj u kamenolomu Sivac na otoku Braču (sl. 17).

Probnom podzemnom eksploatacijom prirodnog kamena u Kananaru, prednost kao najpovoljnijoj metodi za izradu vertikalnih i horizontalnih rezo-va je rad s lančanom sjekačicom s pozadinskim odvaljivanjem.

Konačno, na rijetko kojem našem kamenolomu se na jednom, relativno malom, prostoru mogu naći ostaci nekoliko metoda dobivanja prirodnog kamena, kao što je to u površinskom kopu visinskog tipa na otoku Vrniku (sl. 18).



Sl. 18. Kamenolom na otoku Vrniku. Površinski kop visinskog tipa s ostacima četiri metode dobivanja blokova kamena: (A) stijenke pašarina iz antike s vidljivim strijama od rada dlijetom, (B) stijenke s tragovima gusto izbušenih rupa duž visine odvaljenog bloka, (C) rez helikoidalnom žičnom pilom i (D) raspucani i rastreseni vapnenac od djelovanja eksploziva rabljenog za odvajane nepravilnog bloka kamena. Rad pod (D) najnovijeg je datuma i za njega nema komentara (foto: D. Jovičić, 1996)

Zaključak

Uporaba kamena kao građevnog gradiva stara je koliko i vezanje čovjeka za stalno obitavalište. Nije se razvijala na cijeloj zemljinoj površini, ovisno o geološkoj građi i geomorfološkim značajkama. Istovremeno su se u različitim dijelovima Zemlje rabila različita građevna gradiva. Duž priobalja s oscilacijama razine vode građene su drvene sojenice. U nizinskim područjima bez kamena rabili su se ćerpići, a potom pečena cigla. I za našu su zemlju karakteristične takve razlike. Glavna su građevna gradiva nizinske Posavine drvo, posebice slavonski hrast, i cigla. Značajka našega Mediterana je kamen, vapnenac.

O dobivanju prirodnog kamena kroz povijest, od prapočetka do danas, pisano je podosta, ali ne postoji cjeloviti prikaz te značajne čovjekove djelatnosti. Pa i ovaj kratak pregled alatki i sredstava u toj djelatnosti, kao i odgovarajućih tehnologija, sigurno je manjkav. Možda će to biti poticaj da se dopuni novim saznanjima, kao i da se pripremi opširniji i potpuniji prikaz, što nije moguće postići člankom s obzirom na ograničenost teksta.

Osim u tekstu citiranih autora u literaturi se nalaze naslovi članaka i knjiga iz kojih smo pabirčili izloženo.

Budući da smo zemlja koja ima tradiciju u kamenarstvu, koja je poznata u svijetu po velebnim građevinama od kamena od antike i srednjeg vijeka do danas, koja je poznata u svijetu po graditeljima koji su kamenom gradili sakralne i profane građevine, koja je poznata u svijetu po kiparima što su svoja djela isklesali u kamenu i koja je poznata u svijetu po nekim vrstama vapnenca unikatnoga dezena, smatramo da toj djelatnosti pripada i odgovarajuće mjesto u našem društvu, kao i skrb društva za njen dalji razvoj, napredak i dalju ekspanziju izvan granica.

LITERATURA:

- Capuzzi, Quirino*: La coltivazione dei marmi in sotteraneo. Centro Studi Economico-Sociali "C. Cattaneo", Carrara, 1989.
- Cotman, Ivan*: Eksploatacija granitnih kamena samaca. Rud.-geol.-naft. zb. Vol. 6, Zagreb, 1994.
- Cotman, Ivan*: Probna podzemna eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena u kamenolomu Kanfanar, Istra. Rud.-geol.-naft. zb., Vol. 8, Zagreb, 1996.
- Cotman, Ivan i Damjanić, Anđelo*: Nova otkopna metoda u eksploataciji slojevitih ležišta arhitektonskog kamena. Rud.-geol.-naft. zb., Vol. 3, Zagreb, 1991.
- Hudec, Mladen*: Podzemne gradnje u starom Egiptu. Rud.-geol.-naft. zb., Vol. 8, Zagreb, 1996.
- Pandolfi, Domenico e Orlando*: La cava, Belforte Grafica, Livorno, 1989.
- Santoprete, Giancarlo*: L'industria lapidea. G. Giappichelli Ed. Torino, 1992.
- Shadmon, Asher*: Stone-An Introduction. Intermediate Technology Publ., London, 1989.
- Shadmon, Asher*: The new stone age. Acimm per il Marmo, Milano, 1991.
- Sheperd, Robert*: Ancient Mining. Poglavlje: Ancient Quarrying and Sources of building materials in Ancient times.
- Šarić, Ivan*: Antički kamenolom u Prozoru. Materijali, tehnike i strukture predantičkog i antičkog graditeljstva na istočnom jadranskom prostoru. Zagreb, 1980.
- Tortora, Giovanni*: L'estrazione e la lavorazione del marmo. Editrice San Marco, Trescore Balneario (Bergamo), 1967.
- Volf, Miroslav*: Kamenik. Statni pedagoške nakladatelstvi, Prag, 1974.