

7. OTVARANJE I RAZRADA LEŽIŠTA

Arhitektonsko-građevni kamen se, kao i ostale mineralne sirovine eksploatira površinski i podzemno. Neka se ležišta mogu otvarati i kombiniranim načinom, tj. površinskim i podzemnim kopom. Plića se ležišta redovito eksploatiraju površinski, a dublja podzemno. Razvojem mehanizacije prikladne za uklanjanje i odvoz velikih količina jalovine omogućena je površinska eksploatacija do većih dubina. S gledišta ekonomskog uspjeha, veći su površinski kamenolomi imali prednost. Radom u površinskom kamenolomu ostvarivala se veća dnevna proizvodnja uz veće iskorištenje mineralnih rezervi te bolje i sigurnije uvjete rada, pa se nastojalo, gdje god su to prilike ležišta dopuštale, otvarati kamenolome arhitektonsko-građevnog kamena površinskim načinom eksploatacije.

Pri odluci o načinu otvaranja temeljna misao vodilja mora biti najekonomičniji i najsigurniji način što potpunijeg vađenja blokova iz kamenoloma. Temelj za izbor načina otkopavanja je samo ležište, odnosno polje mineralne sirovine sa svim svojim podzemnim i površinskim značajkama. To su uglavnom slijedeći čimbenici: kakvoća i količina kamena, dekorativnost i ujednačenost boje, položaj slojeva, ujednačenost debljine slojeva, raspored i prostorni odnos diskontinuiteta, zemljopisni položaj i konfiguracija terena, kapacitet proizvodnje, životna dob ležišta itd.

Narav naslaga koje prekrivaju eksploatacijski sloj kamene mase, stupanj kompaktnosti, tvrdoća, žilavost, vodunosnost, poglavito debljina tih naslaga, često su odlučujući čimbenici izbora površinskog ili podzemnog otvaranja kamenoloma. Prednost podzemnoj eksploataciji daje se u slučaju debelih jalovih pokrova velike čvrstoće, poglavito kad je konfiguracijski položaj takav da se jednom dijelu ležišta može prići bez uklanjanja takve jalovine. Primjer takvog ležišta s dva različita kontaktna materijala (mramor između škrljaca) s bitno različitim fizičko-mehaničkim značajkama jalovog pokrova i korisne supstancije je stari kamenolom mramora Lasa-Bolzano u Italiji (slika 7.1.).

Klimatske prilike također utječu na izbor otvaranja podzemnog kamenoloma. Zimi se na površinskim kamenolomima ne može piliti zbog smrzavanja vode. Veliki broj podzemnih kamenoloma u području Carrare otvoren je baš iz tog razloga. Najčešće isti vlasnik ima površinski kamenolom u kojem radi veći dio godine, dok se u podzemlju radi sezonski - uglavnom zimi (slike 7.2., 7.3. i 7.4.).

Pri donošenju odluke je li bolje otvoriti kamenolom s površinskim ili podzemnim načinom rada, ne smiju se zanemariti ni poteškoće pri rješavanju imovinsko pravnih odnosa nadasve sve stroži zahtjevi očuvanja prirode. S tih motrišta prednost ima podzemna eksploatacija poglavito u područjima naglašene pejzažne i turističke vrijednosti, gdje je i najveći broj naših kamenoloma.

7.1. PODJELA KAMENOLOMA

Obzirom na položaj, odnosno na otvaranje i razradu ležišta kamenolomi arhitektonsko - građevnog kamena dijele se, kao i kopovi ostalih mineralnih sirovina u dvije temeljne grupe:

- kamenolome s površinskim načinom eksploatacije (dnevni kopovi), i
- kamenolome s podzemnim načinom eksploatacije (podzemni kopovi).

Kamenolomi s površinskim načinom eksploatacije dijele se, obzirom na položaj eksploataibilne mase u prostoru na:

- površinske brdske ili visinske kamenolome (slika 7.5.), i

- površinske nizinske kamenolome.

Nadalje površinski nizinski kamenolomi dijele se na:

- plitke, najčešće jednoetažne kamenolome (slika 7.6.), i
- dubinske, višetažne kamenolome (slika 7.7.).

Kamenolomi s podzemnim načinom eksploatacije (slika 7.8.) dijele se samo po metodi eksploatacije, iako se uglavnom svi eksploatiraju sa komorno-stupnom metodom otkopavanja. Pri primjeni ove metode dijele se na one koji imaju pravilan i na one koji imaju nepravilan raspored zaštitnih stupova.

U prijelazni oblik između površinske i podzemne eksploatacije spadaju kamenolomi koji se eksploatiraju podsijecanjem ili radom pod “strehom”. To je ustvari prijelaz na pravi podzemni rad, odnosno to je djelomično podzemno dobivanje pri kojem za osvjetljenje radilišta služi dnevno svjetlo (slike 7.9. i 7.10.).

7.1.1. Površinski brdski kamenolom

Zakonska odredba po kojoj rudarsko poduzeće mora sanirati devastirano područje već u tijeku izvođenja rudarskih radova utječe na način otvaranja i razvoja površinskog brdskog kamenoloma. Suvremeni efikasni ekološko usmjereni način eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena površinskim brdskim kopom zahtijeva višetažni način razvoja kamenoloma, sa sukcesivnim napredovanjem eksploatacije od viših ka nižim etažama, kako bi se moglo započeti sanacijom i rekultivacijom otkopanih prostora prije iscrpljenja ležišta. Eksploatacija se forsira na najvišim etažama, kako bi se postupno razvijale i niže etaže, a na najvišim po njihovom iscrpljenju započelo s rekultivacijom. Etaže se rastvaraju usjecima, koji otvaraju po dva odvojena banka omogućujući tako jednostavnu i istovremenu eksploataciju na oba banka. Otvaranje usjeka na svakoj etaži, postiže se efikasno rastvaranje ležišta s velikim brojem radilišta, što garantira kontinuiranu intenzivnu proizvodnju. Visine etaža ovise o strukturnom sklopu ležišta, ali se nastoji razviti visoke široke etaže s dvostrukim pristupnim putovima do svake etaže. Visoke široke etaže s dugim radnim čelima omogućavaju vađenje velikih primarnih blokova i rad mehanizacije (posebice pila) s optimalnim kapacitetima.

Otvaranjem i razvojem površinskog brdskog kamenoloma od “vrha prema dnu”, umjesto često primjenjivanog načina “odozdo prema gore”, omogućena je tzv. tekuća sanacija, po kojoj se pretežiti dio radova na tehničkoj i biološkoj sanaciji završi tijekom eksploatacije. Troškovi rekultivacije terete direktno eksploataciju, a nakon završetka eksploatacije ostaju za sanaciju samo manji dijelovi ležišta. Osim toga razvojem viših etaža u odnosu na niže rasterećuje se stijenska masa, odnosno smanjuju naprezanja i eventualna deformabilnost nižih dijelova ležišta.

Najveći broj naših ležišta otvoreno je i razvijeno kao površinski brdski kamenolomi. Na slikama 7.11., 7.12. i 7.13. prikazani su dva površinska brdska visinska kamenoloma karbonatnih stijena i jedan kamenolom stijena silikatnog sastava.

7.1.2. Površinski dubinski kamenolom

Otvaranje i razvoj površinskog dubinskog kamenoloma razlikuje se bitno od otvaranja i razvoja kamenoloma brdskog tipa. Kod dubinskog kamenoloma zalihe kamena se nalaze ispod osnovnog radnog platoa, pa blokove treba izvlačiti (dizati) s dubinskih etaža na osnovni nivo kopa. Kad eksploatacija dubinskog kamenoloma zahvaća zalihe i ispod nivoa mora, a radne površine kopa neposredno graniče s

morem, kao što je to slučaj u našem kamenolomu Sivac, onda se javljaju i dodatne teškoće, jer treba spriječiti prodor mora kroz stijensku masu u kamenolom.

Kamenolom se otvara izradom zaloma dubine koja odgovara dužini ruke lančane sjekačice. Zalom se radi u zdravoj kompaktnoj stijeni po mogućnosti u radnom prostoru dizalice. Nakon otvaranja zaloma isti se višestranom proširuje. Proširenjem dubinskog dijela za veličinu primarnih blokova stvara se prostor za dalje spuštanje, tj. otvaranje (produbljavanje) novog "bunara".

Primjeri našeg površinskog nizinskog plitkog kamenoloma su kamenolomi Kirmenjak, Selina, pa i Kanfanar u Istri. Površinski kop Kirmenjak dugačak je npr. oko 2,5 km.

Kao poseban primjer površinskog otkopavanja je kamenolom Sivac-Sivac jug kraj Pučišća. Prema položaju na osnovnu razinu kamenoloma u ovom se ležištu dio rezervi nalazi iznad osnovne razine, tj. eksploatira se kao površinski visinski kamenolom (slika 7.14.), a dio ležišta ima rezerve ispod osnovnog nivoa i eksploatira se kao površinski dubinski kamenolom (slika 7.15.), s izvlačenjem (dizanjem) blokova s dubinskih etaža na osnovnu razinu. Ovaj kamenolom spada također i u skupinu obalnih kopova jer mu radne površine graniče neposredno s morem. Otvaranjem etaža visine 9 m po cijeloj visini ležišta ostvaren je potpuni razvitak kamenoloma, s 10 etaža na južnom dijelu ležišta, koje se otkopavaju površinskim visinskim načinom eksploatacije, te 3 pseudoetaže na sjevernom dijelu koje se otkopavaju površinskim dubinskim načinom eksploatacije. Karakteristični pojednostavljeni lomljeni presjek generalno razvijenog kamenoloma Sivac - Sivac jug s etažama visine 9 m prikazan je na slici 7.16. Eksploatacija dubinskog dijela kamenoloma dosegla je kotu ispod -30 m ispod nivoa mora. Zbog neposredne blizine mora i kavernoznosti naslaga kop se štitio od prodora mora injektiranjem.

Na slikama 7.17., 7.18. i 7.19. prikazana su još tri primjera kamenoloma s površinskim dubinskim načinom otkopavanja.

7.1.3. Podzemni kamenolom

Pri podzemnoj eksploataciji karbonatnih stijena najrasprostranjeniji je galerijski način otkopavanja. Izradom prostranih galerija (prostorija), s ostavljanjem ili gradnjom potpornih stupova, osigurava se velika proizvodnja uz bezopasno i učinkovito iskorištenje ležišta. Kamenolom se otvara u masi zdrave korisne stijene, piljenjem i vađenjem kvalitetno oblikovanih blokova, tako da ti radovi gube karakter pripreme. Nakon otvaranja ulazne galerije, ležište se razrađuje po površini i visini zahvaćanjem novih okolnih prostorija, s organizacijom rada sukladno površinskom otkopavanju (slika 7.20.). Kamenolomi se otvaraju na mjestima gdje je topografija terena takva da se u korisnu masu može ući direktno sa usjekom. Veoma često su otvoreni kao jedan kamenolom ili kao nekoliko kamenoloma i to jedan kraj drugoga. Pri podzemnoj eksploataciji stvaraju se veliki podzemni prostori u kojima se koriste teške otkopne ili utovarne jedinice kao utovarači i bageri svi s dizelskim pogonom, pa je potrebno osigurati njihovo učinkovito zračnjenje (slika 7.21.).

U Hrvatskoj na otočiću Vrniku postoje ostaci podzemne eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena iz rimskog razdoblja u obliku podzemnih svodova. U to vrijeme još nije bio poznat eksploziv i kamen se često vadio podzemnim potkopom. U dolini rijeke Mirne zapadno od Buzeta, nizvodno od njezina kanjanskog dijela (Željezna vrata), iznad sela Sveti Stjepan nalazi se istoimeni napušteni dobroočuvani podzemni kamenolom arhitektonsko građevnog kamena s nizom ulaznih otvora i podzemnih galerija (slike 7.22. i 7.23.). Procjenjuje se da je

kamenolom otvoren polovicom osamnestog stoljeća, a radio je aktivno do 1960. godine, kada je sirovina bila praktički iscrpljena.

Jedino aktivno ležište koje se danas eksploatira podzemnim načinom otkopavanja je ležište Kanfanar u Istri (slike 7.24., 7.25. i 7.26.). Ušćuvane galerije s potpornim (sigurnosnim) stupovima i vidljivim, jasno izraženim, strukturnim sklopom stijenske mase starog kamenoloma Sveti Stjepan, korisno su poslužili pri izučavanju elemenata i parametara pri otvaranju podzemne eksploatacije u ležištu Kanfanar. Probna podzemna eksploatacija u ležištu Kanfanar započela je 1995. Probni je kamenolom otvoren ispod male otkrivke (slika 7.27.), jer je to bilo jedino mjesto gdje se moglo raditi bez utjecaja na redovnu proizvodnju.

7.2. RAZVITAK SREDSTAVA I TEHNOLOGIJA DOBIVANJA KAMENIH BLOKOVA

Prema zapisima starog Egipta, jedna od najstarijih alatki koja se rabila pri dobivanju i obradi kamena bile su kugle dolerita 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 se kuglom polagano razarala površina stijene tvoreći utore koji su kasnije prerasli 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 nađenih kamenih kugli ili oblutaka u kamenolomima su između tri i šest kilograma.

Za otkapanje 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 za tu svrhu imati veću tvrdoću od stijene, pa su se bakrena i brončana dlijeta i pijuci rabili samo u vapnencima.

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 veoma vjerojatna.

Bušenje kamena pomoću cijevi, bakrene, brončane ili bambusove trske, s abrazivnim prahom i vodom, primjenom rotacije i pritiska rabilo se već u starom Egiptu (slika 7.28.)

Cijepanje kamena je operacija kojom se od stijenske mase odvajaju veliki blokovi koji se naknadno obrađuju. Za cijepanje su se rabili suhi drveni klinovi nabijeni u prirodne diskontinuitete, koji su nakon toga polijevani s vodom. Natopljeno je drvo počelo bubriti čime je narastao tlak kojim se kamen cijepao duž ravnine najmanjeg otpora. Taj je postupak bio u uporabi više u vapnencima nego li 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 nije bilo dobivanja blokova kamena vjerojatno je našla svoju primjenu u vrlo ranoj povjesti čovjeka. Pri dobivanju blokova kamena, za njihovo odvaljivanje i dizanje, poluga je nezamjenjiva (slika 7.29.). Poluga je u

kamenolomima različite nazive, a jedan od popularnijih iz šezdesetih godina dvadesetog stoljeća 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.

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 plahi 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 posebice učinkovit za granite. Glavni sastojci granita jesu kvarc i feldspat, minerali različitog toplinskog koeficijenta rastezanja, 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.

Pojavom kovanih željeznih alatki počele su se rupe u stijeni izrađivati ručnim načinom dlijetom i čekićem, uz zakretanje dlijeta u rupi. Tako se radilo do druge polovine XIX. stoljeća, kada počima primjena strojnog bušenja zračnim bušačim čekićem, a poslije i hidrauličnim čekićem. Kameni blok se od stijene odvaljivao bilo pobijanjem klinova, bilo uporabom "vatrene prahe" ili baruta, a kasnije i detonirajućeg štapina. Barut se u Europi počima primjenjivati u XIII. st., 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 komornim načinom miniranja. Budući se stijena na taj način u dobroj mjeri uništavala, ta je metoda ubrzo napuštena.

Uvođenjem helikoidalne žične pile s abrazivnim prahom (kremenim pijeskom), koncem XIX. st., unaprijeđena je izrada rezova u stijenskoj masi. U nas se prva helikoidalna žična pila uporabila na dobivanju blokova kamena 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 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 u ostale kamenolome na otoku Braču. Uvođenjem električne energije u bračke kamenolome 1958. helikoidalna žična pila u potpunosti osvaja kamenolome.

Dalji napredak rezanja blokova u stijenskoj masi postignut je uvođenjem dijamantne žične pile (1977. god.) i lančane sjekačice u nas 1980.

Osim žičnih pila i sjekačica za rezanje kamena 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.

Za dobivanje blokova granita rabi se rezanje plamenom, tzv. plameno-mlazno dobivanje. Kod nas, budući da nema dobivanja granita, takva se tehnologija ne koristi. Zbog toga, se ta kao i ostale tehnologije granita u ovom udžbeniku neće razmatrati.

Tehnologija vodenim mlazom pod velikim tlakom je još uvijek u razvojnoj fazi i koristi se samo na ležištima granita pa se ni ona dalje neće razmatrati.

7.2.1. Razvoj metoda dobivanja blokova

S razvitkom alati za kopanje, rezanje, bušenje i odvaljivanje kamena razvijaju se i metode dobivanja. Dobivanje kamena je proces koji datira u daleku prošlost čovječanstva. Dobivanje površinskim kao i podzemnim otkopnim metodama zabilježeno je tijekom povijesti u svim krajevima zemaljske kugle. Prva “prava” metoda, poslije najobičnijeg sakupljanja kamena, počima uporabom poluge i primitivnih alati za kopanje. Polugom se prvo počimlju dobivati kameni “samci” što su se nalazili okruženi zemljom. Prema dostupnim podacima, prvo rudarsko dobivanje blokova nalazimo u Egiptu. Stari su Egipćani za potrebe graditeljstva dobivali vapnenca, pješčenjake, alabaster, granit i bazalt. Blokovi su se dobivali izradom paralelnih kanala i dizanjem po plohi oslabljenja. Već su se u to vrijeme blokovi kamena vadili iz podzemnih kopova. Kod svih tih eksploatacije rabile su se opisane alatke za rezanje, bušenje i odvaljivanje. Tehnologiju Egipćana naslijedili su Grci i kasnije Rimljani.

Na našem su tlu u doba Ilira i nemirnim stoljećima podizane gradine od velikih pločastih blokova kamena autohtonog porijekla, tanje ili deblje slojevitih vapnenaca. Visine tih blokova u gradinama odgovaraju debljinama slojeva vapnenca. Znači da su se u plitkim površinskim kamenolomima jednostavnim podizanjem pomoću poluge blokovi odvajali duž prirodnih diskontinuiteta, slojnica. Ostale su se plohe ploča najvjerojatnije odvajale duž pukotinskih diskontinuiteta, obično približno okomito na slojevitost. Dalje dotjerivanje i oblikovanje ploča bilo je jednostavno, oklesavanjem okomito na slojevitost. Na isti su način dobivene 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 vapnenca horizontalne ili neznatno nagnute. Kamenolomi su bili znatnijeg prostiranja kad se upad slojeva podudarao s nagibom terena. U protivnom se površ povoljnih naslaga veoma brzo povećavala debljina nekorisne krovine, što je uzrokovalo preseljenje eksploatacije na drugo mjesto.

Ostaci antičkog kamenarstva u Hrvatskoj 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 dlijetom i čekićem ili pijukom šiljkom izrađivani kanali ili “pašarini”, koji mogu biti znatnih dubina, poput onoga u antičkom kamenolomu Splitska na otoku Braču (slika 2.7.) Na taj je način bloku kamena koji se otkopava oslobođeno pet ploha. Šesta je ploha obično horizontalno položena i oslobađa se izradom utora ili “formela” i pobijanjem klinova uložениh u njih. Formele su se obično izrađivale duž naglašenih slojnica. Izrada pašarina i formela nije trebala predstavljati poseban problem, budući su svi antički kamenolomi u nas u vapnencima.

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

Pojavom deflagratnog eksploziva, baruta iz Kine, došlo je do temeljite promjene u tehnologiji eksploatacije kamena. Počelo se 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 u karbonatnim stijenama ostao u uporabi kao pomoćno

sredstvo pri miniranju debljih krovinskih naslaga, uz prethodnu izradu umjetnog diskontinuiteta između otkrivke i korisne sirovine ispod nje. Eksploziv se danas uspješno rabi pri eksploataciji “bouldera”, velikih prirodnih blokova samaca eruptiva, a i u brojnim kamenolomima granita (eruptiva, tj. kamena silicijskog sastava).

Uporaba baruta u našim kamenolomima datira polovinom ovoga stoljeća. U kamenolomu Kirmenjak barutom je “odrezan banak” koji se kasnije bušenjem i cijepanjem 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 arhitektonsko-građevnog kamena se rabi detonirajući štapin (gotovo do pojave dijamantne žične pile) koji se stavljao u bušotine izbušene u nizu na razmaku od 15ak centimetara. Istovremenim aktiviranjem štapina dolazilo je do cijepanja, odvajanja i odguravanja blokova od stijenske mase. U bušotine se često stavljala voda radi pojačanja djelovanja eksploziva (štapina).

Pojavom helikoidalne žice počinje pravi razvoj različitih tehnologija eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, kako na površini, tako i u podzemlju. Uporabom žice kao transportera kremenog pijeska dobila se mogućnost izrade horizontalnih, kosih i vertikalnih rezova velikih površina, koje su u kamenolomima u Istri dosezale do 1400 m/rezu. Uvođenjem ovih strojeva u kamenolome razvijaju se sustavi eksploatacije koji koriste mikrotektonske značajke ležišta u kombinaciji s gravitacijskom silom. Tada se prvi put spominje pojam “primarni blok”, veliki odvaljeni dio stijene čijih je svih šest ploha slobodno i koji je približno paralelopipednog oblika (slika 7.30.). Tehnologijom rezanja žicom teži se dobivanju što većeg primarnog bloka, kako bi se od njega dobivali sekundarni, a iz njih blokovi komercijalnih dimenzija.

Uvođenjem dijamantne žične pile i lančane sjekačice dolazi do zamjene helikoidalne žične pile iz kamenoloma i promjene tehnologije dobivanja.

7.3. SUVREMENI TEHNOLOŠKI PROCESI EKSPLOATACIJE

Za vrijeme dosadašnje dugogodišnje eksploatacije na našim kamenoloma primjenjivane su razne metode i tehnologije rada. Cilj svih tehnologija je dobivanje komercijalnih blokova pogodnih za dalju preradu uz što manje oštećenje stijenske mase, a time i samog bloka. Od svih primjenjivanih metoda najbolje iskorištenje stijenske mase pokazale su metode eksploatacije bez uporabe eksplozivnih sredstava, tj. upotrebi eksploziva samo pri skidanju otkrivke. Te metode temeljene na piljenju, sastoje se od dobivanja primarnih blokova iz produktivnog sloja, piljenjem, nekad klasičnom, a danas dijamantnom žičnom pilom i lančanom sjekačicom i zatim razrezivanjem primarnog bloka na komercijalne blokove također bez uporabe eksploziva.

Blokovi kamena dobiveni bez uporabe eksploziva nemaju prikriivenih pukotina izazvanih miniranjem i zato je ta metoda prihvaćena kao temelj tehnološkog procesa eksploatacije. Taj proces obuhvaća pri površinskoj eksploataciji: uklanjanje otkrivke s eksploatacijskog sloja, zatim pripremne radnje za otvaranje usjeka (kanižele) i dobivanje primarnih blokova, pa rastvaranje ležišta izradom usjeka, dobivanje (piljenje) primarnih blokova (feta), njihovo prevrtanje, te konačno dobivanje komercijalnih blokova. Primjenom lančane sjekačice i dijamantne pile na otvaranju usjeka ovi radovi sve više gube karakter pripreme, jer se pri njihovom

izvođenju dobivaju primarni, a potom komercijalni blokovi gotovo na identičan način kao i pri redovnoj eksploataciji.

Dugogodišnja primjena klasične - helikoidalne žične pile u eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena ostavila je vidne tragove u razvoju kamenoloma i metoda eksploatacije. O učinku te pile ovisila je proizvodnja cijelog kamenoloma. Zbog malog učinka tog stroja nastojalo se kombinirati nekoliko metoda s ciljem povećanja proizvodnje. Opće prihvaćeni način eksploatacije u većini kamenoloma postala je kombinacija piljenja helikoidalnom žičnom pilom, te bušenje i cijepanje kamena primjenom detonirajućeg štapina. Nastojalo se nadalje doći do povećanja proizvodnje iznalaženjem čimbenika eksploatacije, kod kojih će udio piljenja biti minimalan. Dugogodišnjim radom i eksperimentiranjem usvojena je za to kao najprihvatljivija visina etaže oko 4 m. Međutim, unatoč maksimalnom smanjenju udjela reza helikoidalne žice u m³ bloka, usko grlo na kamenolomima ostala je i nadalje žična pila, tj. dugotrajno piljenje. Uvidjelo se također, da primjena detonirajućeg štapina štetno djeluje na kamen, jer su se u stijenskoj masi javljale prikrivene mikroskopske pukotine, koje su se kasnije ispoljavale pri obradi ili ugradnji kamenih proizvoda, poglavito što se u praksi često (zbog povećanja proizvodnje) primjena štapina zlorabila, tj. upotrebljavala veća količina od dozvoljene. Saznanja da se povećana proizvodnja ostvaruje na uštrb iskorištenja blokovske kamene mase, odnosno kvalitete blokova, uvjetuju postupno izbacivanje eksplozivnih sredstava iz eksploatacije kamena.

Pojavom dijamantne žične pile, kojoj je učinak višestruko veći od učinka klasične - helikoidalne pile, riješen je problem dugotrajnog piljenja. Dijamantna žična pila postaje dominantan stroj na kamenolomima. Kamenolomi se sve više formiraju tako da budu maksimalno prilagođeni tehničkim značajkama i mogućnostima rada dijamantne žične pile. Nesumljive prednosti dijamantne žične pile nad klasičnom - helikoidalnom pilom dovode do postupne zamjene klasične pile dijamantnom pilom, a ubrzo i do potpunog izbacivanja klasične pile iz kamenoloma najprije u Italiji, a potom i u drugim zemljama npr. Grčkoj, Španjolskoj, Portugalu i Hrvatskoj.

Uvođenjem dijamantne žične pile u eksploataciju arhitektonskog kamena, ne samo da je ubrzana i unaprijeđena proizvodnja, već su bitno izmijenjena stajališta o mogućnostima i načinima dobivanja blokova arhitektonskog kamena. Relativno mala površina reza dijamantne žične pile u odnosu na klasičnu pilu, dovodi do potpuno drugačijeg rastvaranja i razvoja etaža, a i načina vađenja blokova kamena. Rad dijamantne žične pile iziskuje daleko veće pripremne radove nego što je bio slučaj kod klasične pile. Težište rada na kamenolomu prenijelo se s faze piljenja na fazu pripreme. Dva su temeljna razloga za to. Prvo brzina piljenja (učinak) dijamantne žične pile je daleko veća od helikoidalne pile. Veća brzina piljenja daje veći napredak, što zahtijeva brže otvaranje i pripremu novih površina za piljenje. Drugi razlog povećanog obujma pripremnih radova kod dijamantne žične pile je taj što su potrebni veći pripremni radovi po jedinici piljene površine, jer su površine optimalnih rezova dijamantne žične pile daleko manji nego kod klasične pile, a za svaki rez bez obzira na njegovu veličinu treba napraviti gotovo istu količinu pripremnih radova. Organizacija pripremnih radova mora biti takva da dijamantna žična pila, što više radi i da ima što je moguće manje zastoja izazvanih, među ostalim, čekanjem na završetak bušenja. Bušenje mora uvijek brže napredovati od piljenja. Da se to postigne mora se brže napredovati s ostalim radovima na rastvaranju ležišta. Važnost i intenzitet tih radova raste s porastom broja dijamantnih pila u radu. Kamenolomi koji imaju veći broj dijamantnih žičnih pila moraju naročitu pozornost posvetiti pripremnim radovima i razvoju kamenoloma, kako bi se osigurao

što veći broj radilišta s više etaža s pristupnim putevima do svake etaže. Točna i pažljiva priprema daje najbolje uvjete za visoku produktivnost rada. U većini kamenoloma kod toga je temeljni problem slaba otvorenost, proizišla kao rezultat ranijeg načina eksploatacije ležišta. To dodatno otežava i povećava pripremne radove neophodne za rad dijamantne žične pile. Povećanjem brzine piljenja povećana je proizvodnja i napredovanje kamenoloma, što iziskuje brže skidanje otkrivke i veću angažiranost mehanizacije za te radove. Transport otkrivke i mineralne sirovine postale su važnije stavke u radu kamenoloma.

Povećani pripremni radovi na bušenju povlače veći angažman bušilica, kao i druge mehanizacije vezane za pripremne radove vađenja blokova, kao što su premještanje strojeva, izrada posteljice, čišćenje etaža, razvoženje blokova, utovar i transport komercijalnih blokova i slično. Sve ovo su elementi koji povlače za sobom nov način pristupa radu u kamenolomu.

U Hrvatskoj postoje velike rezerve stijenske mase, koja je sva sedimentnog postanka. U toj stijeni su stari kamenari vadili kamen držeći se temeljnog pravila da se sva cijepanja i rezanja izvode po smjeru pukotina poštujući slojevitost - veraš (tal. verso) stijene, koja je u prirodi nastala prilikom stvaranja sedimentnih naslaga. Jedino su se iz tako izvađenog bloka mogle piliti ploče po slojevitosti - na veraš (površina ploče paralelna sa slojevitošću) koje su mogle izdržati velika naprezanja na pritisak i udar. Ploče obrađene okomito na slojevitost - preko verša (tal. contro verso) imaju malu otpornost na pritisak i udar. Rezanje kamena ukoso preko slojevitosti, značilo je njegovo uništenje, jer mu se otpornost, u bilo kojem smjeru naprezanja, jako smanjila (slika 7.31.).

Suvremeni tehnološki ciklusi površinskog otkopavanja su:

- uklanjanje otkrivke,
- otvaranje, te rastvaranje ležišta izradom usjeka,
- odvajanje primarnih blokova iz stijenske mase,
- obaranje primarnih blokova na radni plato etaže,
- četvrtanje primarnih u komercijalne blokove.

Podzemna eksploatacija se sastoji od slijedećih tehnoloških ciklusa:

- otvaranje podzemnih ulaza na jednoj ili više razina,
- izrada hodnika i dobivanje blokova iz njih,
- izrada zaštitnih stupova u materijalu lošijih fizičko –mehaničkih i geotehničkih značajki,
- izrada komora u kojima se dobivaju blokovi uobičajenim površinskim metodama.

Hoće li u određenom ležištu biti zastupljeni svi ciklusi ovisi o naravi ležišta. U podzemlju se kao i na površini izbjegava uporaba eksplozivnih sredstava. Eksploziv je odigrao veliku ulogu i još se uvijek koristi pri eksploataciji eruptivnih stijena. Međutim, usavršavanjem dijamantnih alata za tu vrstu stijena, dijamantna žična pila i ovdje zamjenjuje eksploziv, tako da i ti kamenolomi poprimaju sve značajke kamenoloma stijena karbonatnog sastava.

Pri podzemnom otkopavanju uglavnom se koristi poznata rudarska metoda room and pillar (stupno-komorna metoda), koja u sebi sadrži određene inačice ovisno o tipu ležišta. Neke od tih inačica su:

- eksploatacija s pravilno raspoređenim stupovima
 - a. eksploatacija s velikim komorama i stupovima velikog presjeka,
 - b. eksploatacija s malim komorama i stupovima malog presjeka,
- eksploatacija s nepravilno raspoređenim stupovima
 - a. s velikim komorama i stupovima velikog presjeka,
 - s malim komorama i stupovima malog presjeka,

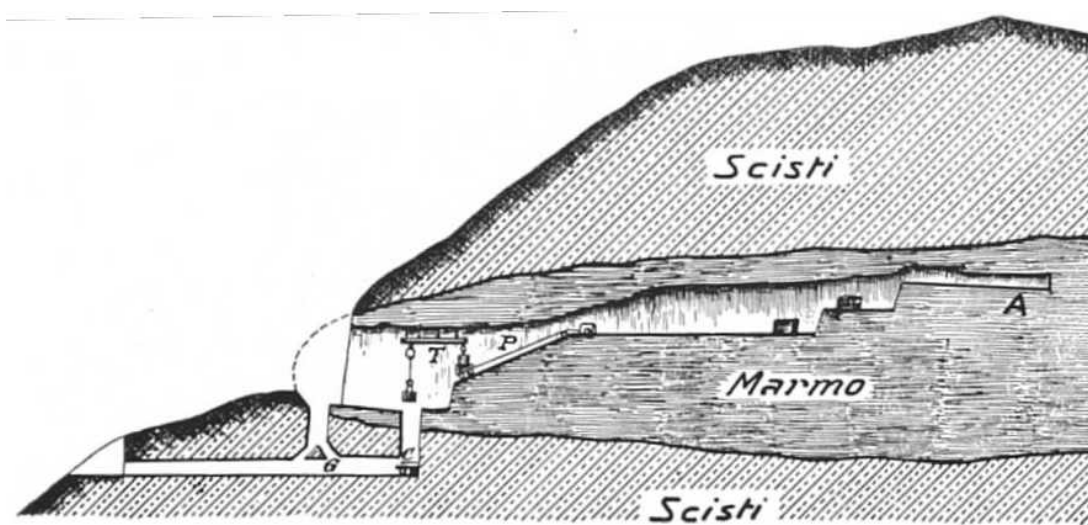
- eksploatacija hodnicima (tunelima) među kojima su stupovi u obliku membrane ili zida (slika 7.32.).

Svaki od ovih načina otkopavanja može se odvijati u jednoj ili više etaža što ovisi o moćnosti eksploatacijskog sloja. Nagib radnog platoa je uglavnom horizontalan, međutim razvijeni su i kamenolomi u kojima su stupovi i radni platoi postavljeni pod kutom zalijeganja korisne sirovine.

Ova podjela obuhvaća većinu načina otkopavanja, međutim svako ležište ima svoje specifičnosti, pa se i načini otkopavanja modificiraju prema tim specifičnostima.

Otkopavanje arhitektonsko-građevnog kamena podzemnim načinom, isto kao i površinskim ima niz značajki koje ga razlikuju od istovrsnog otkopavanja ostalih mineralnih sirovina. Jedne od tih temeljnih značajki su:

- otkopavanje se odvija u najzdravijim dijelovima stijenske mase, tektonski neporemećenim zonama bez mikrodiskontinuiteta, a u stupovima se, za razliku od klasičnog rudarenja, ostavlja stijena lošije kvalitete,
- većina kopova se otvara potkopima (usjecima),
- podzemno otkopavanje karakterizira najčešće veći broj ulazno/izlaznih hodnika,
- otvaraju se veoma veliki podzemni prostori u odnosu na druge mineralne sirovine.



Sezione di un cantiere sotterraneo nelle cave di Lasa

Slika 7.1. - Stari podzemni kamenolom mramora Lasa-Bolzano u Italiji



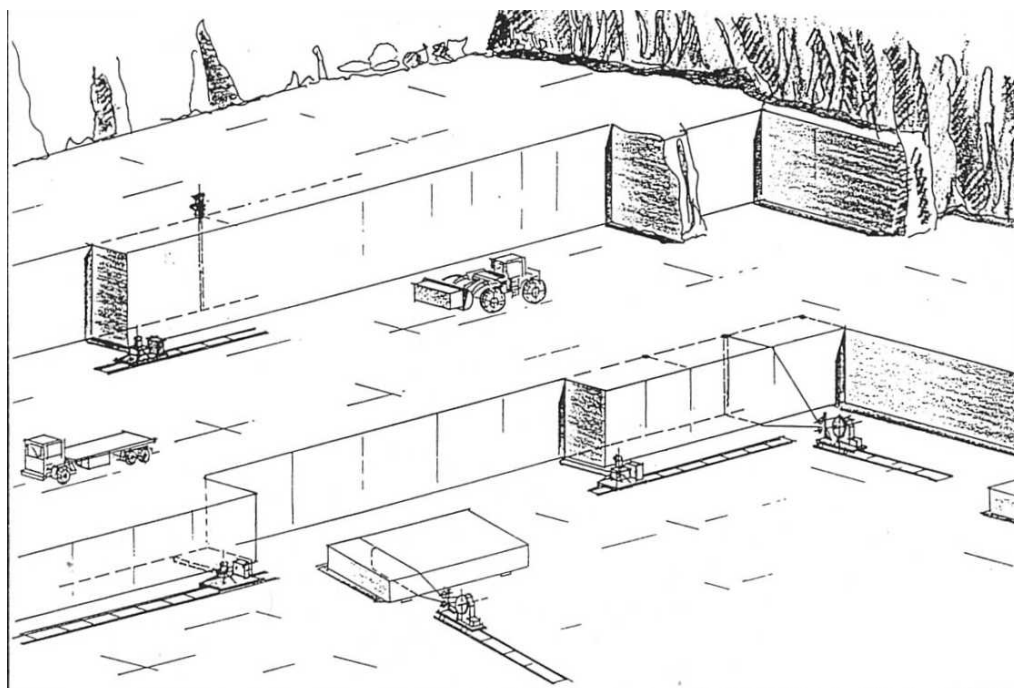
Slika 7.2. - Površinska i podzemna eksploatacija mramora u najvišim dijelovima Apuanskih alpi (Carrara)



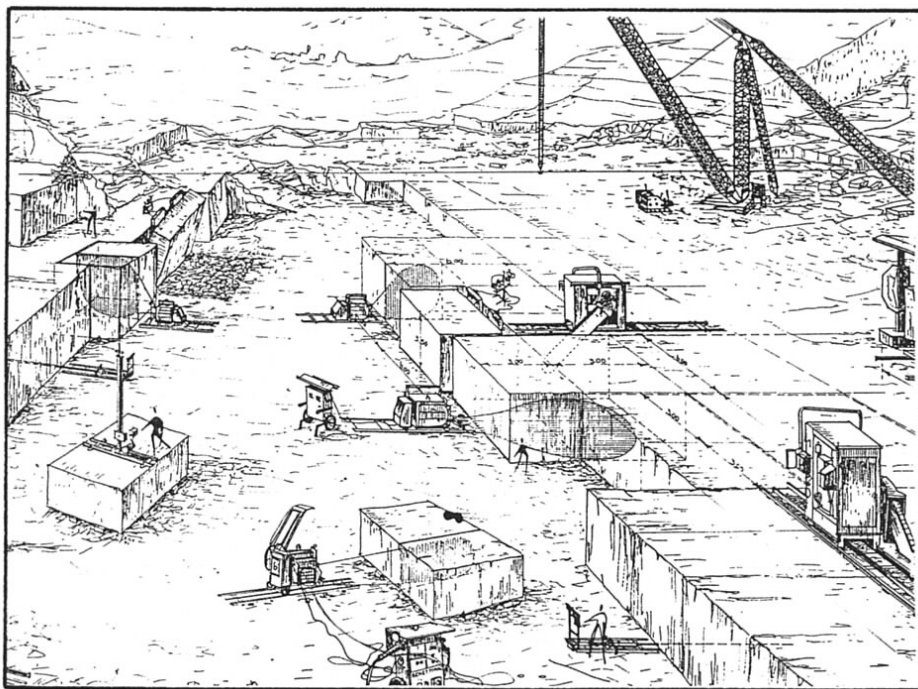
Slika 7.3. - Istovremena površinska i podzemna eksploatacija na području Carrare



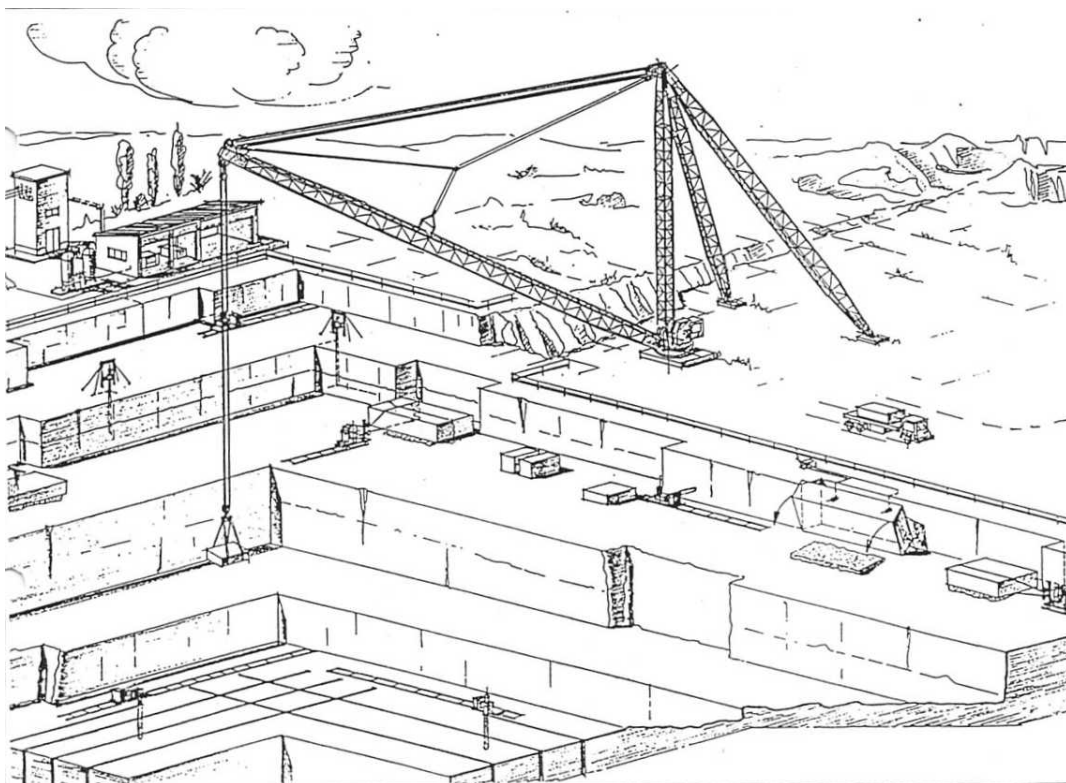
Slika 7.4. - Prijelaz iz površinske u podzemnu eksploataciju u ležištu Arabescato Cervaiola



Slika 7.5. - Shema površinskog brdskog visinskog kamenoloma



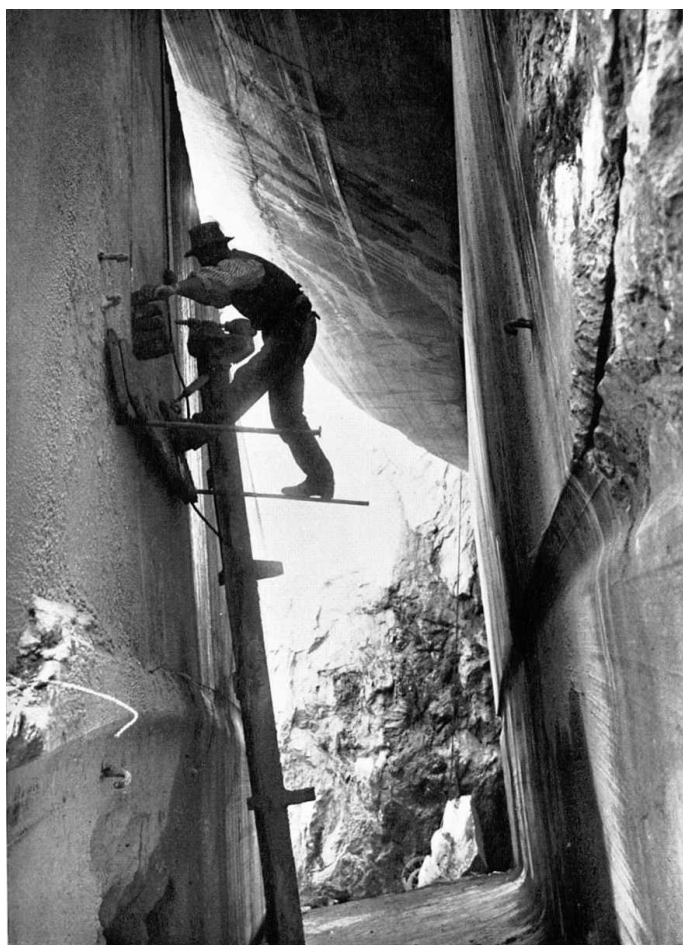
Slika 7.6. - Shema površinskog nizinskog plitkog kamenoloma



Slika 7.7. - Shema površinskog dubinskog kamenoloma

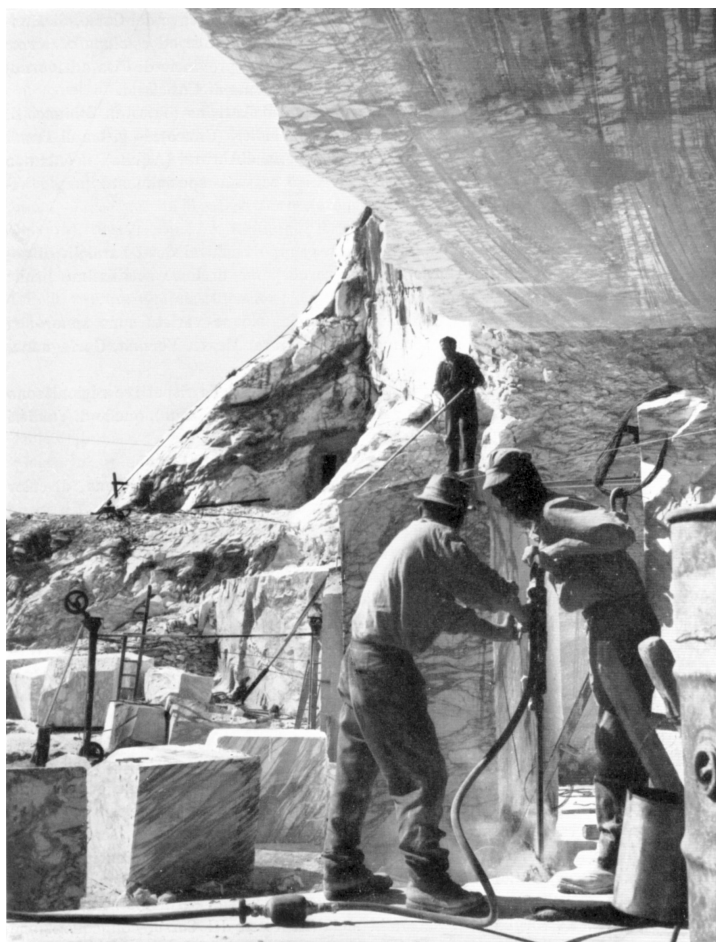


Slika 7.8. - Podzemni kamenolom



Il lavoro sulla «techia» nel Carrarese (Soc. Montecatini) (foto Michelino, Carrara)

Slika 7.9. - Podzemni kop, pod “strehom”



Slika 7.10. -Eksploatacija pod strehom u starom kamenolomu arabescata Monte Corchia (Italija)



Slika 7.11. - Površinski brdski višetažni kamenolom mramora Ruschita (Rumunjska)



Slika 7.12. - Površinski brdski višetažni kamenolom mramora na području Crevoladossola (Piemont, Italija)

FINSKA - Jedan od najvećih kamenoloma granita na svijetu

SOUVEN KIVITEOLLISUUS OY
FINSKA STENINDUSTRI AB
SF-23201 Vinkkilä, Finland



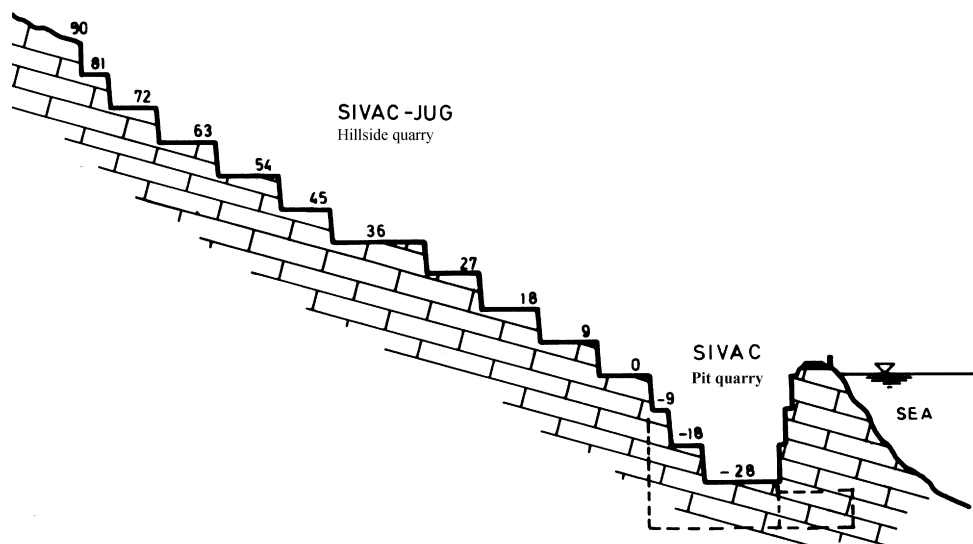
Slika 7. 13 - Jedan od najvećih kamenoloma granita na svijetu na području Vinkkila (Finska)



Slika 7.14. - Površinski visinski kamenolom Sivac-jug



Slika 7.15. - Površinski dubinski kamenolom Sivac



Slika 7.16. - Pojednostavljeni lomljeni presjek kroz kamenolom Sivac - Sivac jug



Slika 7.17. - Površinski nizinski “plitki” kamenolom na području Puglia (Italija)



Slika 7.18. - Površinski dubinski kamenolom s karakterističnim obilježjem eksploatacije isključivim korištenjem lančane sjekačice



Slika 7.19. - Površinski dubinski kamenolom na području Formazza (Piemont, Italija)



Slika 7.20. - Podzemno otkopavanje u višeetažno razvijenom kamenolomu



Slika 7.21. - Primjena dizelske opreme pri podzemnom otkopavanju



Slika 7.22. - Dio ulaznih galerija starog podzemnog kamenoloma Sveti Stjepan



Slika 7.23. - Komore i zaštitni stupovi u kamenolomu Sveti Stjepan u Istri



Slika 7.24. - Jedina aktivna podzemna eksploatacija kamena u ležištu Kanfanar



Slika 7.25. - Ulazne galerije podzemnog kopa Kanfanar



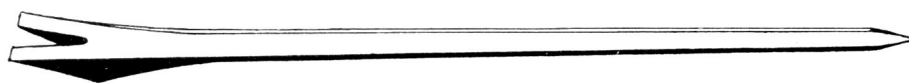
Slika 7.26. - Lančana sjekačica Fantini u podzemnom kopu Kanfanar



Slika 7.27. - Probna podzemna eksploatacija u ležištu Kanfanar 2



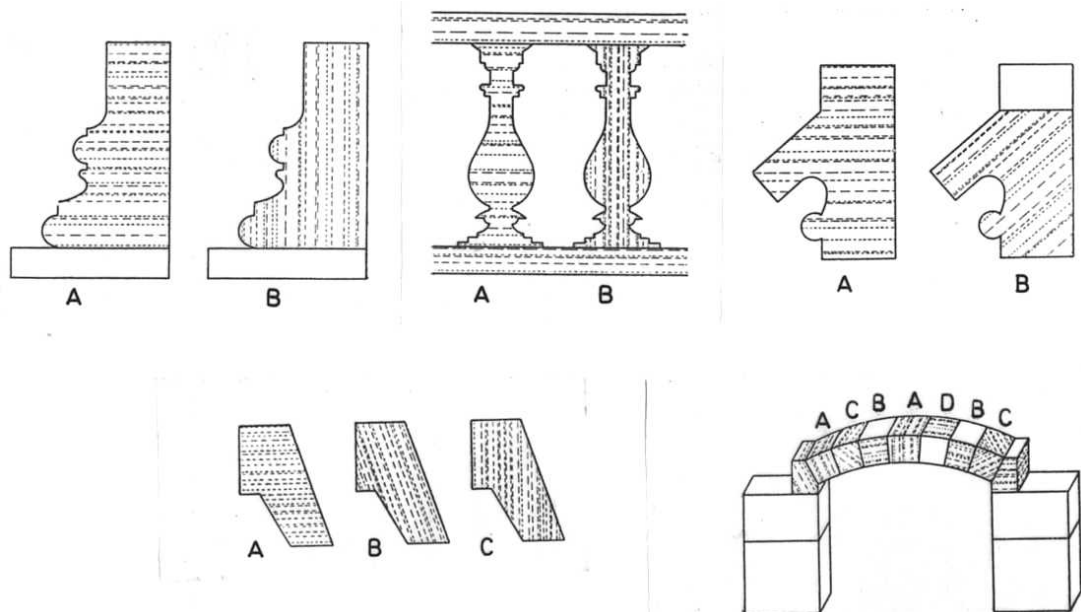
Slika 7.28. - Bušenje rupa u kamenu u starom Egiptu



Slika 7.29. - Poluga nezamjenjiva alatka u dobivanju kamena

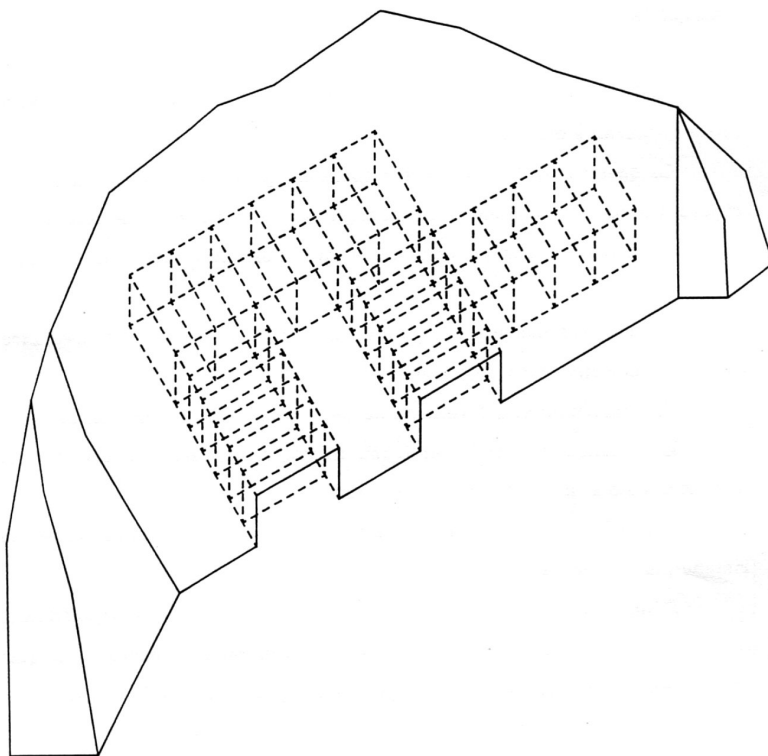


Slika 7.30. - Vađenje komercijalnih blokova iz velikog primarnog bloka arabescato na M. Altissimo (Italija)



Slika 7.31. - Pravilna i pogrešna obrada i ugradnja slojevitog kamena

Za balustrade, balkone, fijale i konzole treba sjeći kamen tako da se dobiju oblici A, po kojima se kamen lakše i sigurnije obrađuje i otporniji je na tlak i udar nego kad je obrađen na način koji prikazuju oblici B. Kuke od velikih komada slojevita kamena treba rezati na način da se dobije oblik A, a ne oblici B i C. Napokon ugrađivanje u svodove pravilno je prema položaju komada A, a nepravilno prema B i poglavito prema komadu C.



Slika 7.32. - Razrada podzemnog kamenoloma