

**UDRUŽENJE PRIVREDNIKA “JABLANICA”
JABLANICA**

KAMENJARSTVO

Jablanica, 2013.

UVOD

Kamen

“Kamen je od početka ljudskog života na zemlji bio čovjeku oružje i alat, nakit, stan i grobnica. Bio je jedno od trajnih sredstava njegovog stvaralaštva od prapočetka ljudske povijesti do danas” (C. Fisković)

Kamen je prirodni materijal, koji je sa drvetom najbliži čovjeku. Stepenn razvijenosti neke zemlje mjeri se količinom izvađenog, prerađenog, ugrađenog i finalizovanog kamena u različitim oblastima primjene.

U osnovi, kod kamena prednjači zanat, tehnika i vještina obrade i ugradnje, koja skoro graniči sa umjetnošću, i nikada nikoga ne ostavlja ravnodušnim.

Radove majstora za kamen opisivali su mnogi, a sve je počinjalo od eksploatacije iz ležišta kamena, kao i danas.

Kamen silikatnog porijekla (komercijalno „granit“) u industriji obrade arhitektonskog kamena (u nastavku AG kamen) zauzima značajno mjesto, kako u svijetu, tako, u posljednje vrijeme i na ovim prostorima. Iako su vapnenci i mramori izrazito dekorativni i plemeniti, graniti zbog svojih osobina: trajnosti, nepromjenjivosti izgleda i fizičko-mehaničkih svojstava imaju široku primjenu. Svestrano se koristi za oblaganje horizontalnih i vertikalnih površina interijera i eksterijera, pogotovo u uslovima „onečišćene atmosfere“ urbanog okoliša, za spomen obilježja, arhitekturu groblja, kiparstvo i sl..

TEMELJNE OSOBINE KAMENA SILIKATNOG PORIJEKLA

Na našem, kao i na stranom tržištu, pod zajednički komercijalni naziv „granit“ svrstavaju se stijene silikatnog sastava, eruptivne (magmatske) i metamorfne .

Magmatske stijene

Magma je rastaljeni stijenski materijal koji se nalazi ispod zemljine površine, a vrlo često se nakuplja u magmatskim komorama. Može sadržavati raspršene krute faze (sitni kristali) i volatilni materijal (otopljeni plinovi, većinom H₂O i CO₂). Temperatura magme kreće se od 650 °C do 1600 °C. Po definiciji, sve magmatske stijene nastale su iz magme. Magma se izdiže jer je manje gusta od stijena iz kojih je nastala. Kada

magma izbije (eruptira) na površinu Zemlje, uslijed vulkanske aktivnosti, naziva se lava. Erupcije vulkana, koje se događaju ispod okeana, nazivaju se submarinskim erupcijama.

Magmatske stijene nastaju kada se magma hladi, taloži i skrutnjava, sa ili bez kristalizacije, ispod površine zemlje kao intruzivne stijene, ili na površini kao efuzivne stijene. Obično je taloženje uzrokovano jednim ili više sljedećih procesa: povišenjem temperature, sniženjem pritiska ili promjenom sastava. Opisano je preko 700 vrsta magmatskih stijena, većinom nastalih ispod površine Zemljine kore.

Po načinu pojavljivanja, kao što je navedeno, magmatske stijene mogu biti intruzivne (plutonske) ili efuzivne (eruptivne, vulkanske).

Intruzivne magmatske stijene nastaju iz magme koja se hladi i skrutnjava unutar Zemlje. Okružena s već postojećim stijenama, magma se polagano hladi, što rezultira krupnozrnatom strukturom ovih stijena. Najčešće se mineralna zrna u ovakvim stijenama mogu razlikovati golim okom. Intruzivne stijene mogu se podijeliti, s obzirom na oblik i veličinu intruzivnog tijela, te njegov odnos prema ostalim formacijama u koje prodire. Tipični intruzivni oblici su: batolit, štok, lakolit, sil (sklad) i dajk .

Jezgre većine planinskih lanaca sastoje se od intruzivnih magmatskih stijena, obično granita. Kada su djelovanjem erozije izložene na površinu, ove jezgre (batoliti) zauzimaju golema područja Zemljine površine.

Intruzivne eruptivne stijene (graniti, sijeniti, tonaliti, gabri, dioriti, peridotiti) se od efuzivnih stijena razlikuju po nastanku, a sličnih su, ili istih obilježja kao efuzivne stijene.

Intruzivne (dubinske) i žične magmatske stijene daju odličan arhitektonsko – građevni kamen i tehnički kamen. Efuzivne (površinske) magmatske stijene su kvalitetan prirodni građevinski materijal, koji se pretežno koristi kao tehnički kamen.

Efuzivne (izljevne) magmatske stijene nastaju na Zemljinoj površini kao rezultat parcijalnog taljenja stijena unutar plašta i kore. Efuzivni tipovi obično se nazivaju lavama.

Magma koja eruptira iz vulkana ponaša se u skladu sa svojom viskoznosti, ograničena svojom temperaturom, sastavom i kristalnim sadržajem. Lava se hladi i kristalizira veoma brzo, i zbog toga su stijene nastale tim putem sitnozrnate. Ako je hlađenje bilo toliko brzo da je spriječilo nastanak čak i malih kristala nakon erupcije, rezultirajuća stijena može biti većinom staklo (kao kod stijene opsidijana). Ako se hlađenje lave odvijalo sporo, stijena će biti krupnozrnata. Puno je teže međusobno razlikovati tipove efuzivnih magmatskih stijena, nego što je slučaj kod intruzivnih magmatskih stijena, jer su minerali efuzivnih stijena sitnozrnati. Općenito, mineralni sastav sitnozrnatih

efuziva može se odrediti samo ispitivanjem izbrusaka stijena pod mikroskopom, a i na taj način može se izvršiti samo približna klasifikacija. **Efuzivne** eruptivne stijene (**dijabazi**, andeziti, daciti, rioliti, porfiriti, trahiti) su općenito vrlo visoke čvrstoće na tlak, gustoće i stabilnosti, te pretežno niske poroznosti pa su praktično vodonepropusne.

Metamorfne stijene

Metamorfne stijene nastaju procesom metamorfoze od neke magmatske, sedimentne stijene ili ranije metamorfne stijene. Pod metamorfozom se podrazumijevaju promjene mineralnoga sastava stijene uslijed djelovanja visoke temperature, tlaka, vodene pare i plinova. Najpoznatije metamorfne stijene silikatnoga sastava su: kvarcit, serpentinit, gnajs, škriljavci, eklogit, amfibolit i.t.d. Pošto se pod uticajem atmosferilija brzo raspadaju, gnajsevi i škriljavci nisu pogodni kao građevinski materijal. Neki varijeteti serpentinita koriste se kao arhitektonsko-građevni kamen. Amfibolit se koristi kao izvrstan tehnički kamen. Kvarciti su poznati još i kao kremen ili kremeni kamen. Kvarcit je, zbog svoje izrazite tvrdoće odnosno visokoga sadržaja kvarca, izdvojen i svrstan u posebnu grupu u pogledu obrade arhitektonsko-građevnoga kamena. Zbog dobre otpornosti na habanje i velike statičke čvrstoće, prikladni su za izradu vanjskih popločenja i obloga. Prepoznaju se po izvanrednoj obojenosti. U prodaji se mogu naći u žutim, ružičastim, sivim i zelenim tonovima. Najčešće su lomljeni – odvaljeni, i kao takvi koriste se za grublje građevinske radove.

Mineralni sastav stijena silikatnoga podrijetla

Mineral je prirodna tvorevina, sastavni dio litosfere (Zemljine kore), samim time i svake stijene, određenog i stalnog hemijskog sastava i fizičkih svojstava koji su stabilni u određenim uslovima tlaka i temperature. U građi minerala sudjeluju različiti hemijski elementi, a najčešći su: kisik, silicij, aluminij, željezo, kalcij, natrij, kalij i magnezij. Danas je poznato preko 2.000 vrsta minerala. Mali broj minerala su petrogeni, koji su bitni u građi stijena. Svojstva kamena (tvrdoća, čvrstoća, boja, kalavost i.t.d.) ovise od svojstava pojedinih minerala koji izgrađuju određenu stijenu, tako da neki minerali utiču pozitivno na svojstva stijene, a neki negativno, u smislu pogodnosti za neku namjenu.

U stijenama silikatnoga porijekla, uz izuzetke, prevladavaju silikatni minerali koji imaju tvrdoću od 5,5 do 7,0.

Tvrdoća minerala (otpornost prema prodoru stranoga tijela u njegovu površinu) izravno je zavisna o njegovoj strukturi. Za određivanje relativne tvrdoće koristi se Mohsova skala, gdje su poredani najčešći minerali u skali 1-10. Minerali iz grupe 1-2 paraju se noktom, 3 bakrenom žicom, 4-5 čeličnom oštricom. Minerali iz grupe 7-9 ostavljaju trag na staklu, a dijamant (10) reže staklo.

Silikati su najrasprostranjeniji i najvažniji petrogeni minerali. Glavni sastojci magmatskih stijena su posebice feldspati, amfiboli i pirokseni. Njihove karakteristike su teška topljivost i visoka temperatura tališta, te složen mineralni sastav.

Kvarc ili kremen (SiO_2) je vrlo čest mineral, nalazi se u kiselim eruptivnim, kao i u sedimentnim i metamorfnim stijenama, staklastog je sjaja, nema kalavosti i velike je tvrdoće (7 po Mohsu). Obično je bezbojan i proziran (prozirac), ali može biti ljubičast (ametist), žut (citrin), smeđ (čadžavac) ili crn (morion). Vrlo je otporan na djelovanje fizičko-hemijskih činitelja razgradnje stijena. Razlikuju se nisko, i visokotemperaturni varijeteti. Čisti kristali kvarca se koriste u elektronskoj industriji. Kvarcna zemlja služi kao abrazivni materijal, a kvarcni pijesak za proizvodnju stakla.

Prema udjelu kvarca u stijeni, magmatske stijene se dijele na: kisele, neutralne, bazične i ultrabazične.

Na svojstva silikatnog kamena negativno utiču listićavi minerali: tinjci (biotit, maskovit) i klorit. Tinjci, pretežno zastupljeni u kiselim varijetetima silikatnog kamena, od 1 do 10 % , rjeđe i više, tvrdoće od 2,25 do 2,5 (po Mohsu), povećavaju anizotropiju (različita svojstva u različitim smjerovima), ukoliko su orijentirani u stijeni. To nepovoljno utiče na obrađeni kamen, tlačnu čvrstoću i čvrstoću na savijanje, te habanje, a povoljno na mogućnost cijepanja stijenske mase u blokove. Kloriti, tvrdoće 2,5 (po Mohsu), rjeđe i više, produkt su sekundarnog trošenja minerala, osobito izraženog u bazičnim varijetetima silikatnog kamena znatno utiču na smanjenje fizičkih, mehaničkih i hemijskih svojstava kamena.

Geološke osobine ležišta silikatnog kamena („granita“) pretežno su povoljne.

Eksploatacija vrlo često počinje od površine. Jalovinska pokrivka uglavnom je vrlo tanka. Moguće je brзом eksploatacijom dobivati blokove komercijalnih veličina. Postižu se vrlo visoki koeficijenti iskoristivosti stijenske mase, i do 80 %. Kod obrade silikatnog kamena, zbog njegove tvrdoće, visoki su troškovi obrade, troškovi energije, reznog alata i abraziva.

Na svjetskom tržištu značajno preovladava kamen silikatnog sastava.

Jedan od glavnih razloga prodora silikatnih varijeteta kamena na svjetsko tržište, osim u mogućnostima ponude (količine, bogatstvo varijeteta i.t.d.) je, bez sumnje, i u njegovoj kvaliteti. To pokazuju rezultati brojnih normiranih i propisanih ispitivanja, kao i praktična iskustva.

Najbolji dokaz tome su kamene obloge na građevinama od silikatnog kamena. Između ostalog, uz trajnost, silikatni kamen se, osim izuzetaka, odlikuje i dekorativnošću.

Treba istaknuti da, u praksi silikatni kamen, osim rjeđih izuzetaka, može zadovoljiti i najstrožije tehničke kriterije u različitim konstrukcijama interijera i eksterijera, bez obzira na intenzitet opterećenja.

Neke vrste ukrasnoga kamena silikatnoga porijekla „granita“ sa komercijalnim nazivima:



Africa red



Baltic brown



Bianco sardo



Impala



Kinawa



Labrador



Multicolor



Nero



Paradiso



Rosa Beta



Rosa porigno

GRANIT

Granit je jedna od mnogobrojnih stijena silikatnoga sastava, vrlo učestao i raširen tip kiselih intruzivnih magmatskih stijena. Obično su srednje do krupno kristalični, mogu biti ružičasti do tamnosivi, što ovisi o njihovom kemijskom i mineralnom sastavu. Najčešće se pojavljuje u obliku batolita, koji grade čitave kontinente. Granit je gotovo uvijek masivan, čvrst i tvrd, zbog čega je vrlo raširena njegova upotreba kao građevinskog (tehničkog) i arhitektonskog (ukrasnog) kamena. Prosječna gustoća granita je $2,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, ali varira od $1,74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $2,80 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Riječ „granit“ potječe iz latinskog jezika, što upućuje na krupnozrnatu strukturu te kristalične stijene. Sastoji se, s obzirom na pojedinu vrstu, od minerala glinenca (20% - 40%, na primjer biotit ili muskovit), plagioklasa, tinjca i kvarcnog kamena. U granitnim stijenama mogu se pronaći cirkon, apatit, titanit, uran i rubidij. Proces formiranja kamena granita usko je povezan sa zgušnjavanjem i kristalizacijom same vulkanske lave u dubini Zemljine kore.

Granit prije svega odlikuje izrazita tvrdoća i čvrstoća njegove strukture. Osim toga granitni elementi otporni su na vanjske vremenske uticaje, na niske temperature i smrzavanje, kao i na uticaj kiselina.

Na domaćem tržištu mogu se naći proizvodi i elementi od granita svih vrsta. Nerijetko ovi graniti nose na sebi ime ili oznaku mjesta u kojem se proizvode i obrađuju. Od poznatijih uvoznih granitnih vrsta možemo spomenuti finski balmoral, baltički crveni granit ili baltički smeđi granitni kamen. Iz Kine se uvozi granitni kamen „padang žuti” ili kristalni granitni padang-kamen. Od drugih proizvođača možemo spomenuti zemlje kao što su Indija, Brazil, Iran i Italija. No, kao vrsni proizvođači granitnog kamena tu se nalaze i Poljska, Švedska, Portugal, Španjolska, Vijetnam i SAD.

Na području naše zemlje poznat je čuveni kamen magmatskog porijekla gabro, i to biotitski gabro ili jablanit iz Jablanice.

Granitni kamen može poprimiti gotovo sve prirodne boje. Koju će boju granitni kamen naposljetku najjasnije pokazivati, ponajprije zavisi od sadržaja glinenca u njemu. Najčešća boja granita je svijetlo siva, te primjerci sa žučkastim tonovima. U Zemljinoj kori nerijetko se može pronaći i crveni granit, nešto rjeđe se susreću i granitni kameni plave boje, pa sve do tonova crne boje.

Nalazišta i iskorištavanje granita

Granitni kamen moguće je pronaći gotovo na cijelom području kontinentalnog dijela Zemljine kore. Hemijski sastav, različite vrste i raznolikost boja granita razlikuju se od nalazišta do nalazišta. Značajna nalazišta granitnog kamena su na području centralnih Alpa. U našim krajevima najznačajnije nalazište granita je područje općine Jablanica. Granit je, prema tome, zbog svoje rasprostranjenosti i kvalitete postao sinonim za sve vrste kamena silikatnoga porijekla koje se koriste kao arhitektonsko-građevni kamen.

Fizičko-mehanička svojstva kamena silikatnog sastava

Osnovna mehanička svojstva kamena su:

- tlačna čvrstoća
- čvrstoća na savijanje
- otpornost na udar i
- otpornost na habanje

Građevinski kamen je materijal čija je karakteristika visoka tlačna čvrstoća, dok su mu ostale čvrstoće (na zatezanje, savijanje i smicanje) znatno manje. Pošto je najznačajnija mehanička osobina kamena njegova čvrstoća pri pritisku, zbog toga se i u konstrukcijama koristi kamen tamo gdje su dominantni naponi pritiska (stubovi, zidovi, temelji i.t.d). Za uređenje interijera i eksterijera kamen se najčešće koristi u obliku ploča (oblaganje podova, zidova, stepeništa).

Za ovu primjenu kamena najvažnija svojstva su: otpornost na habanje, otpornost na udar i čvrstoća na savijanje.

1. **Tlačna čvrstoća** (veličina naprezanja u trenutku loma), mjeri se u: suhom stanju, u vodom zasićenom stanju i nakon 25 ciklusa smrzavanja izražava se u jedinici (MN/m²).

Silikatne stijene, koje se koriste kao arhitektonsko- građevni kamen, imaju srednje veliku do vrlo veliku tlačnu čvrstoću (od 150 do preko 250 MPa).

Vrijednost tlačne čvrstoće u suhom stanju, za neke vrste A-G kamena silikatnoga sastava [stručni i komercijalni (geološki) nazivi] :

- Nero Assoluto, crni gabro (JAR) 212,2 MN/m²
- Nero Africa, crni gabro (Zimbabve) 237,7 MN/m²
- Takovsko, crveni granit (Ukrajina) 233 MN/m²
- Balmoral, crveni granit (Finska) 192 MN/m²
- Rossa porrino, roskasto-bijeli granit (Španjolska) 169,5 MN/m²
- Impala, sivocrni gabro-norit (JAR) 302 MN/m²
- Labrador-Blue pearl, modrikasti labradorit (Norveška) 170 MN/m²
- **Jablanica, sivocrni gabro, (BiH) 201,8 MN/m²**

2. **Čvrstoća na savijanje** kod kamena silikatnoga sastava iznosi od 7-20 % tlačne čvrstoće .

3. **Otpornost kamena na habanje** je od velikog značaja kada se kamen koristi za izradu gornjih slojeva kolovoza, popločavanje podova, izradu stepenica i.t.d. Određuje se na osnovu zapremine materijala, koja se sa površine uzorka kamena skine putem brušenja, izražava se u (cm³/50cm²). Kod većine „granita“ ova vrijednost se kreće od 5 do 10, što ih svrstava u grupu vrlo tvrdih stijena prema ovome kriteriju. Poređenja radi, postoje i „graniti“ kod kojih je ova vrijednost < 5 (izrazito tvrdi), a postoje i stijene (neki sedimenti) kod kojih je ova vrijednost od 30 do preko 40 (mekane i vrlo mekane).

4. **Upijanje vode** (mas %)- sposobnost kamena da primi određenu količinu vode pod atmosferskim tlakom. Stijene silikatnoga sastava upijaju manje od 0,5 % vode što ih svrstava u kategoriju „vrlo malo upijanje“, te im je primjena, prema ovome kriteriju, neograničena.

5. **Zapreminska masa** (t/m³) -odnos mase čvrste faze prema njezinom volumenu. Kod granita iznosi od 2,5 do 3,1 t/m³.

6. **Poroznost** (vol %)-prema poroznosti kamen može biti kompaktan, poroznost<1 (velika većina granita) do > 20 (ekstremna poroznost, n.p.r. kod nekih sedimentnih stijena).

Od svih svojstava najviše se može istaknuti otpornost na habanje, te upijanje vode koje je u funkcijskoj vezi s poroznošću.

Ova dva svojstva silikatnih stijena, osim mineralnog sastava, bitno utječu na primjenu.

Obzirom na gore navedeno može se zaključiti da su silikatne stijene znatno otpornije od karbonatnih (sedimentnih) stijena na habajuća operećenja, na zamrzavanje i hemijsko trošenje.

EKSPLOATACIJA KAMENA SILIKATNOG PORIJEKLA „GRANITA“

UVOD

Geološke osobine (blokovitost ili cjelovitost) ležišta silikatnog kamena (granita), a koje su uvjetovane tektonskim prilikama (rasjedi, navlake, pukotinski sustavi i.t.d.) pretežno su povoljne. Eksploatacija vrlo često počinje od površine. Jalovinske pokrivke, za razliku od ležišta sedimentnih stijena (mramora) uglavnom nema, ili je vrlo tanka. Moguće je brzom eksploatacijom dobivati blokove komercijalnih veličina. Postižu se vrlo visoki koeficijenti iskorištenja blokovske mase. Koeficijent iskorištenja blokovske mase kreće se kod arhitektonsko- građevnog kamena silikatnoga sastava od 20 -65 % . Preostali dio su otkopni gubici nastali unutar stijenske mase. Kod eksploatacije i obrade granita puno su veći troškovi energije, reznog alata i abraziva, nego kod eksploatacije i obrade mramora (4-5 puta).

KAMENOLOMI SILIKATNOG KAMENA (GRANITA)

Kamenolomi na kojima se izvodi eksploatacija arhitektonsko-građevnoga kamena mogu biti: površinski ili podzemni. Graniti se zbog načina pojavljivanja, dostupnosti, karakteristika i velikih rezervi danas eksploatiraju površinskim načinom. Površinski kamenolomi na kojima se eksploatiraju graniti mogu biti: površinski brdski kamenolomi i površinski dubinski kamenolomi, i kamenolomi granitnih prirodnih blokova samaca „bouldera“.

Površinski brdski kamenolomi

Zakonska odredba, po kojoj rudarsko preduzeće mora sanirati (rekultivirati) devastirano područje, već u toku izvođenja radova utiče na način otvaranja i razvoja površinskog brdskog kamenoloma. Savremeni efikasni, ekološko usmjereni način eksploatacije kamena površinskim brdskim kopom zahtijeva višeetažni (etaža- radni plato) način razvoja kamenoloma, sa napredovanjem eksploatacije od viših ka nižim etažama, kako bi se moglo započeti sa sanacijom i rekultivacijom otkopanih prostora prije potpunog iscrpljenja ležišta. Eksploatacija se forsira na najvišim etažama, kako bi se postupno razvijale i niže etaže, a na najvišim, po njihovom iscrpljenju se započinje

s rekultivacijom. Etaže se rastvaraju usjecima, koji otvaraju po dva odvojena banka (veći prostor etaže iz kojeg se dobiva više primarnih blokova), omogućujući tako jednostavnu i istovremenu eksploataciju na oba banka, istovremenu, iz razloga što boljeg iskorištenja strojeva i mehanizacije. Otvaranjem usjeka na svakoj etaži postiže se efikasno rastvaranje ležišta sa velikim brojem radilišta, što garantira kontinuiranu intenzivnu proizvodnju. Visine etaže ovise o strukturnom sklopu ležišta (raspucalosti stijenske mase), ali se nastoje razviti visoke široke etaže sa dvostrukim pristupnim putevima do svake etaže. Visoke široke etaže, s dugim radnim čelima, omogućuju vađenje velikih primarnih blokova, i rad mehanizacije (posebice pila) s optimalnim kapacitetima.

Otvaranjem i razvojem površinskog brdskog kamenoloma, od „vrha prema dnu“, umjesto često primjenjivanoga načina „odozdo prema gore“, omogućena je tzv. tekuća sanacija, po kojoj se pretežni dio radova na tehničkoj i biološkoj sanaciji završi tijekom eksploatacije. Troškovi rekultivacije terete direktno eksploataciju. Osim toga većim napredovanjem viših etaža, u odnosu na niže, rasterećuje se stijenska masa i smanjuju naprezanja i eventualna deformabilnost nižih dijelova ležišta, što je bitno s aspekta sigurnosti.

Najveći broj granitnih ležišta otvoreno je i razvijeno kao površinski brdski kamenolomi.



Razvijeni višetažni brdski kamenolom granita

Površinski dubinski kamenolomi

Otvaranje i razvoj površinskog dubinskog kamenoloma bitno se razlikuje od otvaranja i razvoja kamenoloma brdskoga tipa. Kod dubinskog tipa kamenoloma zalihe kamena se nalaze ispod osnovnog radnog platoa, pa blokove treba izvlačiti (dizati) s dubinskih etaža na osnovni plato kopa.

OTKOPAVANJE

Najčešća tehnološka shema eksploatacije (otkopavanja) kako mramora, tako i kamena silikatnog porijekla (granita) na površinskim kamenolomima sastoji se od radnih operacija:

- *uklanjanje otkrivke*
- *otvaranje te rastvaranje ležišta izradom usjeka*
- *dobivanje primarnih blokova*
- *prevrtanje primarnih blokova*
- *dobivanje komercijalnih blokova*
- *utovar i otprema komercijalnih blokova*

Uklanjanje otkrivke na ležištima granitnog kamena

Kako je eksploatacijski sloj kamena prekriven najčešće jalovinskim pokrovom, pri površinskoj eksploataciji, prva tehnološka operacija je uklanjanje tog jalovinskog pokrova. Od naravi i debljine otkrivke ovisi i način njenog uklanjanja. Najčešći slučaj su ležišta sa dvojakom otkrivkom, koja se u površinskom tanjem dijelu sastoji od rastrošenoga kamena pomiješanog sa zemljom, a u donjem debljem sloju od čvršćeg kamena. U takvim se slučajevima površinska raskrivka uklanja pomoću utovarivača, ili kada to nije moguće buldožerom, ili hidrauličnim bagerom, kao i na ležištima drugih mineralnih sirovina. Donji kameni sloj, ovisno o njegovoj debljini i stanju u smislu raspucalosti, uklanja se strojno ili miniranjem. Ukoliko ta otkrivka ima manju debljinu (par metara), poželjno ju je uklanjati mehanički, pomoću stroja s hidrauličnim otkopnim čekićem, bez upotrebe eksplozivnih sredstava.

Na ležištima granita, otkrivka obično predstavlja jalovinski sloj rastrošenoga kamena pomiješanog sa zemljom, ili nekim drugim, više manje vezanim mekšim materijalom, pa se u tom slučaju uklanja strojevima (utovarivači, buldožeri, bageri), ili tanki jalovinski sloj čvrstog kamena, gdje se obično posebno ne uklanja, već se izdvaja tokom eksploatacije zajedno s otpadom iz eksploatacijskog sloja.



Kamenolom granita sa relativno tankim slojem otkrivke koja se sastoji od zemlje i rastrošenog kamena

Otvaranje ležišta (etaže) granita izradom usjeka

Da bi se započela normalna eksploatacija banka (veći prostor etaže iz kojeg se dobiva više primarnih blokova), potrebno je na banku imati bar dvije slobodne vertikalne bočne stranice, potrebno je „ući,“ u etažu. Na mjestima gdje je čelo etaže jedna slobodna strana, drugu slobodnu vertikalnu površinu treba ostvariti izradom usjeka. Otvaranje usjeka u svim situacijama kod eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, bio je i ostao imperativ svrhovite i pravovremene pripreme i rastvaranja kamenoloma, jer se njegovom izradom mogu otvoriti dva odvojena banka, omogućujući tako jednostavnu i istovremenu eksploataciju na oba banka. Otvaranjem usjeka postiže se efikasno rastvaranje ležišta s velikim brojem radilišta, što garantira kontinuiranu intenzivnu proizvodnju.

Prije početka pripremnih radova, potrebno je dobro proučiti pukotinski sustav i prema rasporedu pukotinskih sustava utvrditi pravac eksploatacije blokova. Otvaranjem naslaga formirati radno čelo s radnim platoom. Visina etaže ovisi o strukturnom sklopu i geomorfološkim značajkama ležišta, ali i o metodi eksploatacije tehnologiji rada i korištenim strojevima. Visine etaža kod ležišta granita kreću se do 10 m, ako se koristi tehnologija dobivanja primarnih blokova piljenjem primjenom dijamantne žične pile. Kod načina dobivanja primarnih blokova bušenjem, cijepanjem ili miniranjem visine etaža su manje.

Usjek se izrađuje okomito na čelo radilišta, koji tako oslobađa produktivni sloj s tri međusobno okomite površine. Usjek mora biti dovoljno širok da osigura nesmetan ulaz i rad mehanizacije i dovoljno dug, da dužina otkopne fronte osigura nesmetanu redovnu proizvodnju.

Usjeci u ležištima granita mogu se otvarati piljenjem dijamantnom žičnom pilom u kombinaciji sa hidrauličnim klinovima, zatim kombinacijom piljenja i miniranja, ili samo miniranjem, i to u dijelovima ležišta ispresjecanim pukotinama, odnosno tamo gdje je slabija kvaliteta korisne stijene. Iz tako odrađenih usjeka ostvaruje se samo minimalna proizvodnja blokova, a otvaranje iziskuje dosta vremena.

Primjenom dijamantne žične pile postupak otvaranja usjeka je pojednostavljen i ubrzan, a visina, dužina i širina usjeka podređuje se stvarnim potrebama u kamenolomu. Usjek se otvara u zdravoj stijenskoj masi piljenjem i vađenjem kvalitetnih i kvalitetno oblikovanih blokova.



Usjek otvoren kombinacijom miniranja i dijamantne žične pile

Dobivanje primarnih granitnih blokova

Dobivanje primarnih blokova je tehnološka operacija otkopavanja arhitektonsko-građevnog kamena, kojom se iz pripremljene stijenske mase (što podrazumijeva otvaranje banka izradom usjeka), izdvaja blok velikih dimenzija (primarni blok) koji se zatim oblikuje u veći broj blokova komercijalnih dimenzija. Tehnologije koje se pri tom koriste kod dobivanja kamena silikatnog sastava (granita) su: tehnologija piljenja dijamantnom žičnom pilom, tehnologija bušenja i cijepanja klinovima, tehnologija dobivanja primarnih blokova pomoću neeksplozivnih smjesa, tehnologija dobivanja miniranjem, tehnologija piljenja vodenim mlazom (water-jet), tehnologija rezanja plamenom tzv. plameno-mlazno rezanje.

Izdvajanje primarnih blokova granita piljenjem dijamantnom žičnom pilom

Kad su oslobođene tri plohe na banku (1. čelo etaže; 2. nakon izrade usjeka i 3. gornja), potrebno je osloboditi primarni blok tj. ispiliti još dva vertikalna i jedan

horizontalni rez. Za ispiliti te rezove, i u kamenolomima tvrdih stijena (granita), sve više se koristi dijamantna žična pila. Usavršavanjem dijamantnih alata za tu vrstu stijena, dijamantna žična pila sve više zamjenjuje dosadašnje načine dobivanja primarnih blokova i u granitima, posebno dobivanje korištenjem eksploziva, tako da i ti kamenolomi poprimaju sve značajke kamenoloma stijena karbonatnog sastava.

Dijamantna žična pila se sastoji od pogonskog dijela s zamašnjakom i komandnog dijela, dok je rezni element dijamantna žica. Pogonska jedinica se nalazi u kućištu na poluosovini unutar okvirne konstrukcije, smještene na četiri metalna kotača. Zakretanjem poluosovine zamašnjak (pogonski kotač trenja) se može dovesti u bilo koji položaj. Stroj se giba uzduž tračnica položenih u smjeru piljenja. Najčešći pogon posmaka je preko zupčanika i zupčaste letve između tračnica. Pogonski kotač je obložen gumom koja njega, i dijamantnu žicu štiti od trošenja i ostvaruje potrebni koeficijent trenja. Gumena obloga se istroši nakon određenog vremena, nakon čega se zamijeni novom. S dva orijentacijska kotura ispred zamašnjaka povećava se obuhvatni kut žice, i sprječava njeno ispadanje s pogonskog kotača. Komandni dio je odvojen od pogonskog stroja zbog zaštite rukovatelja. Zato se pri vertikalnom piljenju komandni dio postavlja bočno desetak metara od stroja, a pri horizontalnom na višu etažu od one koja se pili. U slučaju prekida žice, rad stroja se isključuje.

U početku su se koristile pile s hidrostatskim sistemom i hidrauličnim pogonom pogonskog kotača trenja, zatim (zbog osjetljivosti hidraulike na nečistoće) uvodi direktni elektromotorni pogon kotača trenja, te potpuna električka regulacija napinjanja žice ovisno o naprezanjima u rezu. Pila se automatski prilagođava opterećenjima, što znači da će kod velikih otpora piljenja (posmak stroja) biti sporiji, ali s većom silom i obrnuto, tako da će pogonski motor uvijek raditi na istom optimalnom režimu bez ikakvih preopterećenja. Uz to se prilagođava i regulacija obodne brzine dijamantne žice, tj. promjena broja okretaja pogonskog kotača i direktno je ovisna o opterećenjima i regulaciji posmaka stroja. Osim pila s električnim glavnim pogonskim motorom koriste se (tamo gdje nema osigurane električne energije) i pile s dizelskim pogonom.

Dijamantna žica

Dijamantna žica je rezni i ujedno vlačni element postrojenja pa vrsta i kvaliteta žice, uz svojstva stijene, ima presudan utjecaj na efikasnost piljenja.

Svojstva dijamantne žice određuje u prvom redu, njena konstrukcija i to: vrsta i kvaliteta užeta, vrsta i oblik perli, zatim broj perli odnosno njihov korak, vrsta i broj razdjelnih opruga, osigurača (stopera), zaštitnih prstenova i spojnica.



Elementi od kojih se formira dijamantna žica njihovim nizanjem na čelično uže

Čelično uže je jezgra dijamantne žice, na njega su nanizani ostali dijelovi žice pa je ovo jedan od bitnih dijelova alata. Svaki prekid užeta znači direktni gubitak od 3 do 5 perli.

Prilikom kidanja užeta dolazi do udara o kamen, pa se pri tom oštećuje (makar se to ne vidi golim okom) cijeli niz perli, jer dijamantne perle ne podnose dinamičke udare. Uže je u pogonu naprezano na vlak savijanje, uvijanje i gnječenje pa mora imati visoku čvrstoću na vlak, dobru savitljivost, otpornost na koroziju, a i relativno malu masu. Užeta su dvostruko pletena pramena promjera 5 mm, što odgovara unutaršnjem promjeru perli. Dugo su se u primjeni zadržala nehrđajuća inox užeta spletena od 49 ili 133 žice. Uže s 49 žica pokazao se dosta krutim. Uže od 133 žice pokazao se veoma fleksibilnim, ali to je imalo i negativnih posljedica kod oštih kutova piljenja posebice pri upotrebi spojnice (oslabljenje užeta) koje se presaju na uže. Čelično uže je zadovoljavajuće savitljivo i bolje podnosi spajanja tako da se manje oštećuje prilikom savijanja na krutom dijelu uz spojnicu. Održavanju užeta treba posvetiti dužnu pažnju.

Dijamantna perla predstavlja osnovni rezni dio žice pa o njihovoj konstrukciji ovisi učinak i potrošnja alata. Perlu karakterizira sam oblik (konični ili cilindrični) i vrsta tj. način na koji su dijamanti nanoseni na metalni nosač elektrolitički ili sintetiziranjem. Osnovni parametri dijamantnog sloja perle su dijamantna zrnca (njihova koncentracija, granulacija i marka), te vezivo kojim su ta zrnca povezana (nikal, kobalt, željezo, krom itd).

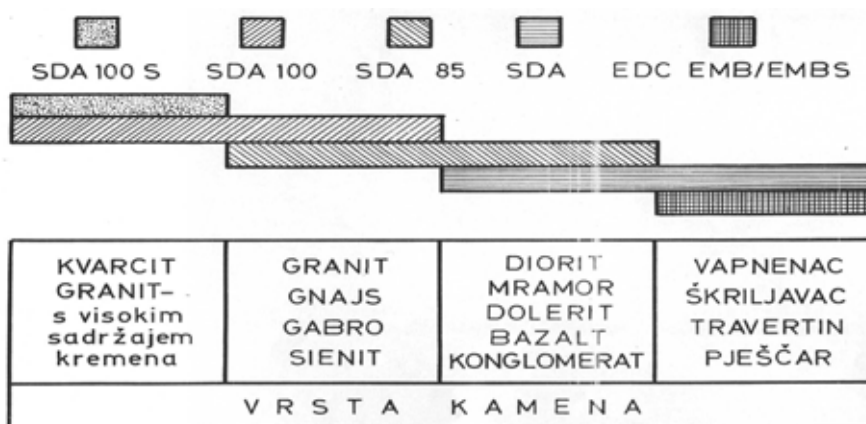
Za izradu dijamantnih perli, zbog izrazito velike tvrdoće, koristi se veliki asortiman prirodnih i sintetičkih (umjetnih) dijamanta sa širokim dijapazonom fizičko – mehaničkih i eksploatacijskih svojstava, a dijamanti pojedinih marki imaju veliki dijapazon granulacija.

Izbor gore navedenih parametara, uz brzinu dijamantne žice ovisi o vrsti stijene za piljenje i ostalim uvjetima rada.

Proizvođači dijamantnih alata koriste različite marke kako prirodnih tako i sintetičkih dijamantata. Izradom specijalnih marki dijamantata s jasnom diferencijacijom oblasti njihove primjene dostignut je veliki progres na tom području. U nastavku će biti opisan jedan primjer markiranja dijamantnih zrna.

Jedna od vodećih svjetskih firmi za proizvodnju dijamantata, belgijska tvrtka De Beers nudi za obradu kamena široki dijapazon dijamantnih zrna i prahova koji se klasificiraju po trima temeljnim značajkama: veličini, čvrstoći i obliku površine zrna. Od prirodnih dijamantata izvedene su mark: EMB, EMB-S, DEBDUST, SNDMB, RDP I, RDP II, NRBT, od kojih su prve tri marke predviđene za obradu kamena. Zrna EMB imaju abrazivnu površinu s velikim brojem režućih bridova, s izvanrednim svojstvima usadivanja u metalno vezivo. Naročito su pogodni u slučaju kad se traži dobra kvaliteta ispiljene površine. Nedostatak im je povećana specifična potrošnja. Dijamanti marke DEBDUST imaju glatku površinu sa smanjenim brojem oštrih reznih bridova, ali veću čvrstoću i primjenjuju se za rezanje tvrdoga kamena. Od sintetičkih dijamantata tvrtka De Beers proizvodi široki dijapazon raznih marki dijamantata, zrna i prašaka, od kojih se za dijamantne alate pri radu u kamenu koriste marke: SDA 100-S, SDA 100, SDA 85, SDA, MDAS i EDC. Cijela serija marke SDA je predviđena za dijamantne alate koji rade u teškim uvjetima. Svi se odlikuju velikom čvrstoćom i svrstani su na temelju čvrstoće. Tako marka SDA-100 ima najveću, a marka SDA najmanju čvrstoću u seriji. Obzirom da sve marke u seriji SDA imaju veliku čvrstoću te se one prepoznaju po pravilnosti oblika. Tako svi imaju pravilan valjčani oblik glatke površine s pojedinačnim kristalima oblika kubo-oktaedar. Opadanjem čvrstoće kod pojedinih marki povećava se broj reznih rubova i smanjuje glatkoća površine.

Različite marke dijamantnih zrna (prirodnih ili sintetičkih) daju različite učinke s obzirom da veća čvrstoća zrna smanjuje intenzitet njihove potrošnje ovisno od oblika obrade i vrste obrađivanoga kamena. Tako npr. Firma De Beers preporučuje marke sintetičkih dijamantata velike čvrstoće SDA 100, za dijamantne pile za piljenje najtvrdog kamena sa velikim sadržajem SiO₂.



Općenita preporuka za izbor marke dijamanta pri piljenju raznih vrsta kamena (De Beers)

Uz perle i uže za formiranje dijamentne žice koriste se još: čelični zaštitni prstenovi vanjskog promjera 8 i unutarnjeg 5 mm, širine 3 mm, blokirni osigurači (nagavci) 9x6 mm, razdjelne opruge 8 mm dužine u nenapregnutom stanju, 12 i 25 mm te muško-ženske spojnice.



Rezanje primarnog bloka (vertikalni rez) dijamentnom žičnom pilom u kamenolomu granita

Izdvajanje primarnih blokova granita bušenjem i cijepanjem hidrauličnim klinovima

Izrada bušotina

Na bušenje, osobito trošenje alata za bušenje, ima utjecaj mikrostruktura stijene, kao primjerice vrsta (sastav), veličina i oblik zrna minerala te uzajamna veza i odnos minerala. Veličina zrna minerala (zrnatost) može biti gusta (veličina zrna oko 0,05 mm), fina (veličina zrna od 0,5 do 1,00 mm), srednja (veličina zrna od 1,00 do 5,00 mm) i gruba (veličina zrna iznad 5,00 mm). Na trošenje alata kod bušenja najveći utjecaj ima sadržaj silicija u kamenu, jer je vrlo tvrd, te brzo troši (haba, brusi) bušači pribor i time čini stijenu teškom za bušenje. Također gusta ili fina zrnatost izaziva veće trošenje bušećeg pribora nego gruba zrnatost stijene. U tehničkom smislu, obzirom na neposredno djelovanje samog alata na stijenu, bušenje može biti udarno sa zakretanjem (perkusivno) i kružno (rotacijsko). Udarno bušenje obuhvata povremeni (ciklički) udar na alat za bušenje uz uporedno (istovremeno) zakretanje alata. Prevelik tlak udara izaziva teško okretanje alata, a premali tlak dovodi do odskakanja alata za bušenje. Odnos broja okretaja i broja udara je primjerice oko 1/9 do 1/10. Kružno bušenje se sastoji od stalnog pritiska na alat za bušenje uz uporedno (istovremeno) okretanje alata. Pri bušenju bušotina, za potrebe cijepanja kamena najčešće primjenjuje oprema

za udarno bušenje stijene, koju čine razne vrste bušilica i pribor za bušenje. Pogon tih bušilica je (sve manje) zračni ili uglavnom (trenutno preovladavajući) hidraulični.

Bušilice se dijele na:

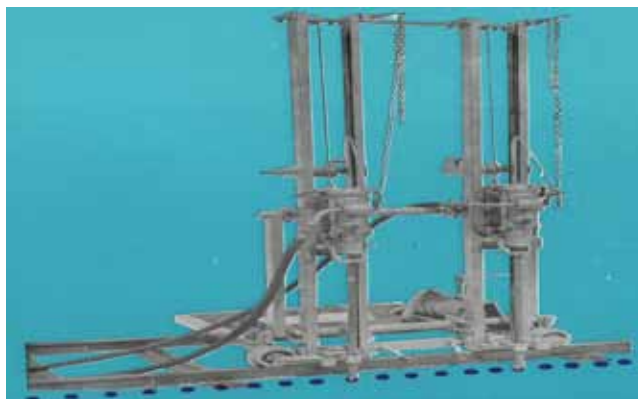
- samostalne, pretežito lake ručne bušače čekiće na pogon s tlačnim zrakom 2 (mase do 30 kg, promjeri bušenja 25 do 45 mm, dubine bušenja do najviše oko 4 m, brzina prodiranja u stijenu oko 35 cm/min, utrošak zraka od 1,5 do 4,5 m³/min) gdje pribor za bušenje čine monoblok svrdla s jednobridnim, trobridnim ili križnim sječivom, zatim na

- srednje teške i teške lafetne bušače čekiće na nepokretnom ili polupokretnom postolju,

- samohodne bušilice koje uz teške bušače čekiće obuhvaćaju ostalu opremu za njihov pogon i kretanje. Na sljedećim slikama prikazane su vrste bušilica koje se koriste za bušenje primarnih i komercijalnih blokova granita:



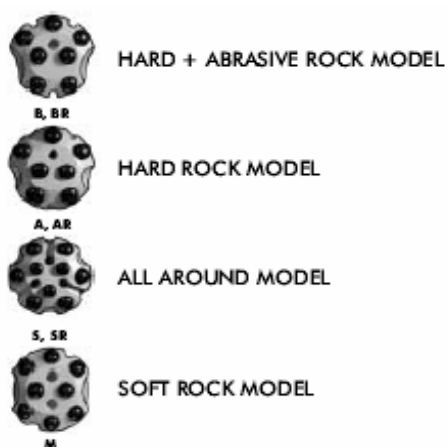
Lafetna bušilica s jednim hidrauličko potiskivanim bušačem čekićem, gibanje tornja po nazubljenoj letvi



Lafetna bušilica s dva bušača čekića – gibanje tornja pomoću kotača pogurivanjem – potisak vlastitom masom, podizanje vitlom



Samohodna bušača garnitura za bušenje granitnih blokova

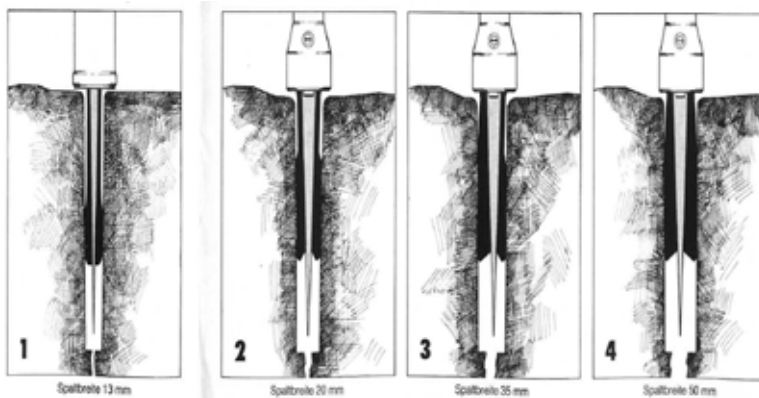


Izgled bradavičastih krana za bušenje u svim vrstama stijena

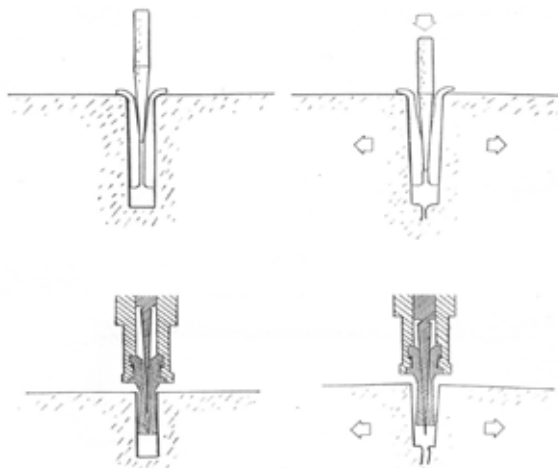
Cijepanje granitnih blokova klinovima

Osim klinova, za ručni rad blokovi se mogu cijepati i hidrauličnim klinovima (čekićima).

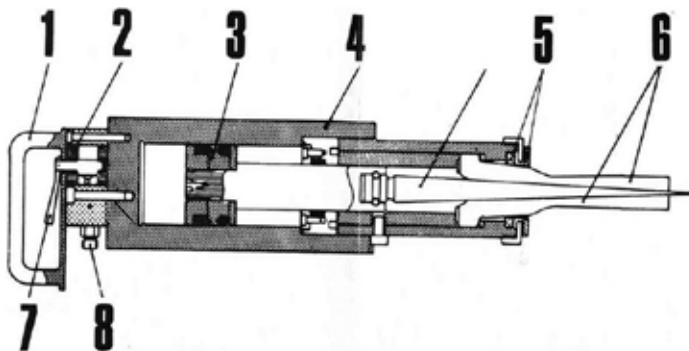
Kod dobivanja primarnih blokova granita koriste se hidraulični klinovi. Princip rada je isti kao i pri radu s klinovima za ručni rad. Nakon ucrtavanja sheme bušenja i bušotina blok se cijepa umetanjem u bušotine hidrauličnih klinova.



Cijepanje blokova hidrauličnim klinovima



Djelovanje klina – klin za ručni rad (gore) ; hidraulični klin (dolje)



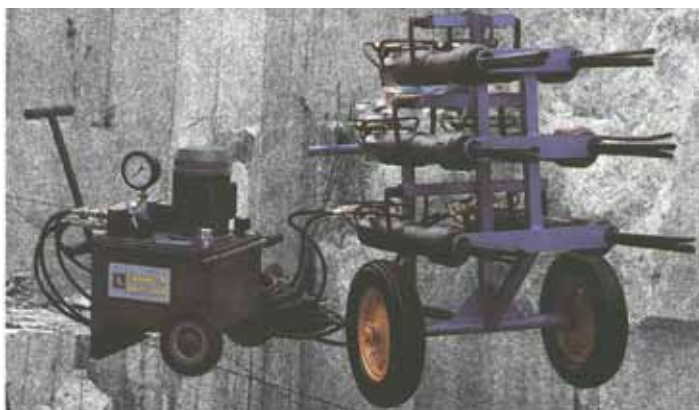
Sastavni dijelovi hidrauličnoga klina: 1) rukohvat; 2) kontrolni ventil; 3) stap; 4) kućište (cilindar); 5) klin; 6) kontra klinovi (krila); 7) dovodni priključak; 8) odvodni priključak

Pod pritiskom hidrauličnog ulja, iz hidrauličnog agregata, štap čekića djeluje na klin, ovaj se izvlači i time razmiče umetke i tako se stvara visoki pritisak na suprotnim stranama bušotine. U materijalu između dvije uzastopne bušotine javlja se naprezanje na vlak i kada to naprezanje premaši čvrstoću stijene na vlak dolazi do pucanja bloka duž crte bušenja. Bočna sila na bokovima klina ovisno o modelu čekića, kreće se oko 2 MN, tj. jedna garnitura od pet klinova, koliko ih je obično u sastavu jednog hidrauličnog agregata, ostvaruje ukupnu potisnu silu od 10 MN. Kao i pri korištenju klinova za ručni rad, i ovdje je bitno da su bušotine izbušene pravilno i u pravcu. Bušotine treba bušiti kružnom bušačom krunom, a ne monoblok dlijetom, da se dobije što pravilnija bušotina u kojoj se neće oštetiti klin. Paziti da pri cijepanju ne dođe do pomicanja cijepanog bloka, što je također opasno za oštećenje klina.

Kad se cijepa veća dužina, odnosno veća masa kamena samo s jednom garniturom od pet klinova, može se pripomoći s velikim trodijelnim mehaničkim klinovima promjera 34 mm, dužine 70 ili 100 cm. Polja među hidrauličnim klinovima popune se mehaničkim (ručnim) klinovima i udarcima čekića (mace) stijena se dovede u napregnuto stanje. Potiskivanjem hidrauličnih klinova i naizmjeničnim nabijanjem mehaničkih klinova izazove se klanje bloka po cijeloj predviđenoj crti odloma.

Hidraulični se klinovi mogu svrhovito primjenjivati i za proširivanje reza, kada je to iz bilo kojih razloga potrebno (npr. otežano uvlačenje starijih zračnih jastuka). Najprije se hidraulični klinovi 1 i 2 nabiju (potisnu) do maksimuma. Klin 2 se ostavi u zategnutom stanju, a klin 1 izvuče i u procjep se postave pomoćna krila-peraje. Ponovo se zateže (puni) klin 1 proširujući još više procjep.

Ova radnja se može ponoviti više puta, jer se za svaki klin mogu upotrijebiti po dva para pomoćnih krila-peraja.



Garnitura hidrauličnih klinova sa pogonskim agregatom



Pogonski agregat za jedan hidraulični klin, glavni pogon dizelskim motorom

Pogonski elektromotor snage 4 kW (ili diesel verzija 5,2 K) pogoni hidrauličnu aksijalnu pumpu, koja ostvaruje pritisak od 50 MPa i tlači ulje preko gumenih crijeva s brzovezujućim spojnicama do čekića (klina). Pod pritiskom hidrauličnog ulja štap čekića djeluje na klin, ovaj se izvlači i time razmiče umetke klina. Promjer klina s umetcima je 33 mm, pa potrebni promjer bušotine iznosi 34 mm. Maksimalna potisna sila je 2.25 MN. Istovremeno se može priključiti jedan ili više alata, jer agregat ima šest priključnih spojnica. Razni proizvođači više tipova i modela klinova, različitih veličina i radnih karakteristika. Izbor veličine štapa zavisi uglavnom od toga cijepa li se primarni blok ili se klin koristi za sekundarno razbijanje samaca. Za sekundarno cijepanje dovoljan je jedan ili dva klina manjih dimenzija, a za dobivanje komercijalnih blokova upotrijebiti će se tri ili više težih klinova u seriji (u istoj ravnini).

Tablica 3.1. – Radne karakteristike hidrauličnih klinova

<i>Veličina Cilindra</i>	<i>Promjer bušotine mm</i>	<i>Dubina Bušotine cm</i>	<i>Dužina Rascjepa mm</i>	<i>Efektivna sila MN</i>	<i>Masa Klina kg</i>
<i>I</i>	<i>21-25</i>	<i>21.5</i>	<i>95</i>	<i>1.373</i>	<i>9.0</i>
<i>II</i>	<i>29-33</i>	<i>27.0</i>	<i>165</i>	<i>3.040</i>	<i>17,5</i>
<i>III</i>	<i>32-36</i>	<i>40.0</i>	<i>250</i>	<i>4.217</i>	<i>21.5</i>
<i>IV</i>	<i>39-43</i>	<i>67.0</i>	<i>400</i>	<i>5.000</i>	<i>27.0</i>
<i>V</i>	<i>40-45</i>	<i>67.0</i>	<i>400</i>	<i>6.276</i>	<i>31.0</i>
<i>VI</i>	<i>42-47</i>	<i>80.0</i>	<i>500</i>	<i>7.256</i>	<i>35.0</i>

Mali gabariti i mase hidrauličnih agregata, koji se koriste i kod hidrauličnih klinova omogućuju njihovo lagano prebacivanje (prenošenje), što ih čini pogodnim za korištenje na više radilišta s različitim alatima i uređajima. Brzo-rastavljajuće spojnice omogućuju brzu i laganu izmjenu priključnog alata ili uređaja, tako da ista

energetska stanica ima višenamjensku primjenu, što je pogodno za radove pri kojima se pojedine aktivnosti vremenski strogo ne poklapaju. Među alate i uređaje pogodne za priključivanje na hidraulični energetske agregat spadaju i razni hidraulični proširivači pogodni također za proširivanje reza, početno odguravanje i podizanje blokova. Potisne sile na zubima proširivača kreću se ovisno o modelu i fazi rada, od 30-220 kN. Za cijepanje, potiskivanje, a i podizanje blokova mogu se koristiti i hidraulični višestepeni proširivači, a i podizanje blokova mogu se koristiti i hidraulični višestepeni proširivači, koji se sastoje od tijela potiskivača radne dužine 308-578 mm (ovisno o modelu) iz kojeg se izvlači 5-10 klipova, na koje se postavi potiskujući umetak. Potisna sila kreće se od 396-792 kN. Promjer potiskivača bez umetka je 30 mm, tako da je potrebni promjer bušotine (ako se koristi za kalanje bloka) 76 mm.

Posebna izvedba hidrauličnog klina razlikuje se od prethodnih po tome što se pogonski dio nalazi na čekiću. Time su samo donekle olakšani poslovi premještanja agregata, ali je masa čekića porasla, što je razlog da ova izvedba nije našla širu primjenu u praksi.

Cijepanje blokova neeksplozivnom smjesom

Umjesto bušenjem i cijepanjem klinovima blokovi, a i stijenske mase u ležištu se mogu lomiti bušenjem i cijepanjem pomoću neeksplozivne smjese, koja cijepa stijenu na temelju snažnog ekspanzijskog tlaka, koji se stvara postepeno njenim bubrenjem u procesu hidratizacije. Kao i pri cijepanju klinovima, i ovdje treba po traženoj crti cijepanja izbušiti bušotine u koje će se umjesto klinova postaviti ekspanzijska smjesa (cement, malta) sastavljena pretežno od vapnenih silikata. Smjesa će kroz izvjesno vrijeme izazvati ekspanzijske napone stvorene vlastitom hidralitizacijom i dovesti do pucanja po crti najmanjeg otpora, tj. po pravcu izbušenih vrtina.

Iako se sredstva ovog tipa upotrebljavaju od 1980. godine (Evropi od 1982.god.), u kamenolomima arhitektonskog kamena nakon početnog zamaha ne nalaze neku veću primjenu iz razloga što je, u odnosu na cijepanje klinovima, potrebno daleko duže vrijeme do nastanka cijepanja, a i ekonomska računica je bila na strani cijepanja klinovima. Nešto veću primjenu našla je ova metoda razbijanja blokova kamena u kamenolomima tehničkog kamena za razbijanje velikih preko gabaritnih blokova u sredinama gdje je bilo nepoželjno sekundarno miniranje. Veća primjena je u građevinarstvu pri rušenjima i razbijanjima temelja i objekata koji dopuštaju krhke lomove u gradskim sredinama i zonama, gdje je zabranjena upotreba eksploziva, jer je razbijanje s ovom smjesom bez vibracija i buke te bez razbacivanja fragmenata stijene ili betona. Može se uz to slobodno upotrebljavati bez pribavljanja dozvola i poduzimanja strogih zaštitnih mjera propisanih kada se upotrebljava eksploziv.

Pri cijepanju blokova arhitektonskog kamena u komercijalne blokove pomoću neeksplozivne smjese gubici sirovine su isti kao i pri cijepanju klinovima, pa će se

ovo sredstvo više koristiti za usitnjavanje manjih ili većih komada kamena ili dijelova stijene u neposrednoj blizini rada strojeva, opreme ili rudarskih objekata, tj. tamo gdje je primjena eksploziva ograničena i štetna.



Neeksplozivne hidratizirajuće smjese u patroniranom i rasutom stanju tip Callmite

Patrone je prije punjenja u bušotine potrebno uroniti u vodu, a rastresiti prah prije punjenja u bušotinu pomiješati s vodom. Otvor bušotine nije potrebno pokrivati ili začepiti bilo kakvim materijalom. Patrone su pogodnije za punjenje u horizontalne bušotine, a smjesa u rasutom stanju za dublje bušotine i slučajeve kad je predviđena upotreba većih količina smjese. U roku od oko 12 sati nakon što se smjesa postavi u bušotine, pojaviti će se pukotinski lomovi, pa ukoliko se radi o razbijanju izvan gabarita, može se započeti s dodatnim razbijanjem pomoću hidrauličnih razbijača – brekera i slično.

Vrijeme reakcije ovisi o tipu i obliku lomljenog objekta, stanju slobodne površine, vrsti smjese, temperaturi, te o tome je li upotrijebljen ubrzivač ili ne. Proizvodi se veliki broj tipova smjese (i do 16 vrsta od istog proizvođača) i potrebno je izabrati smjesu prema vrsti i temperaturi objekta koji će se lomiti, godišnjem dobu i promjeru bušotina.

U tablici 3.2. navedeni su promjeri bušotina prema kojima se izabire vrsta smjese. Promjeri bušotina ne smiju prijeći maksimalne vrijednosti navedene u toj tablici.

Tablica 3.2 – Promjeri bušotina ovisno o vrsti smjese

<i>Vrsta bušotine</i>	<i>Promjer bušačeg dlijeta mm</i>	<i>Promjer bušotine mm</i>	<i>Vrsta smjese</i>	<i>Dimenzije patrone (promjer x dužina, mm)</i>	<i>Masa po komadu kg</i>
<i>Obični promjer</i>	34 -38	34 - 40		30 x250	0,3
<i>Veliki promjer</i>	55 -65	55 70	<i>PATRONE</i>	50 x 300	1,0
<i>Obični promjer</i>	30 -48	30 – 50		-	-
<i>Veliki promjer</i>	50 -65	50 – 70	<i>U rasutom stanju</i>	-	-

U tablici 3.3 navedene su temperature objekta koji se lomi i temperatura vode kojom se smjesa miješa ovisno o vrsti smjese.

Tablica 3.3. – Temperatura vode ovisno o temperaturi bušotine (objekta)

<i>Tip smjese</i>	<i>Godišnje doba, temperatura C</i>	<i>Maks. temperatura bušotine C</i>	<i>Temper. vode C</i>
<i>L tip</i>	<i>najhladnije -5 do 5</i>	<i>5</i>	<i>niža od 5</i>
<i>W tip</i>	<i>Zima 0 do 10</i>	<i>10</i>	<i>niža od 10</i>
<i>M tip</i>	<i>Proljeće i jesen 10 do 20</i>	<i>20</i>	<i>niža od 20</i>
<i>S tip</i>	<i>Ljeto 20 do 35</i>	<i>35</i>	<i>niža od 35</i>

Smjesa se ne smije upotrebljavati ukoliko su temperature veće od temperatura navedenih u tablici 3.3, jer postoji opasnost od izbijanja smjese.

Prije punjenja bušotine s patronama, patronu je potrebno uroniti u vodu i pustiti da upija vodu dok se ne prestanu stvarati mjehurići zraka (oko 5 minuta za običan i 10 minuta za veći promjer). Posuda (volumena oko 20 l) ne smije biti onečišćena uljem ili organskim tvarima.

Istovremeno se uronjava oko 30 patrona običnog promjera ili oko 18 patrona ako se radi o većem promjeru. Temperatura vode u procesu hidratizacije raste, pa je potrebno nadolijevati ili zamijeniti vodu. Smije se upotrebljavati samo čista voda. Patrone se zatim pune u bušotinu do vrha i to u roku najviše do 20 minuta. Svaku patronu treba nabiti šipkom za nabijanje 4 do 5 puta (jednu po jednu) tako da na kraju ne ostane ni najmanji razmak između patrona, jer snaga lomljenja ovisi o gustoći punjenja. Ne zaustavljati punjenje sve dok bušotina nije napunjena do vrha, zadnju patronu odlomiti na odgovarajuću veličinu prema potrebi da bušotina bude puna.

Kad se radi sa prahom, uspe se 5 kg smjese u 1,4 l vode i sve se miješa ručno ili mikserom dok ne nestanu grumeni (oko 3 minute). Smjesa izmiješana s vodom se mora odmah puniti u bušotinu do samog vrha u roku od 10 minuta. Ako se smjesa izmiješana s vodom ostavi više od 10 minuta njena će se fluidnost početi smanjivati, štoviše, postoji opasnost da mješavina „iskipi“ iz posude. Kratko vrijeme nakon punjenja može doći do stvaranja udubljenja na kraju bušotine, ali to udubljenje ne treba popunjavati. Bušotina se ne smije zatvarati ili prekrivati. Kad se pune horizontalne bušotine mora ih se pokriti spužvom ili nekim sličnim materijalom kako smjesa ne bi iscurila. U koliko se pune bušotine u poroznim stijenama u bušotine se stavlja plastične cijevi, i ne manjeg promjera od potrebnog promjera bušotine navedenog u tablici 3.3.

Promjer, dužina, razmak među bušotinama, te količina neeksplozivnog sredstva, određuju se ovisno o vrsti stijene prema svrsi lomljenja (potpuno, parcijalno, grubo itd.).

Kod primjene u tvrdim stijenama (graniti) potrebno je iskustvom doći do parametara odnosno do vrijednosti, količine punjenja i razmaka bušotina što opet ovisi o promjeru, a kao polazna osnova može poslužiti ova tablica sa orijentacijskim parametrima za primjenu u vapnencima (mramorima)

Tablica 3.4. – parametri punjenja neeksplozivne smjese

Promjer bušotine mm		Obični promjer											Veći promjer			
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	55	60	65	70
Količina	Patrone	Ne Upotre- ljavati		1,5	1,7	1,9	2,1	Ne smije se upotrebljavati					4,0	4,7	5,5	6,4
Punjenja kg/m	U rasutom stanju	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2	4.0	4.7	5.5	6.4
Razmak	Samac	50		60			70		80			-				
Između bušotina cm	Prim. blok ili etaža	40		50			60		70			80 - 120				

Dužine bušotina su oko 70-90 % dužine bloka samca ili potpuna visina bloka ukoliko se cijepaju primarni bokovi. Bolji učinci se postižu ako je slobodna površina paralelna u odnosu na smjer pukotinskih lomova. Tamo gdje su razmaci između bušotina jednaki, lakše će se postići paralelno lomljenje u odnosu na slobodnu površinu. Razmaci između bušotina u smjeru planiranog loma trebaju biti što manji, a da bi lomljenje bilo uspješno, linija najmanjeg otpora mora biti na polovici razmaka među bušotinama.

Kod samaca ukopanih u zemlju potrebno je promijeniti ili odrediti visinu bloka otkopavanjem okolne zemlje.

Neeeksplozivna smjesa može špricati ili podrijeti na površinu, ako se nestručno upotrebljava. Zbog toga se treba obavezno pridržavati tablica s temperaturama vode i okoline. Ovaj proizvod pripada alkalnoj skupini i može prouzročiti sljepilo ako uđe u oči. Obavezno je nositi zaštitne naočale i gumene rukavice otporne na vodu kada se rukuje sa smjesom. Ako smjesa uđe u oči treba ih odmah oprati čistom vodom i otići liječniku. Ako je bio koji dio tijela došao u dodir sa smjesom, treba taj dio odmah oprati čistom vodom kako bi se spriječio oštećenje kože. Smjesa pomiješana s vodom mora se upotrijebiti u roku od 10 minuta (u rasutom stanju), odnosno u roku od 20 minuta (u patronama). Ne smije se ostaviti neiskorištena duže vrijeme, a strogo je zabranjeno ponovno puniti već napunjenu bušotinu. Ako postoji opasnost od rušenja pojedinih dijelova kamena ili koja druga opasnost, objektat treba pokriti zaštitnom mrežom. Nikad se ne smije stavljati smjesa uronjena u vodu ili pomiješana s vodom u praznu bocu ili limenku jer postoji opasnost od eksplozije. Kada dio smijese pomiješane s vodom

ostane neiskorišten, treba ga razblažiti s vodom i čim prije deponirati na pogodno mjesto. Iako se smjesa pakira u vrećice otporne na vagu, treba je čuvati na suhom mjestu i otvarati neposredno prije uporabe. Neupotrebjene patrone s kojih je skinuta ambalaža moraju se zapakirati u plastične vrećice i upotrijebiti što je moguće prije. Ako je ostala neupotrebljena smjesa u rasutom stanju treba odstraniti zrak iz vrećice, zatvoriti je i iskoristiti što prije.

Dobivanje primarnih blokova „granita „ pomoću eksploziva

Eksplozivi su hemijski spojevi ili smjese koje pod djelovanjem vanjskog impulsa u dijeliću vremena (oko 0,002 sekunde) prelaze u plinovito stanje (razvijaju se velike količine plinova koji naglo povećavaju svoj obujam,) pri čemu se razvija visoki tlak (do 20.000 MPa) i toplota (do oko 6.000 ° C) koji kao takvi snažno razaraju okolinu eksploziva. Impuls može biti mehanički, toplinski ili njihova kombinacija (primjerice eksplozivni impuls). Sama eksplozija je vrsta hemijske eksplozije gdje se hemijsko razlaganje eksploziva dešava gorenjem (za razlaganje služi kisik iz eksploziva) ,deflagracijom (mala brzina razlaganja eksploziva od sloja do sloja prenošenjem topline) ili detonacijom (razlaganje eksploziva od sloja do sloja vrlo brzim udarnim valom). Velika količina oslobođene energije eksplozije (od oko 4 MJ/kg do oko 8 MJ/kg eksploziva) “troši” se:

- najviše na drobljenje (gnječenje, raspucavanje i odbacivanje) okolne stijene
- manje na razvijanje elastičnih valova koji se rasprostiru na veću ili manju udaljenost od središta eksplozije kroz stijenu, primjerice u vidu akustičnih i potresnih odnosno seizmičkih valova a što je tzv. seizmički efekt miniranja, te dobrim dijelom na zagrijavanje okoline eksplozije tj. izminirane stijene.

Eksplozivi se dijele, kao prvo u smislu hemijskog razlaganja, na potisne (deflagrantne) eksplozive i brizantne eksplozive. Podvrste su inicijalni eksplozivi i neki posebni eksplozivi namijenjeni za posebne vrste minerskih radova. U deflagrantne eksplozive spadaju baruti i eksplozivna salitra. Izazivaju eksploziju prvog reda kod koje je brzina detonacije manja, od oko 1000 m/sek. Imaju potiskujuće djelovanje. Brizantni eksplozivi izazivaju eksploziju drugog reda čija je brzina detonacije veća od 1000 m/sek. Djeluju razarajuće na okolinu eksplozije. Dije se, kao drugo, prema hemijskom sastavu, na proste (jednostavne) brizantne eksplozive (to su čisti kemijski spojevi koji daju eksplozive s jednostavnim molekulama) i složene brizantne eksplozive (to su pretežito mehaničke smjese prostih eksploziva). Osnovu prostih (jednostavnih) brizantnih eksploziva pretežito čine hemijski spojevi dušika (nitrogena) primjerice esteri dušične kiseline (nitroglicerina, nitroglikol) odnosno ostali nitrati toplinski ili njihova kombinacija (primjerice eksplozivni impuls).

Pojavom deflagrantnog eksploziva, baruta iz Kine, došlo je do temeljite promijene u tehnologiji eksploatacije kamena (kamen se do tada dobivao ručnim radom uz primjenu primitivnih alata ,kao što su dljeto ,čekić ,poluga ,vatra i.t. d.) Počelo se sa miniranjem kojim se stijenska masa razbijala , a od većih su se komada obrađivali blokovi. Ta je tehnologija ubrzo napuštena u karbonatnim stijenama , jer se nije moglo postići veće

iskorištenje stijenske mase. Eksploziv se danas u karbonatnim stijenama koristi kao pomoćno sredstvo pri miniranju debljih krovinskih naslaga.

Eksploziv se danas uspješno koristi pri eksploataciji „bouldera“ velikih prirodnih blokova samaca eruptiva, a i u brojnim kamenolomima granita (eruptiva tj. kamena silikatnog sastava).

U kamenolomima granita, za dobivanje primarnih blokova koristi se tehnika miniranja tzv. usmjereno ili kontrolirano miniranje bilo za dobivanje blokova iz masiva (veće uklještenje) kada se stijena „cijepa“ sa redom bušotina, ili blokova samaca „bouldera“ (nema uklještenja) stijena se cijepa uglavnom sa jednom usmjerenom bušotinom po pravcu lakše cjepivosti.

Eksplozivi koji se koriste u kamenolomima granita su deflagrantni ili potisni .

Pravilne količine eksplozivnog punjenja se uvijek određuju na licu mjesta. Pregled nekih vrsta eksploziva koji se koriste dat je u sljedećoj tablici:

Vrsta eksploziva	Brzina detonacije (m/s)	Gustoća eksploziva (kg/dm ³)	Pritisak plinova (Pa)	Pritisak detonacije (Pa)
Crni barut	do 400	1,2	-	3,40
Oy Forcit K-17	2100	0,95	-	-
Oy Forcit K-11	2100	0,95	-	-
Smootex	2000	0,90	-	-
Dynatrim	2000	0,90	-	-
Metankamniktit	3000	0,9	5,45	-
Metanvitezit 5	3200	1,15	4,48	-

Iz tablice je vidljivo da se za miniranje u granitima koriste eksplozivi koji imaju manje brzine detonacije (što manja brzina širenja pritisaka plinova). Nažalost, zbog opasnosti pri rukovanju do danas nema boljeg eksploziva za te svrhe od rudarskog crnog baruta.

U Švedskoj se za kontrolirana miniranja proizvodi posebni štapin pod nazivom „Gurit“, a u Južnoafričkoj republici proizvodi se za ove svrhe pod nazivom „Dynatrim“. Usporedimo li brzinu širenja plinova eksplozije crnog baruta (približno 400 m/s) s ostalim eksplozivima dolazimo do zaključka da prikladnijeg eksploziva za ove svrhe nema.

Količina barutnog punjenja zavisi o cjepivosti stijene, a koja opet zavisi o strukturi stijene (sitnozrne stijene se lakše cijepaju od krupnozrnih) i vrlo je različita za pojedine vrste stijena i kako je već rečeno određuje se probom „in situ“ (na licu mjesta).

Specifična potrošnja eksploziva ukoliko se stijena cijepa redom bušotina može iznositi 10-15 grama po jednom prostornom metru stijene. Ukoliko se miniraju dvije ili više stranica jednog velikog bloka, tada potrošnja može narasti i do 125 g/m³, zavisno o broju ploha koje se odjednom miniraju kao i o vrsti stijene.

Prema podacima iz Južnoafričke republike, kod eksploatacije „crnog granita“ (gabro-norit) potrošnja specijalnih eksploziva iznosi :

- za sitnozrne granite 125 – 130 g/m³
- za srednje zrnate 115 – 120 g/m³

Kod kontroliranog miniranja inicijacija je uvijek trenutna bez obzira radi li se o jednoj ili više bušotina.

Tehnologija piljenja vodenim mlazom

Rezanje kamena vodenim mlazom

Energija vodenog mlaza visokog pritiska koristi se u industriji za različite namjene kao što su npr: pranje, dekontaminacija, bušenje i rezanje.

Pumpom visokog pritiska tlači se voda do 400 MPa i izbacuje kroz špricaljku s otvorom promjera od svega 0,1 mm, ostvarujući veliku brzinu mlaza od oko 1000 m/s. S energijom nastalog vodenog mlaza mogu se rezati mekši materijali kao što su: plastika, guma, drvo i papir. Ukoliko se dodatnim uređajem ubaci u mlaz vode iza špricaljke određena količina abraziva stvori se abrazivni vodeni mlaz visokog pritiska s kojim se mogu rezati tvrdi materijali kao što su npr: staklo, keramika, čelik, bakar, bronca, različite metalne legure i razne vrste kamena.

Vodenim mlazom se veoma uspješno reže kamen pri rezanju ploča ili pri reljefnoj obradi kamena.

Voda dolazi u pumpu gdje se pretlačuje na pritisak od 350 do 400 MPa i kroz vod visokog pritiska od nehrđajućeg čelika dovodi do rezne glave, gdje izlazi kroz špricaljku s otvorom od 0,04 do 0,1 mm s trostrukom brzinom zvuka (oko 1000 m/s).

Iz dozatora abraziva ubacuje se u vodenu struju abrazivna smjesa i kroz mlaznicu usmjerava na obrađivanu kamenu ploču. Abraziv se ubacuje u struju vode u reznoj glavi na kraju sistema kako bi se zaštitili ostali njegovi dijelovi od štetnog habajućeg djelovanja abraziva. Iz istog je izlazna mlaznica izrađena od tvrde keramičko karbidne slitine tako da joj trajnost iznosi oko 80 sati efektivnog rada.

Vodeni mlaz visokog pritiska (water-jet) primjenjuje se u posljednje vrijeme i pri eksploataciji arhitektonskog kamena. Stijene silikatnog porijekla su zbog svog postanka, mineralnog sastava, strukture, teksture i hemije, odnosno fizičko-mehaničkih karakteristika pogodnih za ovaj način razaranja.

Tehnologija rezanja plamenom tzv. plameno- mlazno (flame- jet) rezanje

Zasniva se na efektima koji se postižu pri djelovanju mlaza plamena vrlo visoke temperature (2000 – 2300°C), izbačenog iz mlaznice plamenika nadzvučnim brzinom (2200 – 2500 m/s) na površinu koja se reže. Ovaj je postupak posebice učinkovit za granite. Glavni sastojci granita su kvarc i feldspat, minerali različitog toplinskog koeficijenta rastezanja, što izaziva međusobno odvajanje duž dodira zrna i pucanja u

području temperaturnog djelovanja. Kvarc zagrijan na 573°C mijenja svoju strukturu i volumen, što izaziva njegovo „prskanje“ i smanjenje čvrstoće. Termorezač je plamenik koji radi sa smjesom kisika i kerozina i služi primarno za rezanje blokova i obrezivanje ploča.

Obaranje primarnih blokova

Nakon odvajanja primarnog boka iz masiva, istog je potrebno prevrnuti na prednju stranicu. Blok se od masiva odvaja i prevrće uz pomoć zračnih i vodenih jastuka, hidrauličnih potiskivača, utovarača i hidrauličnih bagera s obrnutom lopatom.

Prije prevrtanja bloka, ispod njega treba napraviti zemljanu posteljicu- tampon na koju će se gurnuti bok. Tampon služi kao zaštitni soj pri padu bloka. Posteljica se izrađuje pomoću utovarača od sitno izdrobljenog kamenog materijala preostalog nakon miniranja otkrivke i sloja zemlje. Važno je tampon izraditi od materijala približno ujednačenog granulometrijskog sastava. U slučaju da se u tamponu nalaze neki veći komadi stijenske mase, može doći do pucanja bloka uslijed siline udara pri njegovom padu na taj tampon. Kad je tampon prevlažan, tj. ako je u njemu veliki udio sitnog pijeska i blata može također doći do pucanja bloka, jer se pijesak i blato prilikom pada razlete ispod njega. Debljina tampona se kreće oko 0.5 do 0.6 m na početku uz blok. Udaljavanjem od bloka debljina tampona se povećava tako da na kraju iznosi 0.8 do 1.0 m, što ovisi od visine bloka.

Kad je tampon izrađen, blok se obara pomoću zračnih ili vodenih jastuka i hidrauličnih potiskivača (odvaljivača). Jastuci i odvaljivači mogu se koristiti samostalno ili međusobnoj kombinaciji, ovisno o potrebi i kvaliteti stijenske mase.

Kod zdrave, kvalitetne stijene zbog boljeg iskorištenja blokovske stijene preporučuje se kombinirano odguravanje bloka, tako da se početno guranje ostvari pomoću jastuka, a završno guranje i obaranje uz pomoć hidrauličnih odvaljivača.

Postupak obaranja započinje uvlačenjem zračnih jastuka u oprani rez, koji je ostao razmaknut na oko 10 do 12 mm, zbog umetnutih željeznih klinova, pri piljenju reza dijamantnom žičnom pilom. Zračni jastuci se u rez postavljaju pomoću metalnih letvi, koje uslijed svoje težine savladavaju otpor trenja jastuka o stijenke reza. Jastuk u rez ulazi potpuno. Van reza smije biti samo ventil za dovod komprimiranog zraka.

Zatim se postave zaštitni limovi između jastuka i stijene, s obje strane i po cijeloj dužini jastuka, kako bi se spriječilo njegovo oštećivanje od oštine reza. Jastuk se spoji s dovodom komprimiranog zraka preko razvodnika koji mora imati regulacijski ventil s manometrom, a svaki jastuk mora imati po još jedan kontrolni sigurnosni manometar. Dozvoljena širina napuhavanja jastuka je oko 40 cm s tim da pritisak u jastuku ne smije prijeći 200 kPa.

Međutim, prije tolikog napuhavanja, kad se blok nagne toliko da se u gornji otvor mogu postaviti hidraulični odvajivači, otvor se podloži pripremljenim drvenim trupcima

ili kamenom, koji sprečavaju kretanje bloka prema natrag. Iz jastuka se zatim polagano ispušta zrak i jastuk se oprezno izvadi iz reza. U ovako osigurani otvor spuštaju se hidraulični odvaljivači na užetu ručno ili uz pomoć manjeg vitla. Kada hidraulični odvaljivači dođu u predviđeni položaj u otvoru između bloka i matične stijene, uključuje se hidraulična pumpa.

Iz cilindra se izvlači klip i potiskuje stijenu. Pojedini tip cilindra ima određeni hod klipa koji se kreće od 50 do 300 mm. Kada se jedan klip potpuno izvuče iz cilindra, uvlači se klip drugog cilindra i spušta naniže, te ponovno počinje s radom. Čim drugi cilindar počne raditi, uvlači se klip prvog cilindra i spušta naniže. Ovaj postupak se ponavlja sve do momenta kad blok izgubi ravnotežu i padne na pripremljeni tampon. Odvaljivači se spuštaju samo do polovice bloka. Ako na toj visini ne dođe do obaranja, koristi se na istoj visini potiskivač s dužim hodom klipa od prethodnog. Za vrijeme rada na obaranju radnici moraju biti iza crte otvaranja, a nikako iznad jastuka zbog opasnosti od njegovog pucanja (jastuk se smatra posudom pod pritiskom), te eventualnog pada.

Ukoliko se blok prevrće samo pomoću hidrauličnih potiskivača potrebno je na vrhu stijene, iza napiljenog bloka napraviti utore – ležaje (tzv. kamenicu), u koje se postavljaju potiskivači. Time se izvjesno oštećuje stijenska masa i smanjuje njena iskoristivost, pa ukoliko se radi o potpuno zdravoj kamenoj masi potrebno je potiskivače koristiti u kombinaciji s jastucima. Ukoliko izrada kamenice za premještaj potiskivača neće utjecati na koeficijent iskorištenja stijenske mase, potiskivači se mogu koristiti samostalno. Nakon što se izrade utori iza ispiljenog bloka u njih se postave potiskivači i pomoću hidraulične pumpe, koja je preko crijeva spojena s potiskivačima iz izvlače se klipovi koji guraju blok. Kako se procijep širi tako se u njega ubacuju komadi čvrstog drveta ili kamena koji ne dozvoljavaju povrat potisnutog primarnog bloka. Kad se štapovi maksimalno izvuku, isti se uvlače, a potiskivači pomoću užeta spuštaju naniže, dok se blok ne obori na posteljicu. Na slici prikazan je način obaranja bloka pomoću jednog ili dva hidraulična potiskivača i način rada s potiskivačima, kad se obara blok velike debljine i nedovoljne visine. Kod prevrtanja blokova hidrauličnim potiskivačem uspješno se može pripomoći vitlom, utovaračem ili bagerom potičući odvajanje bloka potezanjem čeličnim užetom ili guranjem lopatom utovarača ili bagera. U trenutku prevrtanja primarnog bloka hidraulični cilindri se naglo rasterete i polete prema dnu, stoga ih je potrebno imati vezane i učvršćene kako ne bi pali i oštetili se.

Hidraulični potiskivači

Na slici 3.16. prikazani su hidraulični potiskivači firme Benetti macchine. Garnitura za potiskivanje bokova sastavljena je od hidrauličnog agregata opremljenog pumpom koja ostvaruje pogonski pritisak hidrauličnog ulja od 70 MPa s automatskom regulacijom za jedan, dva ili više hidrauličnih potiskivača različite potisne sile i različitog hoda klipa. Pumpu pogoni elektromotor snage 2.2 kW (ili benzinski motor snage 3.7 kW). Agregat je nadalje opremljen s ventilom nad-pritiska, razvodnim, razvodnim ventilom, dva ventila razdjeljivači (distributora), dva manometarska ublaživača udaraca, rezervoarom

ulja volumena 25 l i savitljivim crijevima visokog pritiska opskrbljeni brzovezujućim spojnicama. Agregat je smješten na mala kolica s gumenim kotačima. Uz garnituru se koriste četiri tipa hidrauličnih potiskivača slijedećih karakteristika:

Tablica 12.1. – Tehničke značajke hidrauličnih potiskivača

Potiskivač	Hod klipa mm	Promjer cilindra mm	Dužina cilindra mm	Potisna sila kN
1	50	230	230	1500
2	100	230	280	1500
3	150	230	330	1500
4	300	170	480	680

Pri prevrtanju velikih blokova povojno je u kombinaciji s dva cilindra s hodom od 150 mm koristiti i jedan s hodom štapa od 300 mm. On ima manju potisnu silu (oko 700 kN) ali budući da se koristi kod već nagnutog bloka, ta sila je dovoljna za njegovo potpuno prevrtanje.

Da bi hidraulični potiskivači dobro radili, tj. ostvarili željeni efekt potrebno je izraditi i smjestiti ih u pogdni utor-postelju (oslonac) tzv. kamenicu. Dimenzije utora ovise o tipu primjenjivanog cilindra i dužina mu je veća za par centimetara od navedenih dimenzija potiskivača. Utor-kamenica se radi bušenjem niza bušotine dubine 30-40 cm po oboru utora. Kada su na sve tri stranice izbušene vrtine isječe se pomoću sjekača kamen između bušotina. Zatim se pomoću dva klasična trodjelna klina isječe kamen u donjoj zoni utora. Pomoću prethodno izbušene vrtine A u sredini bloketa, bušćeg dlijeta i dijela trodjelnog klina izvuče se oslobođeni kameni blok iz postelje-utora hidrauličnog cilindra. U ovako izrađenu kamenicu postavi se potisni hidraulični cilindar, crijevima spojen na agregat i započne obaranje blokova po već opisanom postupku. Ako je za obaranje ispiljenog kamenog bloka dovoljan samo jedan hidraulični cilindar onda se utor radi samo za jedan cilindar, a u daljem postupku obaranja koriste se cilindri s dužim hodom štapa.

Ako se rade dva utora i blok počinje potiskivati s dva cilindra onda se u daljem radu jedan cilindar ostavi u utoru za pridržavanje bloka, a drugi se otpusti, spusti naniže i nastavi s obaranjem bloka.

Potrebni broj cilindara ovisno o veličini bloka računa se određivanjem prevrtnog momenta izazvanog potisnom silom cilindra, koji mora biti veći od statičkog momenta u težištu bloka. Izjednačavanjem momenta dobije se potrebna potisna sila za prevrtanje bloka i izabere jedan ili više cilindara prema veličini njihove nazivne potisne sile umanjene koeficijentom sigurnosti za oko 10 %.

Jedan hidraulični potisni cilindar daje silu od 1500 kN, tj. umanjeno za 10% 1350 kN, što je nešto manje od proračunate potrebne potisne sile, pa se pri obaranju bloka

ovih dimenzija pomoću hidrauličnih potiskivača trebaju koristiti dva potiskivača. Oni se također mogu koristiti pri podizanju oborenih blokova zbog provlačenja dijamantne žice.

Zračni jastuci

Zračni jastuci omogućuju odvajanje bloka koji je ispiljen dijamantnom žičnom pilom, bez kopanja utora u zdravoj kamenoj masi. To štedi vrijeme i ne oštećuje blokove, pa je pri radu u potpuno zdravim blokovima neophodna primjena jastuka pri obaranju blokova.

Maksimalno dozvoljeni pritisci u jastucima ovisno o širenju jastuka (otvaranju reza) iznose:

Tablica 12.2. Maksimalno dozvoljeni pritisci

Širenje, cm	15	20	25	30	35	40
Dozvoljeni Pritisak kPa	530	400	320	260	230	200

Prije korištenja jastuka potrebno je najprije odrediti broj zračnih jastuka ovisno o veličini bloka predviđenog za obaranje. Potrebna potisna sila za obaranje bloka određuje se na isti način kao i pri obaranju hidrauličnim potiskivačima.

Radi lakšeg i bržeg određivanja potrebne potisne sile, odnosno potrebnog broja jastuka proizvođač jastuka je proračunao potisne sile za blokove različitih dimenzija, uzimajući u račun zajedničku prosječnu volumnu gustoću kamena karbonatnog porijekla, pa se u praksi one najčešće koriste.

Zračni jastuci se mogu koristiti, osim za potiskivanje (širenje reza) bloka, i za prevrtanje manjih blokova širine do 200 mm.

Vodeni jastuci

Vodeni (čelični) jastuci se proizvode od metalnog lima debljine 0,5 do 0,6 mm, tako da ukupna debljina jastuka sa šavnim varom iznosi oko 2 mm. Rade se s dimenzijama 80x80 cm, 100x100 cm i 120 x 120 cm. Jastuci se pune vodom pomoću male pumpe pritiska 3 MPa. Pumpa se s jastukom spaja s visokotlačnim crijevom na položaju potiskivanja. Koriste se za odvaljivanje i podizanje blokova ispiljenih bio kojom pilom. Zatim kad se pri odvaljivanju blok odlomi preko vene-pukotine, te je dalje prevrtanje nemoguće korištenjem hidrauličnih cilindara ili zračnih jastuka. Pogodniji su od zračnih jastuka za obaranje velikih blokova s više prirodnih pukotina, jer postoji velika mogućnost da se na pukotinama zračni jastuk ošteti ili potpuno uništi.

Temeljna razlika između zračnih i vodenih jastuka je ta što su vodeni (čelični) jastuci namijenjeni za jednokratnu uporabu, tj. on se nakon uporabe odbacuje. Zato je dobro uz zračne jastuke koristiti i vodene ali ne za „svakodnevnu“ upotrebu, već u posebnim slučajevima (trenutni uvjeti u kamenolomu) kad iskorištenje (uništenje) par vodenih jastuka može donijeti velike koristi.

Vodeni jastuk je nadasve koristan i gotovo nezamjenjiv u slučajevima kada prilikom potiskivanja bloka dođe do njegovog pucanja prije nego se dovoljno odmakne od stijenskog masiva. Odvajanje preostalog dijela bloka s neravnim oštrim bridovima bez pomoći vodenog jastuka je težak problem. Mala debljina vodenog jastuka omogućava njegovo uvlačenje u stisnuti rez, a velika potisna sila odvajanje puknutog dijela bloka od stijene. Jastuk ne zahtjeva nikakve pripreme za primjenu, a nakon upotrebe se zbog deformiranosti i tako baca. Zbog samo ovakvih slučajeva veoma je korisno imati na kamenolomu jedan uređaj Hydro bag za potiskivanje i dizanje blokova s dvadesetak čeličnih (vodenih) jastuka veličine 100 x 100 cm i desetak jastuka dimenzija 80 x 80 cm.

Obaranje blokova strojnim potiskivanjem

Mobilni strojevi s hidrostatičkim pogonom utovarači i bageri postali su gotovo nezamjenjivi strojevi u kamenolomima, jer uz svoju temeljnu namjenu obavljati još cijeli niz neophodnih pomoćnih radnih operacija. Zahvaljujući hidrostatičkom sustavu, kao i koncepciji, rasporedu i svojstvima radnog elementa kod ovih strojeva omogućena im je univerzalnost, odnosno stroj postaje nosač različite opreme. Umjesto lopate u bilo kojoj izvedbi, na radni element se po potrebi mogu montirati najrazličitiji alati.

Zbog svoje mobilnosti i univerzalnosti utovarač na gumenim kotačima postao je gotovo nezamjenjiv stroj. Koristi se kao kopačko-utovarni stroj, zatim kao utovarno-transportni i konačno kao pomoćni stroj. Tehnološka shema s utovarčem kao kopačko-utovarnim strojem primjenjuje se prilikom izvlačenja i manipuliranja s blokovima. Temeljni zadatak utovarača je rad kao utovarno-transportnog stroja za utovar i prenošenje blokova kao i za utovar jalovine u kamione i otpremu jalovine na kraće udaljenosti. Kao pomoćni stroj utovarač se koristi za premještanje negabarita, održavanje puteva, čišćenje radnih površina, planiranje odlagališta, transport materijala i rezervnih dijelova itd. Od priključnih alata na utovarač se, za obaranje blokova, umjesto klasične lopate postavlja priključna greda, kojom se zahvaća blok i obara na radni plato na kojem se nalazi i utovarač.



Slika 3.16. Hidraulični potiskivači



Slika 3.17. Zračni jastuk i pripadajući pribor

Dobivanje komercijalnih blokova

Nakon obaranja primarnog bloka na osnovni radni plato etaže iz njega se daljnjim oblikovanjem dobivaju komercijalni blokovi. Dobivanje komercijalnih blokova granitnog kamena izvodi se najčešće pomoću operacija bušenja i cijepanja klinovima, zatim piljenjem dijamantnom žičnom pilom. Ti postupci su obrađeni u poglavlju „dobivanje primarnih blokova“. Na sljedećim fotografijama su prikazani najčešći načini dobivanja komercijalnih iz primarnih blokova .



Bušenje primarnog bloka koristeći rampu kojom se pomoću užljebljenja ostvaruje pravac i paralelnost bušotina



Ručno bušenje primarnog bloka, za cijepanje klinovima, pomoću bušaćeg čekića



Bušenje primarnog bloka ručnim bušaćim čekićem uz obvezno korištenje zaštitne opreme (respiratori) zbog opasne silikatne



Slika 3.21. Dijamantni žični gater za oblikovanje granitnih blokova

Odlaganje i transport komercijalnih blokova

Nakon što se dobije komercijalni blok, potrebno ga je maknuti sa radnog platoa etaže na prostor koji je za to predviđen. Taj prostor mora biti pristupačan za velike kamione koji će dalje transportirati blokove do pogona za preradu blokova ili na neko drugo mjesto. U novije vrijeme odlaganje i utovar blokova izvodi se, isključivo pomoću utovarivača ili hidrauličnih bagera koji imaju posebno konstruirane alate za tu namjenu (vilice ili korpe).

TEHNOLOŠKI NAČIN OBRADJE KAMENA SILIKATNOG PORIJEKLA

Obrada arhitektonskog kamena ,kako mramora tako i granita, je radni proces čiji je rezultat kameni proizvod određenog oblika, dimenzija i kvalitete vanjske površine. Procesi obrade mogu se podijeliti na mehaničke i nemehaničke. Kod mehaničke obrade razlikuju se dva osnovna tipa obrade: udarna obrada i abrazivna obrada (obrada odsijecanjem).

U procese nemehaničke obrade silikatnoga kamena spada termička obrada i neki noviji načini obrade: obrada ultrazvukom, laserska obrada i obrada strujama visoke frekvencije.

Tehnološki procesi obuhvataju, prema stepenu obrade, dva osnovna stadija obrade.

Prvi stadij predstavlja obradu prema obliku i dimenzijama, a drugi je onaj stadij obrade kod kojeg se ne mijenja oblik proizvoda, već mu se obrađuje vanjska površina. Površinska obrada može prema zahtijevanom izgledu vanjske površine biti gruba, srednja i fina.

Udarna obrada

Udarna obrada zasniva se na udarnim efektima. Blokovi kamena se prilikom udarne obrade cijepaju na ploče različitih debljina ili elemente različitih dimenzija i oblika.

Nakon toga se obrađuju površine njihovih lica, te finaliziraju oblik i dimenzija.

Vidljive plohe kamenih ploča ili elemenata mogu biti obrađene;

- *prirodnim lomljenjem,*
- *rustičnom obradom šiljkom ili drugim alatkama kod čega površina može biti obrađena grubo, srednje ili fino,*
- *pomoću zubače,*
- *pomoću krunastog čekića*

Sve ove obrade svrstavaju se u grupu klesarskog obrađivanja vidljive površine kamenih ploča i elemenata.

Abrazivna obrada

Najrašireniji način obrade arhitektonskog kamena je abrazivna obrada. Klasična tehnološka shema abrazivne obrade silikatnog kamena (granita) obuhvaća slijedeće radne procese:

- *piljenje blokova na ploče,*
- *brušenje i poliranje,*
- *rezanje ploča na potreban oblik i dimenzije,*
- *obrublivanje i profiliranje proizvoda*

Redosljed pojedinih radnih procesa, kod abrazivne obrade, zavisi, prije svega, o tvrdoći kamena, odnosno sadržaju kremena u njemu. Poređenja radi mineral kremen, koji je jedan od glavnih sastojaka silikatnih stijena, preko dvadeset puta je tvrđi od minerala kalcita, koji je glavni sastojak karbonatnih stijena.

Prvi proces obrade za sve vrste kamena tj. tvrde, srednje tvrde i meke vrste kamena jest piljenje blokova na ploče-poluproizvod. Sljedeći radni proces za meke i neke srednje tvrde stijene („mramore“) je rezanje ploča na potreban oblik i dimenzije te obrubljivanje i profiliranje proizvoda pa tek onda brušenje i poliranje. Kod abrazivne obrade „granita“, kako je gore navedeno, drugi radni proces je brušenje i poliranje, a tek onda rezanje i obrubljivanje. Prema tome, kod obrade mramora, brušenje i poliranje se izvodi poslije rezanja tj. nakon što je proizvod dobio svoj konačni oblik i dimenzije, pa time na otpad nastao rezanjem ploča (dobivenih piljenjem iz bloka) nije utrošen rad, sredstvo za brušenje i poliranje. Pri obradi granita ne može se primijeniti isti redosljed radnih operacija jer je za brušenje i poliranje granitnih ploča, zbog njihove tvrdoće, potreban puno veći pritisak radnoga organa na površinu obrađivanoga proizvoda negoli za mramore, pa taj pritisak dovodi do lomova i oštećenja rubova proizvoda, a samim time i do velikih gubitaka. Prema tome kod obrade granita javlja se određena količina „otpada“ koji je, za razliku od mramornoga, i brušen i poliran t.z.v. mozaik, koji je dosta dekorativan i može se iskoristiti kao kamena obloga ali prilikom donošenja odluke o ugradnji (horizontalna oblaganja) treba imati u vidu njegovu skliskost, kada je mokar.

Granitni blokovi se, između ostalih, pile strojevima koji koriste slobodna abrazivna zrnca (gateri za granite). Kod piljenja, uz pomoć slobodnog abraziva, zrnca abraziva se dovode ispod radnog elementa, pa to piljenje ustvari predstavlja mikroproces prodiranja zrnaca abraziva u kamen, izazivajući njegovo mrvljenje i odsijecanje, odnosno piljenje kamena. Brušenje i poliranje su dva bliska procesa obrade kamena, a rezultat tih procesa je izbrušenost vanjske površine kamenog proizvoda do te mjere da ta površina poprimi traženu dekorativnost.

Na prvi pogled ta dva procesa neznatno se razlikuju, međutim oni su u biti vrlo različiti.

Kod brušenja, zbog mehaničkog djelovanja velikog broja abrazivnih zrnaca na obrađivanu površinu, s te površine se skida značajan sloj kamena pri čemu se na njemu stvori tanka reljefna površina.

Kod poliranja, osim mehaničkog djelovanja, javlja se i fizičko-hemijsko djelovanje, kod kojeg se, uz prisutnost tekućine i polirajućeg materijala, stvara tanka opna na površini materijala koja, zbog svoje apsorpcijske sposobnosti, popunjava i najmanje neravnine.

Rezanje ploča predstavlja proces obrade nakon kojeg ploče dobivaju potreban oblik i dimenzije.

Granitne ploče se, za razliku od mramornih, režu pojedinačno, a rez ne prelazi dubinu veću od 40 mm. Ako je ploča deblja od 40 mm, rez se radi u više prolaza tako da se on kod svakog prolaza spušta za 20 do 40 mm.

Obrubljivanje i profiliranje je radni proces kojim se obrađivanom proizvodu daje konačan oblik.

Za abrazivnu obradu granita upotrebljavaju se različiti strojevi s različitim radnim elementima, osiguravajući toj obradi visok stepen mehaniziranosti.

Prema osnovnim tehnološkim procesima abrazivne obrade pomoću abrazivnih materijala i abrazivnih elemenata strojevi se dijele:

- strojevi za piljenje blokova,
- strojevi za brušenje i poliranje
- strojevi za rezanje i obrubljivanje

Abrazivni materijali koji se upotrebljavaju kod tih strojeva su tvrdi zrnasti minerali (korund, dijamant i sl.) ili odgovarajući umjetni materijali (elektro korund, sintetički dijamanti).

Termička obrada

Termička obrada kamena, od približne do završne, spada u nemehaničke procese obrade.

Postupak termičke obrade je čisto fizički postupak koji se zasniva na osjetljivosti sastojaka kamena-minerala na toplotne udare.

Djelovanjem mlaza plamena vrlo visoke temperature i vremenski ograničenog trajanja, dolazi do pucanja i razbijanja mineralnih zrna tj. odluskivanja tankog površinskog sloja kamena i stvaranja manje ili više hrapave površine.

Približna i tačna termoodrada obavlja se termo-rezačima, a tačna i završna termičkim čekićem (termo-udaračima).

RASPILAVANJE BLOKOVA U PLOČE – POLUPROIZVOD

Prva i najteža radna operacija u abrazivnoj obradi silikatnog kamena je piljenje blokova na ploče – poluproizvod.

Kvaliteta piljenja blokova na ploče bitno utiče na količinu, sljedećih radnih operacija.

Kvalitetno ispiljena ploča zahtjeva manje radova, samim time i manje troškove, u sljedećim radnim operacijama, naročito na radovima brušenja i poliranja.

Što je ispiljena površina ravnija, to su gubici pri brušenju manji, jer je potrebno manje vremena za izravnavanje površine ploče, a manja je i potrošnja abraziva, pa to snižava troškove obrade.

Strojevi kojima se pile granitni blokovi prema konstruktivnim karakteristikama dijele se na:

- *strojeve s plosnatim pilama (gateri)*
- *strojeve s kružnim pilama (diskovi).*
- *Strojeve s elastičnim radnim elementom.*

U pilanama za piljenje granitnih blokova u ploče-poluproizvod najviše se koriste gateri. U posljednje vrijeme, zbog njihovih prednosti (visok učinak, konstruktivna jednostavnost, mogućnost piljenja raznih vrsta kamena) porasla je primjena strojeva s dijamantnim kružnim pilama. Takvi su strojevi naročito pogodni za piljenje manjih blokova, nepogodnih za gatersko piljenje. Strojevi sa elastičnim radnim elementom, također, u posljednje vrijeme zauzimaju vrlo značajno mjesto u tehnologiji piljenja granitnih blokova .

Strojevi sa plosnatim pilama gateri

Gateri za piljenje granitnih blokova su doživjeli najmanji stupanj modernizacije u odnosu na ostale strojeve u kamenorezačkoj industriji.

Stroj se sastoji od nekoliko osnovnih dijelova i to su:

- *željezna konstrukcija na četiri stupa ili tijelo gatera,*
- *okvir u kojem su smještene pile.*

Prema putanji gibanja okvira razlikuju se :

- a) gateri s pendularnim (kružnim) gibanjem okvira (njihajući gateri)*
- b) gateri s horizontalnim pravocrtnim gibanjem okvira*
- c) gateri s semipendularnim (polukružnim) gibanjem okvira*

- *zamašnjak s rudom i pogonskim motorom,*
- *oprema za skupljanje i cirkuliranje abrazivne smjese, uključujući i opremu za dodavanje vapnenoga mlijeka (bazen za smjesu sa crpkom, rezervoar s vapnenim mlijekom, raspršivač smjese, dodavač sačme),*
- *kontrolni sklop,*
- *komandni ormar*

Sam postupak piljenja počinje tako što se po površini bloka ravnomjerno prosipa gusta abrazivna smjesa,, koja pada na pile i sa njih na površinu bloka.

Pila, koja se stalno giba, pritišće i udara na zrna abraziva (sačme) koja zarezuju „površinu bloka“.

Kao posljedica ovog „grebanja“, znaju ispasti kristali kremenata iz stijene koji u daljnjem procesu djeluju također kao sredstvo za rezanje (zato su stijene sa bogatim sadržajem i srednje krupnim kristalima kremenata relativno lako rezive).

U daljnjem tijeku piljenja zrnaca sačme padaju ispod pile i uvlače se u rez.

Pila ih drobi i oni svojim ivicama režu stijenu, ali troše i pilu. Stalnim prilivom svježih sačme, odbacivanjem istrošene sačme i stvaranjem otpada ostvaruju se dobri rezultati piljenja.

Danas se upotrebljavaju razne klasifikacije koje dijele materijale u kategorije s obzirom na težinu piljenja, brzinu piljenja, potrošnju sačme i pila i dr. Osim ovih podjela, kod određenih materijala vrlo je važno odrediti smjer piljenja.

Prema teksturi površine ploče, nakon piljenja materijali se mogu podijeliti u tri grupe i to:

- a) Neosjetljive na smjer piljenja (mehanički i estetski)- ovi materijali se pile istom brzinom u oba pravca i uvijek daju približno istu teksturu ploče.*
- b) Neosjetljivi mehanički ali ne i estetski- ovi materijali se pile isto u svim pravcima ali daju različiti izgled površine.*
- c) Osjetljivi i mehanički i fizički-kod ovih materijala je potrebno napomenuti da se po jednoj ravni dobro poliraju, a loše termički obrađuju i obratno.*

Kao što je važno znati kvalitetu materijala koji se pil, i isto tako je vrlo važno kakvog je oblika blok koji treba piliti. Za dobro i ekonomično gatersko piljenje, blokovi trebaju biti obavezno iste visine, a po mogućnosti i iste dužine. Ukupan koristan prostor gatera 18-24 m² potrebno je iskoristiti barem 65% po punjenju, da bi se ostvarili dobri rezultati piljenja.

Alat pomoću kojeg se djeluje na čelična zrnca u abrazivnoj smjesi je pila. Savremeni gateri imaju mogućnost postavljanja i do 230 pila u okvir, sa razmakom od 2 cm. Pile određuju i debljinu ploča za piljenje, tako da najmoderniji gateri mogu piliti ploče debljine 1 cm. Jedan od glavnih uvjeta koji mora biti zadovoljen kod izbora gatera, je taj da se na njemu može ispiliti kompletna širina gatera u ploče debljine 2 cm. Ovisno o tipu gatera, upotrebljavaju se tipovi pila počevši od glatkih, užljebljenih pa sve do perforiranih (da se omogući cirkulacija abraziva) koji se koriste na gaterima s pravocrtnim gibanjem.

Dužine pila su različite i ovise o dužini gatera. Visina pila je od 100 do 180 mm, a širina se kreće od 4 do 7,6 mm. Pile se izrađuju od specijalnih čelika prekidne čvrstoće 750-900 N/mm². Granično opterećenje elastičnosti iznosi 450 - 550 N/mm² što dozvoljava izduženje pile za 10 -16 % (iz ovog razloga treba stalno tijekom piljenja kontrolirati napetost pila).

Abrazivna smjesa je najvažniji faktor u procesu piljenja i nju je najteže održati u optimalnim granicama. Abrazivna smjesa se sastoji od vode, čeličnih zrnaca i otpada nastalog od piljenog bloka, u omjerima: voda 66,3%, čelična sačma 3,1 %, vapno 1 %, granitni otpad 29,6 %. Smjesa stalno cirkulira, te se svakih 15 do 20 minuta pročišćava ispiranjem (vodom). Naime, dio smjese svakih 15 -20 minuta ulazi u hidrociklon koji odvoji lakše čestice (fini mulj i sitne čestice sačme) te ih izbacuje iz procesa.

Funkcija vapna u smjesi je održavanje smjese bazičnom (pH oko 12,5) i na taj način sprečavanje oksidacije željeza u smjesi, odnosno smanjenje mogućnosti stvaranja ružnih mrlja od hrđe.

Čelična sačma je ustvari željezni drobljeni granulat sastavljen od oko 80% drobljenih uglatih zrnaca i oko 20% oblikih zrnaca.

Zrnca imaju veličinu od 0,425 mm pa sve do 1,5 mm. U jednoj litri smjese nalazi se oko 300 čelične sačme i ako ona nakon pranja sadrži oko 20 – 40 % zrna većih od 0,425 mm sačma je dobra.



Gateri sa slobodnim abrazivom za rezanje „granita

Strojevi sa kružnim pilama (diskovi)

U posljednje vrijeme, zbog njihovih prednosti (visok učinak, konstruktivna jednostavnost, mogućnost piljenja raznih vrsta kamena) porasla je primjena strojeva s dijamantnim kružnim pilama . Takvi su strojevi naročito pogodni za piljenje manjih blokova, nepogodnih za gatersko piljenje.

Zbog relativno velike širine radnog organa (dijamantnog diska) do 12 mm, što bi rezultiralo velikom količinom otpada iz reza ,koriste se za rezanje ploča većih presjeka, koje se koriste najviše za izradu nadgrobnih spomenika, ili u kombinaciji s mosnim strojem, koji ima disk manjeg promjera do 1200 mm gdje stroj s velikim diskom reže komade čija je jedna dimenzija 30, 33, 35 ili 40 cm, a kasnije se na stroju s manjim diskom iz bloka visine do 40 cm režu razni elementi kao što su stepenice, klupice ploča i td. Konstrukcijski, to su jednostavni strojevi, mogu biti konzolni i mosni. Promjer radnog organa (diska) može biti do maksimalno 3500 mm.

Na slikama su prikazani strojevi s dijamantnom kružnom pilom velikog presjeka i stroj manjeg promjera radnog organa za rezanje granita.



Tehnički podaci:

Ø mm vertikalni disk. 3.500

Debljina rezanja mm za disk promjera 3500 mm. =1500 mm

Radni hod X os za rezanje s diskom promjera 3500 mm = 4.000 mm

brzina kolica m / min. 0,5 / 18

Radna širina okomito. 1900mm

Snaga motora za vertikalni disk kW 55

Potrošnja vode l / min. 100

Ukupna instalirana snaga kW. 65

Težina kg. 11.50

Ukupna dubina mm. 1900

Ukupna širina mm. 8600

Ukupna visina mm. 6800



Stroj sa kružnom pilom za rezanje komada visine do 40 cm u standardne proizvode

Tehnički podaci:

Ø disk. 1200 mm

Debljina rezanja mm za disk promjera 1200 mm. =450 mm

Snaga motora za vertikalni disk kW 35

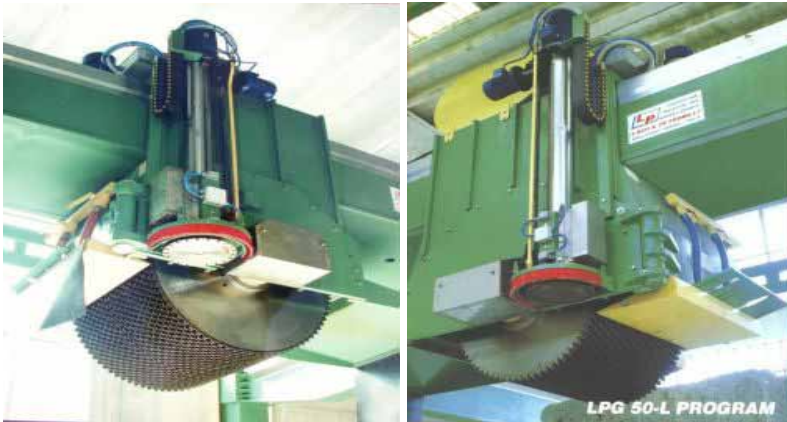
Potrošnja vode l / min. 40

Težina kg. 4.5 tona

Ortogonalni strojevi (Tagliablocchi)

Posebna konstrukcija strojeva sa kružnim pilama su ortogonalni strojevi. Pogodni su za rezanje granitnih blokova. To su konstrukcije sa velikim brojem vertikalnih dijamantnih diskova (do 90 komada) promjera do 1600 mm i jednim horizontalnim diskom za podrezivanje, promjera do 500 mm, pri čemu se dobivaju ploče koje imaju dimenzije prikladne za izradu stepenica, podnih ploča i sl. Strojevi su potpuno automatizirani ,kameni blok režu u više prolaza. Nakon svakog prolaza, konstrukcija se spušta za 8-10 mm te u povratku stvara novi rez iste dubine. Operacija se ponavlja do programirane dubine, nakon čega se most sa diskovima automatski pomjera lijevo ili desno, završava gore spomenute operacije dok se ne izreže cijela površina bloka. Nakon vertikalnog rezanja dolazi operacija podrezivanja sa vodoravnim diskom promjera 450 mm, podrezuje se jedna po jedna ploča, prihvata se automatskim vakuumskim uređajem te se šalje na daljnje operacije obrade. Isti postupak se automatski ponavlja dok se ne izreže cijeli blok .





Tehničke karakteristike ortogonalnih strojeva za rezanje granita:

Broj vertikalnih diskova : do 90 kom

Snaga glavnog motora : od 50 do 180 KW (ovisno od broja diskova i promjera)

Promjer vertikalnog diska: od 1100 mm do 1600 mm

Masa stroja : od 12-40 tona

4.3. Strojevi s elastičnim radnim organom

U novije vrijeme također imaju sve veću primjenu. Radni organ im je dijamantna žica (detaljnije opisana u poglavlju eksploatacija kamena silikatnog podrijetla). Strojevi s elastičnim radnim organom mogu biti konstrukcije sa jednim radnim organom dijamantnom žicom (monofilo dijamantato) ili sa više dijamantnih žica (multifilo dijamantato). Zbog velike preciznosti koriste se za rezanje granitnih blokova u ploče širine 2 cm (konstrukcije sa više dijamantnih žica), a konstrukcije sa jednom žicom za rezanje debljih elemenata različite namjene. Na slikama su prikazane konstruktivne karakteristike strojeva sa elastičnim radnim organom.



Stroj za rezanje granita s jednim elastičnim radnim organom

BRUŠENJE I POLIRANJE

Nakon rezanja na gaterima sa plosnatom pilom ili strojevima s elastičnim radnim organom granitne ploče idu na široke linije za poliranje, ili, ako su primarni strojevi bili strojevi s dijamantnim diskovima, onda ploče idu na uske linije za brušenje i poliranje, onda dalje na rezanje i obrubljivanje.

Brušenje i poliranje granita je puno zahtjevniji radni proces nego brušenje i poliranje mramora. Zbog puno veće tvrdoće kamena silikatnog sastava, potrebno je utrošiti do nekoliko puta više energije i abrazivnog materijala (brusovi), da bi se dobio polirani proizvod. Linije za brušenje i poliranje granita imaju do 20 radnih glava, dok slični strojevi za mramore imaju do 10 radnih glava za brušenje i poliranje.

LINIJSKA OBRADA

Arhitektonski kamen ima sve veću primjenu. U vezi s tim pronalaze se i razvijaju modernije tehnologije, teži se što boljem iskorištavanju kako svakog kamenog bloka, tako i stroja za obradu kamena uz njegovu što precizniju i točniju obradu.

Zbog toga je u kamenorezačkoj industriji usvojena linijska obrada kamena, koja podrazumijeva metodu obrade kod koje su pojedine operacije međusobno povezane u neprekidni proces. Obrađivani se proizvod posije svake prethodne operacije dovodi pomoću posebnih transportera na sljedeću operaciju, do finalnog proizvoda. Neprekinutost procesa smanjuje do minimuma pomoćne operacije, omogućuje maksimalno iskorištenje mehanizacije, smanjuje broj radnika i ubrzava cijeli proces. Kao rezultat svega toga je povećani kapacitet i niža cijena finalnog proizvoda. Zbog različitih načina obrade tvrdih i mekih vrsta kamena pogoni s velikom proizvodnjom imaju potpuno odvojene linije za obradu mekih vrsta kamena (mramora) i tvrdih vrsta kamena (granita).

Linije za obradu granita

U nastavku će biti opisan jedan primjer linijske obrade „granita“

Prvi stroj u liniji je gater. Blok granita pili se glatkim čeličnim pilama sa slobodnim abazivom.

Dovođenje abrazivne pulpe nad gater postiže se automatskim crpnim sistemom, s programiranim recikliranjem. Granitni blok se iz skladišta na kolicima postavlja kranom, a isti se kran upotrebljava i na drugim procesima linije.

Manipuliranje kolicima s blokom se izvodi pomoću vučne jedinice s vitlom.

Granitne ploče nakon piljenja odlaze na brušenje i poliranje. Ta se operacija obavlja na portalnom stroju, koji ploče brusi i polira planetarnom glavom sa satelitskim radnim elementima.

Ploče se postavljaju i skidaju sa stroja kranom .



Stroj za brušenje i poliranje granitnih ploča

Kran je opremljen vakumskim dizalom, kojim se ploče mogu dizati i premještati tako da se uz ploču priljube tanjurasti držači ispod kojih se vakumskom crpkom isisava zrak.

Nakon brušenja i poliranja, ploče se režu na mosnom stroju, dijamanntnim diskom promjera 600 do 1200 mm.



Mosni stroj (freza) sa okretnim stolom za rezanje granitnih ploča

Nakon rezanja, proizvod se otprema u skladište, osim u slučaju kad proizvod ima posebnu namjenu (stepenice, prozorske daske), pa se otprema valjkastim transporterom, na završnu obradu, tj. cklus obrublivanja, na konvejni stroj.

Stroj je opremljen s devet bočnih radnih glava, za brušenje i poliranje bočnih strana proizvoda, sa tri kose radne glave za otupljivanje (gornjih i donjih) ivica i dvije (gornja i donja) glave za izradu žljebova uzduž obrađivanje ploče.



Stroj za brušenje i poliranje i otupljivanje ivica sa horizontalno i koso postavljenim radnim glavama

Primjer linije za obradu granita sa ortogonalnim strojem kao prvim strojem u liniji

Prvi stroj u liniji kojim se pili granitni blok je ortogonalni stroj, na kojem su sve operacije potpuno automatizirane (CNC)



Blok granita pili se s velikim brojem vertikalnih diskova promjera 1200 mm uz podrezivanje s horizontalnim diskom promjera 400 mm.

Granitne ploče se nakon piljenja odlažu pomoću automatskog potisnog uređaja, na valjčani transporter



Stroj za odlaganje granitnih ploča

Pomoću valjčanog transportera poče se otpremaju na sljedeću operaciju razrezivanja. Ploče se razrezuju na prethodno utvrđene veličine na konzolnom stroju, (slika...)



Konzolni stroj za poprečno rezanje

Nakon razrezivanja ploče se dalje otpremaju pomoću valjčanog transportera do stroja za kalibriranje (davanje konačne debljine ploča) odnosno brušenje i poliranje.

Strojevi za brušenje i poliranje koji se koriste u ovoj liniji su konvejnog tipa, a obavlja sve operacije od grubog, preko srednjeg i finog brušenja do poliranja, uz neprekidno gibanje obrađivanog proizvoda ograničene širine.



Stroj za brušenje i poliranje

Na kraju linije može se postaviti automatski stroj za brušenje rubova i uglova.

Obrada površine granitnih ploča plamenom

Ispilane granitne ploče položene su na paletu i propisno poslagane (moraju biti postavljene paralelno na os napredovanja stroja).

Ploče se s palete podižu automatskim utovarnim strojem na valjčani transporter, gdje se čiste pomoću prikladne četke. Pomoću valjčanog transportera ploče se otpremaju na programirani stol s valjcima (gdje se obrađuju strojem za obradu površine plamenom).

Nakon obrade, ploče se čiste na valjčanom transporteru rotirajućom četkom promjera 400 mm, otklanjajući vrhove neravnina preostalih nakon obrade plamenom.

Na kraju linije, obrađene ploče se pomoću automatskih pokretnih kolica odlažu na paletu.

Stroj se sastoji od mosta, uzduž kojega se giba plamenik. Ploče se nalaze na stolu s valjcima koji imaju programirani hod.

Kao gorivi materijal koristi se kisik i propan, mada se u posljednje vrijeme sve više koristi vodik.

Kisik i propan kroz vodove dolaze u komoru izgaranja, gdje se međusobno izmješaju, izgaraju i pretvore u visoko-temperaturnu plinsku struju. Djelovanjem visoko-temperaturne plinske struje izbačene iz mlaznice plamenika nadzvučnom brzinom na obrađivanu površinu kamena dolazi do odluskivanja tankog površinskog sloja kamena i stvaranja manje ili više hrapave površine ovisno o osjetljivosti sastojaka kamena na toplotne udare.

Stroj za pjeskarenje

Obrada površine granitnih ploča strojem za pjeskarenje postiže se pomoću smjese vode i abraziva. Abrazivno sredstvo koje se koristi je riječni pijesak pomješan s kremenom,

granulat 0,5 – 1,2 mm. Smjesa vode i abraziva izlazi velikom brzinom iz mlaznice, udara u površinu kamene ploče koja postaje hrapava.

KAMEN U HERCEGOVINI

Kamen kao osnovni arhitektonsko-građevni materijal je u Hercegovini korišten još od rimskih vremena, preko turskog i austro-ugarskog razdoblja do današnjih dana. Sjajan primjeri AG ljepote u kamenu su brojne građevine u dolini rijeke Neretve (Mostar i Počitelj kod Čapljine), kao i u Posušju.

Kao glavna specifičnost eksploatacije i prerade arhitektonsko-građevnog kamena na području Hercegovine sa BiH strane je eksploatacija i prerada neoblikovanih blokova nižih kategorija tj. blokova nepravilnih oblika kao i blokova veličine do 1 m³ tzv. tombolona.

Treba istaknuti podatak da se na ciljanom području, s bosansko-hercegovačke strane, od desetak aktivnih kamenoloma, u više od polovice eksploatiraju blokovi nepravilnih oblika odnosno tomboloni, što nije baš česta praksa u industriji kamena danas. U ostalim kamenolomima se dobivaju pravilni blokovi primjenom dijamantne žične pile, lančane sjekačice i ostale opreme koju zahtijeva ova tehnologija kao npr. (kamenolomi „Crveni Grm“ - Ljubuški; „Tvrda Ljut“, Ljubotići -Široki Brijeg; „Mukoša“ - Mostar).

Kamenolomi u kojima se eksploatiraju nepravilni blokovi i tomboloni nalaze se u krednim vapnencima i jurskim ili krednim dolomitima (kamenolomi karbonatnih stijena) i kamenolomi stijena silikatnog porijekla (jablanički gabro). Zajedničko i jednima i drugima je velika izlomljenost stijenske mase zbog intenzivne tektonike na ovim prostorima s jedne strane ali i izvanredne fizičko mehaničke osobine (posebno kod gabra i nekih krednih vapnenaca) te dekorativnost i tlačna čvrstoća (kod dolomita), s druge strane. Na sljedećim slikama su prikazani neki kamenolomi u kojima se eksploatiraju neoblikovani blokovi odnosno tomboloni .



Kamenolom krednog vapnenca „Česića Draga“- Posušje



Kamenolom dolomita „Osoje“- Kočerin, Široki Brijeg



Kamenolom „granita“ (gabra) Jablanica

Od poznatih vrsta hercegovačkog kamena ističe se čuveni kamen magmatskog porijekla gabro, i to biotitski gabro ili jablanit iz Jablanice

JABLANIČKI GRANIT

Mada su dosta davno (1870.) otkrivena prva rudišta vrlo kvalitetnog kamena koji se po mineralnom sastavu podudara sa granitom, tek se odlaskom Austro-Ugarske i završetkom Prvog svjetskog rata 1920. godine započelo sa prvom eksploatacijom, što je ujedno i početak razvoja industrije u Jablanici i jablaničkom kraju. Jablanički granit se naziva jablanit. Čuveni Jablanički granit je kamen magmatskog porijekla - gabro i to biotitski gabro ili jablanit zahvata površinu od cca 15 km² a revidirane eksploatacijske zalihe iznose 800.000 m².



Jablaniči granit

Struktura mu je hipidiomorfno zrnasta, rjeđe ofitska, a tekstura masivna ili paralelna, što se ispoljava i u smjenjivanju svijetlih i tamnijih vrsta gabra. S obzirom da je riječ o žilavom i tvrdom kamenu, sitnozrne strukture, polira se odlično. Čvrstoća kamena garantuje mu primjenu u svim vrstama građevinskih objekata, a mineralni sastav, ujednačenost tvrdoće sastojaka, kao i dekorativne osobine čine ga univerzalno primjenjivim u arhitekturi. Mineralni sklop, ujednačenost tvrdoće minerala omogućava kamenu perfektnu polituru i visok sjaj. Znanje o kamenu i majdanima samo za sebe ne znači mnogo, ukoliko se ne upotrpuni njegovom primjenom u skulptorskim i arhitektonskim ostvarenjima. Upotrebljava se u likovnoj umjetnosti, za masivno građenje i za najfiniju skulpturu. Eksploatiše se u nekoliko majdana, a svaki od njih ima svoj karakterističan tip. Tako se crni sitnozrnasti gabra nalazi u Findiku, tamni i crni sitnozrnasti u Padešćici, tamni i sivi u majdanu Ploče te gabra u majdanima Car, Velja stijena i Heljdovište.

Gdje se sve nalaze zgrade, monumentalne skulpture i popločane ulice i trgovi od kamena granita iz Jablanice, malog grada u Hercegovini smještenog na samom kanjonu Neretve, stisnutog između Prenja i Čvrsnice, danas je gotovo nemoguće utvrditi.

Zgrada bečke Opere, Akademija nauka u Moskvi ili Gradska vijećnica u Berlinu samo su neki od značajnijih objekata koje krasi naš kamen. Mnogi danas Jablanicu i prepoznaju po granitu, popularnom “gabru”, neobičnom tvrdom crnom vulkanskom kamenu, koji je našao svoje mjesto diljem Europe, Amerike i Australije. Ako se pitate što je razlog tomu, odgovor je dao i veliki svjetski umjetnik Ivan Meštrović koji je za jablanički granit kazao da je “neuništiv, vječan i trajniji od bazaltnih spomenika Nubije i Egipatskih piramida”.

Meštrović je od crnog jablaničkog granita napravio čuveni spomenik Neznamom junaku na Avali u Beogradu.



Spomenik neznanom junaku, Avala – Beograd

Vrijednost ovoga kamena, za kojeg kažu da ne zna za zub vremena, nije prepoznao samo Meštrović, nego i druga velika imena skulpture i arhitekture, kao što su Dušan Džamonja, Bogdanović, Kranjc i drugi. Kao simbol vječnosti, ovim je kamenom popločan i plato ispred zgrade Ujedinjenih naroda u New Yorku. Upoznavši kvalitetu ovoga granita mnogi arhitekti, urbanisti, kipari i svi oni koji znaju što je kamen, osigurali su ljepotu i monumentalnost mnogobrojnim u svijetu poznatim objektima, osim onima nabrojenim na početku teksta, i zgradi pravosuđa u Budimpešti, velikom kompleksu hotela na Jalti, pošti i željezničkoj stanici u Sarajevu itd. Ovaj kamen uljepšava trgove Zagreba, Beograda, Budimpešte, Moskve, Beča... Od njega su napravljeni plato KSC "Skenderija" u Sarajevu, glavna ulica Knez Mihajlova u Beogradu (Srbija), Spomenik neznanom junaku, Avala – Beograd, Hotel Hayat u Beogradu, Sportski centar "Cibona" u Zagrebu (Hrvatska), "Trg bana Jelačića", "Trg Burze" i "Trg Austrije" u Zagrebu (Hrvatska), "Trg A. Starčevića" u Osijeku (Hrvatska), ulice Titova i Ferhadija, kao i trg ispred Skupštine BiH u Sarajevu, trg i pješački prolazi u Nišu (Srbija), pješačka zona u Zrenjaninu (Srbija), pješačke zone i trгови u Kragujevcu (Srbija), metro u Budimpešti (Mađarska), Hotel "Bristol" u Mostaru.... Među brojnim spomenicima koji su napravljeni od granita su Njegošev mauzolej na Lovčenu (Crna Gora), Spomen-park "Vraca" u Sarajevu, Spomenik "Popina" u Kraljevu (Srbija)... Na prostorima regije skoro je nemoguće pronaći uređeno groblje bez spomenika izrađenog od jablaničkog granita.



Trg bana Jelačića



Knez Mihajlova ulica, Beograd



Memorijalni centar Potočari

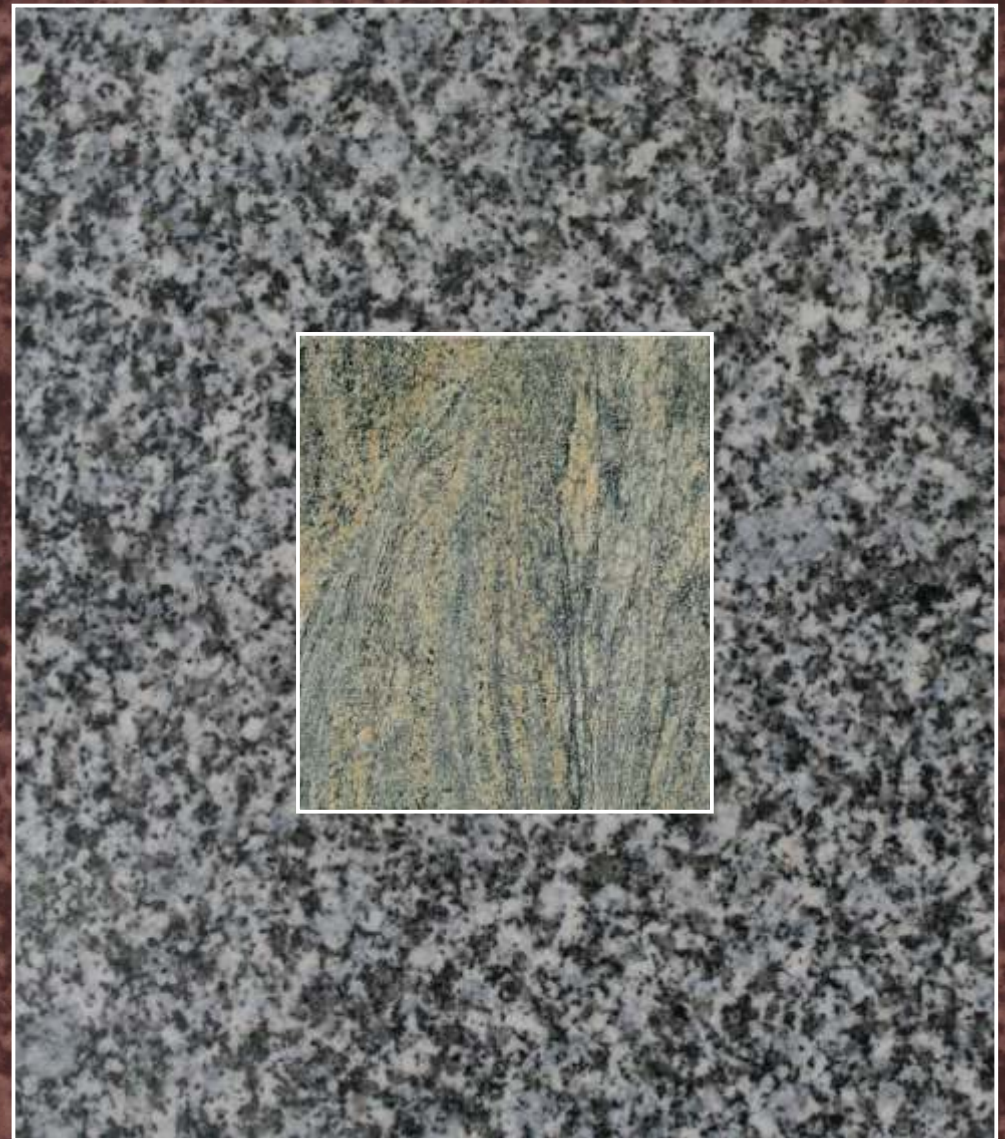


Spomenik Popina

Pri proizvodnji dimenzioniranog kamena javlja se velika količina otpada koji bi mogao poslužiti za proizvodnju sintetičkih vlakana i kamene vune. Naročita estetska i mehanička svojstva pokazuje dimenzionirani kamen dobiven preradom tombolona iz grusa jablaničkog gabra. To su jajoliki blokovi gotovo potpunog mnolita koji se, zahvaljujući tome, odupro raspadanju i koji se, poput kompozita, nalazi zatrpan u potpuno raspadnutom materijalu – grusu. Tu su i razne vrste vapnenca, vapnenačke breče, mramori, mramorizirani, dolomitizirani i laporasti vapnenci, sedra, dijabazi i sl.

Granit je važio za nosioca razvoja općine Jablanica i to je u dužem periodu zaista i bio. Danas je privatna inicijativa prepoznala šansu u razvoju ove djelatnosti tako da se paralelno sa Granitom pojavio značajan broj subjekata sa cca 10-100 uposlenika koji se svakodnevno dokazuju na tržištu eksploatacije i finalne obrade kako granita tako i drugih vrsta kamena (mermeri i krečnjaci).

KAMENJARSTVO



«Ovaj dokument proizveden je uz finansijsku pomoć REDAH-e.
Sadržaj ovog dokumenta je izričita odgovornost Općine Jablanica
i ni pod kojim uvjetima ne može se smatrati odrazom stava REDAH-e».



Asocijacija za ekonomski razvoj
Asocijacija za gospodarski razvitak
Асоцијација за економски развој

