Pogon za proizvodnju i obradu kamena

Čar, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:204307

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK
Sveučilišni studij

POGON ZA PROIZVODNJU I OBRADU KAMENA „Karat d.o.o.“

Završni rad

Dino Čar

.

Osijek, 2016.

ETFOS
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom studiju

Osijek, rujan 2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Dino Čar
Studij, smjer:	Sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike
Mat. br. studenta, godina upisa:	3725, 2013.
Mentor:	Izv. prof.dr.sc. Tomislav Barić, dipl.ingl.el.
Sumentor:	-
Naslov završnog rada:	**POGON ZA PROIZVODNJU I OBRADU KAMENA „Karat d.o.o.“**
Primarna znanstvena grana rada:	**Elektrotehnika**
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	**Energetika**
Predložena ocjena završnog rada:	
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: Jasnoća pismenog izražavanja: Razina samostalnosti:

Potpis sumentora:	Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

Potpis predsjednika Odbora: _____

Dostaviti:

1. Studentska služba

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

ETFOS ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, rujan 2016.

Ime i prezime studenta:	Dino Čar
Studij :	Sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike
Mat. br. studenta, godina upisa:	3725, 2013.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**:**

POGON ZA PROIZVODNJU I OBRADU KAMENA „Karat d.o.o.“

izrađen pod vodstvom mentora

Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić, dipl.ingl.el.

i sumentora

Moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada,osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Dino Čar

Sadržaj

1. UVOD 1

1.1. Zadatak završnog rada 1

2. POVIJEST TVRTKE „KARAT D.O.O.“ 2

3. O KAMENU 3

3.1. Prirodni kamen 3

3.2. Trajnost kamena 4

4. DOBIVANJE I OBRADA PRIMARNIH I KOMERCIJALNIH BLOKOVA 6

4.1. Površinsko otkopavanje 6

4.2. Izdvajanje primarnih blokova piljenjem dijamantnom žičnom pilom 7

4.3. Dobivanje blokova lančanom sjekačicom 9

4.4. Dobivanje blokova kombinacijom piljenja lančanom sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom 10

4.5. Podzemno otkopavanje 12

4.6. Spuštanje u niže etaže 12

4.7. Obaranje primarnih blokova 14

4.8. Hidraulični potiskivači 15

4.9. Zračni jastuci 18

4.10. Vodeni jastuci 20

4.11. Obaranje blokova strojnim potiskivanjem 21

4.12. Dobivanje komercijalnih blokova 23

4.13. Bušenje i kalanje klinovima 23

4.14. Lomljenje blokova neeksplozivnom smjesom 24

4.15. Dobivanje komercijalnih blokova piljenjem dijamantnom žičnom pilom 26

4.16. Raspilavanje primarnih blokova lančanom sjekačicom 26

4.17. Završno oblikovanje blokova 28

4.18. Raspilavanje blokova u ploče- poluproizvod 29

4.19. Brušenje i poliranje, rezanje, obrubljivanje 30
5. STROJEVI U POGONU 34
5.1. Lančana sjekačica 36
5.2. Dijamantna žična pila 41
5.3. Filo sajla za rezanje kamena 45
5.4. Freza za piljenje ploča 47
5.5. Gater 49
5.6. Ostali strojevi 53
6. ZAKLJUČAK 55
LITERATURA 56
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA 57
SAŽETAK 59
ABSTRACT 59
ŽIVOTOPIS 60
PRILOZI 61

1. UVOD

U završnom radu bit će opisan proces obrade arhitektonskog kamena od velikih blokova do konačnih proizvoda u obliku finih poliranih ploča, kamina, radnih površina za kuhinje, radnih ploča za umivaonike, fasada, kamenih ograda, stepenica, podova u pogonu tvrtke za obradu kamena „Karat d.o.o.“. Postrojenje tvrtke „Karat d.o.o.“ je prilično veliko te broji 50-ak radnika koji su raspoređeni po postrojenju i svaki je zadužen za jedan dio obrade kamena. Iako se u samom postrojenju ne nalazi kamenolom, Karat je izravno povezan s postrojenjima u Indiji i ostalim zemljama koja su zadužena za dobivanje primarnih blokova te njihovom obradom da bi se dobili komercijalni blokovi. Postrojenje ima nekoliko strojeva te je svaki potreban da bi se dobio željeni proizvod. Najvažniji strojevi unutar pogona su dijamantna žična pila, lančana sjekačica, gater, freza, polirka itd. Ovaj rad će sadržavati fotografije iz literature te fotografije uzete u samom pogonu te će svaki stroj koji se u tom pogonu nalazi biti objašnjen kao i njegov princip rada te njegova svrha.

1.1. Zadatak završnog rada

U završnom radu je potrebno izložiti svu teoriju vezanu za proces obrade kamena u kojemu je cilj iz stijenske mase dobiti finalni produkt (najčešće kamena ploča), obraditi sve metode koje koriste te uz pomoć formula i proračuna pobliže ih objasniti. Zadatak je opisati građu strojeva u pogonu, njihov princip rada te uvidom u dostupnu dokumentaciju priložiti njihove karakteristike i fotografije. Osim toga, cilj je završnog rada da se kroz svojstva kamena stekne i dojam o složenosti samog postupka i koliko vremena je potrebno da bi se došlo do finalnog produkta.

2. POVIJEST TVRTKE „KARAT D.O.O.“

Dugogodišnja obiteljska obrtnička tradicija datira još od 1974. te osnivanjem današnje tvrtke 1990. god. djelatnost se širi na obradu arhitektonskog kamena. Danas tvrtka (Slika 2.1. [1]) raspolaže vlastitim kapacitetom za primarnu preradu, piljenje granitnih i mramornih blokova u ploče raznih debljina, poliranje ploča i završne obrade kao i ugradnje svojih proizvoda te je pravi primjer kako se od malog obiteljskog obrta razvila respektabilna tvrtka sa brojnim zaposlenicima, dobrom kvalitetom usluge i dobrim poslovanjem i izvozom.



Slika 2.1. Pogon tvrtke Karat

3. O KAMENU

Čovjek je oduvijek imao želju za oblikovanjem kamena, želju da u njemu kleše različite znakove i simbole. Od kamena su radili oruđe, skloništa, hranilišta za stoku, sarkofage i mnogo ostalih stvari. Razvojem tehnologije i znanja, ljudi su počeli sve više obrađivati kamen i razvijaju klesarstvo i kiparstvo. Današnja tehnologija u potpunosti ispunjava sve želje čovjeka vezane za rezanje i obradu kamena. Tehnologija se toliko razvila i više nije potrebno detaljno proučavati svaki kamen, nije potrebno osluškivati kako kamen zvoni te nije potrebno pratiti njegove vene.

3.1. Prirodni kamen

Prema [5] prirodni kamen je tradicionalni građevinski materijal koji se može koristiti na dva osnovna načina:

- U obliku manjih i većih komada različitog stupnja obrade namijenjenih za zidanje, oblaganje zidova, popločavanje itd.
- U obliku prirodno i umjetno usitnjenog materijala rastresite strukture korištenog za različite vrste nasipanja, za izradu zastora na željezničkim prugama, za izradu konstrukcija na ulicama i aerodromima i kao sredstvo za spravljanje betona itd.

Fizikalna, kemijska, fizikalno-kemijska i ostala svojstva građevnog kamena najčešće odgovaraju svojstvima stijenske mase od koje je taj kamen dobiven, a pri čemu utjecaj na ove karakteristike imaju mineralni sastav stijene i uvjeti njenog formiranja. Petrologija je znanost koja se bavi proučavanjem stijena. Sve stijene su sačinjene od određenih minerala, a oni predstavljaju fizički i kemijski homogena tijela nastala u zemljinoj kori kao rezultat određenih fizikalnih djelovanja. Najveći broj minerala je u čvrstom agregatnom stanju i ima kristalnu građu. U prirodi postoji veliko broj različitih minerala, ali se u građevinarstvu koristi samo jedan manji broj. Ti se minerali mogu naći u stijenama od kojih se dobiva građevinski kamen. Najbitnija karakteristika minerala, to jest kamena je tvrdoća, koja se definira Moseovom skalom tvrdoće.

Ovisno o načinu formiranja, stijene se mogu podijeliti na tri osnovne grupe:

- Magmatske stijene (eruptivne dubinske i površinske), koje nastaju procesom kristalizacije prirodnog silikatnog rastopa magme;
- Sedimentne stijene koje se nalaze na površini zemljine kore i nastale raspadom stijenskih masa;
- Metamorfne stijene nastaju kao proizvod prekristalizacije i prilagođavanja nekih stijena izmijenjenim fizikalno-kemijskim svojstvima

U ovom radu nije cilj detaljno objašnjavati sve grupe i podvrste kamena, stoga će se bazirati na one vrste kamena koje su najčešće upotrebljavane u pogonu koji će detaljno biti opisan kasnije u nastavku. Najčešće upotrebljavane vrste arhitektonsko-građevinskog kamena su granit i mramor.
Granit se sastoji od kvarca (20-60 %), feldspata (35-40 %), biotita (3-10 %, turmalina i muskovita, te apatita, cirkona kao sekundarnih sastojaka. Feldspati tvore najveće kristale, kvarc ispunjava međuprostor, a biotit se javlja kao jednoliko raspodijeljen ili akumuliran i odgovoran je za kontrast.
Graniti su zrnaste strukture. Različiti feldspati određuju izgled, a što je najvažnije boju granita koje mogu biti svijetlo crvene, crvenkaste, žućkaste, bjelkaste, plavkasto-zelenkaste pa sve do sive (nikada nisu pretežno tamne).
Trajnost granita je dobra do vrlo dobra, a zadržava dekorativnost, sjaj i nepromjenjivost izgleda čak i u nekim uvjetima onečišćenog okoliša. Graniti s većim upijanjem vode propadaju brže.
U svijetu se masovno koristi u različite svrhe, a najčešće je oblaganje površina. Najčešće ga se nalazi u Španjolskoj, Italiji, Njemačkoj, Finskoj, Švedskoj, Austriji, Francuskoj, Brazilu, Kini, Indiji.
Mramor je nastao iz sedimentnih stijena koje sadrže velik postotak kalcijevog karbonata. Glavni element od kojeg je građen je kalcit (50-80 %), a sekundarni elementi su grafit, pirit, limenit.
Mramori imaju nelinearnu, sitno do krupnozrnatu teksturu. Odlikuju se kristalnom strukturom, zbog koje dolazi do loma i refleksije svjetla. Pravi mramor je bijele boje, ali sadrži nečistoće i tragove drugih boja u obliku pruga, manjih površina, nepravilnog uzorka točkica, slojeva i površina. Svijetlih i jačih boja nema.
Za mramor se može reći da nije dovoljno otporan na habanje, Polirane površine u eksterijeru gube sjaj, površina postaje fino hrapava, ali boju zadržavaju duže vrijeme zbog stabilnih prirodnih pigmenata.
Koriste se za unutrašnja oblaganja zidova, popločavanje, izradu stepenica i skulptura. Mramor se može naći u Italiji, Njemačkoj, Makedoniji, Španjolskoj, Portugalu, Austriji, Grčkoj.

3.2. Trajnost kamena

Prema [5] trajnost je mjerilo sposobnosti kamena da traje te da zadrži svoje osnovne i posebne osobine izgleda, otpornosti prema raspadanju i čvrstoće. Kamen svoje urođene osobine i svojstva

može zadržati određeno vrijeme koje ovisi o okolišu i mjestu ugradnje. Postojanost najviše ovisi o procesima kojima je stijenska masa bila izložena, to jest strukturnim i teksturnim značajkama. Osim toga ovisi i o poroznosti i njegovom mineralnom sastavu. Na oštećenja površine kamena veliki utjecaj imaju promjene temperature, vlaga, bakterije, lišajevi i korijenje viših biljaka.

Uzeći u obzir fizikalno-mehanička svojstva, vremensku trajnost izgleda, te trajnost općenito definira se mogućnost i širina područja u kojem će se primijeniti kamen. Ta primjena obuhvaća i različite načine piljenja i obrade površina određene vrste kamena. Najveću vrijednost ima kamen koji vremenom ne mijenja svoj izgleda i koji se može upotrijebiti u različite svrhe, bilo to u arhitekturi ili umjetnosti.

Postoje četiri kategorije s obzirom na kriterije upotrebe:

1. Svestrana primjena u arhitekturi i umjetnosti (uglavnom graniti i druge silikatne stijene)
2. Na vertikalnim površinama primjena neograničena, a na horizontalnim ograničena. To su mramori svjetlijih tonova ili obojeni mramori s umjerenom dekoloracijom tokom vremena. Ovdje pripadaju i travertini i neke vrste vapnenca
3. Primjena samo na vertikalnim površinama. To su mekani vapnenci i tufovi. Odlikuju se znatnom poroznošću.
4. Primjena samo u interijerima. To su uglavnom obojeni krečnjaci koji brzo dekoloriraju i smanjuju arhitektonsku vrijednost objekta.

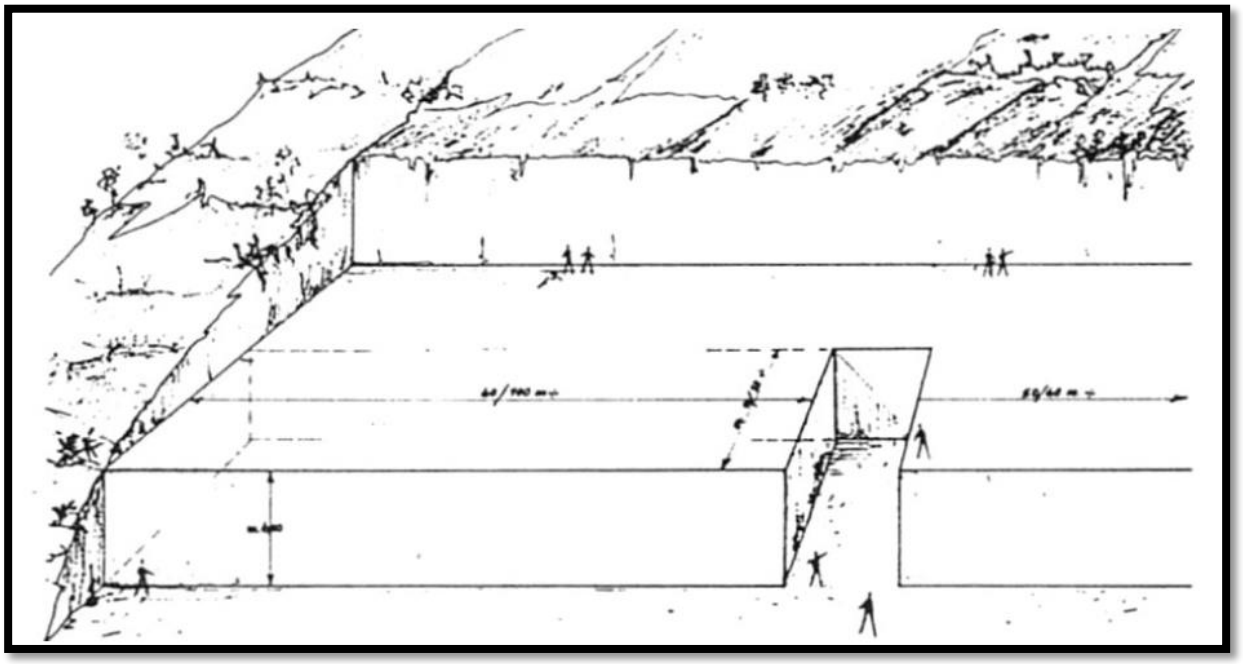
4. DOBIVANJE I OBRADA PRIMARNIH I KOMERCIJALNIH BLOKOVA

Dobivanje primarnih blokova tehnološki je proces u kojem se otkopava arhitektonsko građevni kamen i kojim se iz već pripremljene stijene izdvaja blok velikih dimenzija, tzv. primarni blok. Taj primarni blok se zatim oblikuje u više blokova komercijalnih dimenzija. Najbitniji strojevi za dobivanje primarnih blokova su dijamantna žična pila te lančana sjekačica, pa stoga i metode kojima se izdvajaju primarni blokovi ovise o strojevima koji se koriste (Prema literaturi [2]). Prije nego se dobiju primarni blokovi, prethode pripremne radnje i to: bušenje vertikalnih i horizontalnih bušotina za provlačenje dijamantne žice, dok se dobivanje blokova temelji na piljenju s dijamantnom žičnom pilom, piljenju lančanom sjekačicom ili kombiniranom primjenom svih ovih strojeva. Sljedeći korak, nakon izdvajanja primarnih blokova iz stijenske kamene mase je proces odvaljivanja i prevrtanja blokova pomoću zračnih i vodenih jastuka, te hidrauličkih cilindara. Zatim slijedi oblikovanje dobivenih primarnih blokova u komercijalne blokove, a to se ostvaruje bušenjem i cijepanjem pomoću klinova ili piljenjem: lančanom sjekačicom, dijamantnom žičnom pilom ili dijamantnim žičnim gaterom. Za transport komercijalnih blokova do pogona za daljnu obradu koriste se: utovarivači, damperi, kamioni, bageri itd.

4.1. Površinsko otkopavanje

Površinsko otkopavanje započinje otvaranjem usjeka u zatvorenoj etaži površinskog brdskog kamenoloma. Time je omogućeno iskorištenje kamenih blokova na dva posve odvojena i neovisna dijela (Slika 4.1. [2]). Usjekom su na obje strane oslobođene po tri plohe, a tri ostale ostaju vezane. Blokovi se na ostale tri plohe, piljenjem dijamantnom žičnom pilom, lančanom sjekačicom ili kombinacijom ta dva stroja, oslobađaju. Najčešća metoda u površinskom otkopavanju kamenoloma je piljenje primarnih blokova iz pripremljenog banka (prostor iz kojeg se dobiva više primarnih blokova) te oblikovanje u komercijalne blokove. Veličina banka, redoslijed i način piljenja, dimenzije primarnog bloka u određenim kamenolomima moraju se prilagoditi uvjetima na terenu te opremi koja je dostupna. Zbog toga nema nekog općeg pravila kod organizacije rada, koje bi vrijedilo za svaki slučaj eksploatacije. Cilj je što ekonomički isplativo dobiti blokove optimalnih dimenzija uz što veće iskorištenje strojeva pa se parametri iskorištenja podešavaju ovisno o prilikama i strukturnom sklopu na određenom kamenolomu ili nekom njegovom dijelu. Također, površine (dimenzije) rezova odabiru se ovisno o strukturnom

sklopu stijenske mase, ali i o odgovarajućim površinama piljenja pojedinih strojeva, s ciljem da bi se izbjeglo učestalo premještanje strojeva, to jest da bi se smanjila neproduktivnost i gubici.

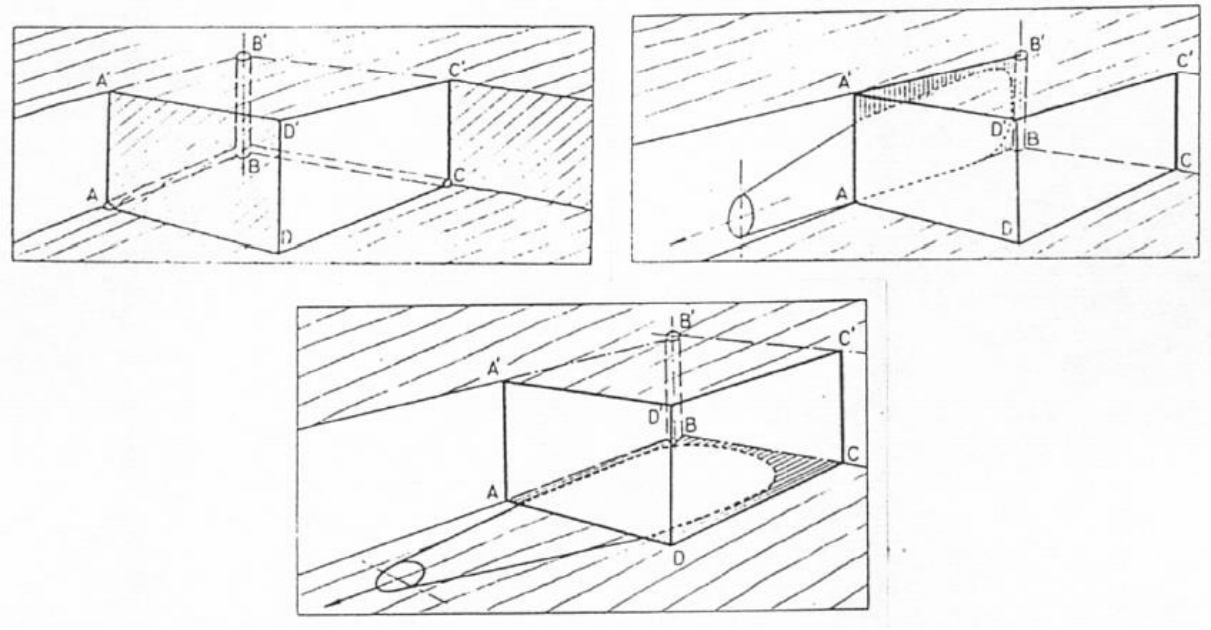


Slika 4.1. Pripremljena etaža za eksploataciju primarnih blokova

4.2. Izdvajanje primarnih blokova piljenjem dijamantnom žičnom pilom

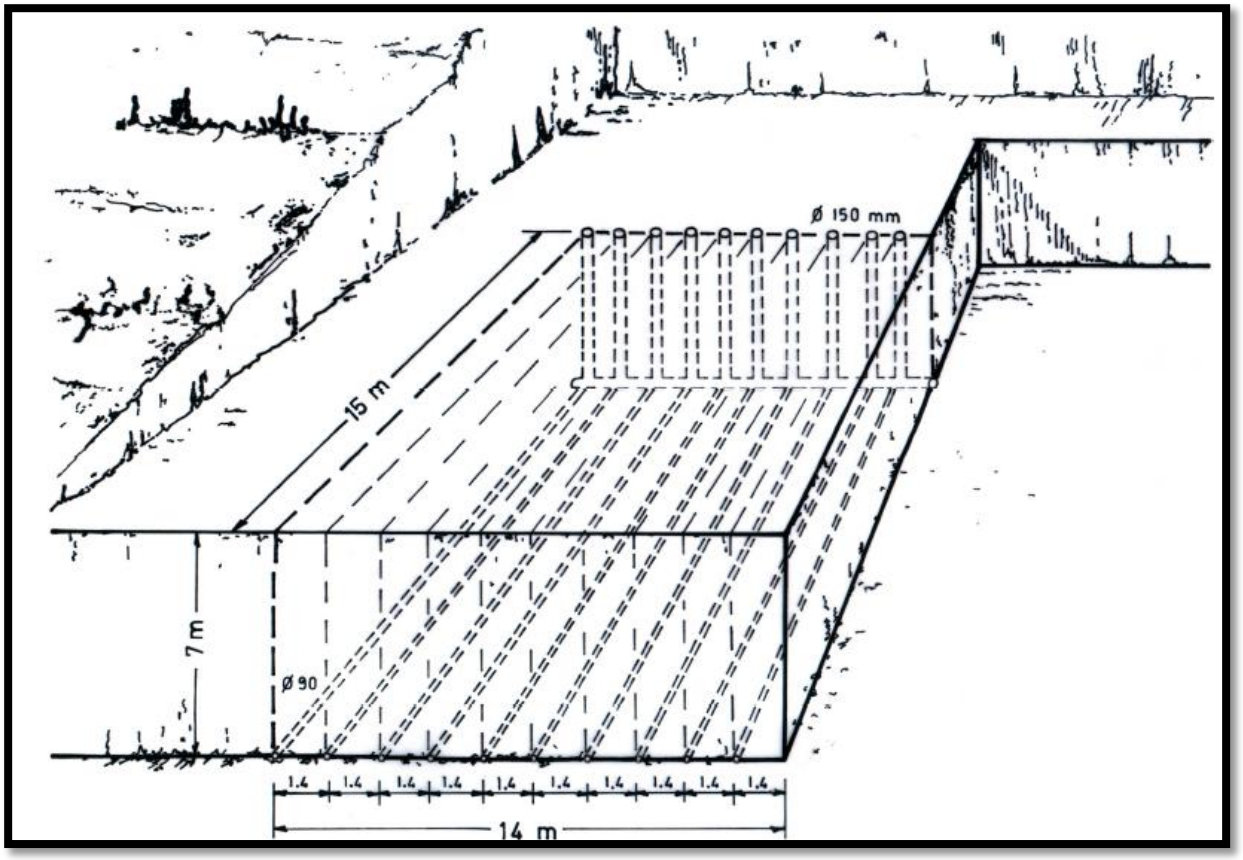
Nakon oslobađanja triju ploha na banku, za oslobođenje bloka potrebno je ispiliti dva vertikalna i jedan horizontalni rez. Da bi se ispilili ti rezovi dijamantnom žičnom pilom, treba se prvo izbušiti tri međusobno okomite bušotine, od kojih je jedna vertikalna, a dvije horizontalne, kojima se ograničavaju površine piljenja (Slika 4.2. [2]). Odvajanje bloka se izvršava piljenjem dviju bočnih strana ABA'B'- CBC'B' i piljenjem po bazi ABCD. Vertikalni rez ABA'B' se mora piliti pogonskim kotačem u vertikalnom položaju. Nakon toga se dijamantna žica mora provući kroz horizontalne bušotine, pogonski kotač postaviti u horizontalni položaj tako da ga nastoji dovesti u što je moguće nižu crtu rezanja te se ispili baza ABCD. Drugi se vertikalni rez treba piliti na isti način kao što se pili prvi vertikalni rez. Cilj je da se horizontalni rez ispili prije nego se vertikalnim rezovima stijenska masa oslobodi na bočnim stranama jer se treba izbjeći pritiskanje ispiljene mase na dijamantnu žicu. Redoslijed kojima se pili je proizvoljan, a ako se izabere takav da se prvo pili horizontalni rez pa zatim vertikalni, tada je otežano hlađenje dijamantne žice jer se ne može dodavati voda kroz vertikalni rez. Nastoji se piliti u isto vrijeme

optimalne površine tako da se što manje premještaju strojevi, tako se na primjer jedim horizontalnim rezom mogu zahvatiti površine više blokova. Ukoliko brzina radova zahtjeva, na istom banku mogu istovremeno raditi dvije i više pila.



Slika 4.2. Oslobađanje površina dijamantnom žičnom pilom

Najčešće prosječne dimenzije primarnih blokova su $15\ \mathrm{m} \times 7\ \mathrm{m} \times 1{,}4\ \mathrm{m}$, odnosno blok ima volumen $147\ \mathrm{m}^3$. Usporedbe radi, blokovi korišteni za izgradnju egipatskih piramida su imali prosječnu masu oko 2,5 tona dok primarni blokovi imaju nevjerojatnih 400 tona, a kasnije dobiveni komercijalni blokovi imaju oko 18 tona. Uspoređujući i dimenzije blokova piramide ($1{,}3\ \mathrm{m} \times 1{,}3\ \mathrm{m} \times 0{,}7\ \mathrm{m}$) i dimenzije primarnih blokova (najčešće $15\ \mathrm{m} \times 7\ \mathrm{m} \times 1{,}4\ \mathrm{m}$) vidi se kolika je to razlika u veličini i masi te kolika je potrebna snaga i tehnologija kako bi se ti blokovi srušili, prenijeli s jednog mjesta na drugo i transportirali. Osim toga, dovodi se u pitanje kako se 2,5 milijuna kamenih blokova s tolikom preciznošću složilo i tako stvorila impresivna građevina poput piramide, i to sve bez upotrebe strojeva, uz pomoć ljudske sirove snage, drvenih pomagala i neophodnog velikog inženjerskog i graditeljskog znanja. Ti blokovi se eksploatiraju iz banka dimenzija $15\ \mathrm{m} \times 7\ \mathrm{m} \times 14\ \mathrm{m}$ pa se iz toga dobije 10 jednakih blokova (Slika 4.3. [2]). Optimalne dimenzije primarnog bloka te banka dakle ovise o strukturnom sklopu, prilikama u ležištu, najpovoljnije iskorištenju strojeva, ali i o optimalnim veličinama komercijalnih blokova. Prema tome, kada se određuje dimenzija bloka, vodi se računa o tome da se iz tog bloka dobije što veći broj komercijalnih blokova pravilnih dimenzija.



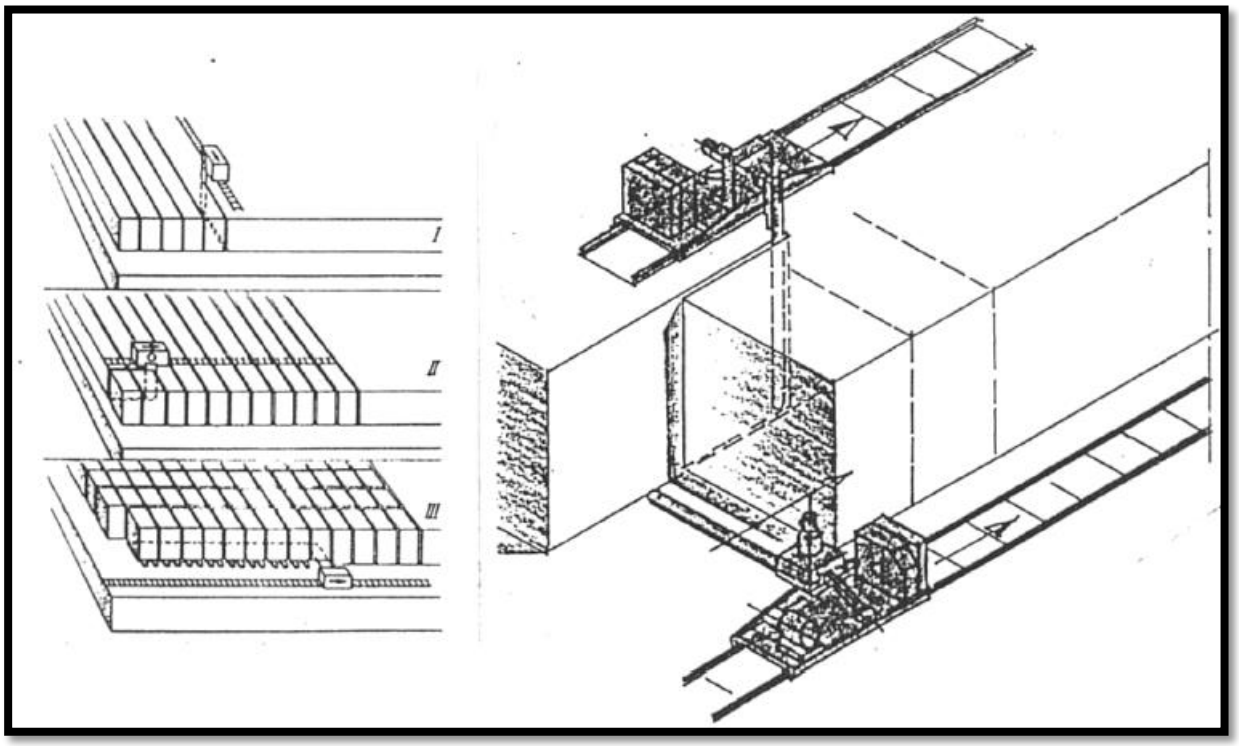
Slika 4.3. Eksploatacija primarnih blokova jednakih dimenzija

4.3. Dobivanje blokova lančanom sjekačicom

Ako se kameni blokovi dobivaju primjenom lančane sjekačice, dimenzije etaža su uvjetovane dužinom reza, a on se može dobiti lančanom sjekačicom. Dobivanje blokova pomoću sjekačice je primjenjivo u kompaktnim cjelovitim ležištima s blagim zalijeganjem sloja. Svi se rezovi pile pomoću lančane sjekačice, na način da se najprije ispili horizontalni pa onda uzdužni i poprečni rezovi većih dužina (Slika 4.4. [2]).

Ovisno o prirodi kamenoloma, određuje se razmak između rezova te treba također voditi računa o prirodnim pukotinama. Takve pukotine se pokušavaju iskoristiti da bi se dobile maksimalne dimenzije blokova. Nastoji se dobiti pravilnu međuovisnost dužine bloka ili širine i debljine bloka pa se tako ako je dubina uzdužnog reza 280 ili $300\ \text{cm}$, međurazmak od jednog reza do drugog mora biti 580 ili $870\ \text{cm}$ (to jest $2\times290\ \text{cm}$ ili $3\times290\ \text{cm}$). Zbog toga što je stroj dobro iskorišten potrebno je da rezovi imaju što veću dužinu, pa se stoga i dužine etaža moraju kretati do oko 80 metara. Mnogo veću primjenu lančana sjekačica ima kod dubinske eksploatacije, naročito kod otvaranja usjeka u dubinskom dijelu kamenoloma. Dakle, kada se u

dubinskom kamenolomu usjek otvori, za eksploataciju blokova se isključivo koristi lančana sjekačica. Kod isključivog korištenja sjekačice su, zbog ograničene veličine reza, to jest dužine ruke, potrebna dugotrajna piljenja. Zbog tog dugotrajnog piljenja se pokazalo da je daleko učinkovitija metoda eksploatacije kombinacija piljenja lančanom sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom.



Slika 4.4. Shema dobivanja blokova lančanom sjekačicom

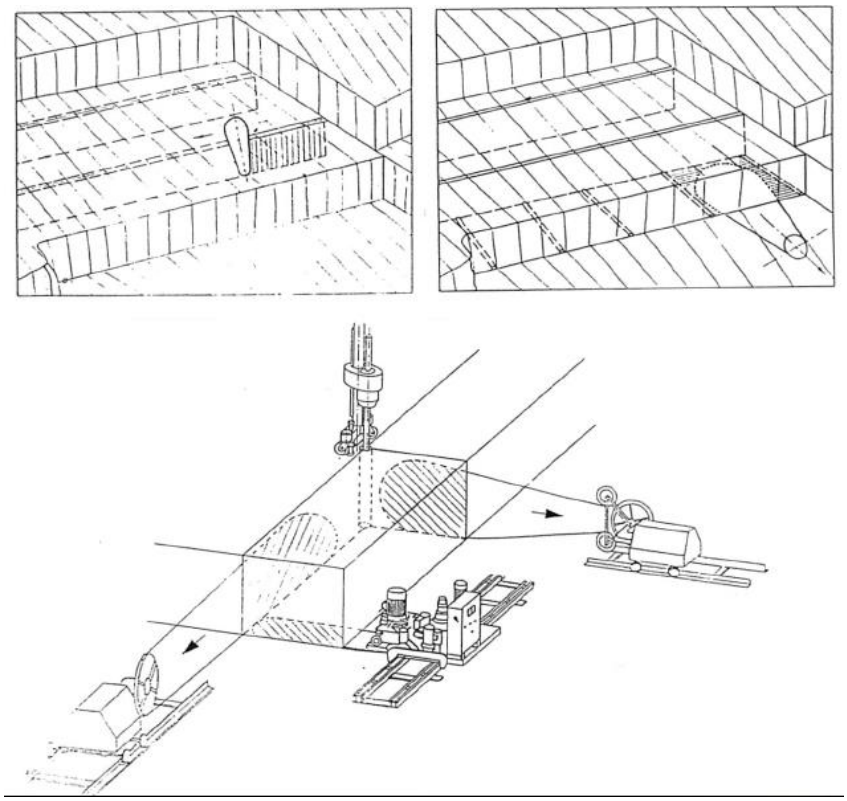
4.4. Dobivanje blokova kombinacijom piljenja lančanom sjekačicom i dijamantnom žičnom pilom

Metoda eksploatacije blokova kombiniranim korištenjem lančane sjekačice i dijamantne žične pile je vrlo učinkovita. Učinkovita je jer se mogu kombinirano koristiti prednosti jednoga ili drugoga stroja. Primjenjujući tu kombinaciju, mogu se primjenjivati dvije sheme rada (Slika 4.5. [2]), piljenje vertikalnih rezova lančanom sjekačicom, a horizontalnih dijamantnom žičnom pilom, a druga je piljenje horizontalnih rezova lančanom sjekačicom, a vertikalnih dijamantnom žičnom pilom.

Kod prve metode se najprije moraju ispiliti vertikalni rezovi na razmacima kao kod korištenja lančane sjekačice, a onda se moraju izbušiti horizontalne bušotine (uglavnom bušaćim

čekićem na vodilicama) i to na takvim razmacima da bi se dobile odgovarajuće veličine reza za horizontalno piljenje dijamantnom žičnom pilom. Pri horizontalnom bušenju vodi se računa da bušotina u svakom trenutku bude pristupna iz vertikalnog reza, jer kroz njega treba biti provučena dijamantna žica.

Druga metoda kod kombinirane primjene već navedenih strojeva gdje se horizontalni rezovi rade pomoću lančane sjekačice je mnogo pogodnija. Pogodnija je zbog dosta prednosti i ostvarenih učinaka kod piljenja vertikalnih rezova prema horizontalnima, ali i vertikalnog bušenja, a posebno zbog odabira visine etaža. Na slici su prikazane faze rada kod ovog načina dobivanja blokova. Najbitnije je u praksi da se sam način rada prilagodi svrhovitom iskorištenju strojeva, odnosno da se odaberu veličine piljenja prema njihovim mogućnostima.



Slika 4.5. Shema kombinirane primjene sjekačice i dijamantne pile

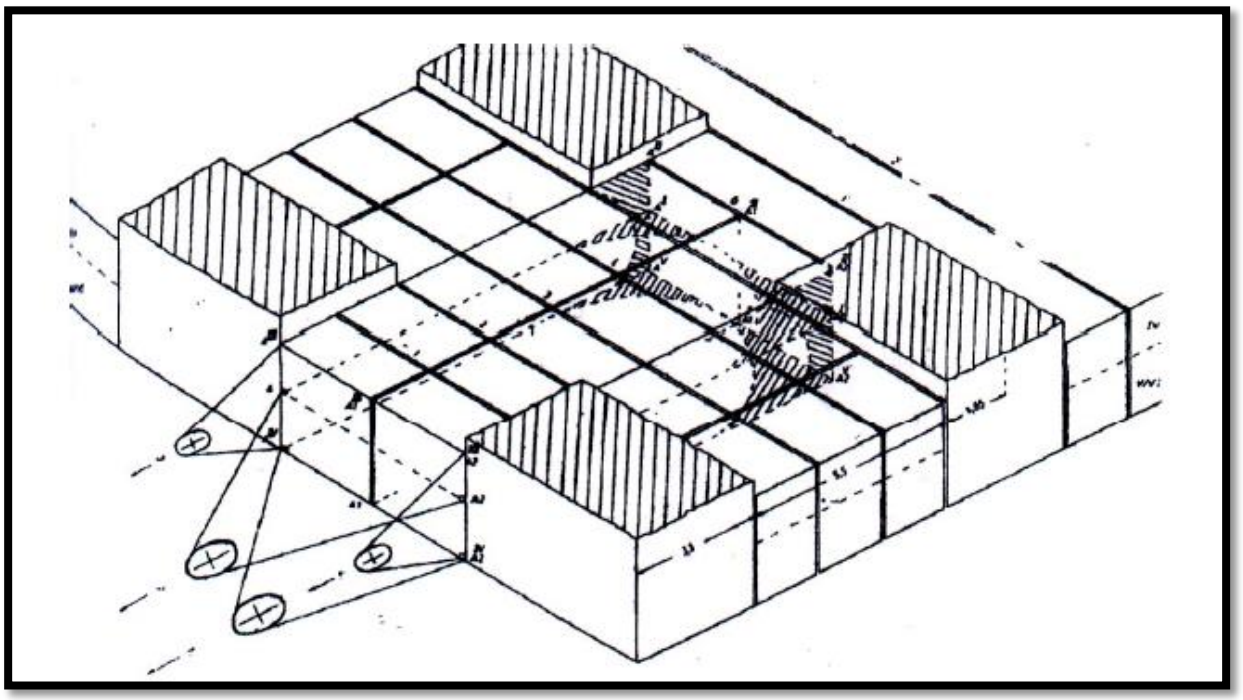
4.5. Podzemno otkopavanje

Kod podzemne eksploatacije mramora te njemu po nekim mehaničkim i fizičkim svojstvima srodnih stijena, najrasprostranjeniji je galerijski način otkopavanja koji se još naziva i komorno-stupna metoda (engl. *room and pillar*). Izradom velikih prostranih prostorija (galerija), s ostavljanjem ili gradnjom potpornih stupova, osigurava se velika proizvodnja uz prednost bezopasnog i učinkovitog iskorištenja ležišta. Osiguranjem prednje slobodne površine , izrađuje se početna ulazna galerija koja ima takve dimenzije da se u njoj mogu nesmetano pomicati radni strojevi, utovarno-transportna sredstva te ostala potrebna aparatura. Kad se otvori ulazna galerija, to jest osiguraju dvije slobodne plohe za banku, ostatak rada za dobivanje blokova se ne razlikuje od površinske eksploatacije. Ono što se razlikuje je organizacija u rad. Rad na površinskom se ne može u cijelosti prenijeti na podzemni kamenolom. Zbog toga što se u podzemnim kamenolomima koriste ista utovarna i transportna vozila i sredstva, koja koriste dizelski pogon, potrebno je vrlo često zračiti te podzemne prostorije. U prošlosti su se ulazni prostori iskapali u jalovim naslagama ili onim dijelovima ležišta koji su ispresijecani pukotinama, to jest na onim mjestima gdje je kvaliteta stijene koju želimo iskoristiti slabija, zbog toga što su kod tih radova otkopni gubici bili vrlo veliki. Zbog toga se htjelo manje oštetiti zdravu, korisnu stijenu, koju se želi kasnije obraditi. Osim toga, iz tih dijelova ležišta nastojalo se dobiti što više blokova pogodnih za različitu industrijsku preradu. Kako su se strojevi razvijali, tako su se i metode eksploatacije razvile. Početkom primjene dijamantne žične pile i lančane sjekačice, počelo se izrađivati ulazne galerije piljenjem te vađenjem prvih, gotovo komercijalnih blokova dimenzija pogodnih za obradu. Takvim radom su ti pripremni radovi postali ustvari i eksploatacijski, zbog toga što su se otkopni gubici izjednačili s gubicima kod redovne eksploatacije.

4.6. Spuštanje u niže etaže

Spuštanje u niže etaže, to jest njihovo otvaranje, ostvaruje se na isti način kao na površinskom dubinskom kamenolomu. Ono se ostvaruje na tri načina: isključivo dijamantnom žičnom pilom uz pomoć bušilica i bušećeg čekića, isključivo lančanom sjekačicom te kombinirano. Najčešće se u praksi koristi kombinirano otkopavanje uz pomoć lančane sjekačice i dijamantne žične pile, iako se nerijetko koriste samo dijamantne žične pile. Za otvaranje donje etaže kod horizontalno uslojenih ležišta dovoljno je koristiti samo lančanu sjekačicu, te pri tome se treba poštivati mikrotektonsku situaciju i voditi računa da se blokovi izrezuju između

tektonskih defekata. Kad se otvori usjek, sjekačicom se počinje piliti horizontalni rez u podnožju etaže. Horizontalni rez može biti samo jedan, ali ih može biti i više, ako je ležište višeslojno, a režu se svi slojevi. Eksploatacija donje etaže započinje kada su stupovi i komore gornje etaže potpuno definirani. Kod spuštanja vrlo je bitno pratiti pukotinski sastav te izbjeći situaciju da se pukotine međusobno „isklinjaju“ ili presijeku s vertikalnim površinama reza. Ako se to dogodi, dolazi do poremećaja u stabilnosti te dolazi do neželjenih posljedica. Da bi se to spriječilo, vodi se i ažurira karta diskontinuiteta cijelog kamenoloma. Na slici 4.6. [2] je prikazan shematski prikaz načina rada otvaranja donje etaže pomoću dijamantnih žičnih pila i lančane sjekačice. Lančanom sjekačicom se pili vertikalni uzdužni rez te se u njega zatim uvlači dijamantna žica i dijamantnim žičnim pilama s pogonskim kotačem koji je u vertikalnom položaju pile vertikalni bočni rezovi i neposredno okretanjem kotača u horizontalni položaj horizontalni rezovi. Nakon što su ispiljeni i izlomljeni, blokovi se izvlače utovaračem koji ima viljuške s promjenjivim vilicama.



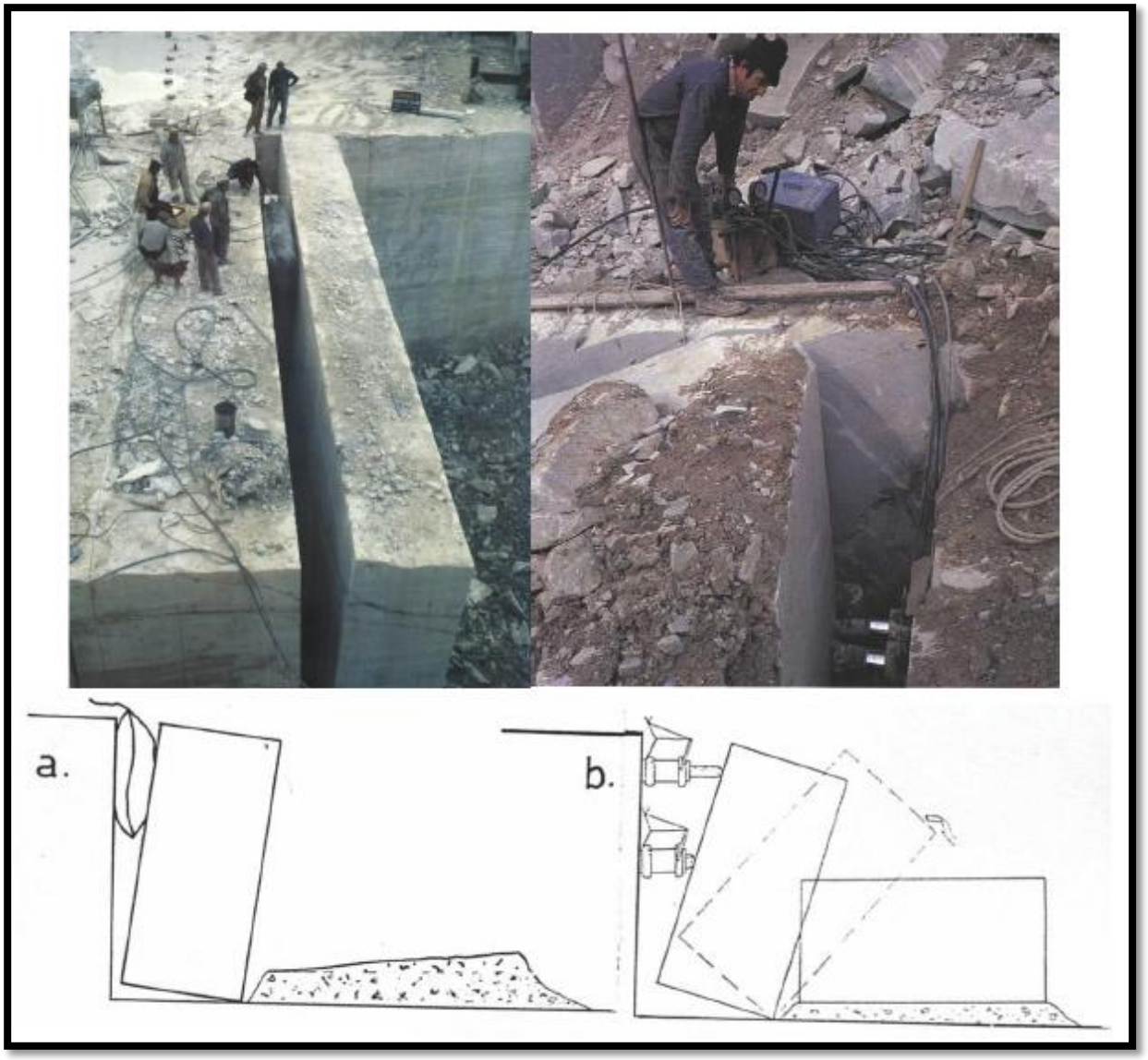
Slika 4.6. Otvaranje donje etaže

4.7. Obaranje primarnih blokova

Nakon što se primarni blok odvoji iz masiva, potrebno ga je prevrnuti na prednju stranicu. Pomoću zračnih i vodenih jastuka, hidrauličnih potiskivača, utovarača i hidrauličkih bagera s obrnutom lopatom se blok odvaja i prevrće od masiva.

Neposredno prije nego se blok prevrne, ispod njega se treba napraviti zemljanu posteljicu-tampon na koju se gurne blok. Taj tampon ima ulogu zaštitnog sloja kod pada bloka. Posteljica se izrađuje uz pomoć utovarača od sitno izdrobljenog kamena. Vrlo je bitno da se tampon izradi od materijala koji ima ujednačeni granulometrijski sastav kako ne bi došlo do pucanja bloka zbog siline udara pri padu na tampon. Najčešće debljine tampona su oko $0,5$ do $0,6$ m na početku uz blok, a udaljavanjem od bloka se debljina tampona poveća i iznosi od $0,8$ do $1,0$ m .

Kada se tampon izradi, blok se obara zračnim ili vodenim jastucima te hidrauličnim potiskivačima. Potiskivači i jastuci mogu se koristiti samostalno ili u međusobnoj kombinaciji, odabir ovisi o potrebi i kvaliteti stijene. Zbog boljeg iskorištenja blokovske stijene najbolje je kombinirano osiguravati blok i to tako da se početno guranje ostvari pomoću jastuka, a završno i obaranje uz pomoć hidrauličnih odvaljivača (Slika 4.7. [2]).



Slika 4.7. Obaranje primarnog bloka a)pomoću zračnog jastuka, b)pomoću hidrauličnih potiskivača

4.8. Hidraulični potiskivači

Na slici 4.8. [2] se mogu vidjeti hidraulični potiskivači tvrtke Benetti machine. Garnitura koja služi za potiskivanje blokova sadrži hidraulični agregat koji je opremljen pumpom koja radi pritisak hidrauličnog ulja iznosa $70\ \mathrm{MPa}$ s automatskom regulacijom za jedan, dva ili više hidrauličnih potiskivača različitih potisnih sila i različitog hoda klipa. Pumpa je pogonjena elektromotorom snage $2,2\ \mathrm{kW}$ ili benzinskim motorom snage $3,7\ \mathrm{kW}$ dok je agregat opremljen ventilom nadpritiska, razvodnim ventilom, dva ventila razdjeljivača (distributora), dva

manometarska ublaživača udaraca, rezervoarom ulja volumena 25 L i savitljivim crijevima visokog pritiska opskrbljeni brzovezujućim spojnicama. Koriste se četiri tipa hidrauličnih potiskivača karakteristika:

Tablica 4.1. Tehničke značajke hidrauličnih potiskivača [2]

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

Vrlo je korisno kod prevrtanja velikih blokova u kombinaciji s dva cilindra s hodom 150 mm koristiti jedan hidraulični potiskivač s hodom stapa od 300 mm. Za dobar rad potiskivača potrebno je izraditi i smjestiti ih u odgovarajući utor-posteljicu (oslonac) koji se još naziva i kamenica. Njegove dimenzije ovise o tipu cilindra koji koristimo te mu je dužina veća nekoliko centimetara od dimenzija potiskivača. Kamenica se napravi tako da se izbuši niz bušotina koje imaju dubinu od 30 do 40 cm, po obodu utora. Kada su vrtine na sve tri stranice izbušene, sjekačima se siječe kamen među bušotinama, a potom se kamen siječe u donjoj zoni utora te iz kamenice izvuče oslobođeni kameni bloket. U kamenicu se stavlja hidraulični cilindar koji je spojena na agregat te započinje obaranje bloka. Broj cilindara potrebnih za obaranje bloka varira te on ovisi o veličini bloka i računa se određivanjem prevrtnog momenta koji je izazvan potisnom silom cilindra, a mora biti veći od statičkog momenta u težištu bloka. Ako se izjednače momenti, dobiva se potisna sila koja je potrebna za prevrtanje bloka. Zatim se odabire jedan ili više cilindara prema veličini njihove potisne sile koja je umanjena koeficijentom sigurnosti za oko 10 %. Ta potisna sila koja je potrebna za obaranje primarnog bloka je prema slici:

$$G \cdot \frac{a}{2} \cdot g = P \cdot h \quad \text{to jest,} \tag{4-1}$$

$$P = g \cdot \frac{G \cdot a}{2 \cdot h} \tag{4-2}$$

Pri čemu je:

P -potrebna potisna sila $[\mathrm{N}]$,

a -širina bloka $[\mathrm{m}]$,

h -visina na kojoj djeluje potisna sila $[\mathrm{m}]$,

G -masa ispiljenog bloka $[\mathrm{kg}]$,

g -ubrzanje gravitacijske sile $[\mathrm{m/s^2}]$.

Masa bloka G:

$$G = V \cdot \rho \ [kg] \ , \tag{4-3}$$

Pri čemu je:

V -volumen bloka $[\mathrm{m^3}]$,

ρ -volumna masa kamena $[\mathrm{kg/m^3}]$.

$$V = a \cdot b \cdot H \ [\mathrm{m^3}] \tag{4-4}$$

Pri čemu je: a -širina bloka $[\mathrm{m}]$, b -dužina bloka $[\mathrm{m}]$ H -visina bloka $[\mathrm{m}]$.

Visina djelovanja potisne sile je:

$$h = H - 0,2 \ [\mathrm{m}] \tag{4-5}$$

Računanjem za veliki blok dimenzija $12\ \mathrm{m} \times 9\ \mathrm{m} \times 3\ \mathrm{m}$ te uvrštavanjem svih vrijednosti u jednadžbe dobiva se potrebna potisna sila od oko $1365\ \mathrm{kN}$. Budući da je sila koju daje jedan cilindar $1500\ \mathrm{kN}$, smanji li se to za 10 %, dobiva se iznos sile manji od potrebne potisne sile, pa se stoga treba koristiti dva potiskivača.



Slika 4.8. Hidraulični potiskivači

4.9. Zračni jastuci

Zračni jastuci omogućuju da se blok koji je ispiljen žičnom pilom odvoji od stijene, i to bez kopanja utora. Prednost korištenja zračnih jastuka je ta da se štedi vrijeme te se tako ne oštećuju blokovi. Na slici 4.9. [2] su prikazani zračni jastuci tvrtke Eurovinil. Građeni su od poliesterske tkanine koja je premazana mješavinom PVC-a. Dimenzije koje se najčešće koriste su:

Tablica 4.2. Dimenzije zračnih jastuka tvrtke Eurovinil [2]

Model	EV 10	EV 36	EV 54	EV 57	EV 90
Dimenzije [cm]	140×80	200×160	280×160	200×200	280×200

Dozvoljeni pritisci u jastucima ovisno o širenju jastuka:

Tablica 4.3. Maksimalno dozvoljeni pritisci [2]

Širenje [cm]	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**
Dozvoljeni pritisak [kPa]	530	400	320	260	230	200

Najčešće korišteni su modeli EV 36 i EV 54. Prije nego se jastuci upotrijebe , mora se odrediti njihov broj, ovisno o veličini bloka koji se želi oboriti. Potrebna potisna sila se računa na sličan način kao kod hidrauličnih potiskivačam, a ona iznosi:

$$P_j = A \cdot p \cdot k_p \ [\mathrm{N}] \qquad (4\text{-}6)$$

Pri čemu su:

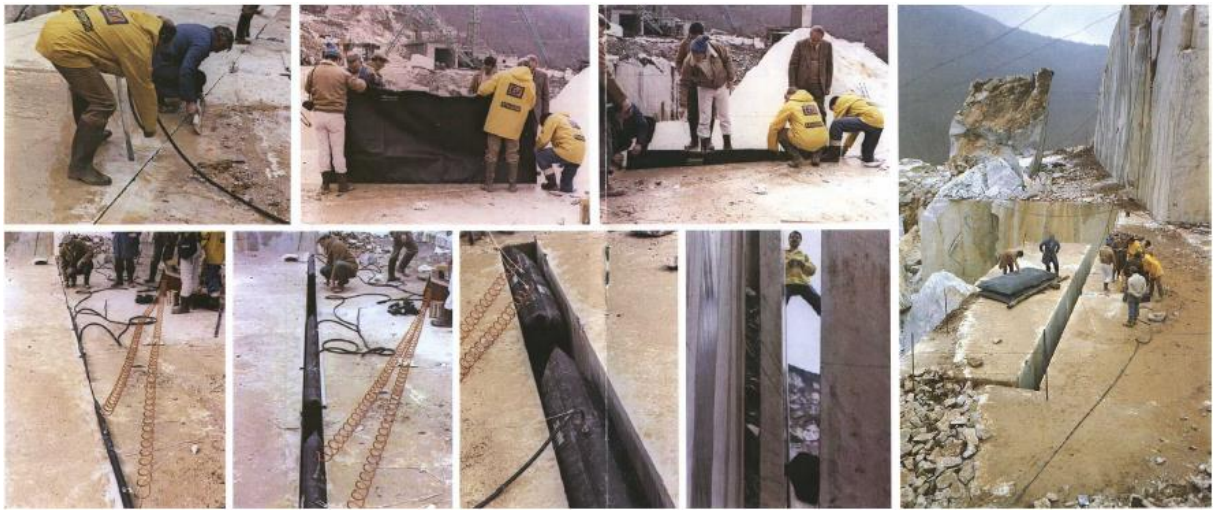
A -površina jastuka $[\mathrm{m}^2]$,

p -pritisak zraka u jastuku $[\mathrm{Pa}]$,

$k_p = 0{,}8$ - koeficijent korisne površine koja djeluje na blok.

Pa je uvrštavanjem u formule potisna sila jastuka modela EV 36 512 kN, a modela EV 54, 717 kN.

S namjerom da olakša određivanje potrebnog broja jastuka, njihov proizvođač je proračunao sile za različite dimenzije blokova te je koristio zajedničku prosječnu volumnu gustoću kamena.



Slika 4.9. Obaranje bloka zračnim jastucima

4.10. Vodeni jastuci

Vodeni jastuci (čelični) građeni su od metalnog lima kojemu se debljina kreće od $0,5\text{-}0,6$ mm te je tada ukupna debljina jastuka sa šavnim varom jednaka cca. 2 mm. Najčešće dimenzije su: 80 cm $\times$ 80 cm, 100 cm $\times$ 100 cm te 120 cm $\times$ 120 cm. Postupak se vrši tako da se pumpa s jastukom spoji s visokotlačnim crijevom, i to na mjestu potiskivanja. Upotrebljavaju se kod podizanja i odvaljivanja blokova, koji su ispiljeni bilo kojom pilom te kada je nemoguće koristiti hidraulične cilindre ili zračne jastuke. Vodeni su jastuci pri obaranju blokova s puno pukotina dosta pogodniji od zračnih jer kod zračnih, unutar pukotina, postoji mogućnost oštećenja istih. Na slici 4.10. [2] je prikazana primjena čeličnih jastuka za odvaljivanje bloka. Sila koja nam je potrebna za odvaljivanje bloka dobije se na isti način kao i za hidraulične potiskivače i zračne jastuke, a određivanje broja jastuka koji su potrebni za podizanje bloka koristi se npr. usjek dimenzija 9 m $\times$ $2,8$ m $\times$ 7 m te treba ispiljenu masu podignuti pomoću vodenih jastuka, a njihov broj se dobije:

$$V = a \cdot b \cdot c = 176 \text{ m}^3 \tag{4-7}$$

$$G = V \cdot \rho = 445 \text{ t} \tag{4-8}$$

$$G' = 1,08 \cdot \frac{G}{2} = 240 \text{ t} \tag{4-9}$$

$$P_{\min} = g \cdot G' = 2,4 \text{ t} \tag{4-10}$$

V -volumen bloka

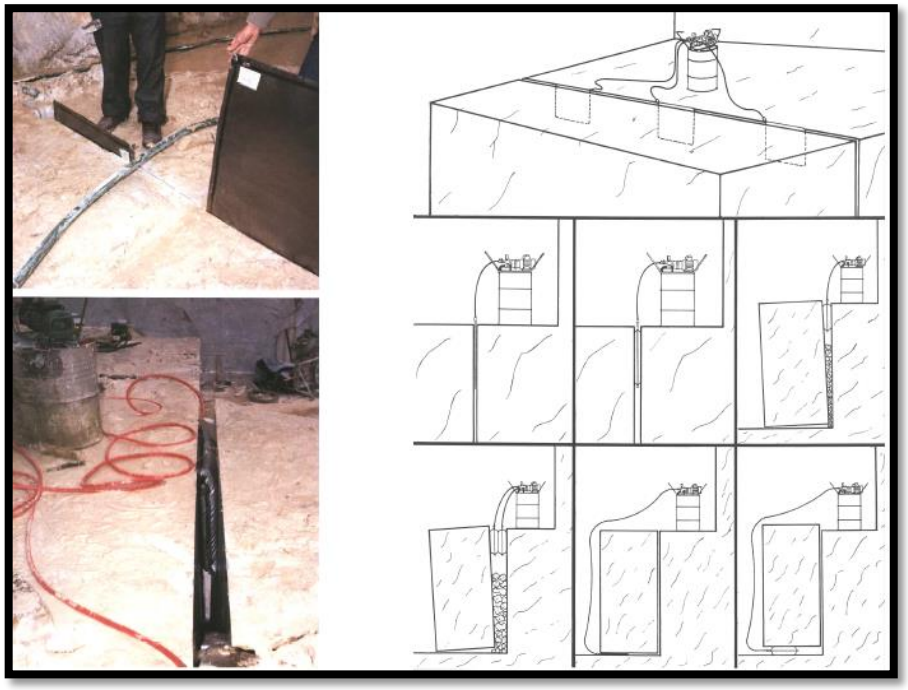
G -masa bloka

Blok se podiže na jednom kraju pa uzimamo da je masa bloka za podizanje jednaka polovici ukupne mase bloka uvećana za 6-10%. G' -reducirana masa

$P_{\min}$ -minimalna potisna sila

Vodeni jastuk dimenzija $1\text{m} \times 1\text{m}$ ima potisnu silu od $2,7$ MN iz čega proizlazi da je za podizanje ovog bloka potreban jedan vodeni jastuk dimenzija 100 cm $\times$ 100 cm ili dva 80 cm $\times$ 80 cm.

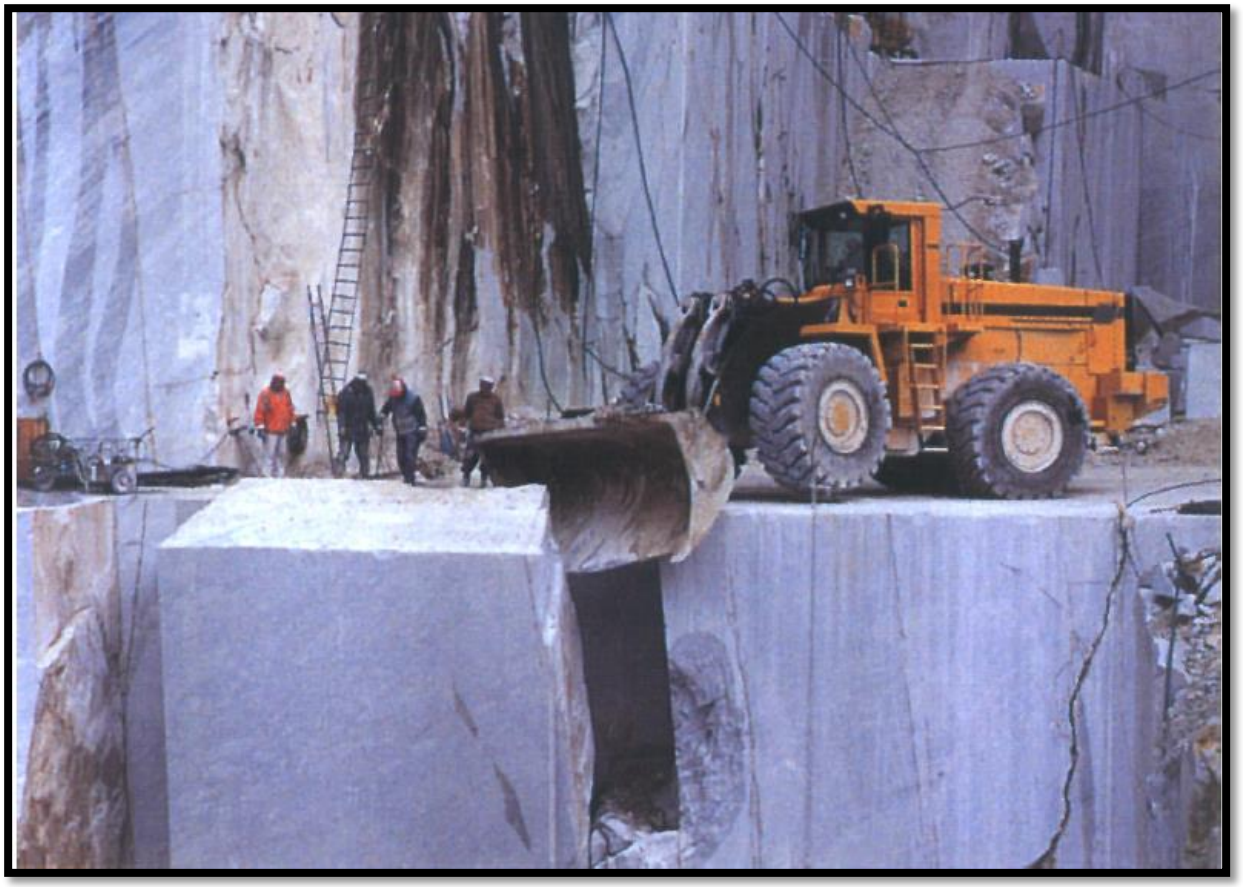
Vodeni i zračni jastuci se razlikuju u broju mogućih upotreba. Vodeni su namijenjeni za jednu upotrebu te se onda odbacuju.



Slika 4.10. Potiskivanje vodenim jastucima

4.11. Obaranje blokova strojnim potiskivanjem

Osim svih gore navedenih strojeva, za obaranje blokova se još koriste i mobilni strojevi s hidrostatičkim pogonom kao npr. utovarači i bageri. Vrlo su korisni jer osim svoje glavne namjene izvršavaju još niz drugih radnji. Zbog svoje građe, robusnosti i snage vrlo lako obaraju blokove kao što je prikazano na slici 4.11. [2].



Slika 4.11. Rušenje primarnog bloka utovaračem

4.12. Dobivanje komercijalnih blokova

Nakon obaranja primarnog bloka, daljnjim oblikovanjem dobivaju se komercijalni blokovi. Iz jednog primarnog bloka je cilj dobiti što više komercijalnih blokova optimalnih dimenzija. Ako se uzme za primjer primarni blok dimenzija $12\,\mathrm{m} \times 9\,\mathrm{m} \times 3\,\mathrm{m}$, nastoji se dobiti što više komercijalnih bloka dimenzija $3\,\mathrm{m} \times 1{,}5\,\mathrm{m} \times 1{,}5\,\mathrm{m}$ (Slika 4.12. [3]) itd. Prvo što se učini je da se oboreni blok opere, detaljno pregleda te se na njemu označe prirodno nastale pukotine. Određuju se i označavaju komercijalni blokovi (uzima se u obzir pružanje pukotina) tak oda svi budu istih dimenzija te da su te dimenzije optimalne. Osim toga, nastoji se da je iskorištenje strojeva maksimalno i da se optimalni blokovi dobiju uz što manji broj bušotina ili manje površine piljenja te se proba izbjeći jalovi rad dok premještanja strojeva. Komercijalni blokovi se iz primarnih blokova mogu dobiti bušenjem i kalanjem klinovima ili piljenjem dijamantnom žičnom pilom ili lančanom sjekačicom. Korištenje lančane sjekačice je zbog jalovog rada kod premještanja strojeva neučinkovito pa se uglavnom koriste bušenje i cijepanje i piljenje dijamantnom žičnom pilom.

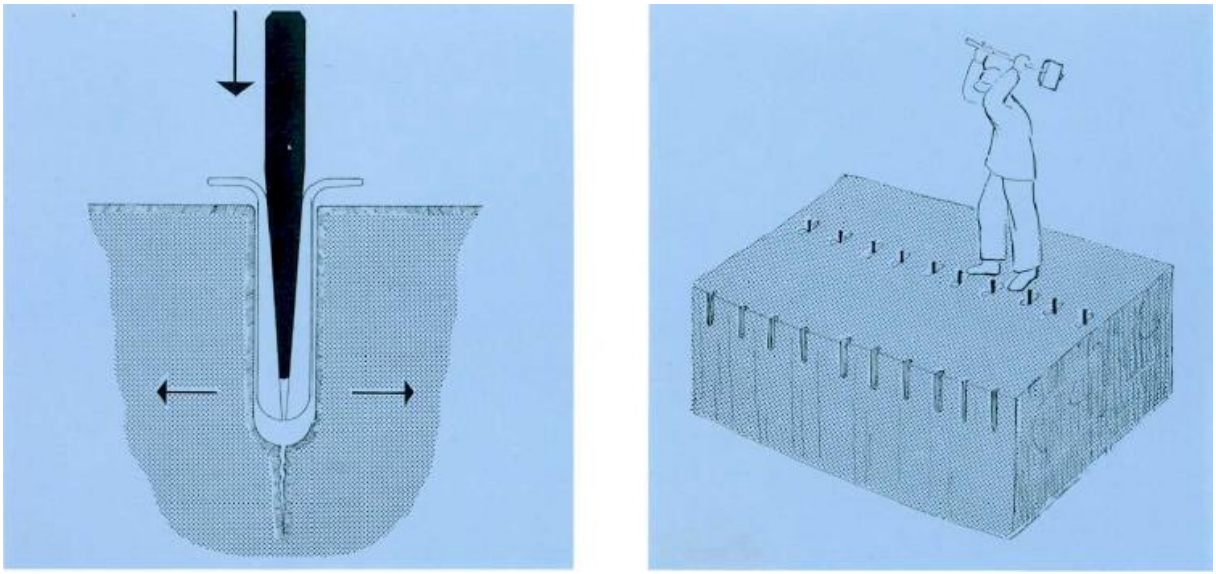


Slika 4.12. Komercijalni blok

4.13. Bušenje i kalanje klinovima

Najčešće korišteni način cijepanja primarnih blokova na komercijalne blokove sastoji se od bušenja vrtina u koje se umeću klinovi i njima kala blok (Slika 4.13. [2]). Prije samog bušenja potrebno je obilježiti mjesto bušotina, a potom se bušačim čekićem one buše. Razmak između

njih mora iznositi između 10 i 30 cm. Mjesta gdje slojevitost nije izražena, vrtine se buše kroz cijeli blok, a tamo gdje je izražena, bušotina je duboka do 40 cm. Najčešće je jedna bušotina duža što omogućava kvalitetnije cijepanje bloka. Nakon bušenja se u bušotine stavljaju klinovi, a za smanjenje trenja između kamena i klina, u bušotinu se stavljaju čelični umeci-laštre odnosno protuklinovi, a između njih se ugura klin. Klinove ravnomjerno udaramo čekićem (macolom), a sila udaraca se klinovima prenosi na protuklinove. Ta sila na zidovima bušotina stvara ogroman pritisak, a kamen među susjednih bušotina postaje izložen naprezanju na istezanje. Naprezanje dolazi do kritične vrijednosti i dolazi do cijepanja blokova po crti najmanjeg otpora (blok se kala u smjeru izbušenih vrtina). Klin mora biti prilagođen bušotini, kako ne bi došlo iskrivljavanja površine cijepanja. Vrlo se često klin malo podmaže zbog lakšeg prijenosa sile. Po klinovima se udara manjim čekićem od 2 do 4 kilograma, a odabir ovisi o tipu klina. Blokovi se, osim klinova za ručni rad mogu cijepati i hidrauličnim klinovima. Princip rada je isti kao i kod rada s klinovima za ručni rad.



Slika 4.13. Kalanje klinovima

4.14. Lomljenje blokova neeksplozivnom smjesom

Osim bušenjem i cijepanjem klinovima, blokovi se mogu lomiti bušenjem i cijepanjem pomoću neeksplozivne smjese. Ta neeksplozivna smjesa pomoću vrlo snažnog ekspanzijskog tlaka, koji se postupno stvara bubrenjem u procesu hidratizacije, uspijeva cijepati stijenu. Početak tog procesa je isti kao i kod cijepanja pomoću klinova, to jest, i ovdje je potrebno po

određenoj crti cijepanja izbušiti bušotine u koje će se umjesto klinova staviti ta ekspanzijska smjesa koja je sastavljena uglavnom od vapnenih silikata. Nakon nekog vremena, ta smjesa izaziva ekspanzijske napone (Slika 4.14. [2]) nastale uslijed hidratizacije i dolazi do pucanja stijene po crti najmanjeg otpora, tj. po pravcu izbušenih vrtina. Ovakve smjese su se počele koristiti još 80-ih godina prošloga stoljeća, ali se danas ne koriste baš često jer im je potrebno puno više vremena do cijepanje nego je to slučaj kod cijepanja klinovima, a i smjese su poprilično skupe. Veću primjenu imaju u građevinarstvu. Neeksplozivna smjesa dolazi u obliku patrona (engl. *capsule type*) i u rasutom stanju (engl *bulk type*). Patrone je, prije nego ih se stavi u bušotine, potrebno uroniti u vodu, a rasuti prah pomiješati s vodom. Kada se stavi smjesu u bušotine, potrebno je otprilike 12 sati da se pojave pukotinski lomovi te ako je potrebno, pomoću hidrauličnih razbijača i ostalih alata vrši se dodatno razbijanje.



Slika 4.14. Izbacivanje smjese zbog razlike temperature

4.15. Dobivanje komercijalnih blokova piljenjem dijamantnom žičnom pilom

Komercijalni blok koji se dobije iz primarnog bušenjem i cijepanjem u pravilu ima neravnu površinu na crti kalanja, pa se kod dalje obrade mora poravnati ta neravnina, i to piljenjem (to je dodatni radi i gubitak sirovine). Zbog te neekonomičnosti, komercijalne blokove se želi dobivati iz oborenog bloka piljenjem. To piljenje se vršilo dijamantnim žičnim pilama, ali se ispostavilo da nije ekonomično pa se stoga u eksploataciju uvela mala dijamantna žična pila koja ima manju pogonsku snagu. Dakle, ova manja dijamantna žična pila ima manju snagu, ali i koristi kraću dijamantnu žicu, jer se pile manje površine. Način piljenja je jednak kao i kod dobivanja primarnog bloka, a jedina je razlika ta je što se kod dobivanja komercijalnih blokova priprema puno kraća (ustvari je uopće nema) i bušenje sondom uopće nije niti potrebno. To bušenje se izbjegne postavljanjem gredica na posteljicu, koje stvore šupljine između bloka i tampona. Kroz tu šupljinu se provlači dijamantna žica te se obuhvati blok po pravcu piljenja. Vrlo je bitno precizno postaviti žice po točno određenom pravcu kako bismo dobili pravilne blokove.

4.16. Raspilavanje primarnih blokova lančanom sjekačicom

U slučaju blokova koji imaju visoki koeficijent iskorištenja, komercijalni se blokovi mogu piljenjem dobiti pomoću lančane sjekačice (Slika 4.15. [2]). Najprije se blok preokrene, a potom se na njega stavi tračnice, a na jedan kraj se stavi lančana sjekačica. Sjekačica se koristi tako da se pili njenim pomicanjem do suprotnog kraja tračnica te kad se dođe do kraja iznova se montira lanac i to u suprotnome smjeru. Zatim se pili tako da se dovrši započeti rez, bez premještanja stroja. Uspoređujući s dijamantnom žičnom pilom, lančana sjekačica zbog debljine reza ima puno veće gubitke.



Slika 4.15. Lančana sjekačica u kamenolomu

4.17. Završno oblikovanje blokova

Nakon dobivenih komercijalnih blokova, njih se treba transportirati do mjesta gdje će se oni dalje oblikovati. Transport se najčešće vrši pomoću utovarivača ili hidrauličnih bagera s posebnim alatima za utovar. Kada je komercijalni blok transportiran na predviđeno mjesto, počinje završna obrada kamena da bismo dobili kameni proizvod određenog oblika (Slika 4.16. [3]), dimenzija i kvalitete vanjske površine. Tehnološki se procesi obrade mogu podijeliti (prema literaturi [5]) na mehaničke i nemehaničke procese obrade. Kod mehaničkog postoje dvije glavne podjele: udarna obrada i abrazivna obrada. Procesi nemehaničke obrade su termička obrada, obrada ultrazvukom, laserska obrada, ali oni se rijetko koriste zbog nešto složenije opreme.

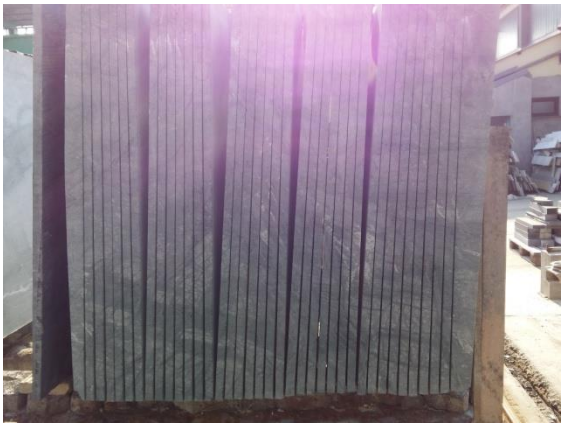
Sami tehnološki procesi se odvijaju u dva stadija: prvi stadij je obrada kamena prema obliku i dimenzijama, a drugi je stadij obrade vanjske površine.

Udarna obrada se temelji na udarnim efektima pri kojim se blokovi cijepaju na ploče različitih debljina ili elemente različitih dimenzija i oblika. Završni dio je obrada površine lica i završna obrada oblika i dimenzija. Neki od načina udarne obrade su: prirodno lomljenje, rustična obrada šiljkom i drugim alatima, obrada zubačom i obrada krunastim čekićem. Ove metode obrade polako zastarijevaju pa se i rijetko koriste.

Abrazivna obrada je ujedno i najrašireniji način obrade kamena i sadrži ove procese: piljenje blokova na ploče, brušenje i poliranje, rezanje ploča na potreban oblik i dimenzije, obrubljivanje i profiliranje proizvoda. Redoslijed kojim se ovi procesi izvršavaju ovisi najviše o tvrdoći kamena. Prvi je proces piljenje komercijalnih blokova na ploče-poluproizvod. Sljedeći korak je rezanje ploča na željeni oblik i dimenziju te zatim obrubljivanje i profiliranje proizvoda i na kraju brušenje i poliranje. Takav redoslijed je predviđen za mramor, a za granit je drugi proces brušenje i poliranje. Osim male razlike u redoslijedu tih procesa, granitni se blokovi pile još i strojevima koji koriste slobodna abrazivna zrnca koja izazivaju mrvljenje i odsijecanje, piljenje kamena. Brušenje i poliranje su vrlo bliski procesi, ali se ustvari vrlo razlikuju. Kod brušenja se, zbog djelovanja abrazivnih zrnaca, s površine skida sloj kamena pri čemu se na njemu stvara tanka reljefna površina. Poliranje ima i fizičko-kemijsko djelovanje kod kojeg se zbog tekućine i polirajućeg materijala stvara tanka opna na površini materijala, a ona popunjava sve neravnine na površini. Rezanje je proces u kojem se dobiva potreban oblik i dimenzije, a obrubljivanje i profiliranje proces u kojem se proizvodu daje konačan oblik. Kod abrazivne obrade se koriste različiti strojevi, a prema osnovnim tehnološkim procesima abrazivne obrade se

dijele na: strojevi za piljenje blokova, strojevi za brušenje i poliranje te strojevi za rezanje i obrubljivanje.

Postoji i termička obrada kamena, a zasniva se na osjetljivosti kamena na visoke temperature (nema je u pogonu). Djelovanjem mlaza plamena visoke temperature se tanki sloj na površini kamena ljušti i nastaje hrapava površina. Za ovaj dio se koriste termo-rezači i termo-udarači.



Slika 4.16. Kamene ploče kao konačan proizvod

4.18. Raspilavanje blokova u ploče- poluproizvod

Piljenje blokova u ploče je prvi i ujedno najteži proces u abrazivnoj obradi. Kvaliteta piljenja blokova utječe na količinu potrebnog rada, troškove i vrijeme. Strojevi potrebni za ovaj proces: strojevi s plosnatim pilama ili gateri (Slika 4.17. [3]), strojevi s kružnim pilama ili diskovi te strojevi s elastičnim radnim elementom. Najčešće korišteni su gateri, kao što je i slučaj sa pogonom tvrtke Karat, dok se polako povećava primjena strojeva s dijamantnim kružnim pilama (za manje blokove).



Slika4.17. Mali gater; pile malog gatera

Strojevi s plosnatim pilama (gateri) su se tokom godina slabo tehnološki razvijali, ali su svejedno vrlo učinkoviti. Sastoje se od željezne konstrukcije na četiri stupa (tijelo gatera) i okvira u kojem su smještene pile. Gateri se prema putanji gibanja okvira dijele na: gateri s pendularnim (kružnim) gibanjem okvira (njihajući gateri), gateri s horizontalnim pravocrtnim gibanjem okvira, gateri sa semipendularnim (polukružnim) gibanjem okvira. Pored glavnih dijelova tu su i: zamašnjak s rudom i pogonski motor, oprema za skupljanje i cirkuliranje abrazivne smjese, kontrolni sklop i komandni ormar.

Prema [5] proces piljenja počinje ravnomjernim posipanjem abrazivne smjese po površini bloka, a ona pada na pile i s njih na samu površinu. Pila se neprestano giba te pritišće i udara zrnca abraziva koja zarezuju površinu bloka. Nastavkom piljenja, zrnca padaju ispod pile i uvlače se u rez, pila ih drobi i oni ivicama sijeku stijenu. Nedostatak je taj što zrnca troše pilu. Bitno je da se konstantno ubacuju svježa zrnca te odbacuju istrošena te se tako dobiju dobri rezultati piljenja. Najvažniji dio gatera su pile koje djeluju na abrazivna zrnca. Najmoderniji gateri mogu imati i do 230 pila u okviru, koje su razmaknute $2\,\text{cm}$. Pile također određuju debljinu ploče koju se želi dobiti (moderni gateri $1\,\text{cm}$).

Glavni uvjet kod izbora gatera je da može ispiliti cijelu širinu gatera u ploče debljine $2\,\text{cm}$, a tip pile koji će se koristiti ovisi o izboru gatera. Pile su izgrađene od posebnih vrsta čelika i njihove su visine od 100 do $180\,\text{mm}$, a široke su od 4 do $7{,}6\,\text{mm}$.

Strojevi s kružnim pilama (diskovi) su sve više u primjeni zbog svoje učinkovitosti, konstruktivne jednostavnosti i mogućnosti piljenja svih vrsta kamena. Koriste se za piljenje manjih blokova koji su nepogodni za gatere. Zbog svog dijamantnog diska, koji ima veliku širinu presjeka ($12\,\text{mm}$), najčešće se koriste za rezanje ploča s velikim presjekom (nadgrobni spomenici). Ortogonalni strojevi nisu uz strojeve s elastičnim radnim organom toliko zastupljeni.

4.19. Brušenje i poliranje, rezanje, obrubljivanje

Završenim rezanjem, dobivene ploče su spremne za poliranje. Ako je cijelo piljenje izvršeno gaterom, ploče idu na široke linije za poliranje, a ako su strojevi s dijamantnim diskovima to izvršili, ploče idu na uske linije za brušenje i poliranje (Slika 4.18. [3]) te na kraju obrubljivanje.

Vrijeme poliranja ovisi o vrsti kamena, a brušenje i poliranje granita je zahtjevnije od brušenja i poliranja mramora. Dakle, potrebna je veća količina energije i abrazivnog materijala. Nakon

poliranja i brušenja, želi se dobiti ploču određenih dimenzija koja je potrebna za željeni proizvod te ploča ide na rezanje. Rezanje se vrši mosnim spojem (frezom) (Slika 4.18. [3]), a ako je potrebno obrubljivanje, ručno, pomoću raznih priručnih pila njega mogu obaviti radnici.



Slika 4.18. Freza; polirka

Često se događa da se, osim rezanja, poliranje mora obaviti ručno zbog delikatnije površine i oblika obrađenog kamena (Slika 4.19. [3]).



Slika 4.19. Ručno poliranje

Završetkom željene obrade uvijek se javljaju ostaci kamena. Freza vrlo precizno pili i svake nesimetričnosti i viškove uklanja i tako nastaju ostaci kamena (Slika 4.20.[3]). Ostaci se nastoje iskoristiti na razne načine, i to u obliku šljunka, ukrasa pa čak i kao dijelovi fasade na kućama.

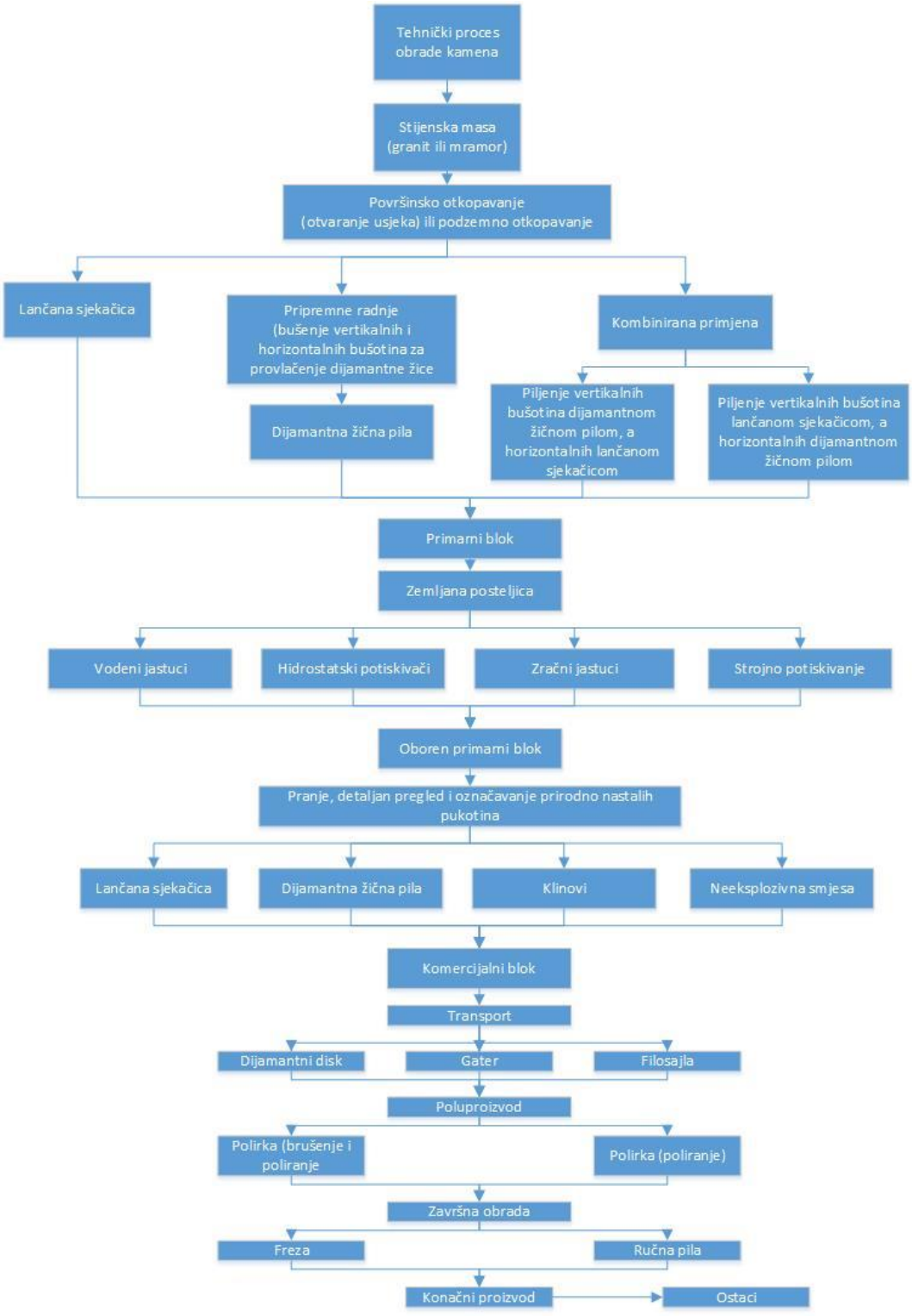


Slika 4.20. Ostaci obrade

Ostaci se putem pokretne trake prenose do sita koje odvaja sitnije komade od krupnijih (Slika 4.21. [3])



Slika 4.21. Pokretna traka



Hodogram 4.1. Tehnološki proces proizvodnje i obrade kamena

5. STROJEVI U POGONU

Svi najbitniji strojevi (velika trošila s velikim zamašnim masama), potrebni od primarnog bloka do završnog proizvoda, se temelje na motorskom radu asinkronog stroja. Općenito, asinkroni je stroj je u motorskom načinu rada vrlo raširen, a u generatorskom nešto manje. Asinkroni stroj kao motor je jako pouzdan i jednostavan te ima male troškove održavanja i ima visok stupanj iskoristivosti. U ovakvim pogonima je upravo najraširenija trofazni asinkroni motor, a najveća im je mana potreba za induktivnom strujom magnetiziranja (utječe na faktor snage).

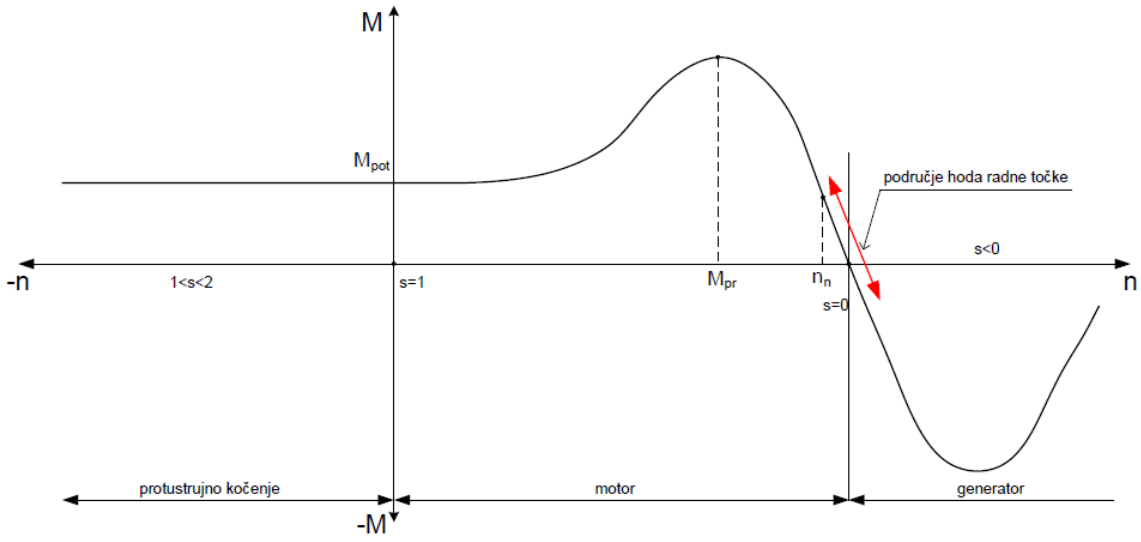
Sam princip rada se zasniva na indukcijskom djelovanju rotora i statora. (Literatura [4]) Rotor asinkronog motora je kratko spojen pa nema uzbude, a statorski namoti su spojeni na mrežu i uzimaju djelatnu i jalovu snagu. U generatorskom režimu rada djelatna snaga se vraća mreži. Statorske struje sve tri faze uzrokuju magnetska polja koja se superponiraju u jedno okretno magnetsko polje. Brzina vrtnje ukupnog magnetskog polja se naziva sinkrona brzina n_s. Ona ovisi samo o frekvenciji f te broju pari polova statora p dok okretno magnetsko polje statora inducira napone u vodičima rotora, a oni uzrokuju protjecanje struje kroz kratko spojene vodiče rotora. Struje uzrokuju vlastito magnetsko polje, a ono se suprotstavlja svom uzroku (okretno polje statora) i to omogućuje zakretanje rotora. Smjer vrtnje rotora i statorskog magnetskog polja su istovjetni.

Asinkroni stroj ima tri režima rada (Slika 5.1. [4]):

a) Motorski režim rada je režim u kojemu stroj uzima djelatnu i jalovu snagu i pretvara ju u mehaničku energiju rotora.
b) Generatorski režim rada nastaje kad rotor zbog nekog vanjskog utjecaja (momenta) zarotira brzinom većom od sinkrone te stroj počinje vraćati djelatnu snagu u mrežu, uz uzimanje jalove snage iz mreže (potrebna za magnetiziranje)
c) Protustrujno kočenje nastaje kad su smjer vrtnje rotora i okretnog polja statora suprotni, stroj uzima jalovu i djelatnu snagu i sva energija koju je preuzeo disipira na rotoru i uzrokuje zagrijavanje. Ujedno je ovo i jedini privremeni režim rada, u suprotnom bi došlo to trajnog oštećenja rotora.

U motorskom načinu rada je brzina rotora malo manja od sinkrone brzine n_s, a ta je razlika potrebna da bi se ostvario okretni moment, a s time i vrtnja rotora. Ako bi brzina rotacije

rotora bila jednaka sinkronoj, rotor više ne bi presijecao magnetske silnice te ne bi postojala inducirana elektromotorna sila, a zbog toga ni mehaničke sile na rotor. Zbog toga stroj uvijek mora raditi u asinkronom režimu rada. Relativna razlika između te dvije brzine u odnosu na sinkronu brzinu se naziva klizanje s. Startanjem motora iznos klizanja je 1, a smanjuje se ubrzanjem rotora. Kad je brzina rotora jednaka sinkronoj brzini, klizanje iznosi 0, a u generatorskom načinu rada je negativno. Kod protustrujnog kočenja klizanje je veće od 1.



Slika 5.1. Momentna karakteristika gatera (asinkronog stroja)

Ukratko, uzimajući u obzir gater kao taj asinkrono pogonjen stroj, njegov mehanizam za rezanje (Slika 5.2. [3]) je vezan na zamašnjak koji je preko remena pogonjen asinkronim motorom. Opterećenje je nejednoliko pa je svrha zamašnjaka da svojom tromošću smanji oscilacije u broju okretaja, dok remen, kao veza između motora (Slika 5.2. [3]) i zamašnjaka, osim prijenosa snage ima za cilj i zaštitu motora od preopterećenja.



Slika 5.2. Veliki gater

Karakteristike različitih veličina gatera (Slika 5.3. [6]):

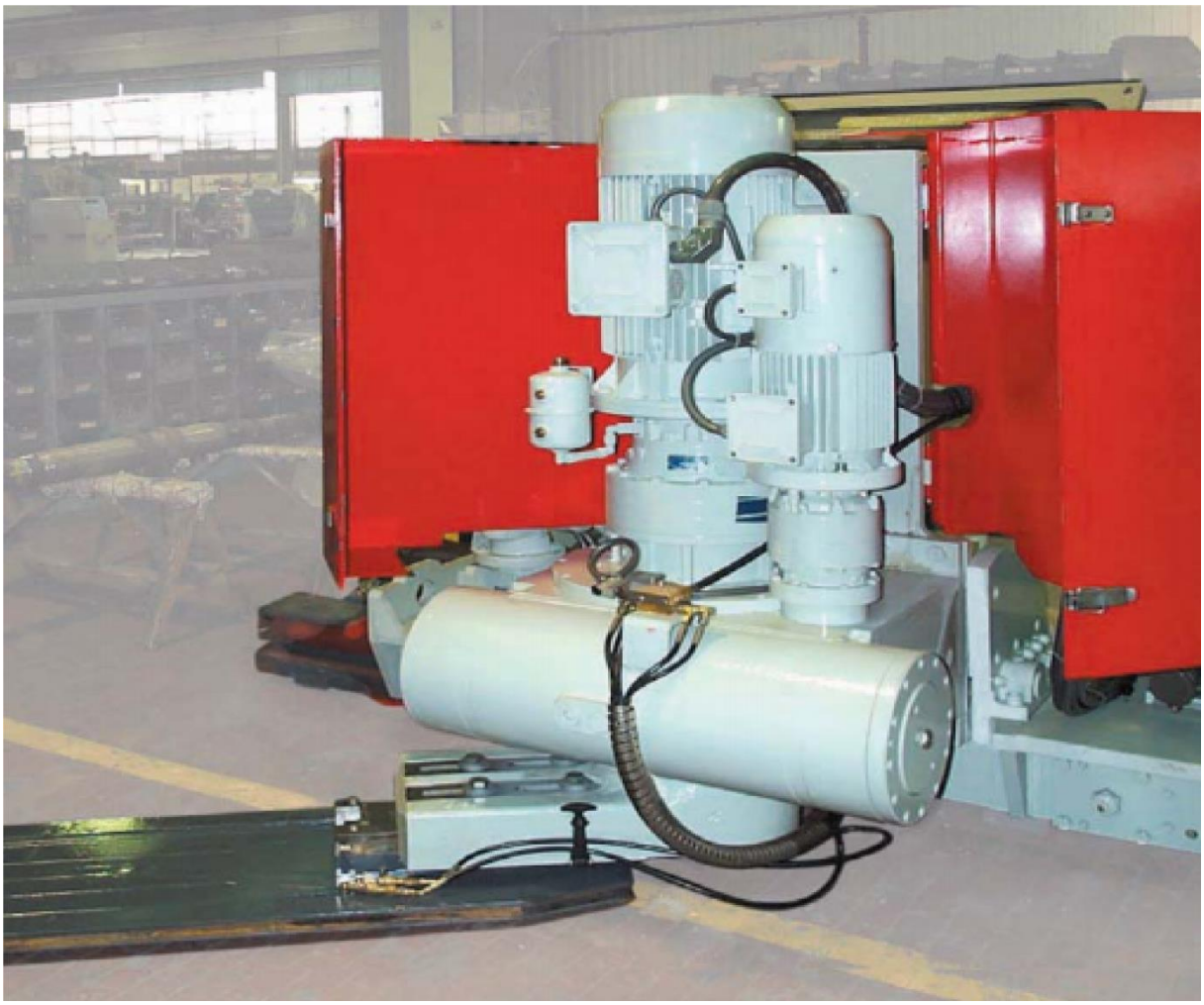
		JM 480/450	JM 510/480	JM 6150/6000
Lunghezza utile di taglio / dužina rezanja	mm	3000-4000	3000-4000	3000-4000
Altezza di taglio / visina rezanja	mm	2200	2200	2200
Larghezza Utile / širina rezanja	mm	4500	4800	6000
Numero massimo lame maksimalan broj oštrica		160	170	220
Potenza max motore principale snaga glavnog motora	kW	110	110	132
Potenza totale installata / instalirana snaga	kW	166	166	220
Corsa delle lame / zamah oštrice	mm	700 (800)	700 (800)	700 (800)
Numero di battute / okreti u minuti		67	67	63
Velocità di cala / brzina	mm/min	0-80	0-80	0-80
DIMENSIONI DI INGOMBRO DIMENZIJE		JM 480/450	JM 510/480	JM 6150/6000
Lunghezza "A" / "A" duljina	cm	1821 (1831)	1826 (1836)	1842 (1852)
Larghezza "B" / "B" širina	cm	710	740	840
Altezza "C" / "C" visina	cm	595 (650)	595 (650)	615 (670)
Peso totale / masa	kg	102.000	107.000	110.000
Container per trasporto spremnik potreban za transport	O.T.	2x20'+3x40'	2x20'+3x40'	2x20'+4x40'

Slika 5.3. Specifikacije različitih veličina velikog gatera

5.1. Lančana sjekačica

Jedan od najstarijih rudarskih strojeva je podjsekačica (prema literaturi [2]). Koristile su se za podsijecanje dok su se zasjekačice koristile za zasijecanje. Podsjekačice su upotrebljavane na frontalnim, čelnim otkopima ugljena i soli, a zasjekačice kod izrade hodnika u rudnicima ugljena i soli, a ponekad na otkopima. Današnje suvremene sjekačice imaju mogućnosti rezanja različitih vrsta rezova. One ustvari sjedinjuju podsjekačicu i zasjekačicu u jedan stroj pa više uopće ne postoje zasebni strojevi već jedan koji obavlja njihove funkcije i naziva se sjekačica.

Najprije su se koristile podsjekačice s ozubljenim kotačem, a zatim podsjekačice s ozubljenim lancem i ozubljenom polugom. Ova druga je imala prednost jer je širina reza bila manja, a time je i gubitak zbog zdrobljenog materijala bio manji. Također, imala je veći učinak i lako promjenjive zupce. Sastojala se od glavnog pogonskog motora (Slika 5.4. [7]) od 30 kW koji je bio ugrađen u zatvoreno kućište, pokretne pogonske glave za pogon lanca, vodilice s ozubljenim lancem i vitla za pomicanje. Pomicala se naprijed pomoću svojeg pogona tako da se jedan kraj čeličnog užeta pričvrstio na jedan kraj otkopa, a drugi kraj na vitlo, koje uže namotava. Lanac se nalazi između vodilja i vani proviruju noževi koji su raspoređeni u pet do devet redova (mogu se mijenjati). Jedan manji motor služi za podmazivanje pile i zupčanika (Slika 5.5. [7]).



Slika 5.4. Glavni motor

Prema [2], razvojem klasične rudarske podsjekačice dolazi do primjene sličnog stroja. Taj element za piljenje je ruka (mač) duljine 1 do 3,25 m što omogućuje dublje piljenje. Građa je slična prethodno opisanom stroju. Stroj se pokreće po tračnicama, a brzina se regulira ovisno o veličini naprezanja. Danjim razvojem podsjekačice i nekoliko različitih modela, te raznih proizvođača danas se nekako najviše ustalila upotreba lančana sjekačica talijanske tvrtke Fantini (u ovom pogonu se koristi Pellegrini). Imaju različite vrste sjekačica ovisno o fazama rada pri piljenju vertikalnih i horizontalnih rezova. Stroj se pomoću elektromotora od $3\,\mathrm{kW}$ (Slika 5.6. [7]) pomiče na tračnicama dugim maksimalno 9 metara. Dizalicom se tračnice pomiču na potrebna mjesta, a dizalica se nalazi u sklopu stroja. Za pogon dizalice se koristi elektromotor pomoću kojeg se i ostvaruje pomicanje cijelog stroja. Bitno je da su tračnice posve horizontalne kako ne bi došlo do iskrivljenja reza i oštećenja reznog elementa. Brzina lanca optimalna za rad u kamenolomu je oko $1,4\,\mathrm{m/s}$.

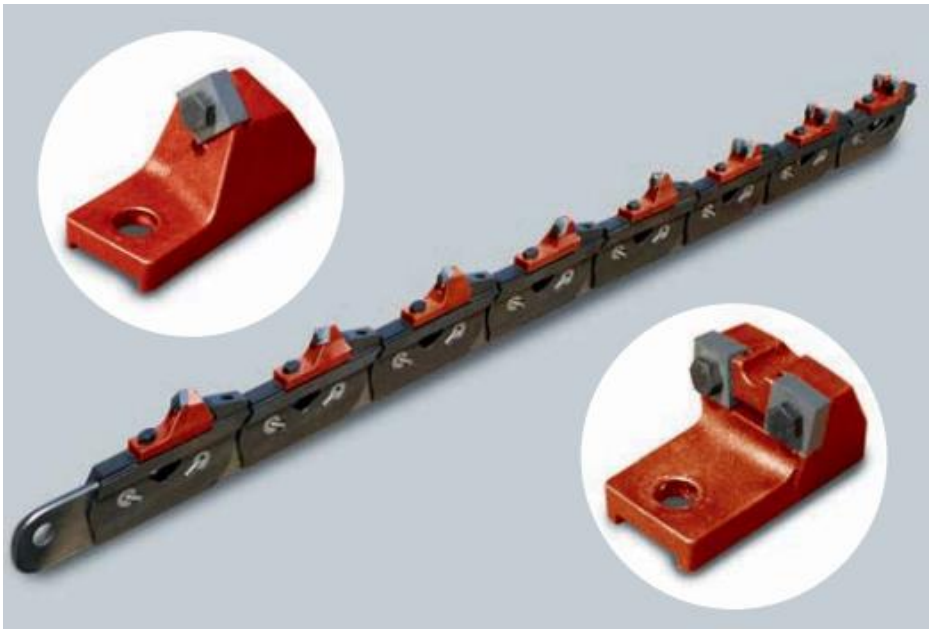


Slika 5.5. Motor za podmazivanje

Zamjena zubi i dijelova je jednostavna. Jedna garnitura može trajati oko $700\ m^2$, što znači da se zubi mogu naoštriti oko 20 puta. Ovisno o vrsti stijene koju želimo piliti, te o načinu piljenja na lanac (Slika 5.7. [7]) se pričvršćuje serija zubi koje se sastoje od 5 do 7 komada. Na zube se pomoću vijaka pričvršćuju vijcima (na starim alatima se pričvršćivali varenjem). Vijčano spajanje smanjuje otkidanje pločica. Pločica je u obliku kvadrata i svaki joj je rub predviđen za rezanje. Prema [2] kada se bridovi istroše, pločica se odvije i zakrene tako da se pili neistrošenim bridom. Pločica se mijenja nakon što se sva četiri brida istroše. Veliku pozornost treba posvetiti postavljanju i centriranju tračnica jer o tome ovisi kvaliteta piljenja. Tračnice moraju biti dobro učvršćene da pri piljenju ne bi došlo do pomicanja.



Slika 5.6. Motor za pomicanje sjekačice po tračnicama



Slika 5.7. Lanac sjekačice

Kod vertikalnog piljenja ruka može raditi i pod nagibom od $20°$, ali uz uvjet da tračnice stoje vodoravno po širini. Kod pozicioniranja pile vertikalno ili horizontalno koristi se „blade-swing“ sistem pomoću motora od $0{,}75\ kW$ (Slika 5.8. [7]).



Slika 5.8. Motor za pozicioniranje pile

Početak piljenja, to jest ukopavanje, treba biti s posve oštrim zubima. Kod mijenjanja zubi ruka se mora nalaziti izvan reza, a na glavnoj sklopki mora biti prekinut dovod struje da se lanac ne bi pokrenuo. Prije nego stroj počne raditi trebamo provjeriti glavni panel (Slika 5.9. [7]), smjer okretanja lanca izvan reza i blokirati dugmeta za obrnuti smjer lanca da ne bi prilikom piljenja greškom došlo do pucanja zubi. Prema [2] u slučaju iznenadnog nestanka struje, prije ponovnog uključivanja potrebno je izvaditi ruku izvan reza i prekontrolirati stanje zubi. Prednost ovakve lančane sjekačice je u kraćim i jednostavnijim pripremama te se često koristi u kombinaciji s dijamantnom žičnom pilom (koja je opisana u ovom radu).



Slika 5.9. Panel sjekačice

Tablica 5.1. Karakteristike lančane sjekačice tvrtke Pellegrini [7]

Lančana sjekačica	Chaintronic CH60
Instalirana snaga	45 kW
Brzina lanca	Od 0 do 1,4 m/s
Dužina rezanja	2,3-2,8-3,1-3,4-4,2-4,5-5,0
Masa stroja	6,5 t
Duljina tračnica	9 m
Duljina tračnica transporta	7,5 m

5.2. Dijamantna žična pila

Dijamantna žična pila (Slika 5.10. [8]) je uvijek složena od pogonskog dijela sa zamašnjakom i komandnog dijela, te sustava hlađenja (Slika 5.11. [8]), a njen rezni element je dijamantna žica (prema [2]).



Slika 5.10. Dijamantna žična pila tvrtke Pellegrini

Pogonska jedinica je smještena u kućištu na poluosovini i to unutar okvirne konstrukcije koja se nalazi na četiri metalna kotača. Zamašnjak se zakretanjem poluosovine može dovesti u bilo koji položaj, a stroj se uvijek giba u smjeru tračnica koje su položene u smjeru piljenja. Pogonski kotač se oblaže gumom kako bi se on i dijamantna žica zaštitili od trošenja i kako bi se ostvario potrebni koeficijent trenja, a ta gumena obloga se istroši nakon mjesec dana, a nakon čega se zamijeni novom. S dva orijentacijska kotura ispred zamašnjaka povećava se obuhvatljiv kut žice i sprječava njeno ispadanje iz pogonskog kotača (prema [2]).

Zbog toga se kod vertikalnog piljenja komandni dio (Slika 5.12. [8]) stavlja bočno oko deset metara od stroja. Ako se žica prekine, rad stroja se isključuje.



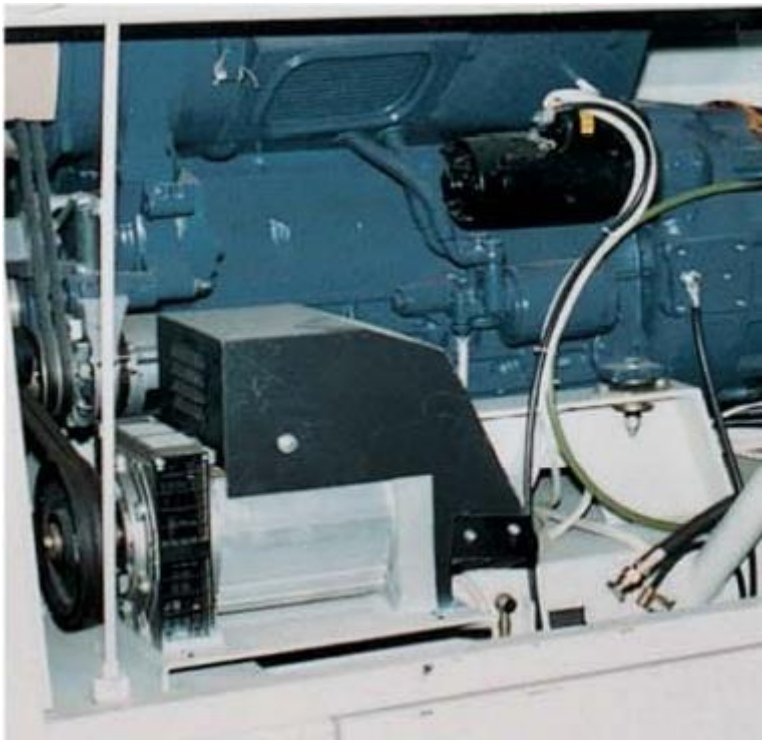
Slika 5.11. Sustav hlađenja i kućište

Kada se tek počela koristiti, dijamantna žična pila je za svoj rad koristila pile s hidrostatskim sustavom i hidrauličnim pogonom pogonskog kotača trenja, a onda se zbog osjetljivosti hidraulike na nečistoće uvodi direktni elektromotorni pogon kotača trenja, kao i potpuna elektronička regulacija i na kraju automatska regulacija napinjanja žice ovisno o naprezanjima u rezu. Osim toga, pila se automatski prilagođava opterećenjima, to jest da će kod velikih otpora piljenja (posmak stroja) biti sporiji, ali i s većom silom i obrnuto. Također se i prilagođava regulacija obodne brzine dijamantne žice tako da promjena broja okretaja pogonskog kotača izravno ovisi o opterećenju i regulaciji posmaka stroja. Uz pile s električnim glavnim pogonskim motorom, koriste se i pile s dizelskim pogonom (Slika 5.13. [8]).



Slika 5.12. Komandni dio

Prema [2] regulacija obodne brzine žice se kod različitih modela postiže na različite načine. Princip rada svih pila je gotovo identičan. Dijamantna žica se obavije oko površine koja se pili te se zatvara u neprekinuti tijek preko pogonskog kotača stroja. Žica se pokreće pomoću pogonskog kotača (zamašnjaka). Trenjem se ostvaruje prijenos vučne sile s kotača na dijamantnu žicu. Kako bi se ispilio rez pomoću dijamantne žične pile mora se omotati dijamantnu žicu oko opsega površine koju želimo ispiliti, za što je potrebno izbušiti dvije konvergentne bušotine koje su međusobno pravokutne. Te bušotine s dvije slobodne stijenke bloka čine kružni tijek žice. Postoji mnogo metoda i načina piljenja vertikalnih i horizontalnih rezova korištenjem dijamantne žične pile koje su već opisane u ovom radu pa se u ovom dijelu rada neće opisivati. Osim toga, sam sastav dijamantne žice te svojstva dijamanata potrebna da bi pila učinkovito radila neće biti obrađena jer je ta tema suviše opširna i udaljavanje od teme samog završnog rada bi bilo preveliko.



Slika 5.13. Dizelski motor

Tablica 5.2. Karakteristike dijamantne žične pile tvrtke Pellegrini [9]

Dijamantna žična pila	Telediesel 100
Motor za pokretanje žice	99 KS
Brzina žice	19,40 m/s
Promjer zamašnjaka	1000 mm
Promjer kotača	380 mm
Dovod vode	30-50 L/min
Visina	1,75 m
Širina	1,8 m
Duljina	3,1 m
Masa	3100 kg

5.3. Filo sajla za rezanje kamena

Filo sajla za rezanje kamena (Slika 5.14. [11]) je vrlo slična dijamantnoj žičnoj pili jer radi na gotovo istom principu. Poput dijamantne žične pile, koristi dijamantnu žicu za rezanje određene vrste kamena (opet je to najčešće granit i mramor). Prema literaturi [11] također se sastoji od pogonskog dijela i komandnog dijela. Građena je od čvrste metalne strukture i nosi 2 zamašnjaka (Slika 5.15. [11]) promjera $2000\ \text{mm}$. Kao i kod dijamantne žične pile, motor pogoni žicu koja se velikom brzinom pokreće i zbog toga prolazi kroz kamen, a pri tome joj pomaže i voda.



Slika 5.14. Filo sajla za rezanje kamena



Slika 5.15. Zamašnjak

Prema [11] ovaj stroj ima pretvarač (Slika 5.16. [11]) koji omogućava stroju da prilagodi brzinu žice u odnosu na to koji tip kamena se mora rezati. Kontrolni panel je kao i kod dijamantne žične pile odvojen od stroja te ima grafički terminal (Slika 5.17. [11]) za prikaz svih parametara i alarma i opasnosti ukoliko postoje.



Slika 5.16. Pretvarač



Slika 5.17. Komandni dio (kontrolni panel)

Stroj također ima elektroničke sklopove (Slika 5.18. [11]) odgovorne za kontrolu brzine. Motor od $5,5$ kW omogućava brzo dizanje i ima sustav hlađenja.



Slika 5.18. Sklopovi za kontrolu brzine

U tablici 5.3. su vidljive karakteristike filo sajle za rezanje kamena tvrtke Pellegrini.

Tablica 5.3. Filo sajla za rezanje tvrtke Pellegrini [10]

Filo sajla za rezanje	Diamantfil DF 2000
Maksimalna visina	5,25 m
Maksimalna duljina	9,2 m
Maksimalna širina	1,4 m
Masa	5,5 t
Maksimalne dimenzije blokova	4×2 m
Brzina sajli	25 m/s
Duljina sajli	Od 18,5 do 20 m
Glavni motor	20 KS
Motor za napetost sajle	1 KS
Motor za pomicanje gore-dolje	4 KS
Spuštanje brzine glavnog kotača	0:0,8 m/s

5.4. Freza za piljenje ploča

Prema [10] freza za piljenje ploča (Slika 5.19. [12]) omogućava rezanje ploče iz mramora ili granita, sve uz pomoć dijamantnog diska koji je hlađen vodom. Zavarena struktura mora biti vrlo čvrsta da bi osigurala veliku preciznost pri radu i potpuno odsustvo vibracija. Sve cijevi za opskrbu vodom, brizgalica vode i kućište za disk su dimenzionirani tako da osiguravaju protok vode za odgovarajuće hlađenje diska za vrijeme rada stroja i dobru kvalitetu reza. Stol koji se pokreće tijekom rada se može ručno micati i može se namjestiti na svaku kutnu poziciju. Freza za piljenje ploča dakle predstavlja već zadnje korake u obradi kamena jer pomoću nje dobivamo vrlo tanke ploče koje se već mogu polirati, a zatim i iskoristiti.



Slika 5.19. Freza za piljenje ploča tvrtke Bombieri & Venturi

Prema [10] osim stola koje si zakreće za 360°, freza ima i takvu građu da može podizati i spuštati cijelu strukturu kao i neke glavne dijelove. Freza ima upravljačku ploču (Slika 5.20. [10]) koja je zaštićena čeličnim limom i omogućava potpunu kontrolu nad diskom koji siječe kamene ploče te je na dovoljno velikoj udaljenosti od stroja da bi osigurao sigurnost osobe koja na njemu radi. Također zbog sigurnosti osobe koja upravlja strojem, u stroj je ugrađen izolacijski transformator za voltažu od 380 V i izlaz od 48 V za sve pogonske mehanizme.



Slika 5.20. Upravljačka ploča

Tablica 5.4. Freza za rezanje ploča tvrtke Bombieri & Venturi [10]

OPIS	ZNAČAJKE
Disk motora	18/18 kW
Uzdužno kretanje motora	1,5 kW
Transverzalni kretanje motora	0,75 kW
Vertikalno kretanje	0,75 kW
Rotacijska jedinica za rezanje	0,18 kW
Korisno rezanje po dužini	3500 mm
Korisno rezanje po transverzali	3500 mm
Podesivi kut rezanja	od 0 do 45°
Promjer diska	450÷900 mm
Veličina rotacijskog stola	3200×2000 mm
Tok vode	30 l/min.
Potrošnja zraka pri 6 Bar	21 l/min.
Maksimalna instalirana snaga	21 kW
Masa	4100 kg
Maksimalne dimenzije	5500×4300 mm

5.5. Gater

Gater je stroj kojemu je zadatak da iz komercijalnih blokova dobije veliki broj kamenih ploča iste debljine (2 cm) i dimenzija. Kao što je već i opisano u ovom radu, gater se sastoji od dva glavna dijela: željezne konstrukcije na četiri stupa (tijelo gatera) i okvira u kojem su smještene pile. Prema [13] ti stupovi su napravljeni iz lijevanog željeza i imaju širok presjek Ti stupovi (Slika 5.21. [6]) imaju poseban pojasni sustav zaštite koji osigurava potpunu nepropusnost prašine. Okomiti klizni dijelovi imaju poseban razmjenjiv dio napravljen od kaljenog čelika koji je otporan na trošenje. Također, unutar svakog stupa se nalazi sustav za podmazivanje (Slika 5.22. [13]) koji omogućuje neprestano podmazivanje (potrebno za neprestane pokrete gore-dolje) i kliznog dijela, ali i vijaka. Spremnik s mazivom i pumpom se nalazi na dnu svakog stupa.



Slika 5.21. Stup gatera [6]



Slika 5.22. Pumpa za podmazivanje

Okvir gatera (Slika 5.2. lijevo [3]) u kojem se nalaze oštrice načinjen je od čvrstog čelika i njegova je veličina tolika da oštrice mogu izdržati naprezanje nastalo zbog kamena (tereta) tako da nastaju neznatne deformacije. Prema [13] optimalno naprezanje se ostvaruje hidrauličkim zatezačima koji sadržava klipove. Oni podešavaju oštrice na određenu udaljenost da bi one pilile različite debljine kamena. Takozvane ljuljajuće ruke (Slika 5.23. [13]) služe za držanje okvira s oštricama te omogućavaju preciznu putanju oštrica te tako i ravan i precizan rez u kamenu.



Slika 5.23. Ljuljajuće ruke

Klipnjača (Slika 5.24. [13]) i njena duljina se podešava u odnosu na putanju okvira oštrica. Za vrijeme rada gatera, ona je zaključana pomoću sustava opruga. Podešavanje duljine klipnjače se ostvaruje hidraulikom koja se suprotstavlja sili opruga.



Slika 5.24. Klipnjača

Prema [13] zamašnjak (Slika 5.2. desno [3]) ima promjer 4 m te teži više od 11 tona. Oslonac, koji je u obliku velikog željeznog bloka, ima kvadratni oblik kako bi bio bolje težište za beton temelja. Zahvaljujući naprednim softverima, gater automatski obavlja sve dijelove procesa koji su potrebni za konačni proizvod. Unose se parametri,a softver sve automatski obavlja, od mijenjanja brzine oštrica ovisno o broju oštrica i duljini blokova, kontroliranja napetosti oštrica itd. Također upozorava operatera o mogućim problemima, a operater vrlo lako pristupa stroju preko monitora na dodir (Slika 5.25. [6]), koji ne mora biti u blizini gatera.



Slika 5.25. Ekran kojim upravljamo strojem

Tablica 5.5. Veliki gater tvrtke Gaspari Menotti [10]

Korisna površina rezanja:	
Širina	330 cm
Duljina	Od 250 do 400 cm
Visina	200 cm
Maksimalan broj oštrica na 2 cm	120
Maksimalan broj oštrica	150
Zamah oštrica	500 mm
Okreti po minuti	84 o/min
Snaga zamašnjaka	50 KS-37 kW
Snaga motora abrazivne smjese	30 KS-22 kW
Snaga motora u brzom načinu rada	5,5 KS-4 kW
Snaga motora za opskrbu	0,5 KS-0,35 kW
Totalna instalirana snaga	88 KS-65 kW
Potrebe vode za 24 sata	Od 2000 do 3000 L
Masa stroja	56000 kg

5.6. Ostali strojevi

U ovom smo poglavlju opisali sve najvažnije strojeve u pogonu, koji su potrebni za obradu same kamene rude pa sve do strojeva koje koristimo u završnim obradama kamena. Sve su to veliki, robusni i teški strojevi koji zahtijevaju od operatora da njima odgovorno i profesionalno upravlja. Kao što se može zaključiti i iz naziva tvrtki koje su proizvođači ovih strojeva, te tvrtke su talijanske i vlasnik pogona je bio primoran dopremiti te strojeve koji su po nekoliko tona, pa i desetaka i stotina tona teški. Osim tih „glavnih“ strojeva, tu su i neki koji služe za završnu obradu (polirka, ručne polirke), za transport kamena s jednog na drugo mjesto (dizalice, kranske dizalice), kao i službena vozila koja dopremaju završeni proizvod kupcu.

Prema [10] polirka je stroj koji se koristi u završnoj obradi kamena. Ona se koristi za poliranje i brušenje jer površina kamena mora biti savršeno ravna i ujednačena bez ikakvih udubljenja i nepravilnosti. U ovom pogonu se koristi polirka tvrtke Park Industries, a model se naziva Pro Edge 3. Sastoji se od stola na kojem se nalazi kamen koji se polira i brusi i od gornjeg dijela na kojem se nalazi pomični dio na kojem je sustav rotirajućih glava. Također, kao i ostali strojevi ima potrebni dovod vode i zraka. Masa polirke je gotovo 7 tona i može podnijeti više od tone tereta. Sama polirka posao obavlja u jedan sat, dok bi taj rad ručno bio obavljen u 5 sati.

Pogon ima nekoliko dizalica od kojih je nekoliko u zatvorenom prostoru (Slika 5.26. [3]) gdje imaju ulogu prenošenja manjih komada kamena i jednu veliku kransku dizalicu koja diže i prenosi velike komade kamena.



Slika 5.26. Dizalica

Manje dizalice mogu podizati stvari do otprilike 3 tona, dok velika kranska dizalica (Slika 5.27. [3]) ima sposobnost dizanja i do 20 tona. Shematski prikaz velike kranske dizalice u prilogu P.5.1 i P.5.2



Slika 5.27. Velika kranska dizalica

6. ZAKLJUČAK

Ovaj završni rad obuhvaća cijeli proces obrade kamena, od stijene u kamenolomu do željenog proizvoda te opis najvažnijih strojeva i njihovih uloga. Dakle, nakon dobivanja primarnih blokova i njihove obrade, komercijalni blokovi iz kamenoloma donose se u pogon za završnu obradu. U tom pogonu se gaterima dobivaju kamene ploče jednakih dimenzija koje se zatim poliraju i bruse, ponovno režu na željene dimenzije te, ako je potrebno, radnici ih još dodatno oblikuju. Iako je svaki stroj u pogonu bitan za dobivanje konačnog proizvoda, zbog važnosti gatera i u kamenolomu i u pogonu za završnu obradu, on je uzet za primjer kod objašnjavanja rada asinkronog stroja na kojem se temelje svi bitni strojevi za cijeli proces obrade kamena.

LITERATURA

[1] slika cijelog pogona 2.1., url: http://www.karat-kamini.hr/ (6.2.2016.)

[2] Dunda S., Kujundžić T., Globan M., Matošin V., Digitalni udžbenik: Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena, financirano od Ministarstva znanosti i tehnologije (za javnu uporabu), 2001.

[3] vlastite fotografije – fotografirano 18.1.2016.

[4] Wolf R., ″Osnove električnih strojeva″, ŠK, Zagreb, 1995.

[5] Kamenjarstvo (Brošura kamenjarstvo, Priručnik za praktičnu nastavu) (pdf), url: http://www.jablanica.ba/jo/dokumenti-download/category/4-centar-za-obradu-kamena.html (15.2.2016.)

[6] podaci o gateru, slika karakteristika različitih veličina gatera i slike dijelova gatera, 5.3.(slika uređena radi prijevoda stranih riječi na slici), 5.21., 5.25., url: http://www.gasparimenotti.it/uploads/files/2266it-jumbo-matic.html (15.2.2016.)

[7] karakteristike lančane sjekačice i slike 5.4.-5.9.,(pdf), url: http://www.pellegrini.net/cataloghi/PELLEGRINI_Segatrici_catena.pdf (30.5.2016.)

[8] slike dijamantne žične pile 5.10.-5.13., (pdf), url: http://www.pellegrini.net/cataloghi/PELLEGRINI_Segatrici_filo.pdf (4.6.2016.)

[9] karakteristike dijamantne žične pile, (pdf), url: http://www.pellegrini.net/allegati/TDD_100_120.pdf (7.6.2016.)

[10] vlastiti dokumenti tvrtke „Karat .d.o.o“

[11] podaci o filo sajli, slike, (pdf), url: http://www.pellegrini.net/cataloghi/PELLEGRINI_Diamantfil.pdf (10.6.2016.)

[12] slika freze za piljenje ploča 5.19., url: http://www.bombieriventuri.it/scheda.asp?idprod=27&idpadrerif=16 (11.6.2016)

[13] podaci o gateru i slike 5.21.-5.25, url: http://www.gasparimenotti.it/uk/plants-for-granite-slabs/jumbo-matic-gang-saw-for-granite.asp (12.6.2016.)

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA

Tablica 6.1. Popis korištenih oznaka i simbola prema abecednom redu

Oznaka ili simbol	Naziv	Iznos	Mjerna jedinica
P	Potisna sila		N
a	Širina		m
h	Visina djelovanja potisne sile		m
G	Masa		kg
g	Ubrzanje gravitacijske sile	9,81	m/s^2
V	Volumen		m^3
ρ	Volumna masa		kg/m^3
b	Dužina bloka		m
H	Visina bloka		m
P_j	Potrebna potisna sila		N
A	Površina		m^2
p	Pritisak zraka		N
k_p	Koeficijent korisne površime	0,8	-
P_{min}	Minimalna potisna sila		N
G'	Reducirana masa		kg
Q	Volumni protok		m^3/s
v	Brzina		m/s
P	Snaga		W
n	Kutna brzina		o/min
U	Napon		V
s	Klizanje		-
n_s	Sinkrona brzina		o/min
f	Frekvencija		Hz
p	Broj polova statora		-
M	Moment		Nm

Tablica 6.1. Popis korištenih oznaka i simbola prema abecednom redu-nastavak

Oznaka ili simbol	Naziv	Iznos	Mjerna jedinica
M_{pot}	Potezni moment		Nm
M_{pr}	Prekretni moment		Nm
n_n	Nazivna brzina		o/min
I	Jakost truje		A

SAŽETAK

U završnom radu opisan je proces u kojemu se iz kamenoloma, točnije iz stijenske mase, bilo da je to mramor ili granit, dobiva proizvod željenog oblika, mase i dimenzija. Također je opisano dobivanje primarnih i komercijalnih blokova pomoću dijamantne žične pile, lančane sjekačice i ostalih metoda. U zadnjim koracima procesa se gaterima, filo sajlama, polirkama i frezama dobivaju konačni proizvodi. Brojnim proračunima su pobliže opisane same metode i teorijske osnove procesa obrade kamena. Svaki korišteni stroj u procesu je opisan kao i njegov princip rada, a svaki od njih se temelji na radu trofaznog asinkronog motora.

Ključne riječi: mramor, granit, primarni blok, komercijalni blok, dijamantna žična pila, lančana sjekačica, gater, filo sajla, polirka, freza, trofazni asinkroni motor.

ABSTRACT

This final paper describes the proces where, from quarry, stone mass precisely, whether it is marble or granite, the product of desired shape, mass and dimensions is got. Getting primary and commercial blocks using diamond wire saw, chain saw and other methods is also described. In the last steps of the process, gang saws, single wire saws, polishing machines and bridge sawing machines are used to make the final product. Using numerous calculations, the methods itself and the basics of stone processing are closely described. Every used machine in the process is described as well as its work principle and every one of them is based on the work of the three-phase induction motor.

Key words: marble, granite, primary block, commercial block, diamond wire saw, chain saw, gang saw, single wire saw, polishing machine, bridge sawing machine three-phase asynchronus motor

ŽIVOTOPIS

Dino Čar rođen je 23.8.1994. u Osijeku. Odrastao je u Đakovu gdje u Osnovnoj školi „Ivan Goran Kovačić“ sa izvrsnim uspjehom završava osam razreda osnovnoškolskog obrazovanja. Nakon završetka osnovne škole, 2009. godine upisuje Gimnaziju A. G. Matoša u Đakovu, opći smjer i ostvaruje odličan uspjeh na prvoj, drugoj i četvrtoj godini, dok na trećoj godini ostvaruje vrlo dobar uspjeh. Završenim srednjoškolskim obrazovanjem i položenom državnom maturom, 2013. godine upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku. Na drugoj se godini odlučuje za smjer elektroenergetike, a po završetku preddiplomskog studija namjerava upisati diplomski studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Završetkom studija namjerava raditi u struci i dalje proširivati svoje znanje.

Tijekom školovanja se aktivno bavio košarkom, gdje je ostvario nekoliko zapaženih rezultata među kojima je nastup na državnom prvenstvu Školskih Športskih Društava osnovnih i srednjih škola u košarci te nastup na državnom prvenstvu za kadete u košarci sa Košarkaškim klubom Đakovo.

Aktivno se služi engleskim jezikom, računalom i informatički je pismen (MS Word, MS Excel, MS PowerPoint, MS Visio), dok njemački jezik poznaje pasivno.

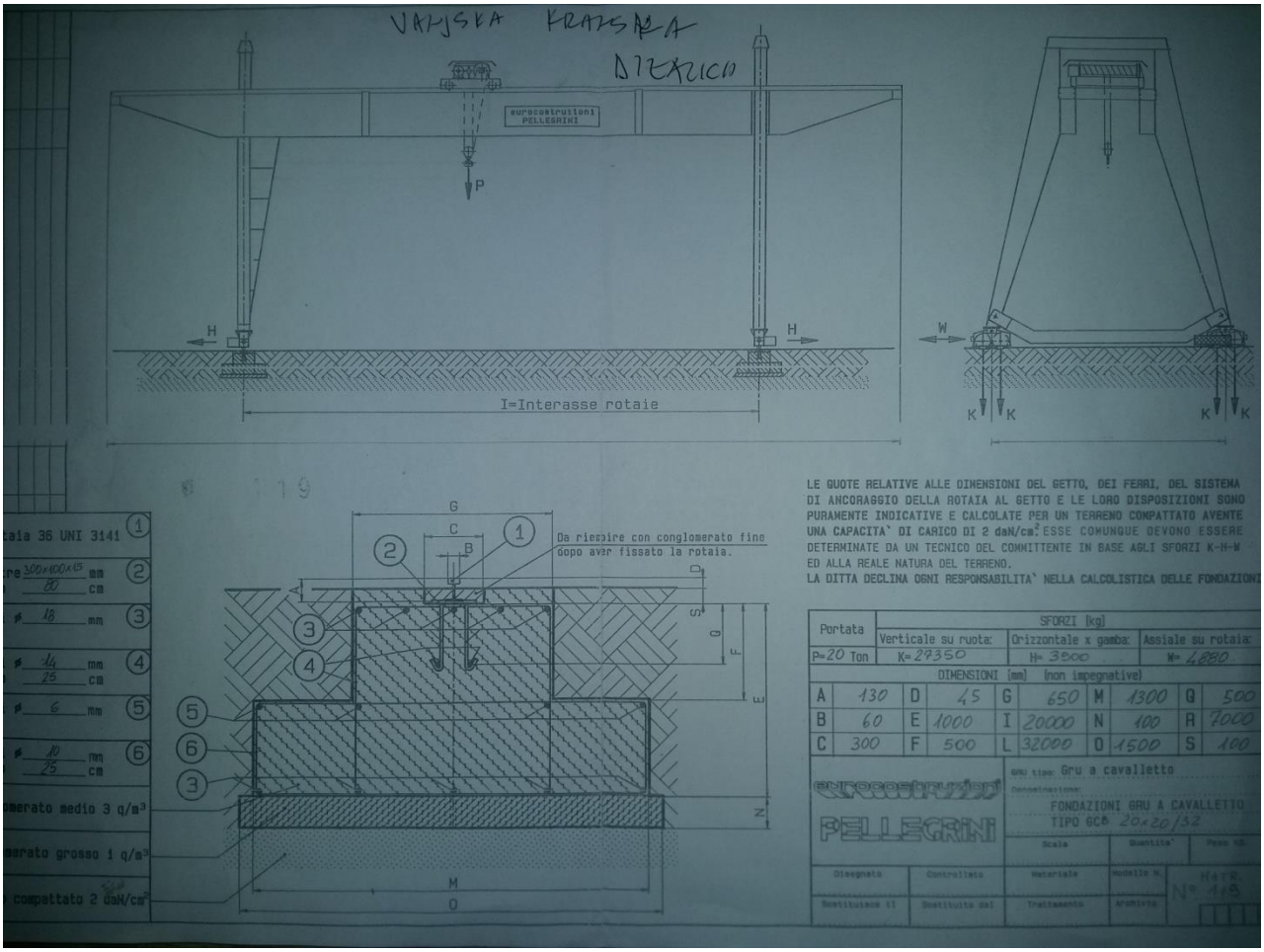
U Osijeku, 1.9.2016. Dino Čar

Potpis: 

PRILOZI

PRILOG P.5

P.5.1 Shematski prikaz velike kranske dizalice [10**]**



P.5.2 Shematski prikaz velike kranske dizalice [10]

