

# Metode dobivanja komercijalnih blokova

---

**Bokulić, Bruno**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:656689>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij rudarstva

**METODE DOBIVANJA KOMERCIJALNIH BLOKOVA**

Bruno Bokulić  
R4165

Zagreb, 2021

## METODE DOBIVANJA KOMERCIJALNIH BLOKOVA

Bruno Bokulić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

U završnom radu opisane su metode dobivanja primarnih i komercijalnih blokova. Metode se uglavnom razlikuju prema strojevima koji su korišteni prilikom piljenja. Glavni strojevi za piljenje su dijamantna žična pila i lančana sjekačica. Obraćena je pažnja na pukotine, njihovu identifikaciju i utjecaj na veličinu te time i na vrijednost bloka. Naposljetku, razmotrena je slojevitost, također kao faktor u vrednovanju kamena zbog njenog utjecaja na dekorativnost.

Ključne riječi: arhitektonsko-građevni kamen, komercijalni blok, dijamantna žična pila, lančana sjekačica, pukotine, slojevitost

Završni rad sadrži: 32 stranice, 23 slika i 15 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: doc.dr.sc. Tomislav Korman, docent RGNF

Ocjenjivači: doc.dr.sc. Tomislav Korman, docent RGNF  
prof.dr.sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor, RGNF  
izv. prof dr. sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor, RGNF

## **SADRŽAJ**

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DOBIVANJE I OBARANJE PRIMARNIH BLOKOVA.....</b>	<b>2</b>
2.1. Piljenje primarnih blokova dijamantnom žičnom pilom .....	2
2.2. Piljenje primarnih blokova dijamantnom žičnom pilom i lančanom sjekačicom.....	6
2.3. Obaranje primarnog bloka .....	9
<b>3. UTJECAJ PUKOTINSKOG SUSTAVA NA IZDVAJANJE KOMERCIJALNIH BLOKOVA.....</b>	<b>14</b>
<b>4. UTJECAJ SLOJEVITOSTI NA IZGLED I VRIJEDNOST KOMERCIJALNOG BLOKA.....</b>	<b>20</b>
<b>5. DOBIVANJE KOMERCIJALNIH BLOKOVA .....</b>	<b>24</b>
5.1. Dobivanje komercijalnih blokova piljenjem.....	24
5.2. Bušenje i kalanje klinovima.....	26
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>29</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>31</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Elementi od kojih se formira dijamantna žica njihovim nanizivanjem na čelično uže (Dunda i Kujundžić, 2003).....	3
Slika 2-2 Pripremne radnje (Dunda i Kujundžić, 2003).....	4
Slika 2-3 Izrada bočnog vertikalnog reza (Korman, 2014).....	5
Slika 2-4 Izrada horizontalnog reza (Korman, 2014).....	5
Slika 2-5 Izrada stražnjeg vertikalnog reza (Korman, 2014).....	6
Slika 2-6 Rezni elementi lančane sjekačice. 1) članak lanca 2) spojnica 3) klin 4) osigurač klina 5) nosač pločice 6) rezna pločica 7) vijak držača (A. Sariisik i G. Sariisik, 2010).....	7
Slika 2-7 Osnovni dijelovi lančane sjekačice (Korman i Kujundžić, 2014).....	8
Slika 2-8 Izrada horizontalnog reza i pripremne radnje (Korman, 2014).....	9
Slika 2-9. Zemljana posteljica (Dunda i Kujundžić, 2003).....	10
Slika 2-10 Obaranje primarnog bloka pomoću zračnih jastuka u kamenolomu Kanfanar (Dunda i Kujundžić, 2003).....	13
Slika 3-1 Prikaz gubitaka prilikom eksploatacije AG kamena (Papantonopoulos i dr., 2007).....	15
Slika 3-2 Utjecaj pukotina na broj i veličinu blokova (Ashmole i Motlung, 2008).....	16
Slika 3-3 GPR uređaj (Elkarmoty i dr., 2008).....	17
Slika 3-4 3D model bloka sa diskontinuitetima (Elkarmoty, 2008).....	18
Slika 3-5 Model bloka s prikazom diskontinuiteta u dvije i tri dimenzije. (Mosch, 2011).....	18
Slika 3-6 3D model bloka i njegova klasifikacija (Yarahmadi i dr., 2017).....	19
Slika 4-1 Pročelje muzeja MAMAC (Dunda, 2006).....	20
Slika 4-2 Smjerovi piljenja u odnosu na slojevitost (Dunda, 2006).....	21
Slika 4-3 Razlika u izgledu kamena u odnosu na smjer piljenja (Dunda, 2006).....	22
Slika 4-4 Pravilna (A) i pogrešna (B) ugradnja slojevitog kamena (Dunda, 2006).....	23
Slika 5-1 Piljenje primarnog bloka dijamantnom žičnom pilom (Dunda i Kujundžić, 2003).....	25
Slika 5-2 Ručna lančana sjekačica (Dunda i Kujundžić, 2003).....	26
Slika 5-3 Djelovanje klina za ručni rad i hidrauličnog klina (Dunda i Kujundžić, 2003).....	27

## **1. UVOD**

Ovim završnim radom opisane su metode dobivanja komercijalnih blokova. Za bolje upoznavanje sa problematikom prikazano je dobivanje primarnog bloka. Poblje su opisane dvije najčešće metode njihovih izdvajanja pri površinskoj eksploataciji te razlike između njih.

Metode se uglavnom razlikuju prema alatima koji se koriste za rezanje primarnog bloka. Najčešći strojevi su dijamantna žična pila i lančana sjekačica. U radu će biti opisana njihova konstrukcija te prednosti i mane pojedine metode.

Komercijalni blokovi moraju biti određenih dimenzija. One su određene prema mogućnosti prihvata strojeva za piljenje blokova u ploče, tj. gaterima. Također, veličina bloka se određuje i prema mogućnosti transporta, odnosno, veličini i masi koju kamion može prevesti. Obično kamioni prevoze dva bloka odjednom.

U oborenom primarnom bloku naravno postoje i razne prirodne pukotine i slojevitost koje uvelike utječu na iskoristivost i ekonomsku isplativost eksploatacije. Zbog toga je potrebno razmotriti i načine izdvajanja komercijalnih blokova ovisno o pukotinama i prikazati razliku u vrijednosti bloka ovisno o pružanju slojevitosti na njemu.

Naposljetku, prikazane su tehnologije i načini izdvajanja komercijalnih blokova iz primarnih.

## **2. DOBIVANJE I OBARANJE PRIMARNIH BLOKOVA**

Primarni blok je blok velikih dimenzija koji se izdvaja iz odabrane stijenske mase ležišta arhitektonsko-građevnog kamena. Planirani primarni blok potrebno je prvo ispiliti. Osnovni strojevi za rezanje blokova su dijamantna žična pila i lančana sjekačica. Pripremne radnje, prvenstveno izrada bušotina, uvelike ovise o tome koje od ova dva stroja koristimo. Zbog toga kada se govori o dobivanju primarnih blokova izdvajaju se dvije glavne metode, a to su korištenje isključivo dijamantne žične pile i kombinirano korištenje dijamantne žične pile i lančane sjekačice. Moguće je korištenje i isključivo lančane sjekačice.

Takav način eksploatacije koristi se uglavnom pri dubinskoj eksploataciji. U takvoj eksploataciji nije potreban čitavi proces s piljenjem i obaranjem primarnog bloka, već se komercijalni blok može izdvojiti direktno iz stijenske mase. Također, kod eksploatacije travertina takva metoda je najpogodnija. Kada se travertin eksploatira klasičnim načinom pomoću dijamantne žične pile prilikom obaranja blokova lako dolazi do njegovog pucanja. Zbog tih pucanja iskorištenje stijenske mase se kreće između 15% i 18%. Ukoliko se koristi isključivo lančana sjekačica s direktnim dobivanjem komercijalnih blokova, iskorištenje može porasti do 80% (A. Sariisik i G. Sariisik, 2010).

Ipak, zbog mnogih ograničenja, kao što su dužina mača, veliki rezovi i dugotrajna piljenja, mnogo češće se pri uporabi lančane sjekačice ona koristi u kombinaciji sa dijamantnom žičnom pilom.

### **2.1. Piljenje primarnih blokova dijamantnom žičnom pilom**

Dijamantna žična pila jedan je od najčešće korištenih strojeva kod eksploatacije arhitektonsko–građevnog kamena. Osnovna konstrukcija može se podijeliti na pogonski dio sa zamašnjakom, komandni dio te na njen rezni element, odnosno dijamantnu žicu. Pogon dijamantne žične pile uglavnom je elektromotorni.

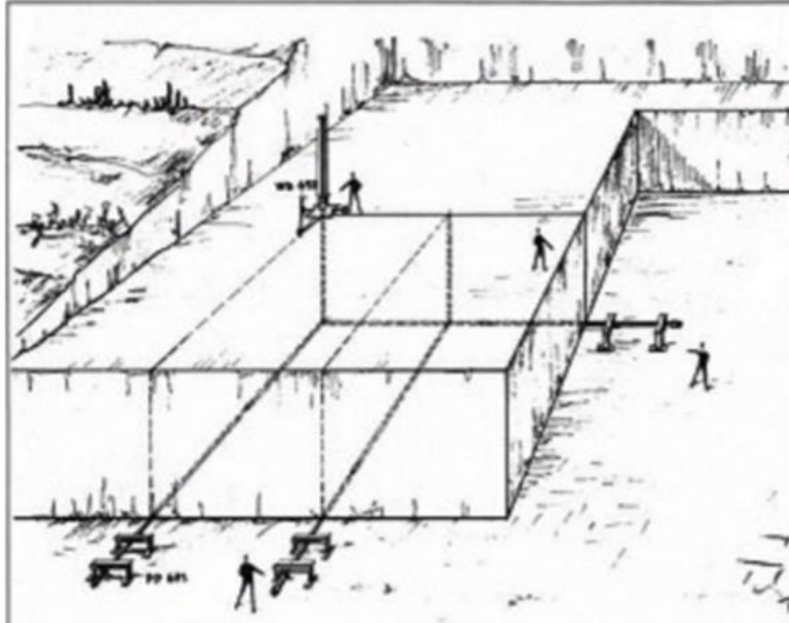
Dijamantna žica je u principu čelično uže na koje se slažu ostali elementi žice: dijamantne perle, razdjelne opruge, zaštitni prstenovi, blokirni osigurači, spojnice (Slika 2-1).



**Slika 2-1** Elementi od kojih se formira dijamantna žica njihovim nanizivanjem na čelično užje (Dunda i Kujundžić, 2003)

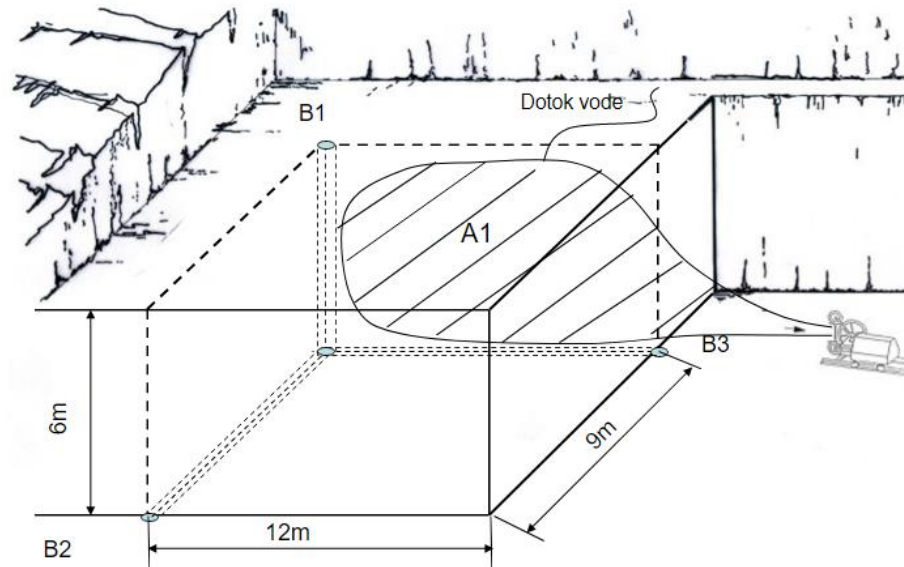
Prije eksploatacije potrebno je obaviti pripremne radnje. Kod eksploatacije dijamantnom žičnom pilom potrebno je izraditi glavne i pomoćne, horizontalne i vertikalne bušotine koje služe za provlačenje dijamantne žice (Slika 2-2). Iz tog razloga vrlo je bitno da pripremne radnje napreduju prije rezanja kako ne bi dolazilo do zastoja pri korištenju dijamantne pile. Kako se bušotine izrađuju da bi se kroz njih provukla dijamantna žica, to podrazumijeva da se vertikalne i horizontalne bušotine koje su obično promjera od 30 do 150 mm moraju presjeći što često predstavlja problem zbog devijacija u bušotini (Dunda i Kujundžić, 2003).





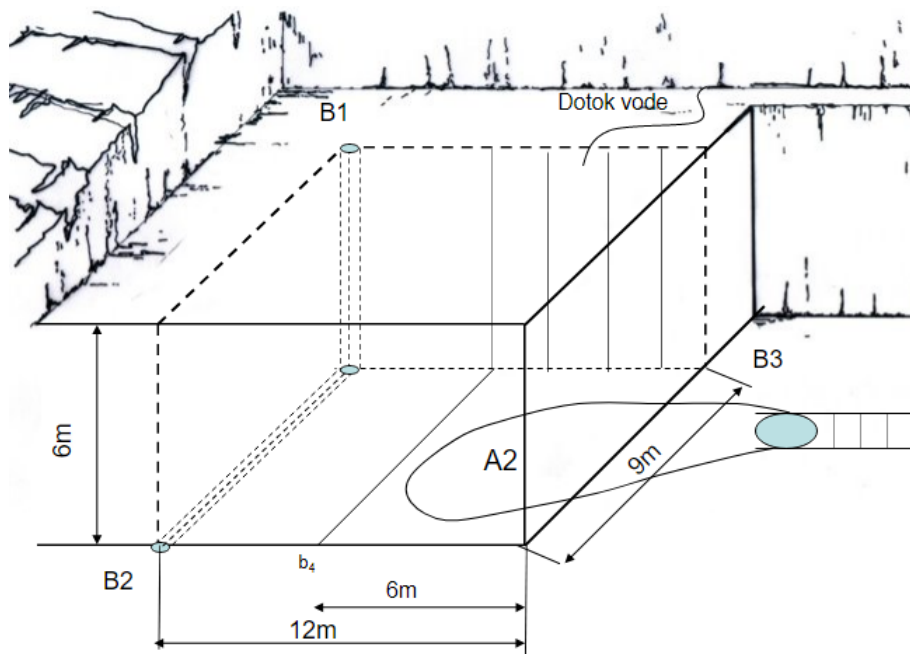
**Slika 2-2** Pripremne radnje (Dunda i Kujundžić, 2003)

Kako bi proces izrade bočnog vertikalnog reza mogao početi potrebno je provući dijamantnu žicu kroz vertikalnu bušotinu B1 i horizontalnu bušotinu B3 te je zatvoriti u beskonačnu petlju. Vrlo je važno osigurati dotok vode iz vodovoda ili pripremljenog rezervoara vode. Voda je bitna stavka iz dva razloga. Ona osigurava ispiranje reza od prašine koja nastaje piljenjem te snižava temperaturu dijamantne žice. Snižavanje temperature dijamantne žice važno je radi sprječavanja pougljenjivanja dijamantnih perli. Također, prilikom dimenzioniranja banka potrebno je voditi računa o tome da vertikalni rez ne premašuje površinu od 120 m<sup>2</sup> te planirati da je rez što bliže tom iznosu kako bi piljenje bilo što učinkovitije (slika 2-3).



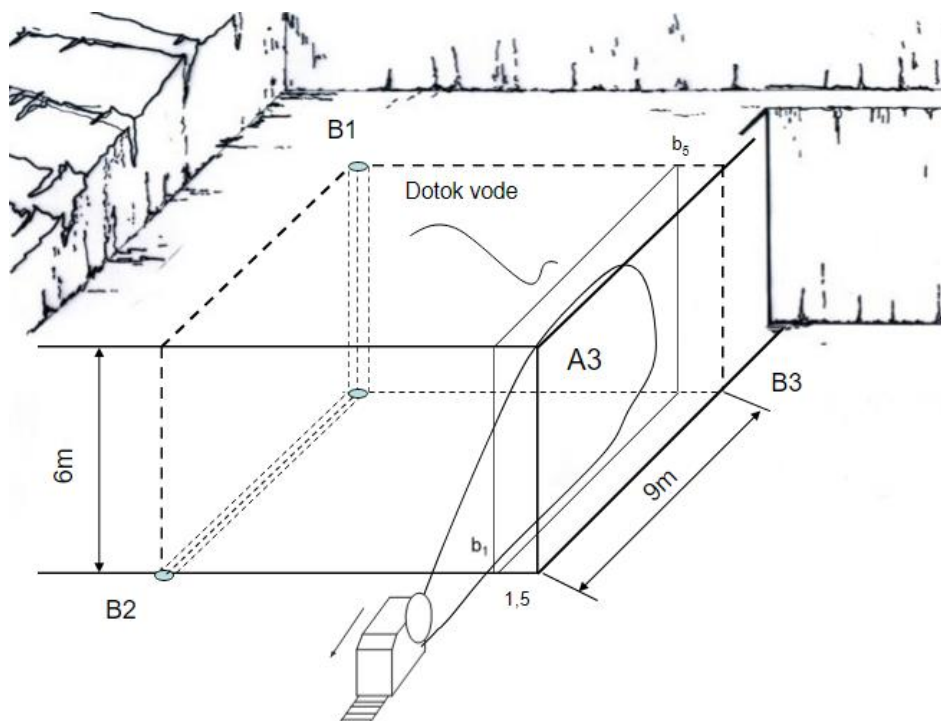
Slika 2-3 Izrada bočnog vertikalnog reza (Korman, 2014)

Nakon toga slijedi izrada horizontalnog reza. Dijamantna žica sada se provlači kroz bušotine B3 i b4. Horizontalna površina rezanja u praksi ne prelazi  $60\text{m}^2$  (Korman, 2014.). Dotok vode osigurava se kroz pomoćne vertikalne bušotine (Slika 2-4).



Slika 2-4 Izrada horizontalnog reza (Korman, 2014)

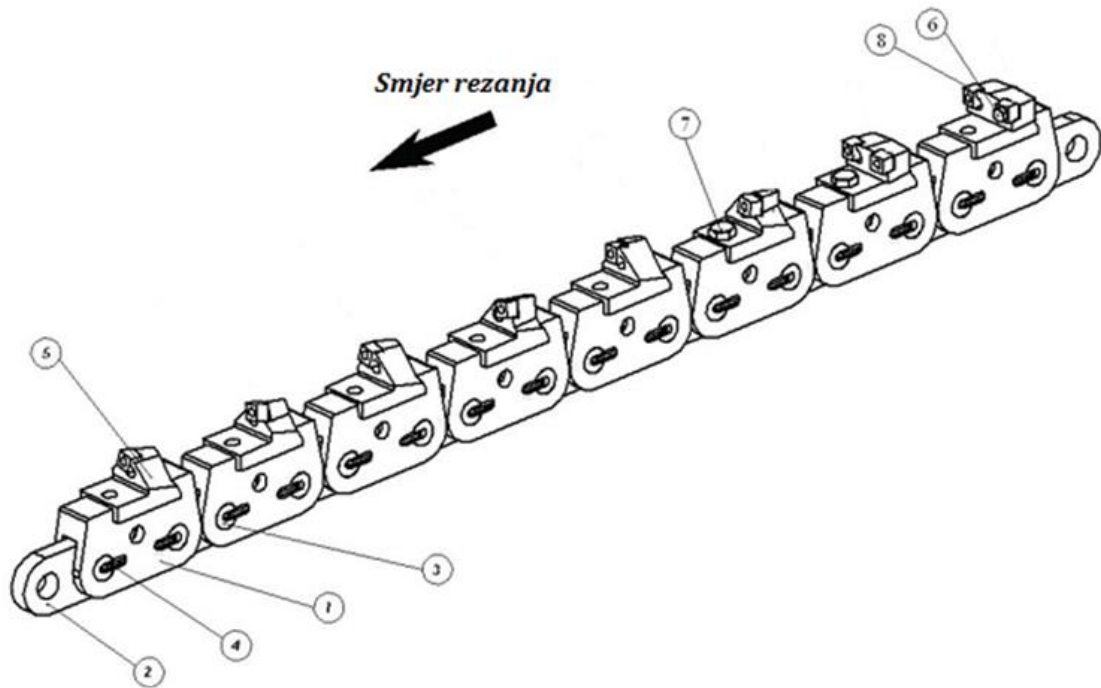
Naposljetku se vrši piljenje stražnjeg vertikalnog reza (slika 2-5). Dijamantna žična pila postavlja može se postaviti i na gornju etažu ili kako je prikazano na slici 2-5. Na donju te se dijamantna žica provlači kroz bušotine  $b_5$  i  $b_1$  te zatvara u beskonačnu petlju. Kao i kod prethodnih rezova potreban je stalni dotok vode.



Slika 2-5 Izrada stražnjeg vertikalnog reza (Korman, 2014)

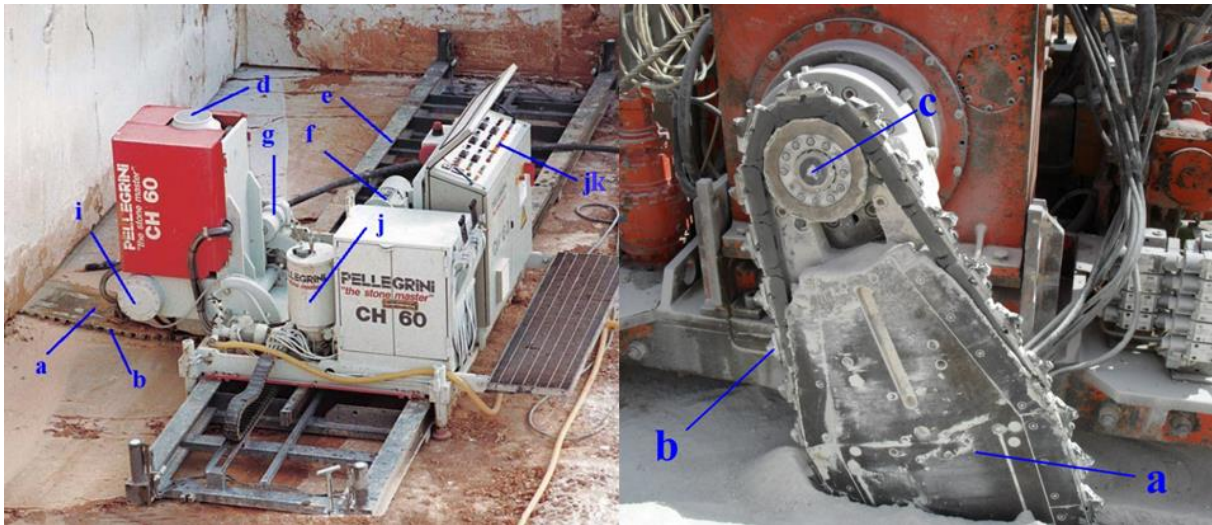
## 2.2. Piljenje primarnih blokova dijamantnom žičnom pilom i lančanom sjekačicom

Lančana sjekačica suvremeni je stroj za izradu horizontalnih i vertikalnih rezova u eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena. Rezni element lančane sjekačice je beskonačni lanac s nosačima na koje su montirane rezne pločice. Rezne pločice se mogu zamijeniti zasebno tako da prilikom trošenja ili oštećenja nije potrebno mijenjati čitavi lanac već samo rezne pločice. Lanac je skup članaka povezanih spojnica. Dodatna povezivanja između reznih elemenata izvršena su pomoću vijaka i osigurana osiguračima.



**Slika 2-6** Rezni elementi lančane sjekačice. 1) članak lanca 2) spojnica 3) klin 4) osigurač klina 5) nosač pločice 6) rezna pločica 7) vijak držača (A. Sariisik i G. Sariisik, 2010)

Na slici 2-7 Prikazani su osnovni dijelovi lančane sjekačice. Lanac s reznom pločicom (b) postavljen na mač (a) pokreće se pomoću lančanika (c) spojenog na pogonski motor (d) koji je u većini slučajeva električni. Lančana sjekačica također koristi motor za posmak mača (g), tj. za zakretanje mača u ravnini rezanja, motor za postavljanje mača u radni položaj (i), motor sa pumpom za podmazivanje (j) te motora za posmak stroja (f) koji služi za pomicanje stroja po tračnicama (e). Lančanom sjekačicom upravlja se preko upravljačke ploče (k).

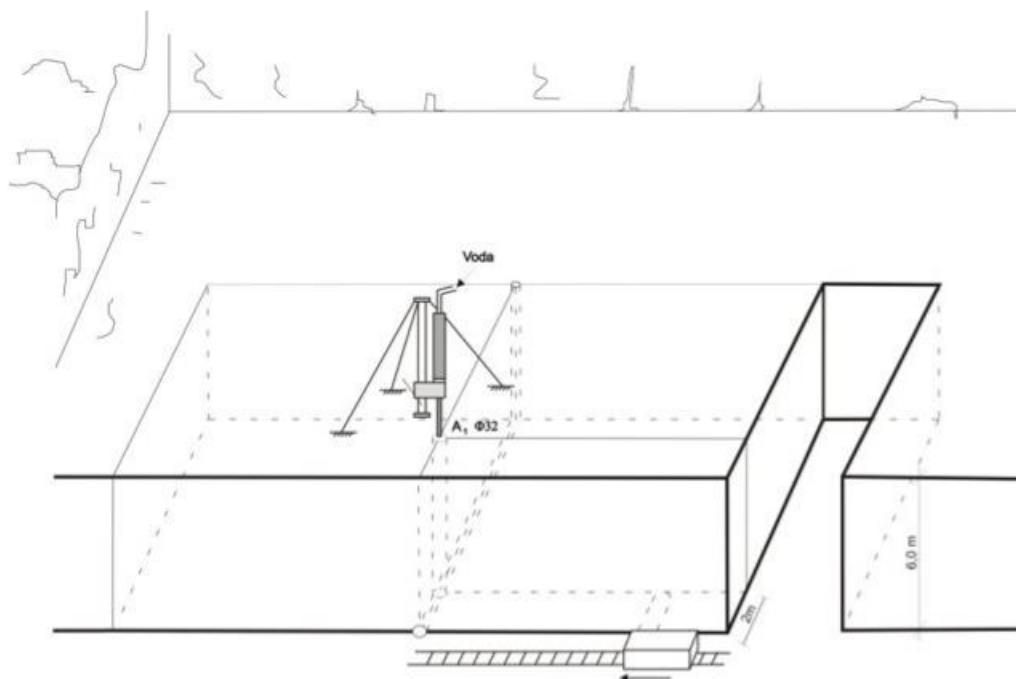


**Slika 2-7** Osnovni dijelovi lančane sjekačice (Korman i Kujundžić, 2014)

Lančane sjekačice su vrlo korisni strojevi u eksploataciji arhitektonsko–građevnog kamena. Naročito kada se koriste u kombinaciji sa dijamantnom žičnom pilom. Lančanom sjekačicom moguće je izrađivati i horizontalne i vertikalne rezove. Ipak, kod piljenja vertikalnih rezova lančanom sjekačicom dolazi do nekih ograničenja. Jedno od njih je ograničenost visine etaže dužinom mača lančane sjekačice. Zbog toga se mnogo češće u ovoj kombinaciji lančana sjekačica koristi za izradu horizontalnih rezova, a vertikalni rezovi se izrađuju dijamantnom žičnom pilom. U toj metodi značajno su skraćeni i olakšani pripremni radovi. Prilikom korištenja lančane sjekačice nije potrebno izraditi toliki broj horizontalnih bušotina pa se ne susrećemo s problemima kao što je devijacija bušotine. Isto tako nije nužan dotok vode za lančanu sjekačicu. Ipak i ona ima svoje mane pošto je rez lančane sjekačice višestruko deblji od dijamantne žične pile te dolazi do puno većih gubitaka u odnosu na rad dijamantnom žičnom pilom. Veća širina reza naročito dolazi do izražaja kako eksploatacija napreduje i izrađuje se više rezova.

Nakon izrade horizontalnog reza lančanom sjekačicom imamo mogućnost provući dijamantnu žicu kroz njen rez. Potrebno je izraditi vertikalnu bušotinu koja će se susresti sa rezom lančane sjekačice. Devijacija kod bušenja u ovom slučaju ne predstavlja veliki problem iz razloga što je rez sjekačice dovoljno širok te je mimoilaženje manje vjerojatno. Bočni i stražnji vertikalni rez

se izrađuje dijamantnom žičnom pilom provlačeći žicu kroz napravljene vertikalne bušotine i horizontalne rezove.



**Slika 2-8** Izrada horizontalnog reza i pripreme radnje (Korman, 2014)

### 2.3. Obaranje primarnog bloka

Ispiljeni primarni blok sada je potrebno prevrnuti na njegovu prednju stranicu na radni plato pomoću zračnih ili vodenih jastuka te hidrauličnih potiskivača. Prije obaranja potrebno je napraviti posteljicu odnosno tampon na koji će blok pasti (slika 2-6.). Ta posteljica obično se izrađuje od materijala koji je ostao prilikom otvaranja ležišta. Treba obratiti pažnju da posteljica bude što je moguće više ujednačenog granulometrijskog sastava i ne suviše vlažna. Ukoliko posteljica sadrži veće komade ili je povećane vlažnosti može doći do pucanja prevrnutog bloka zbog siline udarca pri padu, odnosno do razmicanja blata ispod bloka što posljedično također dovodi do mogućeg pucanja bloka. Na početku ona treba biti debljine 0,5-0,6 m, a pri kraju do 1 m. Na posteljicu se također dodaju drvene letvice kako bi se između posteljice i bloka stvorila praznina kroz koju se kasnije kod dijeljenja na komercijalne blokove može provući dijamantna žica. Time se izbjegava izrada dodatnih bušotina pri daljnjem rezanju.



**Slika 2-9.** Zemljana posteljica (Dunda i Kujundžić, 2003)

Blok je potrebno oboriti korištenjem samostalno vodenih ili zračnih jastuka, ili hidrauličnim potiskivačima. Kod korištenja hidrauličnih potiskivača potrebno je u zdravoj stijenskoj masi izraditi posebne utore u koje će oni biti postavljeni. Oštećenje zdrave stijenske mase utječe na njenu iskoristivost te se hidraulični potiskivači koriste u onom slučaju kada izrada takvih utora nije značajna za ukupni koeficijent iskorištenja. Hidraulični potiskivač sastoji se od cilindra koji se postavlja u izrađeni utor te se crijevima spaja s hidrauličnom pumpom. Kako bi odredili optimalni broj i veličinu cilindara potrebno je izračunati potrebnu potisnu silu prema jednadžbi (2-4) koju ti cilindri moraju savladati da bi prevrnuli primarni blok. Prije toga potrebno je poznavati dimenzije bloka te izračunati njegov volumen prema jednadžbi (2-1) i masu prema jednadžbi (2-2) (Dunda i Kujundžić, 2003).

Proračun:

Volumen bloka V:

$$V = a \cdot b \cdot H \text{ [m}^3\text{]} \quad (2-1)$$

Gdje je:

a – dužina bloka, [m]

b – širina bloka, [m]

H – visina bloka, [m]

Masa bloka G:

$$G = V \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (2-2)$$

Gdje je:

$\rho$  - volumna masa kamena, [kg/m<sup>3</sup>]

Visina djelovanja potisne sile h:

$$h = H - 0,2 \text{ [m]} \quad (2-3)$$

Potrebna potisna sila P:

$$P = g \cdot (G \cdot a) / (2 \cdot h) \text{ [N]} \quad (2-4)$$



Zatim se iz tehničkih karakteristika odredi potrebni broj i veličina potiskivača. Potisnu silu svakog potiskivača potrebno je umanjiti za koeficijent sigurnosti koji iznosi oko 10 %.

Zračni jastuci se uglavnom koriste za širenje reza kako bi hidraulički odvaljivač mogao zahvatiti blok bez dodatnih utora. Mogu se koristiti i samostalno kod blokova manje širine. Zračni jastuk potrebno je cijelom njegovom veličinom postaviti u rez koji je dodatno razmaknut klinovima. Za dodatnu zaštitu jastuka postavljaju se i limene zaštite na kontaktu sa stijenom. Jastuci se izrađuju od poliesterske plastike s premazom. Ovisno o proizvođaču i veličini jastuka on može podnijeti određeni pritisak. Za odabir veličine i broja zračnih jastuka potrebno je izračunati potisnu silu jastuka prema jednadžbi (2-5) (Dunda i Kujundžić, 2003).

Proračun :

Potisna sila jastuka  $P_j$ :

$$P_j = A \cdot p \cdot k_p, [N] \quad (2-5)$$

Gdje je:

$A$  – površina jastuka,  $[m^2]$

$p$  – pritisak zraka u jastuku,  $[Pa]$

$k_p = 0,8$  – koeficijent korisne površine koja djeluje na blok



**Slika 2-10** Obaranje primarnog bloka pomoću zračnih jastuka u kamenolomu Kanfanar (Dunda i Kujundžić, 2003)

Vodeni jastuci nazivaju se još i čelični zbog njihove konstrukcije. U jastuk se pumpom upumpava voda iz rezervoara koji ne mora biti velikih dimenzija. Ukupna debljina jastuka je oko 2 mm, izrađuju se u dimenzijama 80 x 80 cm, 100 x 100 cm i 120 x 120 cm, a ostvaruju potisnu silu od oko 1,75 MN do 3,9 MN. Potrebna potisna sila računa se kao i kod zračnih jastuka (Dunda i Kujundžić, 2003).

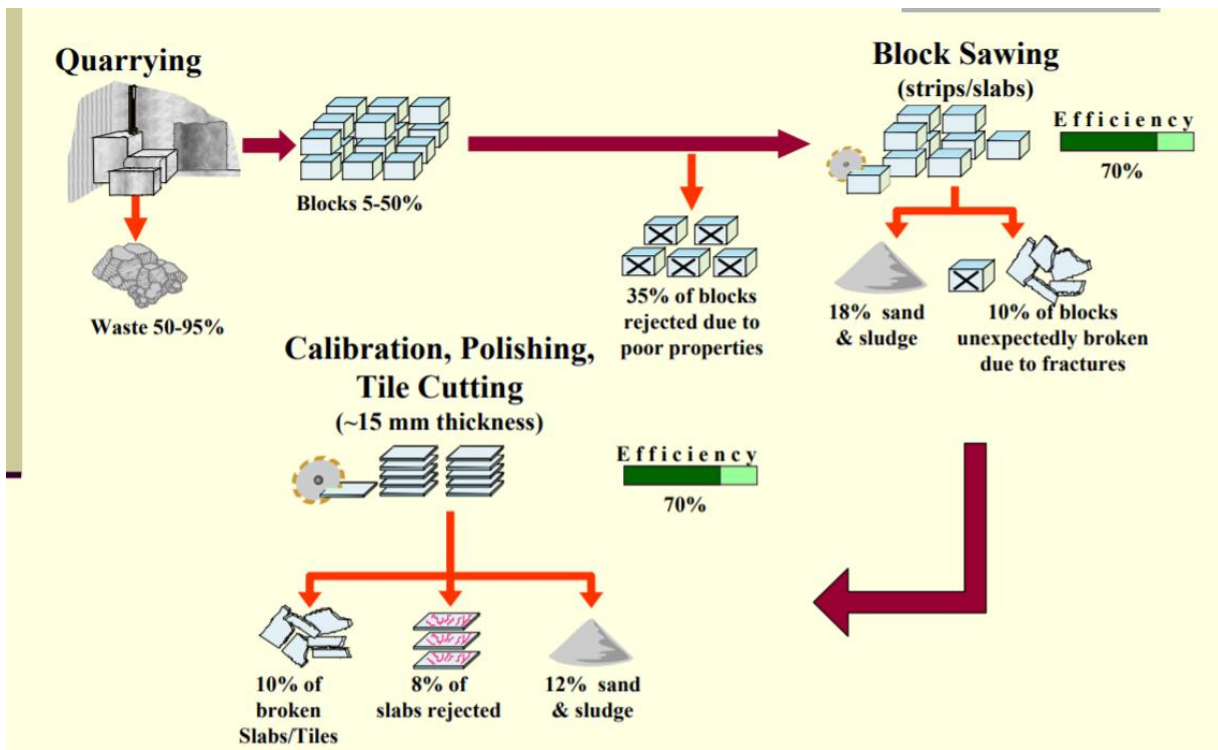
### **3. UTJECAJ PUKOTINSKOG SUSTAVA NA IZDVAJANJE KOMERCIJALNIH BLOKOVA**

Jedna od glavnih razlika između tehničko - građevnog kamena i arhitektonsko - građevnog kamena je u načinu eksploatacije i koeficijentu iskorištenja ležišta te vrijednosti mineralne sirovine. Dok su kod tehničko - građevnog kamena glavna odrednica njegove vrijednosti gotovo isključivo fizikalno - mehanička svojstva, kod arhitektonsko - građevnog kamena uz fizikalno - mehanička svojstva vrlo je bitan i pukotinski sustav s obzirom da se on eksploatira u blokovima.

Glavna odrednica vrijednosti arhitektonsko - građevnog kamena je njegova dekorativnost te veličina blokova. Već pri odabiru ležišta najveća pažnja je usmjerena ka proučavanju strukturnog sklopa stijene. Nastoji se odabrati ležište sa što rjeđom mrežom pukotina, tj. stijena odabrana za eksploataciju arhitektonsko – građevnog kamena mora biti masivna i kompaktna. Guste prirodne pukotine onemogućavaju dijeljenje stijene na pravilne i dovoljno velike komade.

Upravo zbog potrebe da se arhitektonsko - građevni kamen podijeli u što veće blokove i zbog piljenja tih blokova strojevima koji proizvode određenu širinu reza dolazi do njegove male iskoristivosti. Iskoristivost ležišta arhitektonsko – građevnog kamena se obično kreće između 3% i 30%, za razliku od tehničko – građevnog kamena koji se vadi zbog svojih fizikalnih svojstva kod kojih iskoristivost može dostići gotovo 100% (Ashmole i Motloun, 2008).

Na slici 3-1 prikazani su svi gubici prilikom vađenja i obrade kamena. Prilikom izdvajanja bloka iz stijenske mase dolazi do najvećih gubitaka, prema Papantonopoulosu od 50% do 95%, ali oni u praksi mogu biti i do 97% (Ashmole i Motloun, 2008.). Zatim, oko 35% izdvojenih blokova bude odbačeno zbog njihovih nepogodnih svojstava. Efikasnost piljenja primarnog bloka obično iznosi oko 70% zbog širine reza stroja za piljenje i zato što dio blokova pukne prilikom piljenja. Daljnjom obradom i piljenjem bloka na ploče, dolazi do gubitaka od oko 30% (Papantonopoulos i dr., 2007).



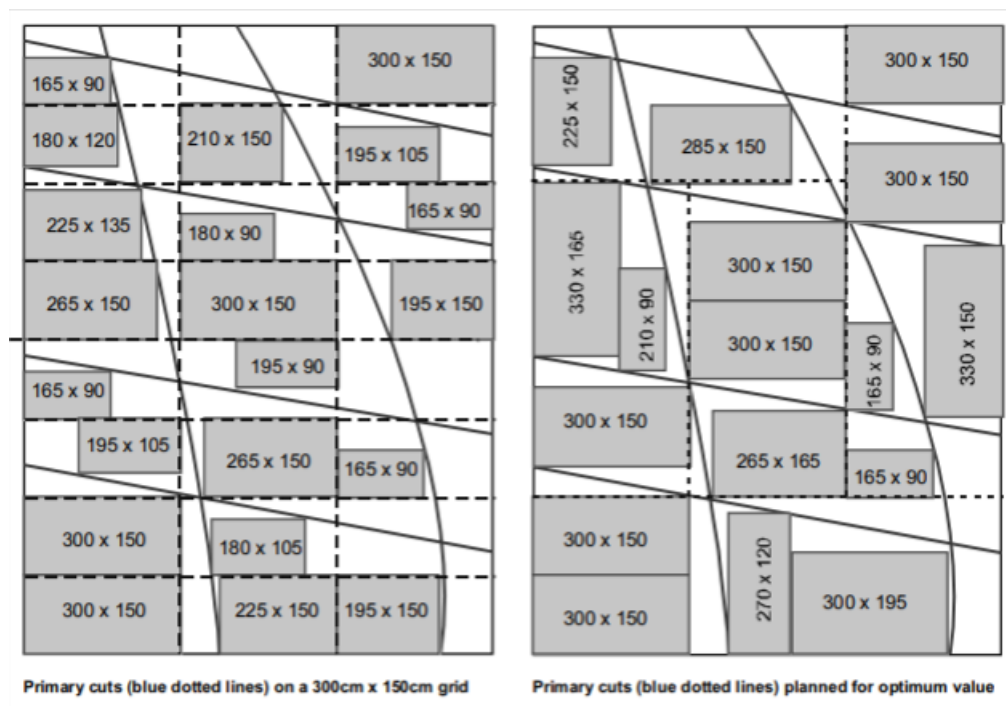
Slika 3-1 Prikaz gubitaka prilikom eksploatacije AG kamena (Papantonopoulos i dr., 2007)

U pojedinim slučajevima kada je razmak između pukotina dovoljno velik i kada su diskontinuiteti približno paralelni i okomiti jedan na drugog, pukotine imaju pozitivan utjecaj jer olakšavaju vađenje komercijalnih blokova.

Komercijalni blokovi izdvajaju se iz prethodno izrezanog i oborenog primarnog bloka. Oboreni primarni blok potrebno je podijeliti na komercijalne blokove. Optimalna veličina komercijalnog bloka je dužine 300 cm, visine 150 cm i širine 150 cm. Dužina je orijentirajuća vrijednost te se visina i širina bloka prilagođavaju dužini bloka poštivajući omjer  $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{2}$ .

Kao što je već napomenuto, veličina bloka uvelike utječe na njegovu vrijednost, stoga nam je cilj dobiti što je više moguće blokova dimenzija prve klase jer je njihova tržišna vrijednost značajno veća od blokova nižih klasa.

Oboreni primarni blok potrebno je oprati te promotriti kakve se prirodne pukotine nalaze na njemu. Pukotine su otežavajući element jer ukoliko one ne bi postojale ili ako bi se one mogle zanemariti primarni blok bi tada jednostavno podijelili na željene dimenzije komercijalnih i odrezali ih kao takve. Međutim, u pravilu u bloku se pojavljuju pukotine te ih moramo uzeti u obzir kako bismo dobili što veći broj komercijalnih blokova zadovoljavajućih dimenzija. Ukoliko bi primarni blok bio podijeljen na željenu veličinu komercijalnog bloka ne uzimajući u obzir pukotine, došlo bi do značajnih gubitaka. U prikazanom primjeru, u kojem je obavljena jednostavna 2D analiza pukotina ukupni volumen dobivenih komercijalnih blokova je 15% veći, nego kada pukotine prilikom rezanja zanemarimo. Uz to, 88% dobivenih blokova je velikih dimenzija što na kraju ostvaruje 43% veću vrijednost na tržištu od prvog slučaja (Ashmole i Motloun, 2008).



**Slika 3-2** Utjecaj pukotina na broj i veličinu blokova (Ashmole i Motloun, 2008)

2D analiza sama po sebi nije dovoljna za stvaran prikaz pružanja pukotina u bloku pošto su one trodimenzionalne. Zbog brzine postupka najčešće se koristi proučavanje pukotina na svim

vidljivim površinama bloka te se na taj način pretpostavi njihovo pružanje unutar bloka. Takva metoda često je dovoljna da se pretpostave pukotine unutar bloka te odredi na koje dimenzije će se blok rezati.

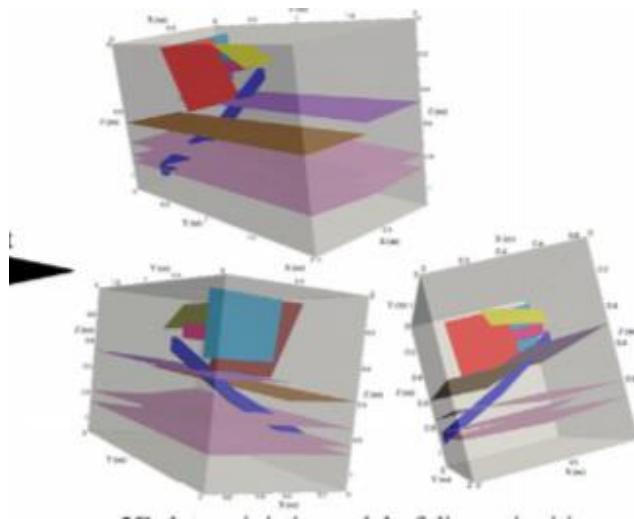
Za prikaz diskontinuiteta veoma korisna je i Schmidtova mreža. Ukoliko su poznati orijentacijski podaci o određenim diskontinuitetima, azimut i kut nagiba diskontinuiteta može se izraditi dijagram polova. Na taj način moguće je saznati pružanje diskontinuiteta kroz blok.

Ipak razvijene su i suvremene metode detekcije pukotina unutar bloka. Pošto blok mora ostati cjelovit one se moraju detektirati ne razarajući otpiljeni blok. Jedna takva metoda je GPR. Ona koristi visokofrekventne elektromagnetske valove koji prodiru kroz blok. Visokofrekventna antena, koja obično proizvodi frekvencije od 250 do 700 MHz, postavlja se na kotače te se takvim uređajem prelazi preko bloka za kojeg želimo ustvrditi sastav pukotina (Elkarmoty i dr., 2008) (Slika 3-3).



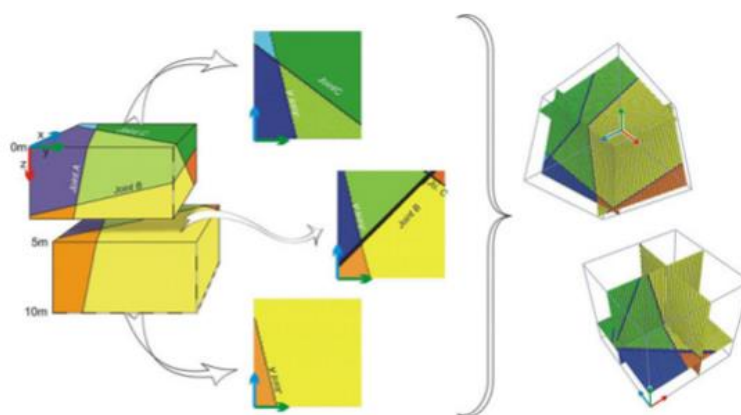
**Slika 3-3** GPR uređaj (Elkarmoty i dr., 2008)

Vrijeme potrebno za prodiranje odnosno odbijanje valova koje uređaj emitira koristi se za pridobivanje informacije gdje se u bloku nalazi pukotina. Korištenjem takvog uređaja dobije se 3D model ispitano bloka te prikaz postojećih diskontinuiteta u tom bloku.



**Slika 3-4** 3D model bloka sa diskontinuitetima (Elkarmoty, 2008)

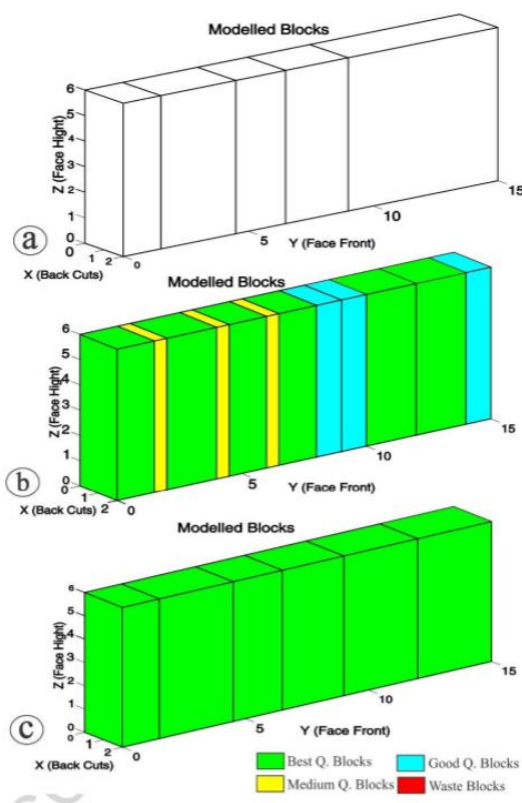
Za promatranje bloka kao trodimenzionalno tijelo razvijeni su računalni softveri. 3D-BlockExpert je jedan takav program. Program projicira ravninu diskontinuiteta u modelu bloka znajući tri točke kroz koje diskontinuitet prolazi. Na taj način može se odrediti najveći volumen zdrave stijene koja se može ispiliti.



**Slika 3-5** Model bloka s prikazom diskontinuiteta u dvije i tri dimenzije. (Mosch i dr., 2011)

Također, jedan od programa koji promatraju blok u tri dimenzije sa njegovim diskontinuitetima je i 3D-QuarryOptimizer koji je programiran u MATLAB-u s ciljem da odredi geometriju komercijalnog bloka. U program se unose raspon promatranog područja, diskontinuiteti koji se na njemu nalaze te dimenzije određene klase. Program zatim daje rezultat u obliku geometrije bloka, grafičkog prikaza modela te klasifikaciju dobivenih blokova.

U ovom primjeru, na prvoj slici prikazan je 3D model bloka sa određenim pukotinama. Idućom slikom prikazan je taj isti blok te klasifikacija komercijalnih blokova ukoliko bi oni bili izdvajani na svaka dva metra. Na posljednjoj slici također je prikazan isti blok i klasifikacija komercijalnih blokova ako bi oni bili rezani preporukom ovog softvera (Yarahmadi i dr., 2017).



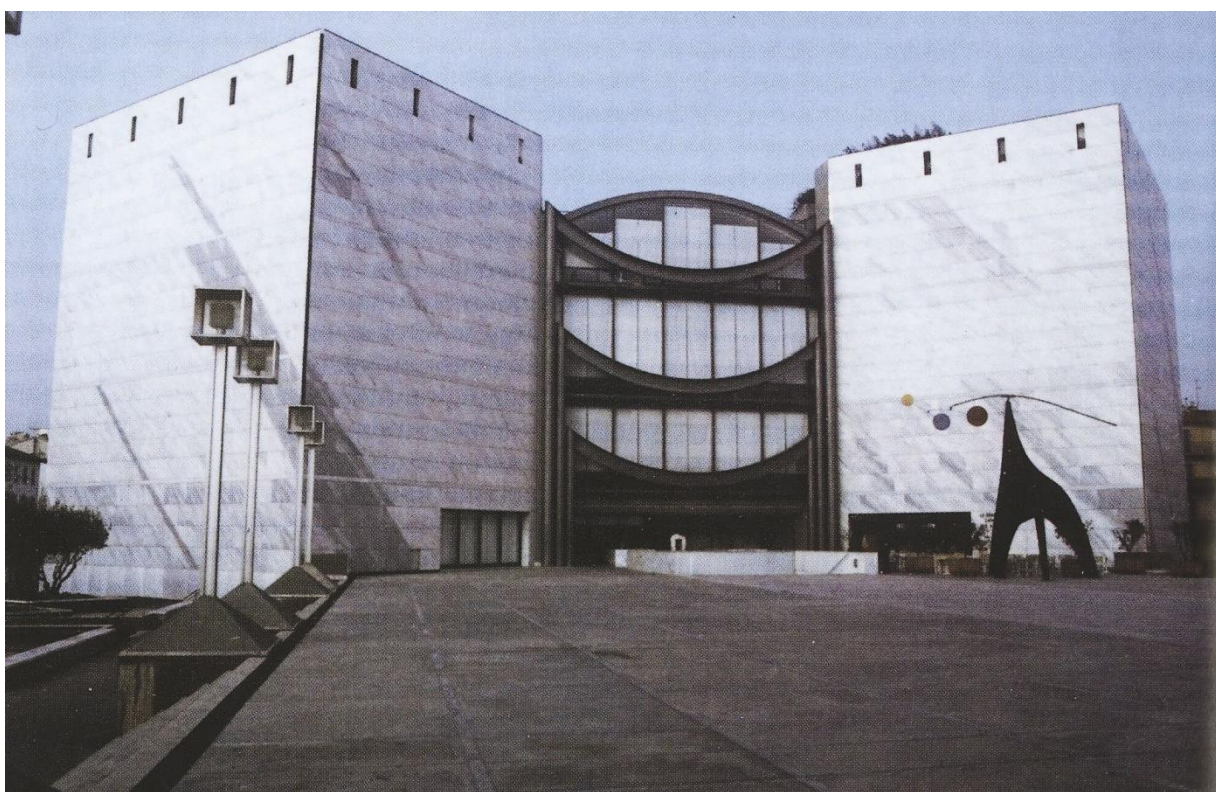
Slika 3-6 3D model bloka i njegova klasifikacija (Yarahmadi i dr., 2017)



#### 4. UTJECAJ SLOJEVITOSTI NA IZGLED I VRIJEDNOST KOMERCIJALNOG BLOKA

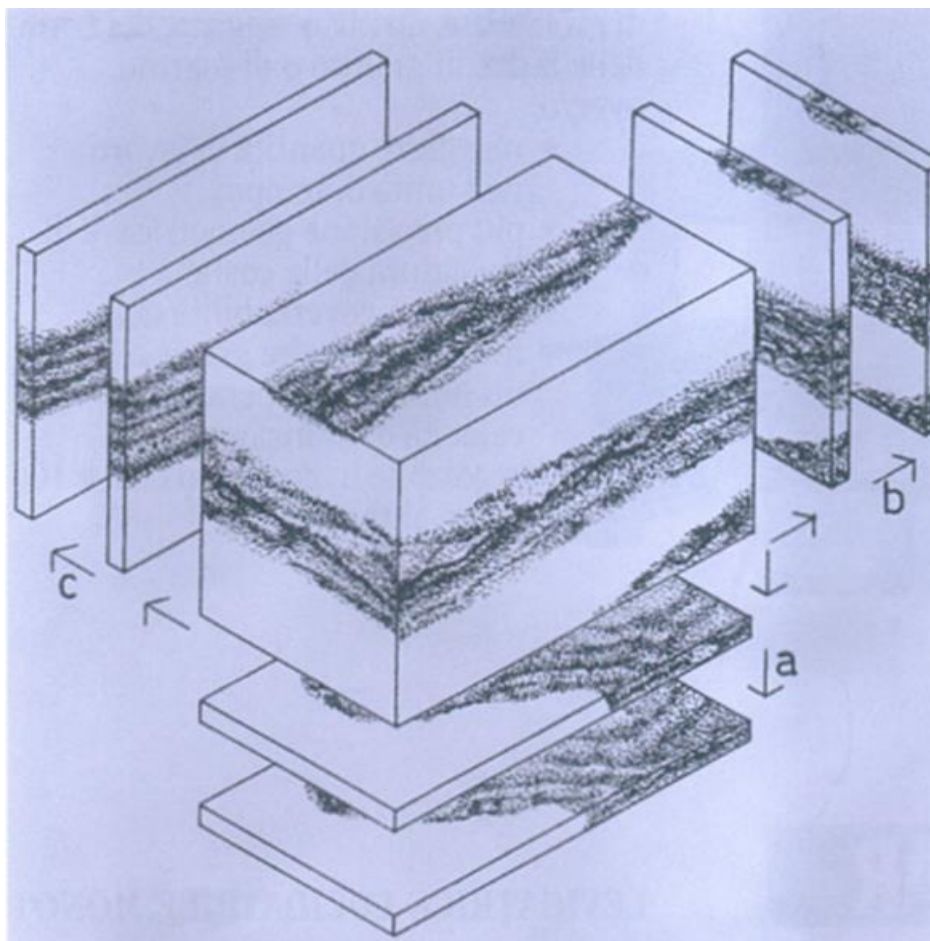
Stijensku masu predviđenu za eksploataciju arhitektonsko - građevnog kamena odlikuje i slojevitost. Ona će utjecati i na izgled kamena, i dirigitat će kako će se na taj kamen iskoristiti i ugraditi u praksi.

Pročelje muzeja MAMAC – muzeja moderne i suvremene umjetnosti napravljeno je tako da predstavlja prikaz kamenoloma arhitektonsko – građevnog kamena s naglašenom slojevitošću kamena.



Slika 4-1 Pročelje muzeja MAMAC (Dunda, 2006)

Blok može biti piljen okomito na slojevitost što znači da je slojevitost vidljiva na licu. Piljen paralelno sa slojevitosti, a slojevitost se pruža usporedno sa slojevitošću ili piljen okomito na slojevitost, a slojevitost se pruža okomito na licu.



**Slika 4-2** Smjerovi piljenja u odnosu na slojevitost (Dunda, 2006)

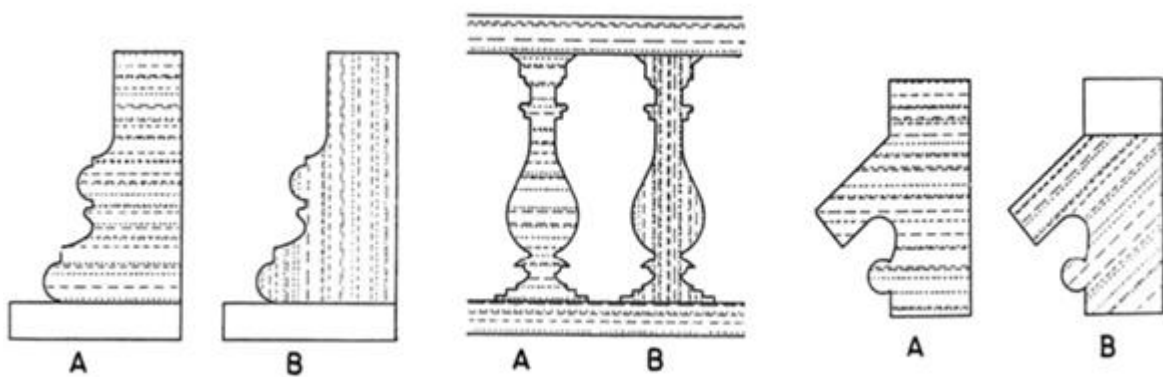
Uz veličinu, iduća značajna karakteristika arhitektonsko – građevnog kamena je njegova dekorativnost. Izgled kamena uvelike će ovisiti o tome kako je on odrezan u odnosu na slojevitost i pod kojim kutem.



**Slika 4-3** Razlika u izgledu kamena u odnosu na smjer piljenja (Dunda, 2006)

Iako bez značajnih nedostataka, dva bloka istog volumena mogu imati značajno različitu vrijednost ovisno o tome kako su odrezani u odnosu na slojevitost. Na primjeru materijala Rustenburg, blok dimenzija 240cm x 120cm x 120cm može postići i više od 5 puta višu cijenu od bloka dimenzija 120cm x 120cm x 240cm. Sličan princip vrijedi i kod raznobojnog kamena kod kojeg je važno kako se uzorak jedne boje pojavljuje u bloku (Ashmole i Motloun, 2008).

Također, treba obratiti pažnju na fizikalno – mehanička svojstva kamena. Poglavitno zbog toga što će se ona razlikovati u odnosu na to kako je orijentiran kamen po slojevitosti prilikom njegove ugradnje. Kako bi se kamen što bolje sačuvao potrebno je imati na umu da je za njegovu dugotrajnost najbolje ukoliko je sila koju on mora podnositi usmjerena okomito na slojevitost. Time se sprječava da se kamen pod pritiskom razdvoji po slojevima (Slika 4-4).



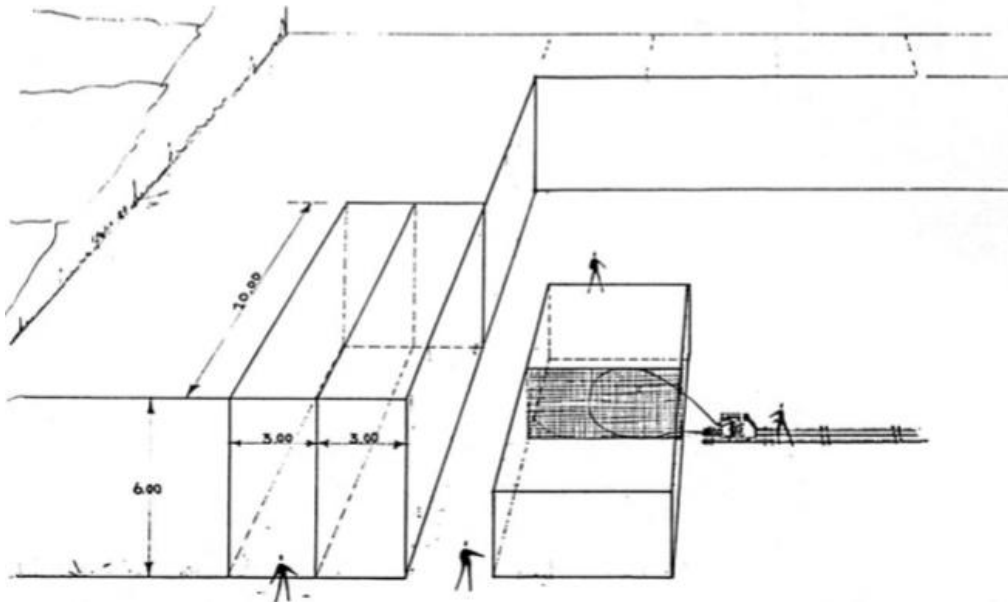
**Slika 4-4** Pravilna (A) i pogrešna (B) ugradnja slojevitog kamena (Dunda, 2006)

## **5. DOBIVANJE KOMERCIJALNIH BLOKOVA**

Nakon pregleda i determinacije pukotina oborenog primarnog bloka potrebno ga je podijeliti u već određene dimenzije komercijalnog bloka. Komercijalni blok možemo izvaditi iz primarnog bušenjem i kalanjem klinovima ili piljenjem. Piljenje primarnog bloka vrši se istim strojevima s kojima se i primarni blok ispilio iz stijenske mase, prvenstveno dijamantnom žičnom pilom, ali je moguća i upotreba lančane sjekačice. Bušenje i kalanje klinovima se u principu svodi na izradu bušotina te postavljanju klinova u njih.

### **5.1. Dobivanje komercijalnih blokova piljenjem**

Piljenje primarnog bloka veoma je efikasna metoda dobivanja komercijalnih blokova iz razloga što nastaju glatke plohe komercijalnih blokova. Zbog toga je iskoristivost stijenske mase na visokom nivou. Ukoliko se pili dijamantnom žičnom pilom, puno je efikasnije koristiti pilu manje snage i dimenzija od one koja je korištena za piljenje primarnog bloka iz stijenske mase. Za razliku od dobivanja primarnog bloka, uglavnom nije potrebna izrada ikakvih bušotina, već se dijamantna žica provlači kroz rupu nastalu postavljanjem gređica na tampon na koji je blok oboren. Iako je zbog manjih rezova iskoristivost velikih pila korištenih za piljenje primarnog bloka iz stijenskog masiva, one se također mogu koristiti ukoliko su raspoložive. Također, na manju pilu, koja je namijenjena isključivo rezanju za dobivanje komercijalnog bloka, moguće je postaviti dijamantnu žicu koja je već korištena za piljenje primarnog bloka iz stijenskog masiva. Kod takve žice je već došlo do zamora materijala u njoj te više nije kompatibilna i dovoljno sigurna za piljenje velikih rezova, ali može poslužiti za piljenje manjih površina (Dunda i Kujundžić, 2003).



**Slika 5-1** Piljenje primarnog bloka dijamentnom žičnom pilom (Dunda i Kujundžić, 2003)

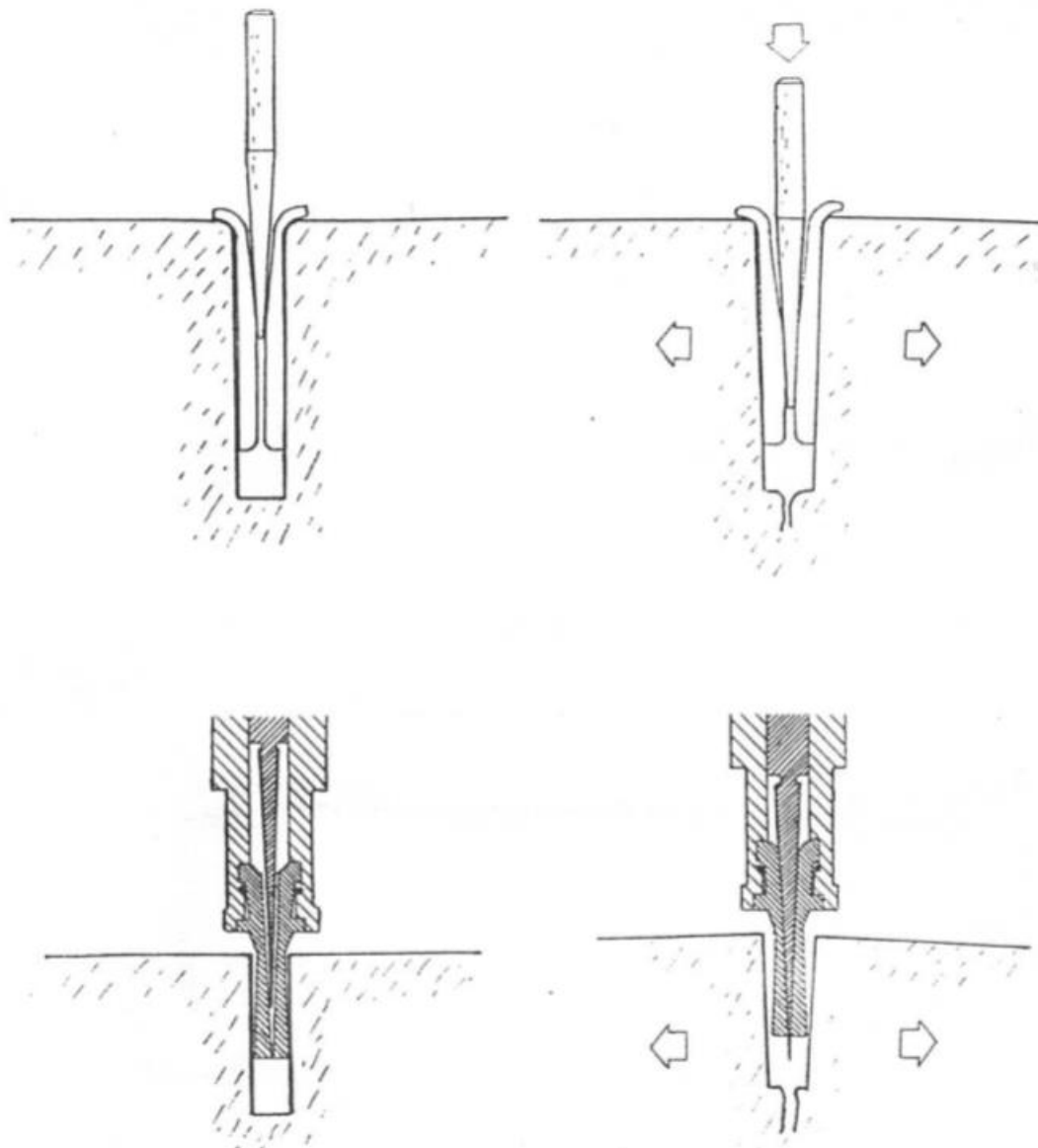
Blok se može raspiliti i upotrebom lančane sjekačice. Na blok se postavljaju tračnice na koje će biti montirana sjekačica te se vrši piljenje uz minimalno premještanje tračnica. Postoje i varijante manjih sjekačica koje se mogu koristiti ručno za manje blokove. Ipak, zbog velikih gubitaka prilikom piljenja lančanom sjekačicom favorizira se piljenje dijamentnom žičnom pilom. Gubici nastaju zbog toga što je širina reza lančane sjekačice oko 4 puta veća od širine reza dijamentne žične pile.



**Slika 5-2** Ručna lančana sjekačica (Dunda i Kujundžić, 2003)

## **5.2. Bušenje i kalanje klinovima**

U primarnom bloku u razmaku između 10 do 30 cm izrađuje se niz bušotina. Dubina bušotina je uglavnom do 40 cm (Dunda i Kujundžić, 2003). Radi lakšeg cijepanja bloka svaka peta ili šesta bušotina je dublja od ostalih. Zatim se u bušotine postavljaju čelični protuklinovi te klinovi. Protuklinovi služe kako bi prenijeli udarce po klinovima na blok. Udaranjem po klinovima stijenska masa se izlaže naprezanju na istezanje te kada udarac premaši čvrstoću stijene, blok se počinje razdvajati. Sila se na klinove može nanositi ručno, ali također postoje i strojevi koji zamjenjuju ručno udaranje čekića po klinu. Jedni od takvih strojeva su hidraulični klinovi. Oni se postavljaju u bušotine te kao i kod ručnog bušenja stvaraju pritisak u njima kako bi se stijena razdvojila. Razlika je u tome što se pritisak stvara udaranjem hidrauličnog čekića na klin koji je postavljen u stroju.



**Slika 5-3** Djelovanje klina za ručni rad i hidrauličnog klina (Dunda i Kujundžić, 2003)

Pritisak u bušotinama se također može stvoriti i lijevanjem ekspanzijske smjese u bušotinu. Ulivena smjesa vremenom će ekspanzirati te tako stvoriti pritisak koji će kao i u prethodnom slučaju odlomiti stijenu. Kod arhitektonsko građevnog kamena ovakva metoda nije osobito česta zbog dugog trajanja cijepanja.

Generalno, dobivanje komercijalnog bloka busenjem i kalanjem proizvodi velike gubitke. Prvenstveno zbog toga što se blok razdvoji po plohi kalavosti. Takva ploha nije ravna te je zbog



toga potrebno kamen dodatno oblikovati. Zbog toga se nastoji dobivati komercijalne blokove piljenjem.

## 6. ZAKLJUČAK

Komercijalni blok završna je forma arhitektonsko – građevnog kamena koja se izrađuje na užem području njegovog ležišta. Kao što mu i naziv govori, njegove kvalitete odražavaju se na komercijalnu vrijednost kamena.

U završnom radu su pobliže prikazane metode površinske eksploatacije primarnog bloka iz stijenskog masiva. Metode se razlikuju prema tome koji se alati koriste za izradu rezova. Dva najkorištenija alata su dijamantna žična pila i lančana sjekačica. Oni se koriste ili individualno ili pojedinačno ovisno o okolnostima na ležištu. Metode se načelno najviše razlikuju po tome kakve će biti pripremljene radnje. U principu optimalno je koristiti kombinaciju dijamantne žične pile i lančane sjekačice. Lančana sjekačica je najbolje iskoristiva za izradu horizontalnih rezova, a dijamantna žična pila za vertikalne rezove. Takav način eksploatacije zahtjeva izradu najmanjeg broja bušotina, ali zbog upotrebe lančane sjekačice i širine reza koju ona stvara dolazi do određenog gubitka zdrave stijenske mase.

Ispiljeni primarni blok prije podjele u komercijalne potrebno je oboriti na radni plato. Za obaranje bloka najbolje je koristiti kombinaciju zračnih ili vodenih jastuka i hidrauličnih potiskivača. U takvoj kombinaciji nema potrebe za dodatnim oštećenjem zdrave stijene koje prouzrokuje gubitke i služi u očuvanju stijenske mase.

Jedna od dviju glavnih odrednica cijene bloka je njegova veličina te upravo zbog toga treba izbjegavati bilo kakva oštećenja u zdravoj stijeni. U primarnim blokovima kojeg se želi podijeliti na komercijalne postoje i određene prirodne pukotine. One uvelike utječu na to koliki će se ukupni volumen komercijalnih blokova dobiti iz njega i kolike će biti veličine pojedinih blokova. Zbog toga prije rezanja potrebno je dobro razmotriti kako će se podijeliti blok kako bi iz njega bilo dobiveno što više komercijalnih blokova najviše klase te time i dobivena najveća vrijednost.

Zbog takve, vrlo značajne, uloge pukotina mnogo je pažnje posvećeno proučavanju njihovog utjecaja na iskoristivost bloka. U tu svrhu izrađeni su i računalni programi. Jedan od takvih programa je i 3D-QuarryOptimizer. Pomoću njega možemo uvidjeti na koji način je najisplativije odrezati blok.

Uz veličinu, bitna vrijednosna odrednica je dekorativnost. Ona ovisi kako o vrsti kamena tako i o načinu njegova piljenja u odnosu na slojeve.

Komercijalni blokovi se iz primarnih izdvajaju na dva načina, izradom bušotina i kalanjem te piljenjem. Zbog neravnih površina komercijalnih blokova izdvojenih izradom bušotina i kalanjem, blok je potrebno dodatno piliti što prouzrokuje dodatne gubitke. Zbog toga, komercijalni blok se uglavnom izdvaja piljenjem i to dijamentnom žičnom pilom. Njeno korištenje je povoljnije iz razloga što je širina reza dijamentne žice uvelike manja od onog napravljenog lančanom sjekačicom te time ne izaziva dodatne gubitke.

## 7. LITERATURA

Ashmole, I., Motloun, M., 2008. Dimension stone: The latest trends in exploration and production technology, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy

Dunda, S. 2004. Dekorativnost arhitektonsko-građevnog kamena, Klesarstvo i graditeljstvo, Vol. XV., br. 1-2, 66 - 85. Pučišća

Dunda, S., 2006. Ugradnja kamena s naglašenim strukturnim i kromatskim obilježjem, Građenje kamenom - I. dio, Graditelj, God. XIII. br. 1/2 str.6-10 Masmedia, Zagreb.

Dunda, S., 2006. Polaganje kamena, Građenje kamenom - II. dio, Graditelj, God. XIII. br. 3 (36 - 40), Masmedia, Zagreb.

Dunda, S., Kujundžić, T. , 2003. Digitalni udžbenik: eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena, Zagreb, Rudarsko-geološko naftni fakultet.

Elkarmoty, M., Tinti, F., Kasmaeeyazdi, S., Bondua, S., Bruno, R., 2018 3D modeling of discontinuities using GPR in a commercial size ornamental limestone block, Construction and Building Materials, 166, str.81-86.

Korman, T., 2014. Program iz kolegija eksploatacija i obrada arhitektonsko-građevnog kamena URL [http://rgn.hr/~tkorman/nids\\_tkorman/Kamen/Presentation1.ppt](http://rgn.hr/~tkorman/nids_tkorman/Kamen/Presentation1.ppt) (20.8.2020.)

Korman, T., Kujundžić, T., 2018. Primjena lančane sjekačice u eksploataciji arhitektonsko građevnog kamena. U: Prskalo, M. (ur.)e-Zbornik, Elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta.

Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O., Siegesmund, S., 2011 Optimized Extraction of dimension stone blocks, Enviromental Earth Sciences, 63, str. 1911-1924.

Papantonopoulos, G., Taxiarchou, M., Bonito, N., Adam, K., Christodoulou, I., 2007. A study on best available techniques for the managemnr of stone wastes, 3rd International Conference on Sustainable Development Indicators in the Minerals Industry, June 2007, Milos island, Greece

Sariisik, A., Sariisik, G., 2010. Efficiency analysis of armed-chained cutting machines in block production in travertine quarries, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110(8), str.473-480.

Yarahmadi, R., Bagherpour. R., Teherian, S., Sousa, L., 2018. Discontinuity modeling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries, *Engineering Geology*, 232, str.22-33.



KLASA: 602-04/21-01/194  
URBROJ: 251-70-11-21-2  
U Zagrebu, 13.09.2021.

**Bruno Bokulić, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/194, URBROJ: 251-70-11-21-1 od 10.05.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### METODE DOBIVANJA KOMERCIJALNIH BLOKOVA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc.dr.sc. Tomislav Korman nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Doc.dr.sc. Tomislav Korman

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)