

# Mogućnosti iskorištenja kamenog otpada prilikom obrade arhitektonsko građevnog kamena

---

**Tadić, Mateja**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:252852>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**MOGUĆNOSTI ISKORIŠTENJA KAMENOG OTPADA PRILIKOM OBRAD  
ARHITEKTONSKO GRAĐEVNOG KAMENA**

Završni rad

Mateja Tadić  
R4463

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/121  
URBROJ: 251-70-11-22-2  
U Zagrebu, 14.09.2022.

**Mateja Tadić, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/121, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 02.05.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### MOGUĆNOSTI ISKORIŠTENJA KAMENOG OTPADA PRILIKOM OBRADJE ARHITEKTONSKO GRAĐEVNOG KAMENA

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

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Tomislav Korman

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

**MOGUĆNOSTI ISKORIŠTENJA KAMENOG OTPADA PRILIKOM OBRADJE  
ARHITEKTONSKO GRAĐEVNOG KAMENA**

Mateja Tadić

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

**Sažetak**

U završnom radu govori se o kamenom otpadu koji nastaje tijekom proizvodnje kamenih blokova arhitektonsko građevnog kamena. Opisani su klasifikacija, načini dobivanja, te vrste strojeva za eksploataciju arhitektonsko građevnog kamena. U radu su prikazane metode smanjenja količine kamenog otpada, namjena otpada kao i utjecaj kamenog otpada na okoliš.

Ključne riječi: Arhitektonsko građevni kamen, kameni otpad, iskorištenje, proizvodnja, eksploatacija, obrada

Završni rad sadrži: 30 stranica, 17 slika, 25 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: Dr.sc. Tomislav Korman, docent RGNF

Ocjenjivači: 1. Dr.sc. Tomislav Korman, docent RGNF

2. Dr.sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF

3. Dr.sc. Mario Klanfar, docent RGNF

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNI KAMEN .....	2
2.1. Klasifikacija arhitektonsko-građevnog kamena.....	3
2.2. Način dobivanja arhitektonsko-građevnog kamena.....	5
2.3. Strojevi za eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena.....	6
3. KAMENI OTPAD.....	8
3.1 Kameni otpad u istražnoj fazi .....	8
3.2. Kameni otpad u fazi eksploatacije .....	10
3.3. Kameni otpad u fazi obrade .....	13
3.4. Količine kamenog otpada .....	14
4. UTJECAJ KAMENOG OTPADA NA OKOLIŠ .....	17
5. NAČINI SMANJENJA KOLIČINE KAMENOG OTPADA .....	19
6. ZAKLJUČAK .....	25
7. LITERATURA.....	26

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Kamenolom Avorio Argento.....	2
Slika 2-2. Proces oplemenjivanja arhitektonsko građevnog kamena.....	3
Slika 2-3. Proces eksploatacije i obrade kamena različite tvrdoće.....	5
Slika 2-4. Lančana sjekačice.....	6
Slika 2-5. Dijamantna žična pila.....	7
Slika 3-1. Utjecaj pukotina na veličinu bloka.....	11
Slika 3-2. Mreža rezanja kamenih blokova.....	12
Slika 3-3. Nastajanje otpada prilikom prerade blokova.....	14
Slika 3-4. Zemlje s najvećom proizvodnjom arhitektonsko-građevnog kamena.....	16
Slika 3-5. Rast proizvedene količine arhitektonsko građevnog kamena i pratećeg otpada u različitim proizvodnim fazama tijekom vremena.....	17
Slika 3-6. Usporedba eksploatacijskih rezervi i proizvodnje arhitektonsko-građevnog kamena u RH za 2005. godinu.....	18
Slika 4-1. Rijeka zagađena kamenim otpadom.....	19
Slika 5-1. Gabionski zid uz prometnicu.....	22
Slika 5-2. vodopropusnost mineralnog papira u usporedbi s tradicionalnim papirom.....	23
Slika 5-3. Kameni mulj kao sastojak u proizvodnji pločica.....	23
Slika 5-4. Kameni mulj kao sastojak u asfaltu.....	24
Slika 5-5. Krupna jalovina korištena kao podna obloga.....	25

## 1. UVOD

Arhitektonsko-građevni kamen je mineralna sirovina koja je stekla veliku važnost svojim karakterističnim načinom eksploatacije te dobivenom produktu.

U zadnjih nekoliko godina industrija arhitektonsko-građevnog kamena bilježi znatan porast proizvodnje. Uz veliku proizvodnju te konačni proizvod pojavljuje se znatna količina kamenog otpada koji nastaje prilikom svake faze proizvodnje. S porastom količine dobivenog proizvoda tako raste količina nastalog otpada.

Predmet završnog rada je otpad arhitektonsko građevnog kamena. Njegov nastanak te mogućnosti iskorištavanja u mjerama kojima se ne bi naštetilo okolišu. U radu se govori o procesu nastanka arhitektonsko-građevnog kamena, njegovoj klasifikaciji, načinu proizvodnje te strojevima uz pomoć kojih se dobivaju komercijalni blokovi za daljnju obradu. Nastanku otpada prilikom proizvodnih procesa arhitektonsko-građevnog kamena, količini nastalog, te načinima povećanja učinkovitosti i smanjenju otpada pri proizvodnji arhitektonsko-građevnog kamena.

## 2. ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNI KAMEN

Arhitektonsko-građevni kamen prema Hrvatskom zakonu o rudarstvu svrstan je u zasebnu grupu mineralnih sirovina. Arhitektonsko građevni kamen u obliku blokova ili ploča može služiti prilikom unutarnjih ili vanjskih oblaganja kao dekorativno-zaštitni element u građevinama. U današnje vrijeme se najviše koristi kao ukrasno-zaštitna obloga konstrukcije. Zahtijevani oblik prilikom takvog rada su ploče debljine 2 do 4 cm (Dunda i Kujundžić, 2003).

Arhitektonsko-građevni kamen je stekao veliku važnost zbog svoje dostupnosti, izvedbe te ponajviše svojom dekorativno-zaštitnom ulogom, što karakterizira specifična svojstva. Preradom kamena u ploče on dobije široku primjenu. Ovisno o veličini i obliku površine ploče mogu služiti kao vanjska ili unutarnja horizontalna ili vertikalna oblaganja, za izradu kamenih okvira koji služe za prozore i vrata, za stupove i pilastre, prozorske klupice (Dunda i Kujundžić, 2003).

Povećanim interesom za arhitektonsko-građevnim kamenom važno je odabrati i koristiti strojeve za eksploataciju i obradu kamena koji su prilagođeni izradi pojedinih proizvoda koji imaju definirana svojstva i parametre završnog elementa (Strzałkowski, 2021). Na slici 2-1. prikazan je kamenolom u fazi eksploatacije.

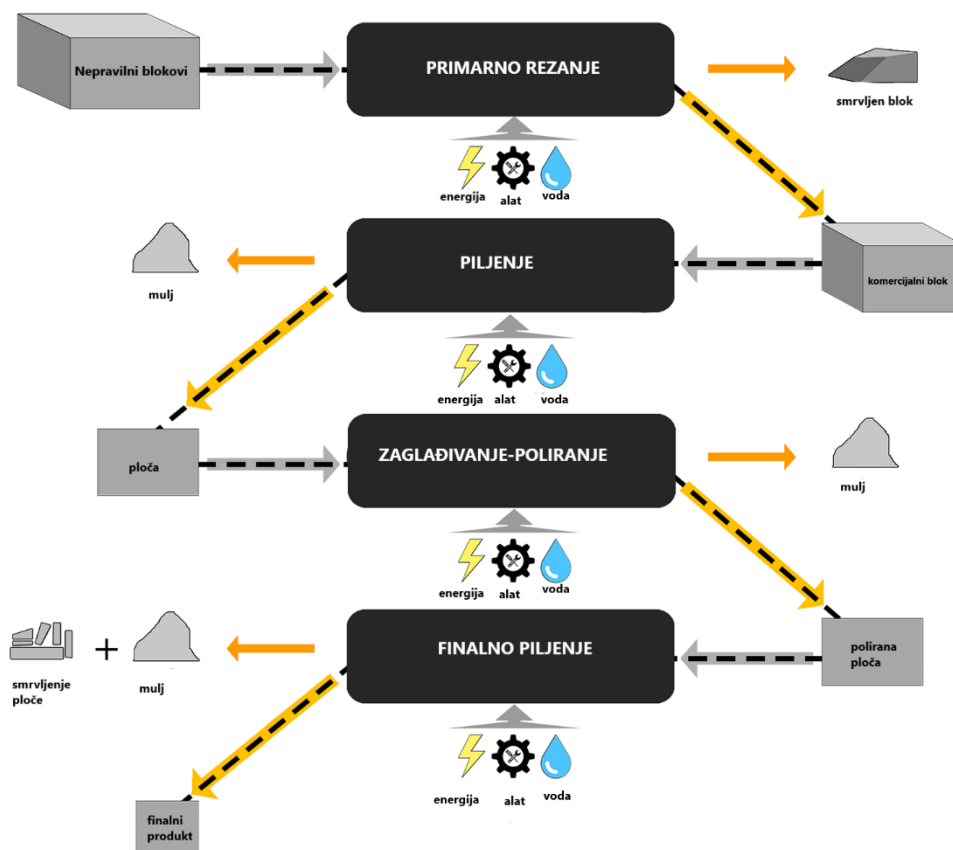


**Slika 2-1.** Kamenolom Avorio Argento (Brački kamen, 2022)



## 2.1. Klasifikacija arhitektonsko-građevnog kamena

Prilikom dobivanja arhitektonsko-građevnog kamena produkt kamenoloma je masivni blok. Fizičko-mehanička svojstva očituju se prema karakteru samog ležišta. Ležište mora karakterizirati masivnošću, bankovitosti i kompaktnosti stijenske mase što govori da ležište mora biti pogodno kako bi se mogli vaditi ekonomski isplativi i zdravi blokovi pogodni za daljnju preradu i upotrebu. Pukotinski sustavi su negativna strana, zbog što većeg broja pukotina stvara se mreža pukotina te stijene dolaze u manjim i nepravilnim komadima, te se zbog toga vade blokovi i tumboloni različitih veličina kojima je tržišna cijena niska, a troškovi veliki (Dunda i Kujundžić, 2003). Na slici 2-2. je prikazano kako se od bloka velikog volumena ali nepravilnog oblika dobije finalni produkt u puno manjim dimenzijama te otpad koji pri tome nastaje.



Slika 2-2. Proces oplemenjivanja arhitektonsko građevnog kamena (Jalalian i sur., 2021)

Jedna od bitnih specifičnosti arhitektonsko-građevnog kamena je dekorativnost, koja ima veliku ulogu prilikom odabira ležišta što može otežati uvjete prilikom otkopavanja te stvaranja malog postotka iskorištenja stijene. Dekorativnošću kamen može postići jako veliku vrijednost, te samim time dobivanje blokova ovisi o cjelovitosti stijenske mase. Što

je veći broj pukotina manja je isplativost, a time i manja količina dobivenih finalnih proizvoda, odnosno zdravi blok koji se može maksimalno iskoristiti te u kojem neće dolaziti do loma. Sam koeficijent blokovske mase iskorištenja se kreće kod silikatnog sustava od 20 do 65%, a 5 do 40% kod karbonatnih ležišta. Ostatak se odnosi na gubike nastale unutar stijenske mase. Prema tome kod karbonatnih sustava ležišta gubici prilikom eksplotiranja mogu biti od 60 do 95%, što dovodi do podatka da je ležište ponekad iskoristivo svega 5%, ali zbog dekorativnosti i kakvoće kamena svakako ležište ekonomski isplativo (Dunda i Kujundžić, 2003).

Arhitektonsko-građevni kamen se odlikuje kao čista sirovina u odnosu na druge mineralne sirovine. Prilikom eksploatacije i obrade se ne koriste radnje kao što su miniranje, drobljenje, sijanje i mljevenje, jer se prilikom eksploatacije dobivaju kameni blokovi.

## 2.2. Način dobivanja arhitektonsko-građevnog kamena

Proizvodnju kamenih blokova određenih dimenzija svrstava se u tri faze: istraživanje, eksploataciju i obradu. Faza istraživanja koja uključuje procjene obujma, karakteriziranje resursa, proučavanje okoliša, ekonomska i društveno-politička pitanja povezana s eksploatacijom. Sljedeći korak se sastoji od pripreme iskopa, rezanja i vađenja primarnih blokova iz kamenoloma, a zatim i formiranja blokova manjih dimenzija kako bi transport bio lakši i jednostavniji.

Veličina bloka koji se prevozi u prerađu iznosi od 2 do 13 m<sup>3</sup>, ovisno o strojevima i opremi koja se koristi za vađenje i transport. U obradi, blokovi su odvojeni prema njihovim karakteristikama i kvaliteti. Pristigli blokovi režu se većinom u kvadratne ili pravokutne ploče različitih debljina. Površina samih ploča oblikuje se prema želji kupca, specifikaciji ili potražnji na tržištu (Jalalian i sur., 2021). Na slici 2-3 prikazuje se proces eksploatacije i obrade kamena različite tvrdoće.



Slika 2-3. Proces eksploatacije i obrade kamena različite tvrdoće (Jalalian i sur., 2021)

### 2.3. Strojevi za eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena

Prilikom eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena kako bi se dobili blokovi za daljnju obradu koriste se dijamantne žične pile i lančane sjekačice. One mogu raditi odvojeno ili u kombinaciji. Prilikom zajedničkog rada sjekačicom se pile horizontalni rezovi dok s dijamantnom žičnom pilom vertikalni rezovi što dovodi do velike učinkovitosti i lakšeg rada jer se buše samo vertikalne bušotine (Dunda i Kujundžić, 2003).

Lančana sjekačica se sastoji od radnog organa kojeg predstavlja mač na kojem se nalazi lanac s nosačima, na kojima se nalaze rezne pločice koje su pričvršćene vijcima, radi lakše promjene prilikom istrošenosti. Pogon lanca se vrši preko lančanika koji je povezan s reduktorom koji se spaja na pogonski motor. Smjer gibanja lanca je okomit ili pod kutom ovisno o smjeru pomaka i položaju mača. Gibanje sjekačice se vrši preko tračnica. Na lanac se obično pričvrsti niz zubi od 5 do 7 komada. Na zube se pričvrste pločice uz pomoć vijaka, koje su pravokutnog oblika te svaki rub služi za rezanje (Korman i Kujundžić, 2018). Na slici 2-4. prikazana je lančana sjekačica.

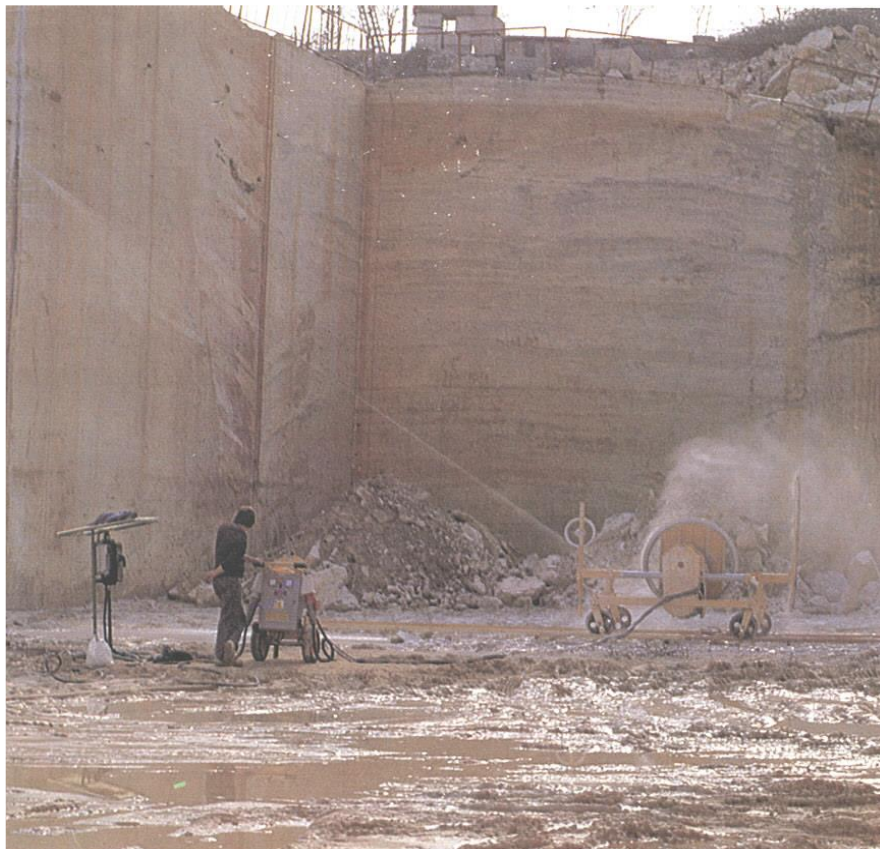


**Slika 2-4.** Lančana sjekačica (Mineral i gradnja, 2018)

Glavne cjeline dijamantne žične pile su pogonski dio sa zamašnjakom i komandni dio, te rezni element koji je dijamantna žica. Unutar okvirne konstrukcije nalazi se poluosovina na kojoj je smješteno kućište u kojem se nalazi pogonski dio. Pokretanje stroja se vrši preko tračnica koje idu u smjeru piljenja. Pomak se vrši preko zupčaste letve i zupčanika između



tračnica, a sam pogonski kotač je obavijen gumom kako bi se manje trošio kao i dijamantna žica. Komandni dio zbog zaštite rukovatelja odvojen je od pogonskog dijela. Oko površine koja se pili dijamantna žica se obavija te zatvara neprekinuti niz. Žicu pokreće pogonski kotač, a vučna sila se postiže pomoću trenja. Kako bi se formirao rez potrebno je obaviti dijamantnu žicu oko površine koja će se piliti. Rezni element je dijamantna žica koja je ujedno i vlačni element. Stoga vrsta i kvaliteta žice imaju važnu ulogu za efikasno piljenje. Svojstva dijamantne žice odlikuju se vrstom i kvalitetom užeta, vrsti i obliku perli, te brojem perli, vrsti i broju razdjelnih opruga, osigurača, zaštitnih prstenova i spojnica. Osnovni rezni dio žične pile je dijamantna perla. Perlu karakterizira njen oblik i vrsta, sastoji se od veziva koja dijamantna zrnca povezuju. Uz perle i uže dijelovi dijamantne žice su zaštitni prstenovi, blokirni osigurači, razdjelne opruge te muško-ženske spojnice (Dunda i Kujundžić, 2003). Na slici 2-5. je prikazana dijamantna žična pila.



**Slika 2-5.** Dijamantna žična pila (Dunda i Kujundžić, 2003)

### **3. KAMENI OTPAD**

Kameni otpad je važan ekološki problem za zemlje u kojima je dobro razvijena industrija arhitektonsko-građevnog kamena. Ponovna upotreba kamenog otpada u industrijama njihovog porijekla ili u drugim industrijama trenutno je u fazi istraživanja u nastojanju smanjenja količine i udjela otpada te ublaženja učinaka otpada na zdravlje ljudi i okoliša.

Kontrola otpada a i upravljanje samim njim je ključno za održivost gospodarstva i industrije. Rudarski otpad je definiran kao ostatak materijala i jalovine koji se proizvode tijekom prerade i obrade kamenih blokova (Jalalian i sur., 2021).

Uz brzi rast građevinske industrije, industrija kamena je također postala rastuća industrija s visokim gospodarskim potencijalom zahvaljujući kontinuiranoj urbanizaciji. Stoga godišnja proizvodnja u industriji bilježi porast. Zabilježeni rast bilježi se u zemljama s velikim rezervama arhitektonsko-građevnog kamena ili potencijalnom proizvodnjom.

Komadi, čestice i prašina nastali tijekom eksploatacije, rezanja i prerade blokova iz kamenoloma, kao i komadi preostali nakon završne proizvodnje definirani su kao „kameni otpad,“. Otpad od arhitektonsko-građevnog kamena nastaje prilikom bušenja i rezanja tijekom eksploatacije ili tijekom procesa prerade u industriji. Kameni otpad je kategoriziran u skupine na temelju dimenzija i samih karakteristika. Dimenzije se protežu od nekoliko milimetra pa sve do nekoliko stotina centimetara. U kamenolomima, količine kamenog otpada mogu biti velike, kad se produktivnost smanjuje, jedinični volumen otpada se povećava (Jalalian i sur., 2021).

#### **3.1 Kameni otpad u istražnoj fazi**

U istražnoj fazi, u usporedbi s ostalim fazama formiranja kamenih blokova arhitektonsko-građevnog kamena nastaje znatno manja količina kamenog otpada. Mogućnosti nastajanja kamenog otpada su prilikom istražnog bušenja, uklanjanja otkrivke ili otvaranja usjeka.

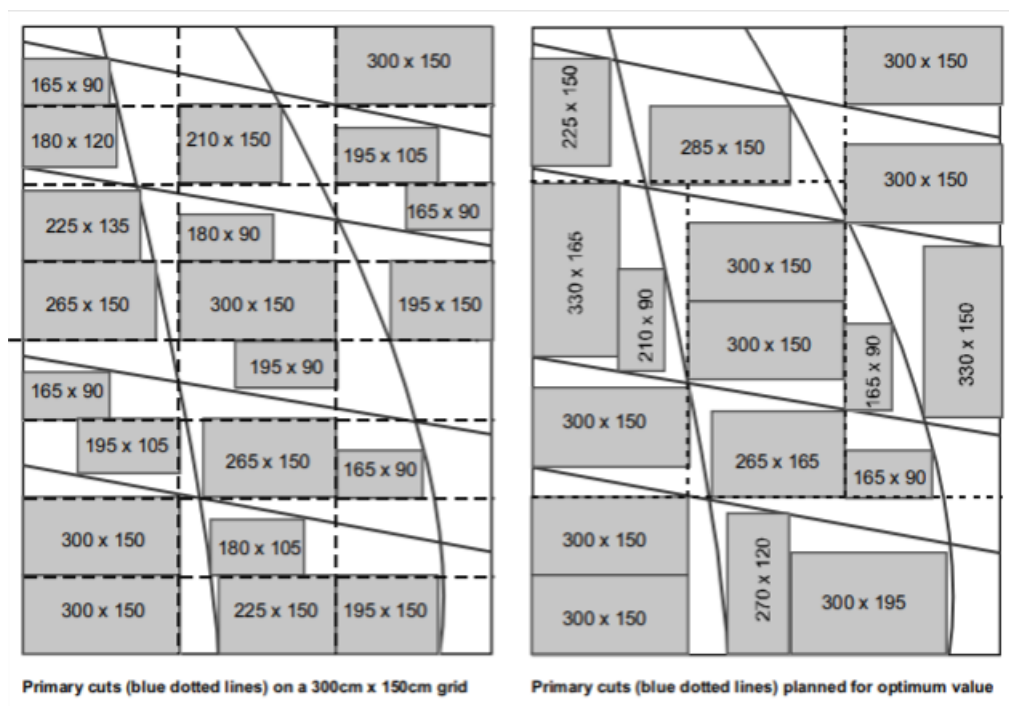
Tijekom faze istraživanja potrebno je ustanoviti mogućnosti iskorištenja određenog ležišta koje ovisi o kakvoći i dekorativnosti, količini mineralne sirovine, geološko tektonskim prilikama, geografskom položaju, te društvenim i ekonomskim prilikama. Istražne radnje ležišta se sastoje od predviđanja, prospekcije i istraživačkih radnji.

Predviđanje se sastoji od izdvajanja i ocjenjivanja moguće lokacije, nakon čega slijedi odabir terena koji je prema rudarsko-geološkom, tehničkom i ekonomsku pogledu najpovoljniji za provođenje daljnjih faza istraživanja. Nakon predviđanja slijedi prospekcija koja se temelji na geološkim radnjama prema kojima se utvrđuju mogućnosti nalaska ležišta kvalitetnog kamena. Sastoji se od stadija rekognoscirajuće prospekcije i stadija detaljne prospekcije. U fazi rekognoscirajuće prospekcije utvrđuje se položaj stijenskog masiva, moguće serije slojeva i uvjeti zalijeganja. Detaljna prospekcija se sastoji od izračunavanja i ocjenjivanja otkrivenih pojava i dijelova stijenske mase na kojima se odvijaju daljnja istraživanja. Cilj prospekcijskih radnji je dobiti orijentacijske podatke o genetskom tipu ležišta, stupnju oštećenosti i ispucanosti, dekorativnosti kamena, uvjetima zalijeganja, sastavu i građi stijenske mase te rudarsko-mehaničkim uvjetima otkopavanja. Nakon prospekcije slijede istražne radnje koje se sastoje od tri dijela: prethodno, detaljno i eksploatacijsko. Prethodne istraživačke radnje obuhvaćaju istraživanje površinskog dijela ležišta kao što je dubina rastrošnih zona, stupanj rastrošnosti na drugačijim dubinama, procjene iskorištenja stijenske mase, utvrđivanje kakvoće kamena, te proučavanje hidrogeoloških uvjeta. Nakon proučavanja površinskog dijela ležišta slijedi istraživačko bušenje, kojim se dobivaju fizičko-mehaničke značajke ležišta kojima se utvrđuju granice rastrošnih zona stijenske mase. Cilj prethodnih istraživačkih radnji je u konačnici dobiti podatke o debljini otkivke kod otkopavanja na površini, okvirni postotak komercijalnih blokova koji će nastati kao i rudarske i ekonomske uvjete ležišta. Detaljna obuhvaćaju područja koja će se eksploatirati, te ih temeljno proučavaju. U detaljna istraživanja uključena je i probna eksploatacija kojom se utvrđuje koeficijent iskorištenja ležišta, tehnološki faktori prerade blokova i postotak dobivenih ploča u jedinici volumena bloka. Osim određivanja postotka dobivanja blokova standardnih veličina bitno je odrediti postotak blokova koji ne zadovoljavaju standardnu veličinu, kao i postotak otpadnog materijala. Osim određivanja postotka, probna eksploatacija služi kako bi se saznale informacije o svojstvima obradivosti kamena i stupnju iskorištenja tijekom obrade, uz to se još određuju gubitci nastali rezanjem sirovih ploča na manje ploče potrebnih veličina, kao i brušenjem, obrublivanjem i poliranje (Dunda i Kujundžić, 2003).

### 3.2. Kameni otpad u fazi eksploatacije

Nakon istraživanja slijedi faza eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena. U ovoj fazi također treba provesti mjere povećanja iskoristivosti i smanjenja otpada što rezultira smanjenjem troškova te povećanje profitabilnosti. Prilikom rezanja blokova trebalo bi se koristiti nedestruktivne metode jer se njima manje oštećuje kamen tijekom procesa. Uobičajena metoda dobivanja kamenih blokova je uz pomoć dijamantne žične pile koja ima veliku brzinu rezanja te velik učinak, to uključuje horizontalna i vertikalna rezanja gdje žica prolazi te reže blokove.

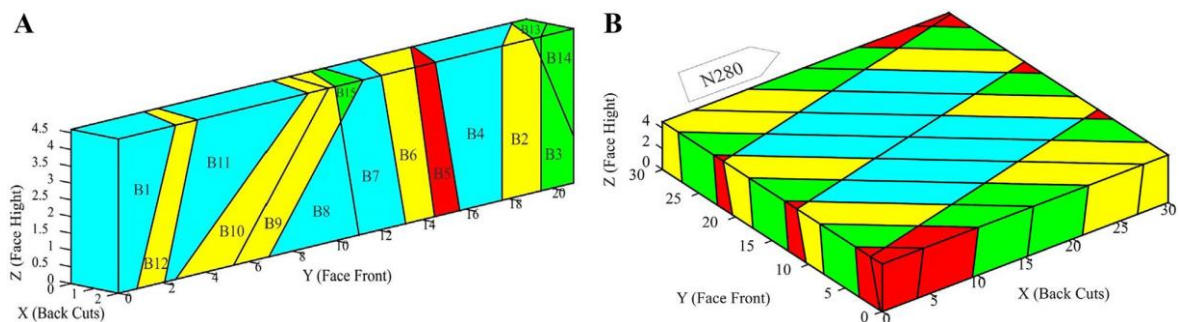
Prilikom eksploatacije cilj je dobiti što više komercijalnih blokova, s minimalnim pukotinama, te standardnim i ekonomski poželjnim dimenzijama blokova. Potrebno je ustanoviti pukotine koje se nalaze na primarnom bloku uz pomoć vode koja se polijeva na oboreni primarni blok. Pukotine stvaraju problem jer kod formiranja komercijalnih blokova uzimajući u obzir pukotine, nastaje vrlo mali broj blokova optimalnih dimenzija. Na slici 3-1. prikazan je primjer 2D analize pukotina. Ukupni volumen dobivenih komercijalnih blokova je 15% veći u odnosu na pukotine kada ih zanemarimo. 2D analiza nije pogodna za određivanje pukotina u bloku zbog toga što se ne vidi ostatak bloka a pukotine se pružaju kroz cijeli blok (Ashmole, Motlound, 2008).



Slika 3-1. Utjecaj pukotina na veličinu bloka (Ashmole, Motlung, 2008)



Tijekom godina se stoga ispitivalo niz tehnika za procjenu optimalnih dimenzija komercijalnih blokova koje je moguće dobiti iz primarnog bloka, uzimajući u obzir pukotinski sustav. U tu svrhu razvijene su brojne metode koristeći različite algoritme. Schmidt i sur. (2013) razvijaju mrežu za prikaz diskontinuiteta za koju je potrebno poznavati orijentacijske podatke o određenim diskontinuitetima, azimutu i kutu nagiba diskontinuiteta te na temelju toga može se razviti dijagram blokova, kojim se saznaje pružanje diskontinuiteta kroz blok. Ülker i Turanboy (2009) su razvili računalni program (LIP-RM), baziran na izometrijskoj projekciji, za određivanje položaja diskontinuiteta unutar blokova. Mosch i sur. (2011) razvija metodu optimizacije dimenzioniranja komercijalnih blokova koja je uključivala korištenje algoritama za kvantificiranje neoštećenih blokova. Fernandez-de Arriba i sur.(2013) razvijaju program za procjenu maksimalne veličine bloka koji se može eksploatirati uz maksimalnu učinkovitost. Yarahmadi i sur. (2018) provode studiju na blokovima komercijalne veličine u kamenolomima te uvodi algoritam za određivanje optimalnih dimenzija blokova sa svrhom povećanja učinkovitosti. Ovom studijom je znatno poboljšano smanjenje stvaranja otpada. Yarahmadi i sur. (2019) provode ispitivanja rezanja dijamantnom žičnom pilom na 12 uzoraka granita u 12 različitim smjerova po 15 stupnjeva, sa svrhom određivanja optimalnog smjera rezanja. Osnova algoritma je određivanje smjera i mreže rezanja kako bi se povećalo broj zdravih blokova. Algoritam istražuje sjecišta diskontinuiteta između definiranih blokova (Jalalian i sur., 2021). Slika 3.2 prikazuje primjer mreže rezanja.



**Slika 3-2.** Mreža rezanja kamenih blokova (Jalalian i sur., 2021)

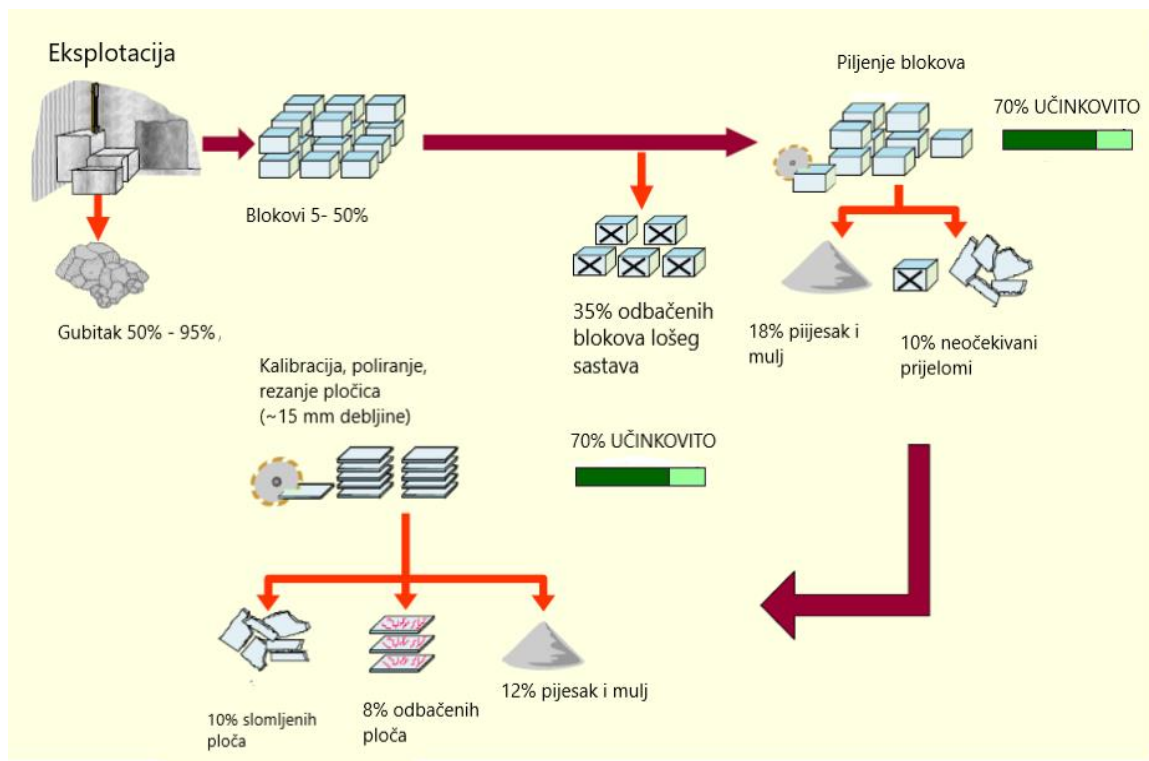
Za provjeru algoritma provedene su dvije studije. Prvi korak u proučavanju dimenzija kamenoloma je izračunati geometriju in situ blokova koristeći različite algoritme. Nakon toga slijedi istraživanje i identifikacija diskontinuiteta u stijenskoj masi. Prilikom istraživanja i identifikacije diskontinuiteta važni parametri su smjer nagiba pojedinog diskontinuiteta, pružanje diskontinuiteta te srednji razmak između diskontinuiteta. Nakon

određivanja njihovih parametara, diskontinuiteti se modeliraju i određuju se njihova sjecišta u prostoru. Na taj način dobiva se sjecište ravnina diskontinuiteta. U idućoj fazi slijedi formiranje blokova, na temelju povezanosti s drugim rubovima i površinama, te se uklanjaju iz modela. Zatim se iz modela uklanjaju zatvorene površine na ravninama diskontinuiteta (Jalalian i sur., 2021). Posljednja faza dimenzioniranja blokova je podijeljena u dva dijela: optimizacija malih i velikih razmjera. Optimizacija utječe na smjer vađenja blokova. Osnovni cilj optimizacije je ostvariti maksimalnu vrijednost bloka.

Osim navedenih tehnika, postoje drugi čimbenici koji mogu utjecati na količinu proizvedenog otpada tijekom eksploatacije. Unutar tih čimbenika se ubraja odabir opreme za eksploataciju, upravljačke odluke te mjere zaštite okoliša. Čimbenici koji najviše utječu na smanjenje otpada tijekom eksploatacije su: odabir pravilne mreže rezanja, izbor pravilne opreme korištene u eksploataciji te upravljanje proizvodnim procesom na način koji povećava njegovu isplativost (Jalalian i sur., 2021).

### 3.3. Kameni otpad u fazi obrade

Nakon eksploatacije kamenih blokova i transporta slijedi prerada u odgovarajuće proizvode. Kameni otpad koji nastaje u fazi obrade može se svrstati u tri kategorije: slomljeni blokovi, srednje do mali komadi ploča te mulj. Sam proces uključuje rezanje blokova u određene mjere kakvo zahtjeva tržište i primjena. Nakon piljenja ploče idu na poliranje i impregnaciju, a zatim na rezanje u određene dimenzije. Tijekom svih tih procesa nastaje kameni otpad. Nastali otpad je posljedica drobljenja blokova, prisutnosti pukotina, lošeg odabira rezanja kao što su kut i smjer i prašine koja nastaje tijekom piljenja i poliranja. (Jalalian i sur., 2021). Slika 3-3. nam prikazuje formiranje otpada tijekom procesa prerade. Učinkovitost piljenja blokova iznosi oko 70%, zbog neočekivanih prijeloma kao i veličini reza stroja. U konačnici najveći udio otpada je u obliku mulja .



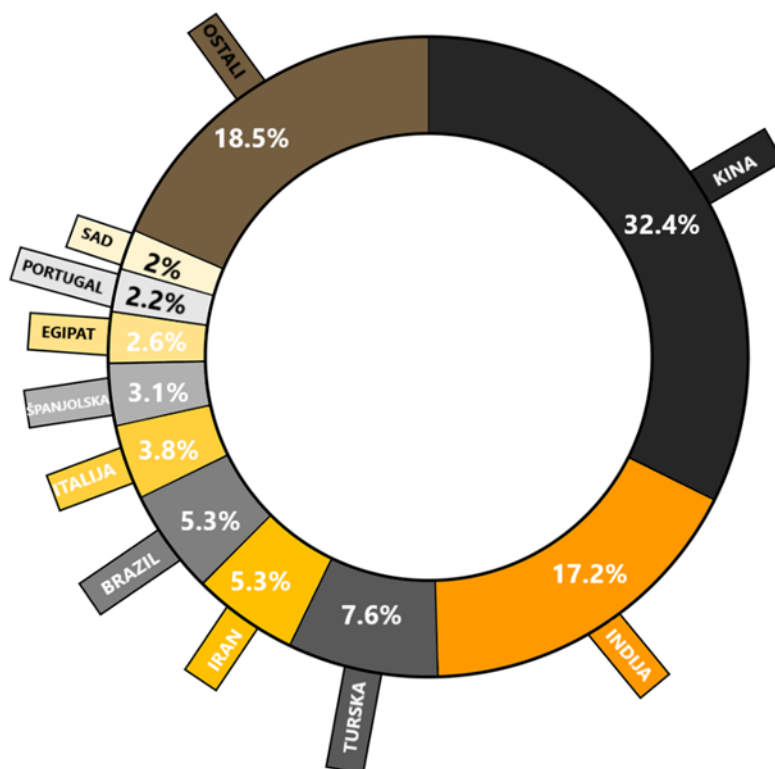
Slika 3-3. Nastajanje otpada prilikom prerade blokova (Papantonopoulos i sur., 2007)

Tijekom godina mnoge studije pokušale su poboljšati postupak obrade arhitektonsko-građevnog kamena, kako bi se smanjio udio nastalog kamenog otpada u procesu. Alvarez-Fernandez i sur. (2012) pokušali su odrediti najbolji kut rezanja kojim bi se postigao optimalni kut rezanja što bi uzrokovalo veći broj ploča, stoga su razvili računalni algoritam za rezanje ploča pod različitim kutevima rezanja. Iduća studija odnosi se na procjenu energetskog intenziteta i ekološkog učinka u različitim fazama obrade kamena.

Uspoređivali su potrošnu energiju tijekom postupka (Gazi i sur. 2012). Mendoza i sur. (2014) analizirali su tehnologiju piljenja te su usporedili princip rada dijamantne žične pile s više dijamantnih žica (MBGS) i dijamantne žične pile (DMWS). Istraživanje je pokazalo da dijamantna žična pila ima 30% manju potrošnju vode i 80% manje materijalnih gubitaka po metru kvadratnom proizvedene ploče.

### 3.4. Količine kamenog otpada

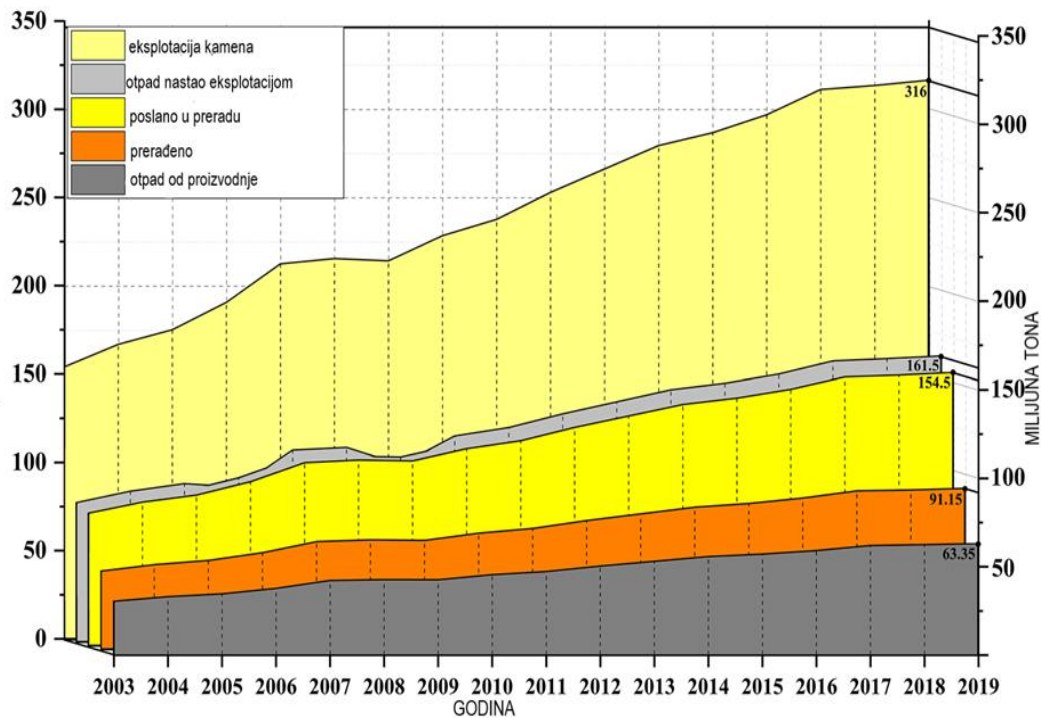
Rastom građevinske industrije raste i potražnja za arhitektonsko građevnim kamenom. Tako su zemlje s velikim količinama rezervi arhitektonsko-građevnog kamena povećale i njegovu proizvodnju. Na slici 3-4. može se vidjeti deset zemalja s najvećom proizvodnjom arhitektonsko-građevnog kamena (Jalalian i sur., 2021).



Slika 3-4. Zemlje s najvećom proizvodnjom arhitektonsko-građevnog kamena (Jalalian, 2021).

Porastom eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, kao i samom preradom dolazi i do povećanja količine nastalog otpada prilikom procesa. Prema objavljenim istraživanjima iz 2020. godine zemlje s aktivnom proizvodnjom arhitektonsko-građevnog

kamena, te ukupnom količinom kamenog materijala kojeg se dobije iz kamenoloma iznosila je oko 316 milijuna tona. Otpad iz kamenoloma postaje oko 162,5 milijuna tona što dovodi da preostali dio od 154,5 milijuna tona prevezenih u preradu. U preradi se još izgubi oko 63,35 milijuna tona što dovodi do podatka da samo 91,15 milijuna tona se pretvori u konačni proizvod (Jalalian i sur., 2021). Slika 3-5 prikazuje kako je eksploatacija godinama u porastu, što dovodi i do porasta kamenog otpada.



**Slika 3-5.** Rast proizvedene količine arhitektonsko-građevnog kamena i pratećeg otpada u različitim proizvodnim fazama tijekom vremena (Jalalian i sur., 2021).

U Hrvatskoj proizvodnja blokova 2005. godine je iznosila  $81\,378\,m^3$ , dok su eksploatacijske rezerve iznosile  $22\,510\,914\,m^3$ . Usporedimo li to s količinom nastanka kamenog otpada i količinom koja odlazi u proizvodnju komercijalnih blokova, veći dio postaje kameni otpad (Karamarko, 2021). Slika 3-6. prikazuje eksploatacijske rezerve te udio otkopanog u Hrvatskoj po županijama. Prema slici se može zaključiti kako Splitsko-dalmatinska županija posjeduje najviše eksploatacijskih rezervi.

	Eksploatacijske		otkopano m <sup>3</sup>	udio e. rezervi	
	rezerve m <sup>3</sup>	udio u RH %		otkopano %	udio otkopano u RH %
Dubrovačko-neretvanska županija	558 784	2,5	13 377	2,39	16,4
Istarska županija	8 802 463	39,1	29 020	0,33	35,7
Primorsko-goranska županija	110 497	0,5	0	-	-
Splitsko-dalmatinska županija	9 757 552	43,3	32 839	0,34	40,4
Šibensko-kninska županija	996 855	4,4	580	0,06	0,7
Zadarska županija	2 237 109	9,9	5 132	0,23	6,3
Zagrebačka županija	77 744	0,3	430	0,55	0,5
<b>Ukupno</b>	<b>22 541 004</b>		<b>81 378</b>		<b>0,4</b>

**Slika 3-6.** Usporedba eksploatacijskih rezervi i proizvodnje arhitektonsko-građevnog kamena u RH za 2005. godinu (Karamarko, 2021)

#### 4. UTJECAJ KAMENOG OTPADA NA OKOLIŠ

Gotovo sve industrijske i ljudske aktivnosti proizvode određene količine otpada, a svaki taj otpad ima utjecaj na okoliš. Zbog ekonomskog i društvenog razvoja, visoke kvalitete životnog i zdravstvenog standarda upravljanje okolišem i kontrola otpada je obavezna. Najopsežnija ispitivanja utjecaja otpada na okoliš provodili su Motyka i Postawa (2000), Simsek (2005) i Rizzo (2008). Čvrsti otpad s ležišta dolazi pod utjecajem atmosfere (kiša i oksidacija). Nakon 2-10 godina, kao rezultat razgradnje sulfidnih komponenti u otpadu i samoj oksidaciji sulfida, dolazi do stvaranja novih minerala i glina. Fizikalna razgradnja često inicira kemijsku razgradnju, koja dovodi do gubitka mase i veličine te se povećava površina za kemijske reakcije, a stijene potpuno omekšaju. Visoke količine padalina i temperature, kao i ultraljubičasto svjetlo uzrokuju kemijsku razgradnju (Karaca i sur., 2012).

Motyka i Postawa (2000) proučavali su učinke kamenog otpada na kvalitetu riječne vode. Prikazali su miješanje čvrstog kamenog otpada s riječnom vodom, te se događalo povećanje razine sulfata, kalcija, magnezija i ugljikovodika, što je rezultiralo onečišćenje rijeke, promjenama u procijeđenoj vodi i ionizaciji vodonosnih stijena. Slika (4-1) prikazuje kameni otpad u rijeci.



**Slika 4-1.** Rijeka zagađena kamenim otpadom (Yurdakul, 2020)

Simsek i sur. (2005) istraživali su djelovanje mramornog otpada na rijekama i aluvijalnim vodonosnicima. Utvrdili su da otpad povećava tvrdoću vode. Kameni otpad ne

utječe samo na kvalitetu pića već i na navodnjavanje. Olovo, željezo i kadmij koji se rezanjem unose u otpad i opremu za otpad, narušavaju znatno kvalitetu vode. Što još zagađenju vode pridonosi i količina samog otpada kao i karakteristike i intenzitet padalina te propusnosti tla (Karaca i sur., 2012).

Otpad povećava koncentracije CaO i MgO u vodama. Otpad mramornog mulja povećava količinu Ca, Ca/Mg, Mg/(Ca + Mg), Ca/HCO<sub>3</sub>, (Ca + Mg)/HCO<sub>3</sub> i (Ca + Mg)/Cl koji čine hidro-geokemijske parametre. Velike količine Ca/Mg u vodama za navodnjavanje smanjuju produktivnost proizvoda, dok čestice mramora smanjuju tlu propusnost i sprječavaju korišćenje dovoljne količine potrebnog zraka, čime se oštećuju biljke (Karaca i sur., 2012).



## 5. NAČINI SMANJENJA KOLIČINE KAMENOG OTPADA

Kako bi se smanjila količina nastalog otpada te povećala učinkovitost postoje brojni načini. Neki od tih načina su smanjenje količine otpada koji nastaje u procesima korištenja metoda i tehnologija koje su optimizirane za minimalno stvaranje otpada gdje je to moguće. Mogućnost recikliranja otpada i ponovne upotrebe gdje god je nemoguće smanjiti stvaranje otpada.

Tijekom eksploatacije, kako bi se smanjila količina otpada, potrebno je koristiti odgovarajuće rudarsko geološke studije. Istraživanja obuhvaćaju određivanje podzemnih značajki kopa, korištenje metoda modeliranja loma i diskontinuiteta u kamenolomu, određivanje geometrije svih kamenih blokova prije početka eksploatacije, korištenje softvera za optimizaciju eksploatacije blokova te određivanje optimalnog smjera vađenja i rezanja blokova. Koristeći metode i dalje bi se proizvodio otpad, no u manjim količinama, koje bi se mogle iskoristiti u građevinarstvu (Jalalian i sur., 2021).

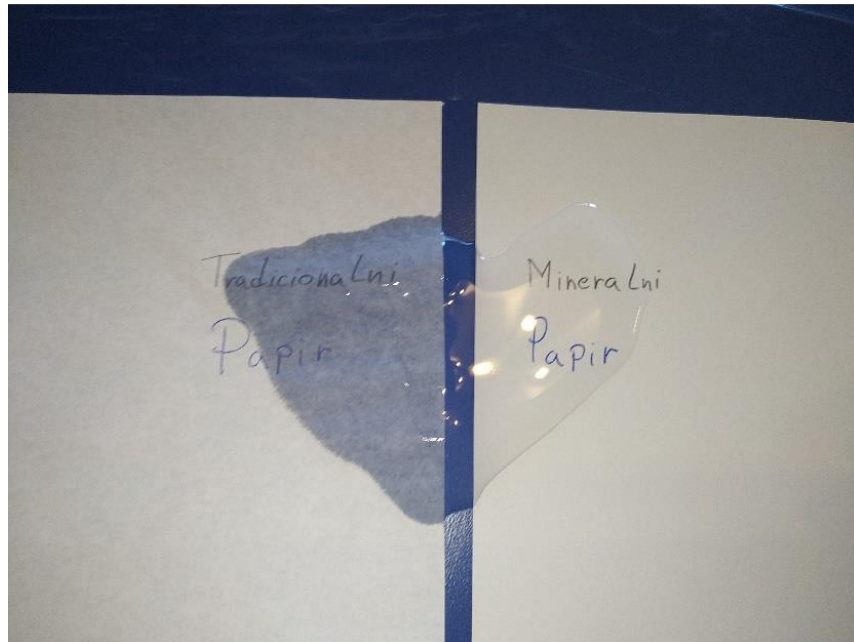
Metode koje se mogu koristiti za povećanje učinkovitosti i smanjenje otpada tijekom obrade arhitektonsko-građevnog kamena su korištenje metoda, opreme i optimiziranih tehnologija za minimalno stvaranje otpada, korištenje postojećih rješenja za smanjenje inputa obrade operacije kao što su energija, voda i potrošni materijal (Jalalian i sur., 2021).

Na temelju pregledane literature moguće je zaključiti da se kameni otpad može primijeniti u različitim industrijama, kao što su papir, plastika, boje, staklo, šećer, poljoprivreda, hrana za životinje, čišćenje, medicina i kemija. Također veliku korist kameni otpad može pronaći kao zaštitni kamen, ispunama u branama ili gabionima, lukama, cestama i zgradama (Papantonopoulos i sur., 2007). Slika 5-1. prikazuje ispunu kamenog otpada u gabionu.



**Slika 5-1.** Gabionski zid uz prometnicu (Geotech, 2011)

Kameni otpad moguće je koristiti u industriji papira. Mineralni papir se sastoji od fino mljevenog kalcijevog karbonata i plastike visoke gustoće. Proces proizvodnje se sastoji od mljevenja na čestice veličine 5- 10 mikrona, nakon toga slijedi miješanje praha s plastikom gdje se pri visokoj temperaturi i pritiskom stvaraju granule. Nakon čega slijedi rastezanje, premazivanje i rezanje što dovodi do mineralnog papira. Kako bi se mogao koristiti kameni otpad kalcijevog karbonata mora imati specifična svojstva kao što su visoka čistoća, sjaj, pH vrijednost, granulacija, optička svojstva i stupanj bjeline. Mineralni papir od klasičnog papira razlikuje se po gustoći, teksturi, vodopropusnosti, načinu gorenja i razgradnji (Đidara, 2020). Slika 5-2. prikazuje mineralni papir u čijem se sastavu nalazi kameni otpad kalcijevog karbonata, te tradicionalni papir prema kojem se vidi da ima veću vodopropusnost.



**Slika 5-2.** Vodopropusnost mineralnog papira u usporedbi s tradicionalnim papirom (Đidara, 2020).

Rizzo i sur. (2008) su istraživali izvedivost recikliranog otpada u sastavu betona. Slika 5-3 prikazuje kameni mulj kao sastojak u proizvodnji pločica. Akbulat i Gurer (2007) koriste mramorni otpad u sastavu asfalta. Slika 5-4. prikazuje kameni mulj kao sastojak u asfaltu. Karasahin i Terzi (2007) istraživali su korištenje mramornog otpada u betonskim cestama. Turgut (2008) koristi prašinu vapnenca prilikom izrade lakih opeka. Catarino i sur. (2003) istraživali su proizvodnju komprimiranih i sinteriranih cigla korištenjem prašine od škriljevca. Metodom starenja može se svaki amorfni prirodni kamen transformirati u šljunčanu ili vrtnu dekoraciju (Strzałkowski, 2021).



**Slika 5-3.** Kameni mulj kao sastojak u proizvodnji pločica (Papantonopoulos i sur., 2007)



**Slika 5-4.** Kameni mulj kao sastojak u asfaltu (Papantonopoulos i sur., 2007)

Različite primjene kamenog otpada mogu ovisiti i o samoj veličini otpadnog materijala. Tako sitni kameni otpad se može koristiti pri proizvodnji asfalta i betona, u proizvodnji opeke, građevinskim ispunama, u sastavu za proizvodnju guma. Otpad u obliku agregata može se koristiti prilikom nasipanja cesta, u sastavima građevinskih mješavina, u građevinskim ispunama, kao medij za biofiltracijske sustave. Dok oštećeni blokovi ili ploče se mogu koristiti u punilo temelja, proizvodnji agregata, proizvodnji pločica ili opločanika (Strzałkowski, 2021). Slika 5-5. prikazuje krupnu jalovinu korištenu kao podnu oblogu.



**Slika 5-5.** Krupna jalovina korištena kao podna obloga (Papantonopoulos i sur., 2007)

Otpad dobiven prilikom eksploatacije arhitektonsko građevnog kamena može se primijeniti u svrhu stabilizacije glinenih tla. Dodatna prednost je što takav otpad u isto vrijeme poboljšava i geotehnička svojstva glinenog tla te smanjuje bubrenje glina. Upotreba finog kamenog materijala koji se može naći u proizvodnji gnojiva te ima korist u poljoprivredi te može pozitivno utjecati na napredovanje vegetacije i poboljšanja svojstva tla. Također se mogu koristiti za proizvodnju različitih kompozitnih materijala. Primjer toga je korištenje granitnog otpada za pravljenje ekološkog kamenog kompozita ili korištenje otpada pješčenjaka za nastanak umjetnog arenita pomoću cementa polimerizacijom. Moguća je primjena otpada za proizvodnju visoko učinkovitih poroznih poliuretanskih kompozita. Fini mramorni otpad moguće je koristiti prilikom proizvodnje kompozitnih materijala kao što su geopolimerni hibridni kompozit materijal, kompozitni materijali sa strukturom nezasićenog poliesteru ili kompozitni materijali proizvedeni iz otpadnog PET (Karaca i sur., 2012).



Ponovna obrada i ponovno korištenje kamenih ostataka povećavaju produktivnost i profitabilnost uz smanjenje konačnih troškova proizvodnje. Osim toga istovremeno ograničavaju prijetnju na okoliš, smanjuje se broj odlagališta otpada koji nije biorazgradiv i nudi nove alternativne sirovine za razne industrijske djelatnosti. U usporedbi s drugim industrijama, parametri kao što su nečistoća, karakteristike materijala i homogenost relativno su manje važni. Stoga u građevnoj industriji korištenje otpada je prikladno rješenje za smanjenje i kontrolu otpada arhitektonsko-građevnog kamena u okolišu (Karaca i sur., 2012).

## 6. ZAKLJUČAK

Kameni otpad je važan ekološki problem za zemlje u kojima je dobro razvijena industrija arhitektonsko građevnog kamena. Kameni otpad nastaje tijekom bušenja i rezanja prilikom eksploatacije ili tijekom procesa prerade u industriji.

Otpad arhitektonsko građevnog kamena može se pojavljivati u više oblika i veličina. Sitni kameni otpad i mulj mogu se koristiti za proizvodnju asfalta, opeke, unutar građevinskih ispuna, u smjesama za proizvodnju guma. Veći kameni oblici kao ispune za gabionske i potporne zidove. Oštećeni kameni blokovi i ploče mogu služiti kao materijal za temelje, proizvodnju agregata, te proizvodnju pločica ili pločnika.

Jedan od bitnih faktora koji utječe na iskorištenje otpada je i transport samog otpada. U slučaju kad je transportni put velik ponekad nije isplativo prerađivanje otpada, stoga industrije za preradu kamenog otpada je najbolje koristiti u blizini eksploatacijskog polja. U većini slučajeva prilikom svih faza nastaje više kamenog otpada nego glavnog produkta, stoga je vrlo važno pravilno skladištiti i iskoristiti kameni otpad.

Iz sveobuhvatnog razmatranja rada može se zaključiti kako kameni otpad ima vrlo široku primjenu u brojnim industrijama, a njegova primjena ovisi o fizikalno mehaničkim i kemijskim svojstvima kamenog otpada. Poboljšanje proizvodnog procesa za smanjenje te korištenje proizvedenog otpada u druge svrhe, povećava učinkovitost, smanjuje troškove, povećava profitabilnost i smanjuje mogućnost zagađenja okoliša.

## 7. LITERATURA

- ASHMOLE, I., MOTLOUNG, M., 2008. Dimension stone: The latest trends in exploration and production technology, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy
- BRAČKI KAMEN D.O.O. 2022. *Kamenolom*. URL: <https://brackikamen.hr/kamenolom> (24.8.2022.)
- CATARINO, L., SOUSA, J., MARTINS, I. M., VIEIRA, M. T., & OLIVEIRA, M. M. (2003). Ceramic products obtained from rock wastes. *Journal of materials processing technology*, 143, 843-845.
- DUNDA, S., KUJUNDŽIĆ, T., GLOBAN, M., & MATOŠIN, V. (2003). Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena. *Digitalni udžbenik, Zagreb..*
- ĐIDARA T. (2020). Industrijska primjena kalcijevog karbonata u proizvodnji mineralnog papira. Diplomski rad. Zagreb; Rudarsko-geološko naftni fakultet
- FERNÁNDEZ-DE ARRIBA, M., DÍAZ-FERNÁNDEZ, M. E., GONZÁLEZ-NICIEZA, C., ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, M. I., ÁLVAREZ-VIGIL, A. E. (2013). A computational algorithm for rock cutting optimisation from primary blocks. *Computers and Geotechnics*, 50, 29-40.
- GEOTECH 2011. Gabionski zid. URL: <https://www.geotech.hr/gabionski-zid/> (30.08.2022.)
- JALALIAN, M. H., BAGHERPOUR, R., KHOSHOUEI, M. (2021). Wastes production in dimension stones industry: resources, factors, and solutions to reduce them. *Environmental Earth Sciences*, 80(17), 1-13.
- KARACA, Z., PEKIN, A., DELIORMANLI, A. H. (2012). Classification of dimension stone wastes. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(6), 2354-2362.
- KARAMARKO M., 2021. Mogućnosti iskorištenja kamenog ostatka za proizvodnju umjetnog (*artificial*) kamena. Završni rad. Zagreb: Rudarsko-geološko naftni fakultet
- KORMAN, T., KUJUNDŽIĆ, T. (2018). Primjena lančane sjekačice u eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena. e-Zbornik, elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta, 8(Posebno izdanje), 87-95.
- MENDOZA, J. M. F., CAPITANO, C., PERI, G., JOSA, A., RIERADEVALL, J., GABARRELL, X. (2014). Environmental management of granite slab production from an industrial ecology standpoint. *Journal of cleaner production*, 84, 619-628.



MINERAL I GRADNJA 2018. Lančana sjekačica URL:

<https://www.mineral.com.hr/1348/Predavanje-Podzemna-eksploatacija-arhitektonskog-kamena-u-lezistu-Kanfanar-III> (29.08.2022.)

MOSCH, S., NIKOLAYEW, D., EWIAK, O., SIEGESMUND, S. (2011). Optimized extraction of dimension stone blocks. *Environmental Earth Sciences*, 63(7), 1911-1924.

MOTYKA, J., POSTAWA, A. (2000). Influence of contaminated Vistula River water on the groundwater entering the Zakrzówek limestone quarry, Cracow region, Poland. *Environmental Geology*, 39(3), 398-404.

PAPANTONOPOULOS G., TAXIARCHOU M., BONITO N., ADAM K., ECHMES C. (2007.) *A study on best available*. s.l.:an.

RIZZO, G., D'AGOSTINO, F. A. B. I. O., ERCOLI, L. (2008). Problems of soil and groundwater pollution in the disposal of "marble" slurries in NW Sicily. *Environmental geology*, 55(5), 929-935.

SCHMIDT, B., RIO, J., & SOUSA-COUTINHO, J. RAMOS, T., MATOS, A. M., (2013). Granitic quarry sludge waste in mortar: Effect on strength and durability. *Construction and Building Materials*, 47, 1001-1009.

SIMSEK, C., KARACA, Z., GEMICI, U., GUNDUZ, O. (2005). The assessment of the impacts of a marble waste site on water and sediment quality in a river system. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14(11), 1013-1023.

STRZALKOWSKI, P., 2021. Characteristics of Waste Generated in Dimension. *Energies*.

ÜLKER, E., TURANBOY, A. (2009). Maximum volume cuboids for arbitrarily shaped in-situ rock blocks as determined by discontinuity analysis—A genetic algorithm approach. *Computers & Geosciences*, 35(7), 1470-1480.

YARAHMADI, R., BAGHERPOUR, R., KAKAIE, R., MIRZAIE, N. H., YARI, M. (2014). Development of 2D computer program to determine geometry of rock mass blocks. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(2), 191-194.

YARAHMADI, R., BAGHERPOUR, R., TAHERIAN, S. G., SOUSA, L. M. (2018). Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries. *Engineering Geology*, 232, 22-33.

YARAHMADI, R., BAGHERPOUR, R., KHADEMIAN, A., SOUSA, L. M., ALMASI, S. N., ESFAHANI, M. M. (2019). Determining the optimum cutting direction in granite quarries through experimental studies: a case study of a granite quarry. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(1), 459-467.

YURDAKUL, M. (2020). Natural stone waste generation from the perspective of natural stone processing plants: An industrial-scale case study in the province of Bilecik, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123339.