

# Tehnološki procesi obrade arhitektonsko-građevnog kamena karbonatnog podrijetla

---

**Markić, Vinko**

**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:169:073831>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**TEHNOLOŠKI PROCESI OBRADJE ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG  
KAMENA KARBONATNOG PODRIJETLA**

Završni rad

Vinko Markić

R4289

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/71  
URBROJ: 251-70-11-22-2  
U Zagrebu, 06.09.2022.

**Vinko Markić, student**

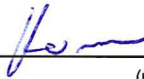
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/71, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 27.04.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### TEHNOLOŠKI PROCESI OBRADE ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA KARBONATNOG PODRIJETLA

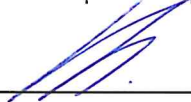
Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada  
Izv.prof.dr.sc. Tomislav Korman nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u  
Zagrebu

Voditelj

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

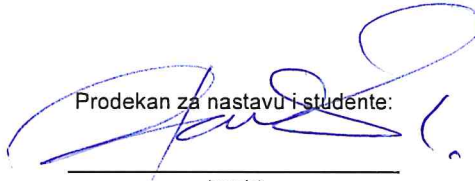
Izv.prof.dr.sc. Tomislav Korman  
\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

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)

TEHNOLOŠKI PROCESI OBRADJE ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA KARBONATNOG  
PODRIJETLA

Vinko Markić

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

Sažetak

U ovom radu su opisani procesi, metode i strojevi koji se koriste prilikom obrade kamena karbonatnog podrijetla, od prvotnog rezanja i piljenja komercijalnih blokova u kamene ploče do obrade kamenih površina u svrhu dobivanja željenog izgleda. Strojevi koji se koriste tijekom svih tih procesa opisani su prema konstruktivnim karakteristikama istih i napravljena je usporedba među pojedinima. Uz naglasak na sve prije napisano, u rada je obuhvaćen pregled te usporedba upotrebe pojedinog kamenog proizvoda ovisno o načinu njegove obrade

Ključne riječi: Arhitektonsko-građevni kamen, karbonatne stijene, obrada, kamena ploča, komercijalni blok, površina, oblik, dimenzije

Završni rad sadrži: 29 stranica, 1 tablicu, 19 slika, 0 priloga, i 10 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentori: Dr.sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF  
Dr.sc. Trpimir Kujundžić, profesor RGNF  
Dr.sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF

## SADRŽAJ

<b>1.</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>GENETSKA I KOMERCIJALNA PODJELA AG KAMENA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>OBRADA AG KAMENA .....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>STROJEVI ZA OBRADU KAMENA .....</b>	<b>6</b>
<b>4.1.</b>	<b>Gateri .....</b>	<b>6</b>
<b>4.2.</b>	<b>Monolame .....</b>	<b>8</b>
<b>4.3.</b>	<b>Strojevi s kružnom pilom.....</b>	<b>9</b>
<b>4.4.</b>	<b>Strojevi za rezanje, profiliranje i obrublivanje.....</b>	<b>11</b>
<b>4.5.</b>	<b>Strojevi za brušenje i poliranje .....</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>PRIBLIŽNA OBRADA.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1.</b>	<b>Piljenje i rezanje .....</b>	<b>14</b>
<b>5.2.</b>	<b>Cijepanje (kalanje) .....</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>TOČNA OBRADA.....</b>	<b>18</b>
<b>6.1.</b>	<b>Obrublivanje i profiliranje.....</b>	<b>18</b>
<b>6.2.</b>	<b>Termo rezanje ploča i obrada rubova.....</b>	<b>19</b>
<b>7.</b>	<b>ZAVRŠNA OBRADA.....</b>	<b>20</b>
<b>7.1.</b>	<b>Brušenje i poliranje .....</b>	<b>20</b>
<b>7.2.</b>	<b>Termička obrada površine.....</b>	<b>22</b>
<b>7.3.</b>	<b>Laserska obrada .....</b>	<b>23</b>
<b>7.4.</b>	<b>Pjeskarenje kamenih površina .....</b>	<b>25</b>
<b>8.</b>	<b>LINIJSKA OBRADA KAMENA .....</b>	<b>26</b>
<b>9.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>27</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>28</b>

## POPIS SLIKA

Slika 3-1. Klasifikacija tehnoloških procesa obrade.....	4
Slika 4-1. Gater .....	7
Slika 4-2. Monolama proizvođača „BM Officine SRL“ .....	9
Slika 4-3. Jednoetažni stroj s više diskova .....	10
Slika 4.4. Linija za brušenje marke „Pellegrini“ .....	12
Slika 4-5. Linija za poliranje kamena marke „Breton“ .....	12
Slika 5-1. Komercijalni blok ispiljen na neobrađene kamene ploče.....	14
Slika 5-2. Hidraulički klin „Darda“ .....	16
Slika 5-3. Slikoviti prikaz ručnog cijepanja kamena i set klinova.....	17
Slika 6-1. Karakteristični oblici profila izrađenih profilnim glodalicama .....	18
Slika 6-2. Termorezač model TR-14/22-5 (SSSR).....	19
Slika 7-1. Kirmenjak svijetli polirano.....	21
Slika 7-2. Marčana kamen brušeno.....	21
Slika 7-3. Postupak paljenja kamene ploče u postrojenju tvrtke „KAMEN“ d.d. Pazin	22
Slika 7-4. Prikaz skulpture kojoj je samo lijeva strana očišćena .....	23
Slika 7-5. Grayscale matrica .....	24
Slika 7-6. Grayscale gradijent.....	24
Slika 7-7. Prikaz ploča ugrađenih na stepenište prije poslije tretmana pjeskarenja. ....	25
Slika 8-1. Shema linijske obrade mramora .....	26

## POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Tehničke specifikacije gatera tvrtke „Gaspari Menotti“**Error! Bookmark not defined.**

## 1. UVOD

Primjena arhitektonsko-građevnog ili prirodnog kamena u velikoj mjeri se zasniva na potrebama graditeljstva i arhitekture u kojima prirodni kamen ima dekorativno-zaštitnu funkciju. Koristi se za oblaganje horizontalnih i vertikalnih površina u interijeru i eksterijeru ovisno o svojstvima pojedine vrste kamena kao što su otpornost na utjecaj kiše, sunca, vjetra te ostalih atmosferilija; otpornost kamena na savijanje i slično. Utjecaj visokog temperaturnog gradijenta na dugovječnost kamena; otpornost kamena na habanje ako je riječ o horizontalnim površinama na kojima hodaju velike grupacije ljudi u određenom vremenskom periodu. Kamen koji odlikuje estetičnost što je vidljivo kroz samu čistoću boje kamena, nedostatak stranih tijela ponajprije misleći tu na nekakve školjke ili slične organizme, neprisutnost žila ili vena u stijenskoj masi upotrebljava se za izradu umjetnički djela u kiparstvu.

Primjena kamena je vidljiva i u izradi raznih predmeta za korištenje u svakodnevnom životu. Široka primjena kamena uvjetovana je velikim rasponom tehničko-tehnoloških, fizičko-mehaničkih svojstava ali i načinu obrade kamena ovisno o njegovoj upotrebi. U ovom radu nastojat će se opisati sami procesi obrade arhitektonsko-građevnog kamena od primarnog bloka u ležištu do gotovog proizvoda spremnog za plasiranje na tržište te primjena kamena u različite svrhe zasnovano na metodi obrade. Navesti će se strojevi za pojedinu fazu obrade uzimajući u obzir principe rada i tehničke specifikacije istih.



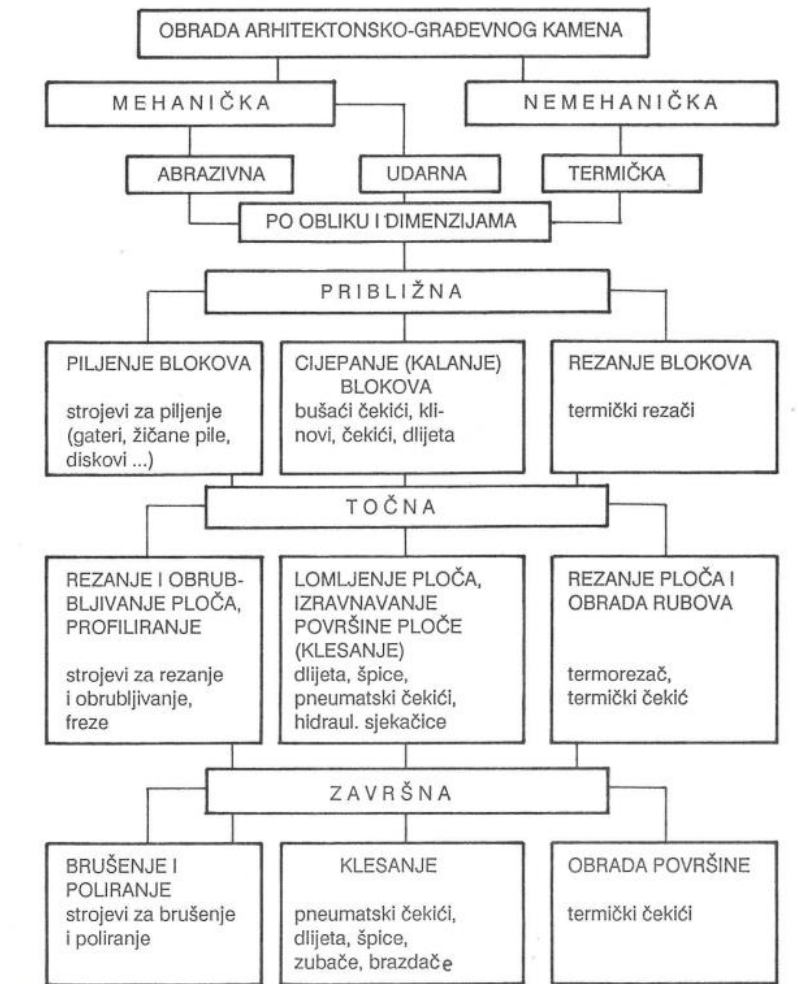
## 2. GENETSKA I KOMERCIJALNA PODJELA AG KAMENA

Prema genezi karbonatne stijene spadaju u grupu sedimentnih stijena. Nastale su taloženjem odnosno sedimentacijom rastrošenoga materijala tokom više geoloških razdoblja, migracija materijala uzrokovana je djelovanjem vjetra, kiše, snijega te ostalih atmosferilija. Glavna geološka karakteristika sedimentnih stijena je slojevitost koja je ujedno i preduvjet za eksploataciju stijenskog masiva u primarne blokove. Karbonatne stijene u svom sastavu imaju povećanu koncentraciju karbonatnih minerala. Minerali poput kalcita, magnezita, siderita i dolomita izgrađuju stijene vapnenca i dolomita. Pošto je glavna karakteristika karbonatnih stijena prisutnost ugljikovog dioksida u kemijskom sastavu, burno reagiraju s kiselinama uz otpuštanje CO<sub>2</sub>. Postojanost diskontinuiteta, orijentacija i razmak među njima kao strukturne značajke bitno utječu na fizičko-mehanička svojstva stijene. Izuzetno bitna fizičko-mehanička svojstva za prirodni kamen su tlačna čvrstoća koja se ispituje nanošenjem osnog opterećenja na uzorak kamena, ispitivanjem u laboratoriju došlo se do raspona od 80 do 250 MPa za tlačnu čvrstoću prirodnog kamena. Prema tlačnoj čvrstoći kamen se može podijeliti u pet skupina: vrlo niska, niska, srednje visoka, visoka i vrlo visoka (Pletikosić, 2007.). Čvrstoća na savijanje se određuje nanošenjem normalnog osnog opterećenja na uzorak koji s obje strane ima oslonac, ovo svojstvo je vrlo važno za kamen koji se ugrađuje na horizontalnim površinama gdje mora izdržati velika opterećenja. Otpornost na habanje kao svojstvo materijala da podnosi abrazivno uklanjanje slojeva s površine kamena. Prema otpornosti na habanje kamen možemo podijeliti u šest skupina: izrazito tvrd, vrlo tvrd, tvrd, umjereno tvrd, mekan i izrazito mekan. Vrlo važno svojstvo kamena je i upijanje vode koja je u izravnoj korelaciji sa poroznošću kamena kao također vrlo važnom svojstvu. Pošto se prirodni kamen ugrađuje i na vanjskim površinama gdje su izloženi raznim atmosferskim i klimatskim uvjetima, prilikom karakterizacije kamena važnu ulogu igraju i otpornost prema mrazu i toplinskim udarima.

Stijene mramora, kao jednu od dvije glavne skupine komercijalne podjele arhitektonsko-građevnog kamena, karakterizira srednja do velika tvrdoća uz relativno veliku mogućnost obrade iako mineral kalcit prema Mohsovoj skali ima tvrdoću tri. Veličina zrna je srednja, vidljiva su golim okom. Boja je bijela uz mogućnost pojavnosti određenih primjesa koje mijenjaju boju u sivu ili žutu različitih nijansi. Mramor je nastao metamorfozom karbonatnih prolita pri uvjetima povišene temperature i litostatskog tlaka pa prema genezi spada i u karbonatne ali i metamorfne stijene.

### 3. OBRADA AG KAMENA

Pod obradom arhitektonsko-građevnog kamena podrazumijevamo radnje i procese koje imaju za krajnji cilj iz komercijalnog stijenskog bloka dobiti proizvode, u velikoj većini kamene ploče; jasno definiranog oblika, dimenzija i kvalitete kamene površine koje je potom moguće plasirati na tržište kao finalni proizvod ležišta. Način obrade kamena i potrebna oprema ovisi o upotrebi kamena i tehničko-tehnološkim svojstvima sirovine koja se obrađuje. Dunda (1989.) navodi da procese obrade možemo podijeliti na mehaničke i nemehaničke.



Slika 3-1. Klasifikacija tehnoloških procesa obrade (Dunda, 1989.)

Pod mehaničkom obradom kamena podrazumijevamo dvije metode: udarnu i abrazivnu. Udarna metoda zasniva se na udarnim efektima, postupci obrade kamena udarnom metodom su kalanje i klesanje. Kalanje ili cijepanje izvodi se pomoću klinova umetnutih u bušotine, nanošenjem udaraca na klinove postavljene u određenu liniju blok puca na mjestima najmanjeg otpora što se poklapa sa linijom bušotina. Abrazivna metoda je najraširenija metoda, obuhvaća procese piljenja blokova, rezanja, profiliranja i obrublivanja blokova te brušenja i poliranja. Nemehanička obrada kamena se temelji na mogućnosti emisije toplotnih udara (termičkih šokova) kod strojeva za obradu kamena koji time narušavaju mineralnu strukturu stijene odnosno dolazi do pucanja mineralnih zrna čime se uklanja tanki površinski sloj kamena stvarajući pritom novu površinu koja se razlikuje prema hrapavosti od prethodne (Dunda, 1989.). Uređaji za nemehaničku obradu kamena u principu su plamenici pogonjeni smjesom komprimiranog zraka i goriva (kerozina ili benzina). Općenito obradu možemo podijeliti u dva stadija: prvi stadij obuhvaća približnu i točnu obradu kamena dok je drugi stadij završna obrada. Približnom obradom se iz primarnog bloka dobivaju gotovo pa neobrađene kamene ploče u smislu jasno definiranih dimenzija i oblika istih. To se postiže u točnoj obradi kamene ploče čime one poprimaju konačni oblik i dimenzije. Proces koji spadaju u točnu obradu su obrublivanje i profiliranje kamene ploče. Drugi stadij obrade tj. završna faza obuhvaća procese kojima se mijenja kvaliteta i izgled same kamene površine, u tu fazu spadaju brušenje i poliranje. Izvedbe pojedinih faza su višestruke, ponajprije se tu misli na strojeve i mehanizme njihova rada, koji se razlikuju.

## **4. STROJEVI ZA OBRADU KAMENA**

Potreba za kamenom u svrhu gradnje seže u razdoblje i prije drevnog Egipta ali ćemo tu civilizaciju uzeti kao početak pošto su tadašnji principi rada vrlo slični današnjima, naime već tada su ljudi poznavali određene tehnike, uz pomoć tadašnjeg primitivnog alata, obrade kamena. Primjenom rotacije i pritiska koristeći se cijevima uz abrazivni prah i vodu bušili su kamen. Služili su se drvenim klinovima koje su postavljali po prirodnim diskontinuitetima te polijevali vodom kako bi se širili i povećavali razmak između diskontinuiteta te potom polugama razdvajali stijensku masu. Njihove tehnike i metode nasljeđuju Grci i Rimljani. U neko ipak bliže vrijeme s razvojem svih znanosti i strojeva razvijaju se i strojevi pogodni za obradu kamena; žične pile, strojevi s kružnim pilama, gateri, monolame, dijamantne glodalice i ostali strojevi su uvelike olakšali i ubrzali procese obrade arhitektonsko-gradevnog kamena. Strojeve za obradu kamena možemo podijeliti prema više segmenata; najjednostavnija podjela je prema pojedinim fazama obrade, strojevi za približnu obradu (dijamantne žične pile manjih dimenzija, termorezači), strojevi za točnu obradu (dijamantne glodalice odnosno freze) te strojevi za završnu obradu (termo čekić, razne brusilice za kamen te laseri).

### **4.1. Gateri**

Spadaju u grupu strojeva za abrazivnu obradu kamena prema različitim konstruktivnim karakteristikama. Razlikujemo dvije vrste gatera ovisno o hodu radnoga okvira na gatere s krivolinijskim hodom radnog okvira i gatere s pravolinijskim hodom radnog okvira. Gater je stroj koji na radnom okviru ima komplet paralelno postavljenih metalnih pila.



**Slika 4-1.** Gater (Stoneforma, 2022)

Gateri s krivolinijskim hodom radnog okvira upotrebljavaju se uglavnom kod iznimno tvrdog kamena s visokim koncentracijama  $\text{SiO}_2$  pošto ona omogućava najefikasnije piljenje jer osigurava najbolje pritjecanje slobodnog abraziva prema samom profilu piljenja. Za piljenje mramora uglavnom se koriste gateri s pravolinijskim hodom radnog okvira uz upotrebu veznog abrazivnog sredstva, samo piljenje se ostvaruje spuštanjem radnog okvira a vrlo rijetko podizanjem postolja s blokom. Pravolinijski gateri imaju mogućnost piljenja blokova po horizontalnoj i vertikalnoj osi pošto nemaju zavješnje i blok se giba pravolinijski, iako imaju tu mogućnost vertikalno piljenje se u obradi kamena rijetko koristi pošto se javlja problem kod učvršćivanja bloka. Rezni element gatera s pravolinijskim hodom su dijamantne pile koju su zapravo čelične plosnate pile s navarenim dijamantnim segmentima, vrlo rijetko je riječ o čeličnim perforiranim pilama s rupama ili s vertikalnim kanalima. Segmenti se različito mogu rasporediti po kontaktnom dijelu pile, s jednolikim međusobnim razmakom ili po više segmenata u grupama s međusobnim razmacima. Prema Dundi (1989.) osnovni pokazatelji karaktera dijamantnog segmenta su oblik i vrsta dijamantata, tip veziva, veličina dijamantnog zrna i koncentracija dijamantata. Segmentni za piljenje mekšeg kamena upotrebljavaju segmente s koncentracijom od 25% do 50%. Veliki

utjecaj na efikasnost rada i kvalitetu piljenja ima pravilna napregnutost pila unutar radnog okvira, tri su načina napinjanja: mehanički, hidraulički i kombinirani. Pokazatelj ispravno napete pile je iznos progiba prilikom savijanja.

**Tablica 4-1.** Tehničke specifikacije gatera tvrtke „Gaspari Menotti“

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

## 4.2. Monolame

Strojevi koji kao rezni element imaju jednu plosnatu pilu unutar radnog okvira. Radni okvir kod monolame kao i kod gatera čini metalna konstrukcija sačinjena od čeličnih stupova povezanih rešetkastom konstrukcijom, vodilica po kojima se pila giba vertikalno (podigne se i spušta), pogonskog motora koji se giba skupa s pilom tijekom radnog hoda te dvije zasebne upravljačke jedinice (Dunda, 1989.). Primarna razlika između gatera i monolama je u broj reznih elemenata dok su konstrukcijska rješenja i izvedbe vrlo slične. Suvremenije uređaji poput ovog na slici 4-2. koriste kombinaciju hidrauličkog i mehaničkog gibanja prilikom rezanje čime se postiže precizno rezanje blokova na ploče.



**Slika 4-2.** Monolama proizvođača „BM Officine SRL“ (BM Officine, 2022)

### **4.3. Strojevi s kružnom pilom**

Radni organ odnosno rezni element kod ove grupe strojeva koje još i nazivamo strojevima s dijamantnim diskom je upravo disk koji na svom obodu ima postavljene dijamantne segmente. Možemo ih podijeliti prema broju diskova koji se koriste istovremeno na strojeve s jednim diskom i strojeve s više diskova. Strojeve s više diskova potom dijelimo na jednoetažne, dvoetažne i ortogonalne (Dunda, 1989.). Razlika između jednoetažnih i dvoetažnih strojeva je ta da su kod dvoetažnih setovi diskova postavljeni na različitim visinama.



**Slika 4-3.** Jednoetažni stroj s više diskova (Stonecontact, 2022)

Kod ortogonalnih strojeva omogućeno je i podrezivanje blokova radi postojanja horizontalnog diska uz vertikalni disk koji se isključivo koristi kod ostalih nabrojanih vrsta strojeva.

Postoje također različite izvedbe radnog organa odnosno dijamantnog diska, ovisno o rasporedu dijamantnog sredstva na obodu diska. Razlikujemo pune i segmentne diskove, puni disk po cijelom obodu ima dijamantno sredstvo dok kod segmentnih cijeli obod nije popunjen. Uz raspored dijamantnog sloja i njegovu duljinu diskovi se razlikuju i prema veličini promjera i debljini samog diska, puni diskovi imaju promjer između 30 i 400 mm; dok je kod segmentnih promjer i višestruko veći, od 200 do 3500 mm. Debljina punog diska je u granicama 0,7 do 3 mm, debljina segmentnog diska je od 1,5 do 15 mm.

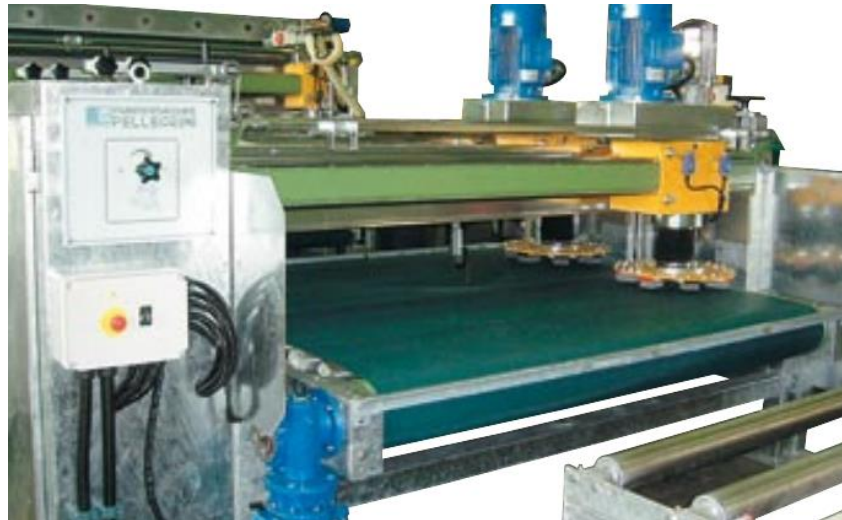


#### **4.4. Strojevi za rezanje, profiliranje i obrublјivanje**

Strojeve za procese rezanja, profiliranja i obrublјivanja mo֒emo podijeliti u tri skupine prema konstruktivnim karakteristikama na mosne, konzolne i portalne. Osnovno svojstvo svih navedenih strojeva je da se radnje izvode uslijed dva gibanja: pravocrtnog i kruŒnog. Portalni strojevi su veći dimenzija i njihova upotreba je limitirana na obradu deblјih ploča i proizvoda veći visina. Osnova portalnih strojeva je konstrukcija sastavljena od dva nosiva stupa i grede preko koje su povezani, na samoj gredi nalaze se nosači s radnim organima, uglavnom je riječ o diskovima ili dijamantnim glodalicama. Radni organ je vrlo mobilan Œto mu omogućava zakretni krug radi kojeg ostvaruje horizontalna, vertikalna ali i kruŒna gibanja. Radni stol na kojem se nalazi kamen za obradu je stacionaran. Mosni strojevi manjih su dimenzija od portalnih, konstrukciju im sačinjavaju dva stupa koja su povezana mosno, na mostu se nalaze tračnice po kojim se radni organ giba. Za razliku od portalnih strojeva radni stol kod mosnih nije nuŒno fiksiran već moŒe biti i mobilan poŒto je gibanje radnog organa ograničeno. Konzolni strojevi su dimenzijama i nekakvim obujmom rada manji i od mosnih i od portalnih. Umjesto dva nosiva stupa kao Œto je to kod prethodnih skupina, konzolni imaju samo jednu potpornu kolonu s konzolom. Pogonska jedinica je elektromotor koji zakreće radni element, radni stol se moŒe ručno ili hidraulički podizati i spuŒtati. Konzolni strojevi mogu biti i stacionarni ili prijenosni te su uglavnom namijenjeni za individualnu upotrebu.

#### **4.5. Strojevi za bruŒenje i poliranje**

Strojevi koji se upotrebljavaju pri bruŒenju i poliranju kamenih povrŒina isti su kao i kod rezanja, profiliranja te obrublјivanja; razlika je u radnom organu koji se pritom koristi. Prema konstrukcijskim karakteristikama strojeve moŒemo podijeliti u pet skupina: portalne, mosne, radijalno-konzolne, konvejerne i prenosive (Dunda, 1989.).



**Slika 4-4.** Linija za brušenje marke „Pellegrini“ (Pellegrini, 2022)



**Slika 4-5.** Linija za poliranje kamena marke „Breton“ (Breton, 2022)

Nazivi glavnih skupina strojeva dobiveni su prema glavnim jedinicama pojedinog stroja. Kod portalnih strojeva glavna konstrukcijska cjelina je portal na kojem se nalazi glava s radnim organom, brušenje ili poliranje odnosno vertikalno kretanje glave i ostvarivanje pritiska na površinu ostvaruje se hidrauličnim cilindrom. Postoje i strojevi kod kojih je stol

na kojem se nalazi materijal za obradu mobilan dok se glava ne kreće. Mosnim strojevima glavna karakteristika je most koji se giba po tračnicama postavljenim na nosače. Glava s radnim organom postavljena je na saonice , za razliku od portalnih većina mosnih strojeva je predviđeno za upotrebu prema kojoj je stol nepomičan dok se giba glava s radnim organom. Radijalno-konzolni su radi svojih dimenzija i konstrukcije predviđeni za obradu manjih ploča. Osnovu stroja čine dvije ruke od kojih je jedna fiksirana s osnovom stroja dok se na drugoj pomičnoj nalazi radni organ. Konvejereni stroj je u biti skup više strojeva povezanih u jedan neprekinuti obrađivački proces. Najrasprostranjeniji strojevi takvog tipa su linijski konvejereni strojevi u kojima se uz pomoć transportera i stacionarnih strojeva za brušenje i poliranje vrši završna obrada. Prenosivi strojevi su manjih dimenzija i ograničenih mogućnosti, tu je riječ o manjim električnim strojevima predviđenim za ručnu obradu. Ključna razlika između svih uređaja su radni organi, kako između strojeva pojedinačno tako i između pojedinih procesa. Više o samim radnim organima i njihovim karakteristikama obrađeno je u poglavlju 7. podnaslov 7.1.

## 5. PRIBLIŽNA OBRADA

Pod približnom obradom kamena podrazumijeva se piljenje i rezanje komercijalnih blokova na ploče. U toj fazi obrade ne definiraju se točne geometrijske karakteristike kamenih ploča već se nastoje dobiti ploče približnog oblika i dimenzija. Približna obrada uz točnu spada pod prvi stadij obrade, njome se ne dobiva proizvod koji se kao takav može plasirati tržište već mu je potrebna daljnja obrada.

### 5.1. Piljenje i rezanje

Dobivanje ploča iz komercijalnih blokova se postiže procesima piljenja i rezanja. Strojevi koji se koriste u tu svrhu su gateri, monolame, žične pile ili strojevi s kružnom pilom. O svakom pojedinačno stroju je već pisano u prethodnim poglavljima ovog rada pa će težište u ovom podnaslovu biti na samim procesima i svrsi istih. Komercijalni blokovi se u svrhe industrije pile na poluproizvode kamene ploče koje nemaju jasno definirane dimenzije i oblik.

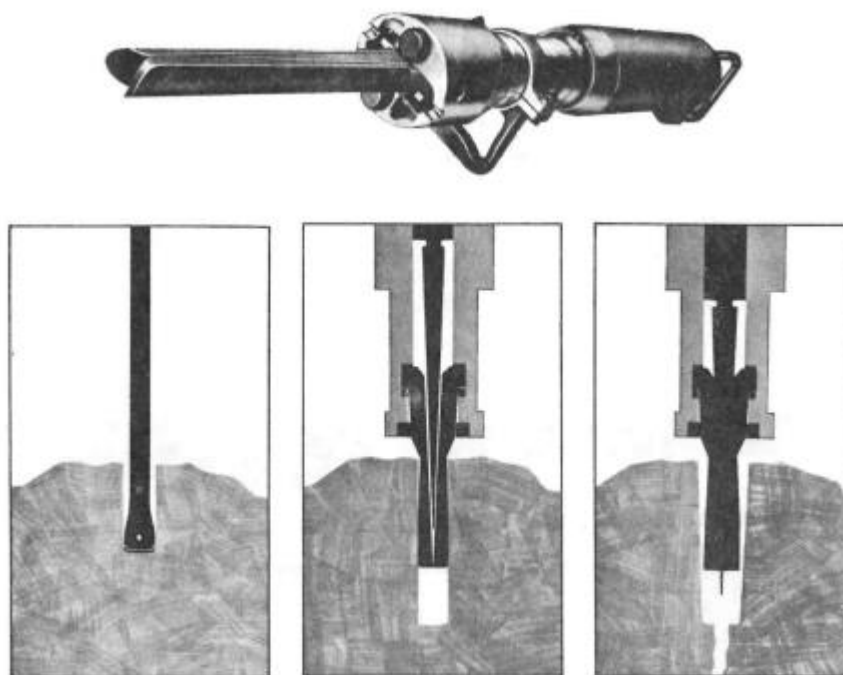


**Slika 5-1.** Komercijalni blok ispiljen na neobrađene kamene ploče (Pulycort, 2022)

Piljenje kamena karbonatnog podrijetla koji je prema svojim fizičko-mehaničkim svojstvima mekši od granita izvodi se bez upotrebe slobodnog abrazivnog sredstva. Prilikom piljenja mramora koriste se vezana abrazivna sredstva koja su uglavnom dijamantni segmenti koji se nalaze navareni na čelične diskove i pile ili na čeličnim užetima. Piljenje se ostvaruje prijenosom energije s pogonske jedinice na radni organ koji je pila ili disk, dolazi do prodiranja reznog elementa u materijal uslijed razaranja stijenske strukture. Promjenom razmaka između susjednih reznih elemenata nastoje se dobiti ploče željene debljine ako je riječ o stroju s jednim reznim elementom debljina ploče regulira se hodom radnog organa. Rezanje kamenih blokova se zasniva na termo obradi kamena, termo rezač preciznim mlazom plamena visoke temperature razara mineralošku strukturu kamena i dolazi do njegovog odvajanja duž linije rezanja. Kvaliteta izvedbe ove faze obrade određuje daljnji proces, ponajprije točne obrade, stoga je vrlo važno što je preciznije moguće ispiliti i izrezati blok na ploče.

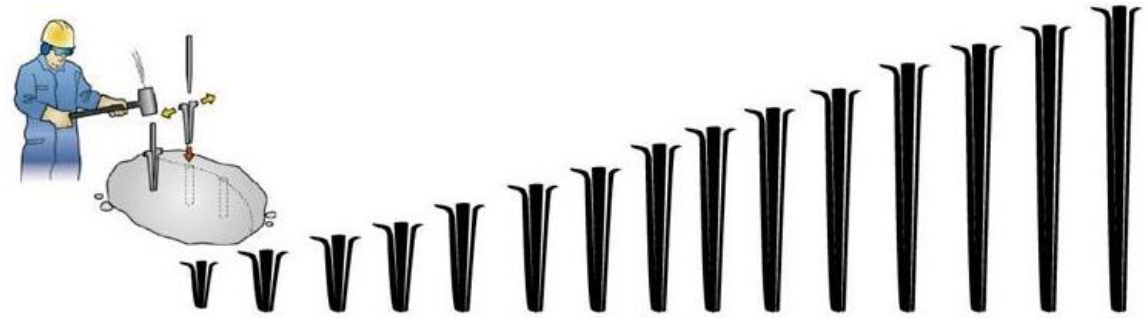
## **5.2. Cijepanje (kalanje)**

Cijepanje ili kalanje kamena je proces koji spada pod približnu metodu obrade, njime se kameni blokovi većih dimenzija dijele na manje blokove ili kamene ploče. Princip rada se zasniva na metodama koje su se koristile u dalekoj prošlosti kao i mnogi drugi procesi obrade kod kojih su modernizirani radni elementi ali je metoda ostala ista. Za cijepanje su potrebna bušaća garnitura kojom se prema zadanoj shemi rade bušotine. Bušaća garnitura može biti bušaći čekić ili lafetna bušilica. Prema ustaljenoj praksi razmak između dvije bušotine iznosi od 10 do 30 cm, dubina bušotine ovisi o petrografskim značajkama ponajprije o slojevitosti stijenske mase s tim da je jedna bušotina u nizu od 5 ili 6 dublja od prethodnih (Dunda i dr., 2009.) Nakon izrade bušotina slijedi postavljanje klinova u iste, potom se nastoji jednakom silom nanijeti opterećenje na svaki klin u više ciklusa kako bi se blok ravnomjerno cijepao. Osim standardnih klinova mogu se koristiti i tzv. hidraulični klinovi kojem se radni element sastoji od dva umetka (krila), jednog klina.



**Slika 5-2.** Hidraulični klin „Darda“ (Dunda, 1989)

Prilikom nanošenja sile pomoću hidrauličnog agregata stap čekića djeluje na klin čime on razmiče umetke odnosno krila i stvara pritisak na unutrašnji plašt bušotine, povećava se naprezanje i pojavljuju se deformacije koje rezultiraju u pucanju stijenske mase nakon što se premaši najveće dozvoljeno naprezanje. Dunda i dr. (2009.) navode kako se cijepanje blokova osim upotrebe klinova može ostvariti upotrebom neeksplozivne smjese. Početna faza takve obrade je ista, rade se bušotine u koje se umjesto klinova postavlja cement ili malta koja vremenom ekspandira čime se također povećava naprezanje na stjenke bušotine i dolazi na kraju do pucanja stijenske mase po zacrtanoj liniji bušotina.



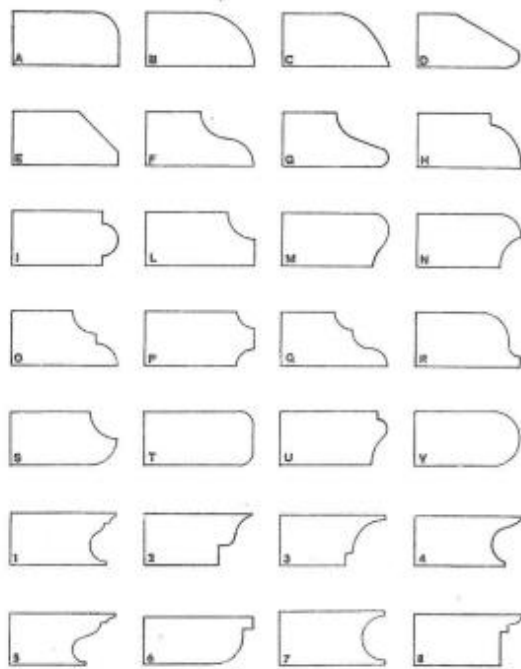
**Slika 5-3.** Slikoviti prikaz ručnog cijepanja kamena i set klinova različitih duljina. (Win drilling, 2022)

## 6. TOČNA OBRADA

U ovoj fazi prvog stadija ostvaruje se obrada kamene ploče gdje se jasno definiraju dimenzije i oblik ploče čime se ona svrstava u pojedinu grupu. Više je metoda koje se koriste u točnoj obradi, od profiliranja frezama do rezanja ploča i obrade rubova uz primjenu termorezača.

### 6.1. Obrubljivanje i profiliranje

Ovaj proces spada pod točnu obradu kamena pošto se njime jasno definira oblik kamene ploče. Uz profiliranje usko se veže i obrubljivanje kamenih ploča, pogonska jedinica jednaka je kao i kod rezanja ali je radni organ različit. Kružnim djelovanjem i kretanjama radnog organa postiže se željena obrada. Profiliranje se najčešće vrši dijamantnim glodalicama ili pojednostavljeno rečeno frezama. Obrubljivanjem se na kamenoj ploči koristeći različite glave kao nastavke na pogonski dio dobivaju i različiti geometrijski oblici rubova.

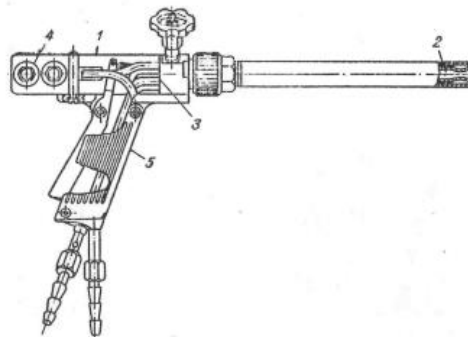


Slika 6-1. Karakteristični oblici profila izrađenih profilnim glodalicama (Dunda, 1989)



## 6.2. Termo rezanje ploča i obrada rubova

Korištenjem plamenika koji rade na bazi mješavine goriva i komprimiranog zraka možemo rezati ploče i obrađivati njihove rubove, uređaji kojima se to radi su termo rezači i termo čekići. Sam princip obrade je isti kao i kod obrade bilo kojim drugim sredstvima i uređajima, jedino po čemu se razlikuju je izvor energije koji se vrši proces. Kontroliranim izbacivanjem mlaznice plamena određene temperature postiže se željeni cilj obrade kamena.



**Slika 6-2.** Termorezač model TR-14/22-5 (SSSR) (Dunda, 1989) 1-tijelo, 2-mlaznica, 3-komora izgaranja, 4-glava, 5-rukohvat

## **7. ZAVRŠNA OBRADA**

Drugi stadij obrade kamene ploče u kojem se nakon profiliranja i dimenzioniranja, naglasak obrade stavlja na površinu kamene ploče. Ovisno o potrebama i namjeni pojedine ploče metode obrade iste se razlikuju, neke od metoda obrade površine su brušenje, poliranje, paljenje, štokanje, četkanje. Svaka od navedenih metoda ima svoju primjenu sukladno načinu i mjestu ugradnje kamene ploče.

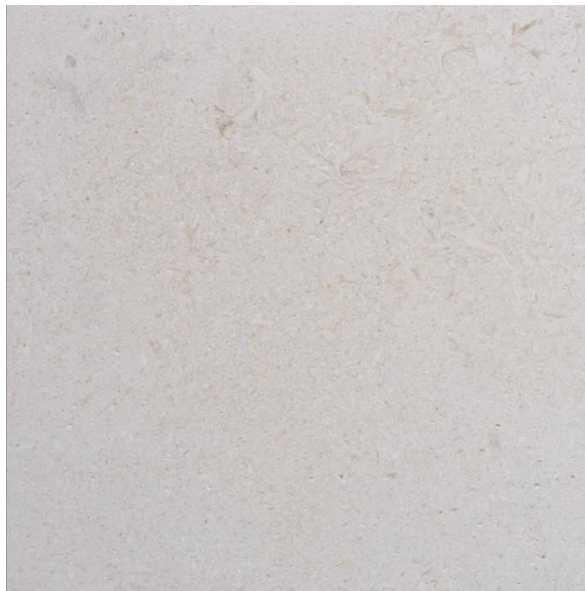
### **7.1. Brušenje i poliranje**

Proces brušenja i poliranja kamene površine za svrhu ima naglasiti estetski karakter kamena, boju, njegovu čistoću ili pak sustave žila i venoznih tvorevina, ovisno o samom mineraloškom sastavu stijene iz koje je primarni blok izvađen. Ako je riječ o kamenu koji je ugrađen prije izvjesnog vremena brušenjem i poliranjem se nastoje ukloniti sve nepravilnosti ili nečistoće na površini. Poliraju se kamene ploče koje se ugrađuju na vertikalne površine uglavnom u interijeru pošto se poliranjem povećava glatkoća površine što može znatno otežavati kretanje na takvim površinama pa se horizontalne površine ne bruse i poliraju. Oba procesa se zasnivaju na rotaciji i pritisku na površinu, pogonska jedinica kod strojeva je ista dok se razlikuje radni organ. Kod brušenja se djelovanjem abrazivnih zrnaca skida značajan sloj materijala, dok se kod poliranja javlja i fizičko-kemijsko djelovanje uz mehaničko zbog korištenja tekućine i polirajućeg materijala. Poliranjem se skida neznatan sloj materijala dok se nepravilnosti nastale brušenjem popunjavaju i zapunjavaju. Metode poliranja se razlikuju u tome koriste li se nekakav fluid (tečni vosak npr.) ili ne, pa poliranje može biti suho i mokro. Poliranje se uz to još razlikuje i prema vrsti radnoga organa u upotrebi, može biti poliranje uz upotrebu filcanih materijala, tvrdih i dijamanatnih materijala (Dunda, 1989.). Filcani radni organ sastavljen je od filcanih kolutova postavljenih na čelični disk koje potom možemo podijeliti na prešane, namotane i olovne. Prilikom korištenja filcanih materijala neizostavna je upotreba polirajućih materijala u obliku tekućine, paste ili prašine. Tvrdi elastični radni organi ne trebaju upotrebu polirajuće suspenzije. Dijamantni radni organ je sastavljen od čeličnog diska i elastične matrice na koju su pričvršćeni dijamantni segmenti sintetičkih zrnaca povezanih kaučukovim vezivom. Brušenje može biti grubo, srednje i fino ovisno o broju operacija postupnog izravnavanja. Kod brušenja i poliranja potrebna je sistematska

kontrola koja se obavlja vizualno ili uz pomoć svjetlomjera. Procesi brušenja i poliranja su repetitivni, odnosno mogu se ponavljati ovisno o potrebi i o tome zadovoljava li već obrađena površina kriterije.



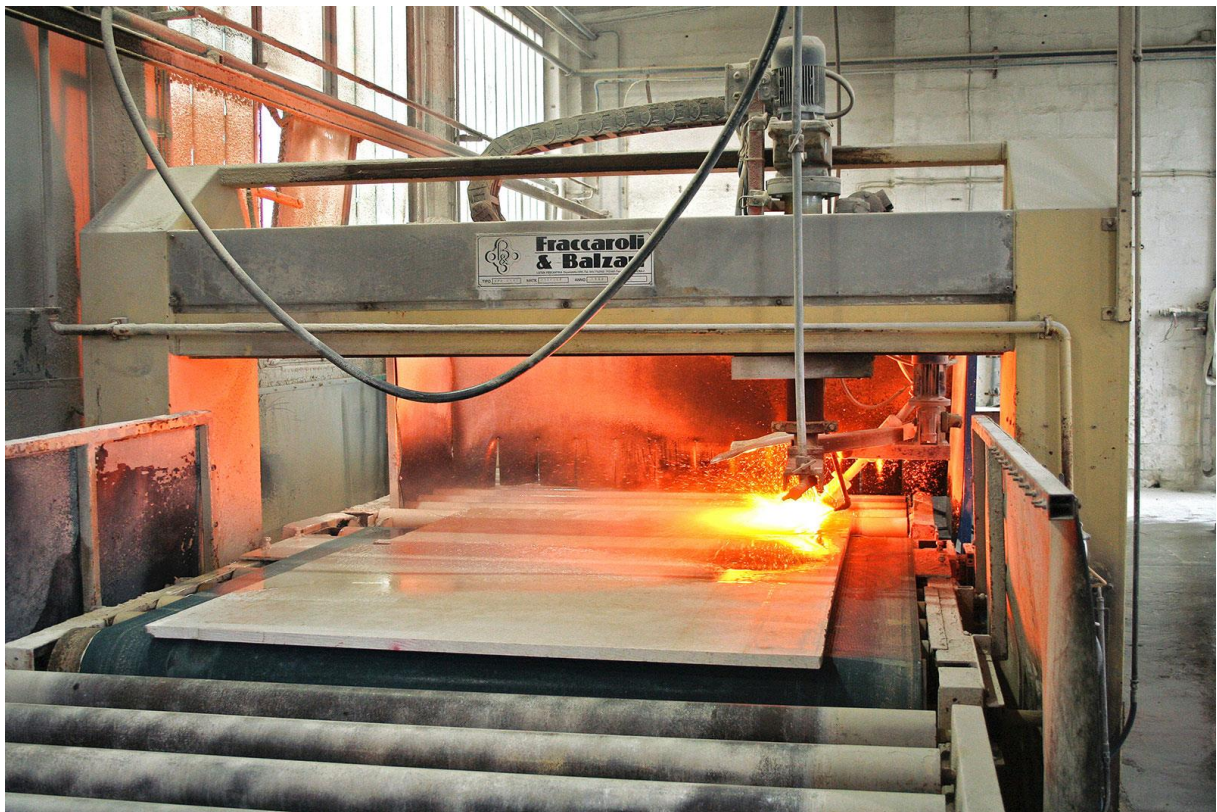
**Slika 7-1.** Kirmenjak svijetli polirano (KAMEN Pazin, 2022)



**Slika 7-2.** Marčana kamen brušeno (KAMEN Pazin, 2022)

## 7.2. Termička obrada površine

Termička obrada u završnoj fazi spada u nemehaničke procese obrade kamena. Bazira se na osjetljivosti kamena na toplotne udare. Paljenje kod mramora je rjeđe nego kod granita ali se i dalje primjenjuje. Završna obrada vrši se termočekićima, plamenicima koji rade na principu smjese goriva i zraka i imaju sposobnost izbacivanja mlaznica plamena visokih temperatura velikim brzinama na površinu koja se obrađuje. Paljenjem površine kamena povećava se njegova hrapavost i stvara se određeni reljef. Svrha samog procesa paljenja kamen površine je višestruka, od toga da se kamenoj površini vrati što više moguće prirodan izgled do toga da se poveća hrapavost iz praktičnih razloga. Kamene površine koje su paljene koriste se uglavnom u popločavanju vanjskih površina.



**Slika 7-3.** Postupak paljenja kamene ploče u postrojenju tvrtke „KAMEN“ d.d. Pazin (KAMEN Pazin, 2022)

### 7.3. Laserska obrada

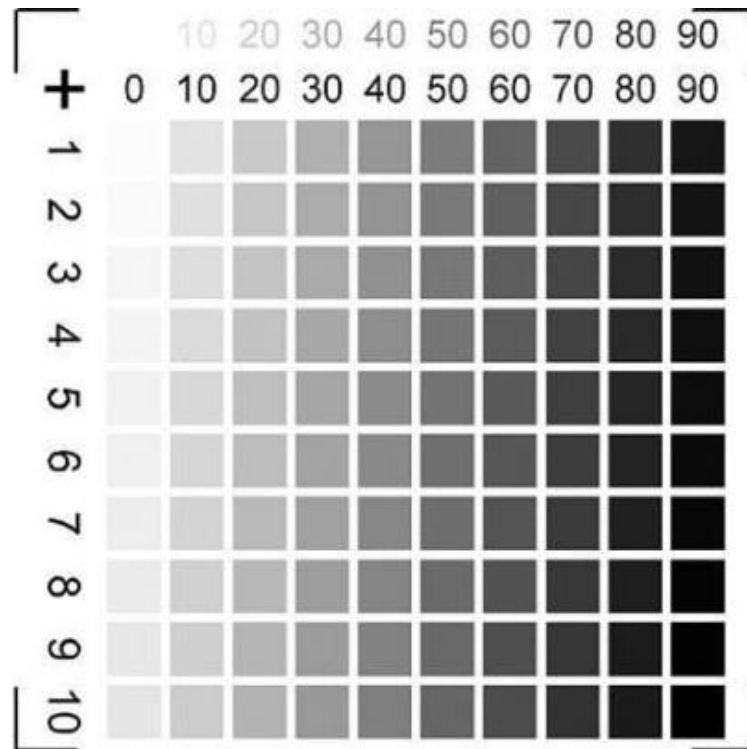
Laser je uređaj koji stvara i pojačava koherentno elektromagnetsko zračenje, njegov rad zasniva se na prijelazu iz jednog energetskeg stanja u drugo. Primjena lasera u tehnici, znanosti ili u industriji je mnogostruka. Svoju primjenu pronašao je i u obradi arhitektonsko-građevnog kamena, bilo da je riječ o obradi kamena u dekorativnu svrhu ili čišćenje kamene površine.



**Slika 7-4.** Prikaz skulpture kojoj se samo lijeva strana očišćena (Wikipedia, 2022)

Pod dekorativnom obradom misli se na dugovječno ili trajno graviranje teksta, uzoraka, struktura ili logotipa na površinu kamena. Prilikom takve obrade uklanja se minimalan sloj kamena bez utiskivanja i gubitaka na masi i procesnog otpada. Nusproizvod laserskog graviranja je kamena prašina koja se može lijepiti i nanizati te blokirati otvor mlaznice pa je upotreba vode u svrhu ispiranja iste neophodna. Polirane i glatke površine idealne su za upotrebu laserskog graviranja, stoga je izuzetno bitno odraditi kvalitetnu prethodnu obradu kamena u vidu brušenja i poliranja kako bi se postigli najbolji rezultati. Uz poliranje i brušenje je potrebno i očistiti i isprati površinu prije obrade laserom. Pošto je riječ o kamenu koji se prema svemu razlikuje međusobno potrebno je i odabrati pravilnu metodu graviranja, neke od metoda su Grayscale matrica i Grayscale gradijent. Osim dekorativne obrade laser

se upotrebljava i prilikom čišćenja kamenih površina. Princip i upotreba određene vrste lasera je ista kao i kod dekorativne obrade, temelji se na emisiji fotonskog zračenja. Laserskim čišćenjem uklanjaju se naslage koje su se vremenom nataložile na kamen narušavajući prvotno njegov izgled. Četiri su metode čišćenja kamena laserom: lasersko suho čišćenje, upotreba tekuće membrane uz laser, upotreba inertnih plinova uz laser i korozivna kemijska metoda nakon upotrebe lasera. Prve tri metode imaju najširu primjenu u današnje vrijeme dok se četvrta koristi prilikom čišćenja kamenih relikvija.



Slika 7-5. Grayscale matrica (Troteclaser, 2022)



Slika 7-6. Grayscale gradijent (Troteclaser, 2022)



#### 7.4. Pjeskarenje kamenih površina

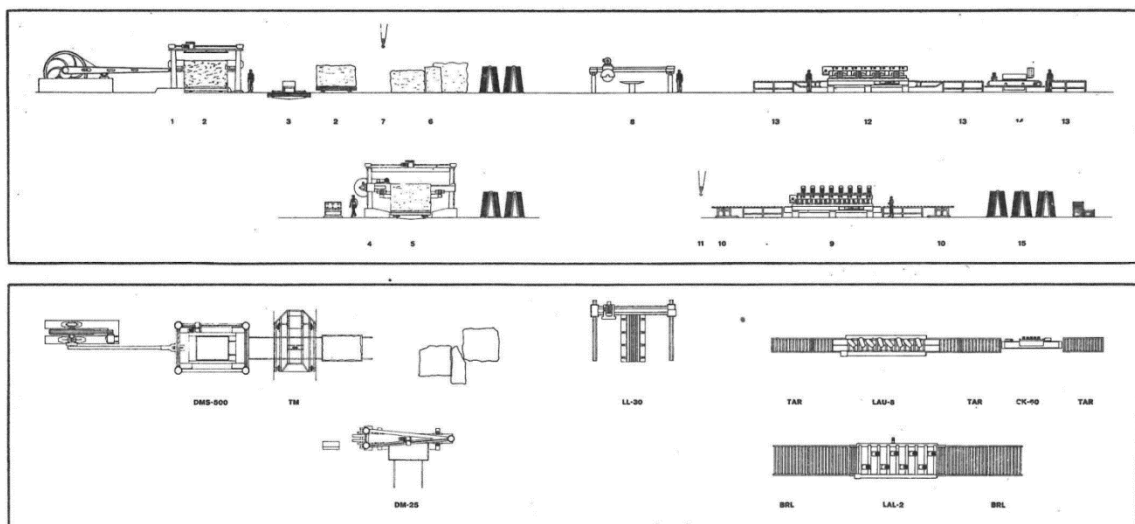
Glavna primjena pjeskarenja je radi uklanjanja nečistoća na kamenim površinama. Metoda pjeskarenja bazira se dovođenju pijeska kao abrazivnog sredstva velikim brzinama na ciljane površine. Osim čišćenja površina pod kontroliranim uvjetima proces pjeskarenja se može koristiti prilikom obrade površine postizujući time željenu hrapavost i reljef na površini kamena.



**Slika 7-7.** Prikaz ploča ugrađenih na vanjsko stepenište prije i poslije tretmana pjeskarenja

## 8. LINIJSKA OBRADA KAMENA

Pošto cjelokupna industrija ide prema tome da se svi procesi automatiziraju, tako je i kamenoobrađivačka industrija sukladno tome počela sve više koristiti automatiziranje linije za obradu kamenu u kojima su pojedini procesi obrade spojeni u neprekinuti niz čime se štedi vrijeme i povećava se efikasnost. Kontinuiranost obrade postiže se pravilnim postavljanjem strojeva sukladno teorijskim saznanjima o tijeku obrade pojedine vrste kamena, stoga se linija za obradu mramora razlikuje od one za obradu granita. Kretanje kamena po liniji omogućeno je transportnim valjcima. Postrojenje za obradu mramora kao prvi radni ciklus obavlja se piljenje na dijamantom gateru. Proizvod potom odlazi na rezanje na mosni stroj, nakon što ploče dobiju konačne dimenzije i jasno definiran oblik slijedi im proces brušenja i poliranja kao krajnje procese obrade prije dobivanja gotovog proizvoda spremnog za plasiranje na tržište. Brušenje i poliranje se uobičajeno obavlja na konvejernom stroju. Linija je u potpunosti automatizirana tako što kamen nailazi na prekidače uključuje i isključuje pojedine radne operacije čime postiže bržu obradu kamena u finalni proizvod.



Slika 8-1. Shema linijske obrade mramora (Dunda, 1989)



## 9. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisane su metode i procesi obrade arhitektonsko-građevnog kamena karbonatnog podrijetla te strojevi koji se tom prilikom koriste. Pošto je potreba za prirodnim kamenom višestruka, od graditeljstva, arhitekture do likovne umjetnosti, potrebne su varijante kamenih proizvoda različitih dimenzija, oblika i kamenih površina. Težište ovog rada je bilo na obradi kamenih ploča kao poluproizvoda koji se dobivaju iz komercijalnih blokova te ih je potrebno postupno obraditi kako bi se dobio proizvod spreman za plasiranje na tržište. Pojedina faza obrade obuhvaća različite metode i principe na kojima se zasniva tehnološki proces. Unutar svake faze obrade opisane su pojedine metode koje se koriste kako bi se ostvario željeni cilj, opisani su strojevi koji se pritom koriste s težištem na njihovim konstrukcijskim karakteristikama te različitim varijantama. Metoda obrade pojedine kamene ploče ovisi o načinu i mjestu njegovog ugrađivanja pa je i za pojedinu metodu naglašeno te navedeno par primjera primjene. Glavni faktor je završni dio obrade, obrada kamenih površina koje ovisno o metodi mogu poprimiti različita svojstva glatkoće, hrapavosti, sjaja i sl.

## 10. LITERATURA

DUNDA, S. 1989. *Obrada arhitektonsko-građevnog kamena*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.

DUNDA, S., GLOBAN, M., KUJUNDŽIĆ, T., MATOŠIN, V. 2009. *Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena* (digitalni udžbenik). Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

ČAR, D. 2016. *Pogon za proizvodnju i obradu kamena*. Završni rad. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.

PLETIKOSIĆ, L. 2007. *Primjena kamena u graditeljstvu*. Diplomski rad. Zagreb: Građevinski fakultet Zagreb.

### **Online sadržaj**

Kamen d.d. Pazin 2022. *Materijali*. URL: <https://www.kamen.hr/hr/materijali/> (22.7.2022.)

Kamen d.d. Pazin 2022. *Pilana*. URL: <https://www.kamen.hr/hr/pilana/> (19.7.2022)

Polycort 2022. *Marble processing*. URL: <https://www.polycort.com/en/marbles/marble-processing.html> (25.7.2022.)

Superwave lasersystem 2017. *Primjena laserskog stroja za čišćenje kamena*. URL: <http://hr.superwave-laser.org/news/the-application-of-laser-cleaning-machine-in-s-10533662.html> (6.8.2022.)

GMD 2022. *Klinasti dijelovi za cijepanje kamena*. URL: <http://hr.win-win-drilling.com/quarrying-tools/shims-and-wedges/wedge-shims-for-stone-splitting.html> (11.8.2022.)

Kamen Benkovac d.o.o. 2022. *Ploče obrađene*. URL: <http://www.kamen-benkovac.hr/proizvodi/ploce-obradene/> (9.8.2022.)

Stone Forma 2022. *Gaterske ploče i obrada kamena*. URL: <https://stoneforma.com/gaterske-ploce-obrada-kamena/> (1.9.2022.)

Stone Contact 2022. *Marble multi disc cutting machine*. URL: <https://www.stonecontact.com/products-m2192/marble-multi-disc-cutting-machine-multi-blade-cross-cutter-trimming-machine>