



PRIMJENA SUVREMENIH TEHNOLOGIJA U CILJU POBOLJŠANJA ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA

dr.sc. **Dragan Vidić**, dipl.ing.rud.
Ministarstvo gospodarstva Vlade Republike Hrvatske
Doc.dr.sc. **Ivo Galić**, dipl.ing.rud.
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak: S obzirom na činjenicu da je arhitektonsko-građevni kamen visoko vrijedna mineralna sirovina i činjenicu da je po jedinici proizvoda potrebno otkopati višestruko veću količinu pratećih naslaga, rudarskim inženjerima, ekspertima i investitorima koji se bave eksploatacijom i preradom arhitektonsko-građevnog kamena, poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena se nameće kao imperativ. U suvremenoj eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena prilagodba postojećim prirodnim uvjetima koji vladaju u ležištu se podrazumijeva. Poboljšanje iskorištenja ležišta je ograničeno prirodnim uvjetima koji vladaju u tom ležištu. Jedina mogućnost daljnjeg povećanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena je vanjskim djelovanjem (intervencijom) na intaktni stijenski masiv.

Ključne riječi: arhitektonsko-građevni kamen, koeficijent iskorištenja, rentabilnost, poboljšanje, probe

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES AIMED AT IMPROVING UTILIZATION OF DIMENSION STONE DEPOSITS

Abstract: Considering the fact that dimension stone is a highly valuable mineral resource and the fact that it is necessary to dig out several times larger quantity of accompanying sediments per unit of product, improving the exploitation of deposits of dimensions stone is imposed as an imperative to mining engineers, experts and investors dealing with exploitation and processing of dimension stone. In modern exploitation of dimension stone, it is implicit to adapt to existing natural conditions prevailing in the deposit. Improvement of deposit exploitation is limited by natural conditions prevailing in the deposit. The only possibility of additional increase in exploitation of dimension stone deposits is external action (intervention) on the intact stone massif.

Key words: dimension stone, coefficient of utilization, profitability, improvement, tests



1. UVOD

Da bi se neko ležište prirodnog kamena vrednovalo kao ležište arhitektonsko-građevnog kamena ono mora ispuniti određene kriterije. Tu se prije svega misli na dekorativni kriterij (boja, tekstura, značajke sastojaka od kojih je izgrađena stijena...), tehnički kriterij (fizičko-mehanička svojstva stijene), geološki kriterij (učestalost i položaj diskontinuiteta), tehnološki kriterij (podatnost stijenske mase za obradu tj. rezanje, poliranje, štokanje, brušenje...).

Nedvojbeno je da naprijed pobrojani kriteriji, temeljem kojih je neko ležište prirodnog kamena određeno (utvrđeno), kao ležište arhitektonsko-građevnog kamena, zajednički određuju materijalnu vrijednost (tržišnu cijenu) komercijalnih blokova ali i troškove eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena. Drugim rječima navedeni kriteriji određuju ekonomsku opravdanost eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na nekom ležištu.

Daljnijim logičkim razmišljanjem dolazimo do postavke da se svi naprijed navedeni kriteriji mogu svesti pod isti nazivnik, a to je ekonomski kriterij. Dakle, da bi se ležište prirodnog kamena vrednovalo kao ležište arhitektonsko-građevnog kamena ono mora zadovoljiti ekonomski kriterij, odnosno eksploatacija na tom ležištu mora biti isplativa.

Isplativost eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na nekom ležištu izravno je ovisna o koeficijentu iskorištenja toga ležišta, a svaka aktivnost kojom se može poboljšati iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, može imati presudan utjecaj na ekonomičnost poslovanja gospodarskog subjekta koji se bavi eksploatacijom arhitektonsko-građevnog kamena.

Iz stručne literature i prakse je poznato da je za određenu količinu komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena potrebno otkopati (odrezati) znatno veći obujam stijenske mase u sraslom stanju. Orijentacije radi za 1 000 m³ komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena potrebno je odrezati, više od 5 000 m³ stijenske mase u sraslom stanju. Uz eksploatacijski gubitak od 10% i popravni koeficijent $k_p=0,18$ za 1000 m³ komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena potrebno je odrezati 6 173 m³ stijenske mase u sraslom stanju.

Usprkos činjenice da je eksploatacija arhitektonsko-građevinskog kamena tzv. "čista" tehnologija, ona ipak ima određene negativne implikacije na okoliš. To je još jedan bitan razlog za iznalaženje metoda koje će težiti maksimalno mogućem iskorištenju ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Za očekivati je razvoj novog pristupa metodologije u projektiranju i eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena, koji će rezultirati racionalizacijom ljudskih i materijalnih resursa kao i energetske učinkovitosti, te boljom i racionalnijom zaštitom prirodnih resursa.



2. DEFINIRANJE OSNOVNIH POJMOVA U SVEZI ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA

Iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena najčešće se definira putem koeficijenta iskorištenja, popravnog koeficijenta i (koeficijenta) eksploatacijskih gubitaka.

Koeficijent iskorištenja (k_i) je odnos ukupnog obujma komercijalnih blokova i ukupnog obujma stijenske mase koju je potrebno odrezati da bi se otkopali i formirali komercijalni blokovi. Obujam komercijalnih blokova je zapravo obujam eksploatacijskih rezervi u nekom ležištu. Koeficijent iskorištenja se dakle dobije računskim putem iz izraza kako slijedi.

$$k_i = \frac{Q_b}{Q_u} \quad [1]$$

gdje su:

Q_b - obujam komercijalnih blokova

Q_u -ukupni obujam odrezane stijenske mase

Popravni koeficijent (k_p) je gubitak stijenske mase nastao kroz površinsku jalovinu (ako nije zasebno izračunata), stjensku masu u razdrobljenim zonama, te nekomercijalnim komadima kamena. Dakle, popravnim koeficijentom iskazuje se gubitak stijenske mase nastao zbog uvjeta koji vladaju u ležištu.

U slučaju da se povrh rezervi eksploabilne stijenske mase nalaze veće količine jalovine (humus, glina, zemlja i sl.), količina jalovine obično se izračunava zasebno.

Iznos popravnog koeficijenta izravno je ovisan o geološkim uvjetima u ležištu na kojem se obavlja eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena, a prije svega o debljini površinske jalovine, strukturno-tektonskom sklopu ležišta, veličini komada kamena koji imaju komercijalnu vrijednost i sl. Za ležišta arhitektonsko-građevnog kamena iznos popravnog koeficijenta različit je za svako ležište, a na ležištima u Republici Hrvatskoj se najčešće kreće u intervalu od 0,18 do 0,22, a iznimno do 0,54 (ležište "Kanfanar" u Istri).

Eksploatacijski gubitak (E_g) je gubitak stijenske mase nastao razaranjem stijenske mase reznim alatima (rezanjem lančanom podsječačicom, dijamantnom žičnom pilom...) i može se egzaktno izračunati.

Iznos eksploatacijskog gubitka, za razliku od popravnog koeficijenta, nije ovisan o geološkim uvjetima u ležištu na kojem se obavlja eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena već prije svega o debljini reznih elemenata lančane podsječačice, odnosno dijamantne žične pile i iznosi od 8-10%.

Dakle, nastala razlika između ukupno odrezanog obujma stijenske mase i obujma dobivenih komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena iskazuje se koeficijentom iskorištenja, a koji objedinjuje popravnikoeficijent i eksploatacijske gubitke.

Pod pretpostavkom godišnje eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena u iznosu od 1000 m³, popravni koeficijent $k_p = 0,18$ i eksploatacijski gubitak $E_g = 10\%$ ukupna količina stijenske mase koju je potrebno odrezati kako bi se dobilo 1000 m³ komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena iznosi 6 172 m³.



3. **DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA UNAPRIJEĐENJA ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA**

Generalno, poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena može se konceptualno postići sljedećim metodama:

- prilagodba razvoja rudarskih radova diskontinuitetima u ležištu (PRRUL)
- primjenom novih tehnologija na intaktni stijenski masiv

3.1. Prilagodba razvoja rudarskih radova diskontinuitetima u ležištu

Od samih početaka eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, kamenari su znali da se moraju prilagoditi prirodnim diskontinuitetima (slojnim plohama, sustavu pukotina), budući je tada potrebna najmanja vanjska sila da se dobiju veliki kameni blokovi.

Prilagodba postojećim prirodnim uvjetima koji vladaju u nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena, a u cilju što je moguće većeg iskorištenja predmetnog ležišta može se raščlaniti kako slijedi:

- prilagodba pukotinskom sustavu
- prilagodba slojevitosti
- prilagodba neujednačenosti stijenske mase

Prilagodba pukotinskom sustavu

Pukotinski sustavi u intaktnoj stijenskoj masi nastali su različitim procesima u geološkoj prošlosti i na njih se nemože utjecati. Oni izravno utječu na iskorištenje ležišta i dimenzije komercijalnih blokova koji se mogu dobiti (izrezati) na nekom ležištu. Pukotinski sustavi imaju uglavnom negativan značaj na iskorištenje ležišta, budući mreža pukotina razbija stijenu na manje komade koji nemaju komercijalnu vrijednost u smislu arhitektonsko-građevinskog kamena. Samo u rijetkim slučajevima pukotinski sustavi imaju i pozitivni značaj npr. kada se iskoriste za obivanje blokova bez piljenja jer se blokovi odvajaju po plohama diskontinuiteta. Međutim, valja naglasiti da nerijetko pukotine nastaju kao posljedica neadekvatnog otvaranja i razvoja ležišta te neadekvatno izabrane tehnologije otkopavanja. Zato se prilikom otvaranja i razrade ležišta arhitektonsko-građevnog kamena mora maksimalno prilagoditi strukturnom sklopu ležišta.

Prilagodba slojevitosti

Prilagodba strukturnom sklopu ležišta arhitektonsko-građevnog kamena podrazumjeva i prilagodbu plohama slojevitosti. Prilagodba slojevitosti podrazumjeva bitna je iz dva razloga:

- a) prilagodba slojevitosti radi pravilne ugradnje;
- b) prilagodba slojevitosti poradi boljeg iskorištenja ležišta.

a) Prilagodba slojevitosti radi pravilne ugradnje u pravilu podrazumjeva rezanje blokova arhitektonsko-građevnog kamena na način da plohe rezanja budu paralelne plohama slojevitosti. Naime, arhitektonski elementi moraju se obrađivati i ugrađivati prema strogim pravilima u odnosu na položaj slojevitosti. Npr. kada se izrađuje stepenica ona mora biti izrezana tako da njezina dugačka ploha bude paralelna sa slojnim plohama ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u kojem je izvađen blok iz kojeg se izrezala spomenuta stepenica. Tako izrađena stepenica može izdržati puno veće naprezanja na tlak, udar i savijanje u odnosu da je ista izrezana okomito na slojevitost. Navedeni princip vrijedi i za



druge arhitektonske elemente kao npr. stolne plohe, konzole, okvire vrata i prozore može se reći i u znatno većoj mjeri. Nadalje, ukoliko bi se ploče prirodnog kamena pilile okomito na slojevitost olakšao bi se prodor kapilarne vlage i raznih agenasa u strukturu kamena čime bi se ubrzalo oštećenje i propadanje kamena što neminovno skraćuje njegovu trajnost (životni vijek). Prilagodba slojevitosti radi pravilne ugradnje podrazumjeva i prilagodbu radi dekorativnosti konačnog arhitektonskog elementa Naime, osim prirodnih činitelja dekorativnosti arhitektonsko-građevnog kamena na dekorativnost kamena posebno utječe kut piljenja u odnosu na teksturu kamena.

b) Prilagodba slojevitosti poradi boljeg iskorištenja ležišta podrazumjeva otvaranje i formiranje produktivne etaže na način da baze blokova koje se dobijaju ostanu paralelne sa slojevitošću. To se podrazumjeva u ležištima s horizontalnim i subhorizontalnim položajem slojeva. Međutim, u ležištima kod kojih su slojevi pod nagibom situacija je znatno drugačija. Naime, suvremeni način eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena podrazumjeva horizontalne radne površine i vertikalna piljenja na čelu etaže. Ovo je s aspekta sigurnosti najsigurnije način dobivanja blokova kamena na etaži (odvaljivanje, utovar, transport...), međutim ovakav način formiranja i razvoja kamenoloma u ležištima kod kojih su slojevi pod nagibom neminovno dovodi do gubitka sirovine, a najčešće i do smanjenja dekorativnosti finalnih arhitektonskih elementata.

Prilagodba neujednačenosti stijenske mase

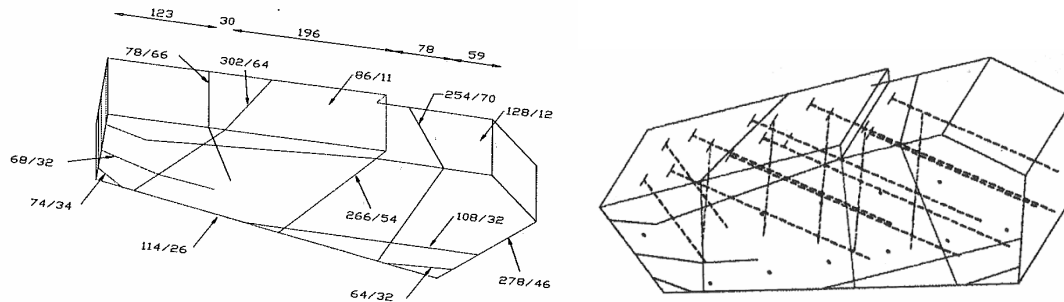
Stijenska masa može biti neujednačena u smislu neujednačenog izgleda ili neujednačene kakvoće. U oba slučaja neujednačenost utječe na metodu dobivanja i troškove eksploatacije. Mora se odabrati takva metoda eksploatacije koja osigurava dobivanje blokova arhitektonsko-građevnog kamena istog ili sličnog izgleda i istih ili sličnih drugih fizičko-mehaničkih karakteristika. Najčešće se kamen otkopava po slojevima.

Naprijed prikazanim radovima prikazuje se neophodnost prilagodbe prirodnim diskontinuitetima ukoliko želimo „izvući“ maksimalno mogući broj komercijalnih blokova na nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Ovi radovi dokazuju da je iskorištenje ležišta ograničeno upravo prirodnim uvjetima u tom ležištu. Daljnje poboljšanje iskorištenja može se postići jedino metodološkim, vanjskim djelovanjem na stijenu u ležišnim uvjetima.

3.2. Primjena novih tehnologija na intaktni stijenski masiv

Primjena novih tehnologija na intaktni stijenski masiv u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena relativno je nepoznata u stručnoj literaturi i rudarskoj praksi.

Bilježimo pokušaj na jednom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena u Italiji. U suradnji između Sveučilišta u Sieni i talijanskog Geotehničkog fakulteta u Milanu pokušalo se konsolidirati ležište mramora tipa "Giallo Siena" u blizini Siene na kamenolomu tvrtke Granital - Siena (Cavone Pelli, Sovicille). Primjenjena je metodologija "šivanja" većih kamenih blokova različitim materijalima (durglass, cementni mort i sl.), Slika 1.



Slika 1. Shematski prikaz metodologije "šivanja blokova"

Iz slike 1 je razvidno da su izrađene bušotine koje su presjekar diskontinuitete u ležištu. U bušotine je utisnut durglass i cementni mort i na taj su način injektirane bušotine preuzele ulogu sidara koji povezuju (okrupnjavaju) blokove kamena. Nema podataka da je opisna tehnologija našla širu primjenu.

4. OSJETLJIVOST EKSPLOATACIJE ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA OVISNO O KOEFICIJENTU ISKORIŠTENJA

Iznos koeficijenta iskorištenja ležišta ima presudan utjecaj na ekonomičnosti isplativost investicije i poslovanje gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena na predmetnom ležištu.

4.1. Ekonomičnost poslovanja ovisno o koeficijentu iskorištenja

Ekonomičnost se definira kao pokazatelj ekonomskog (gospodarskog) učinka poslovanja, a temelji se najčešće na podacima računa dobiti i gubitaka. Najčešće rabljena formula je:

$$E = \frac{UP}{UT} \quad [2]$$

gdje su:

- *UP*-ukupan prihod (kn)
- *UT*- ukupni troškovi (kn)

pri čemu dobiveni rezultat ukazuje:

$E > 1$ – ekonomično poslovanje

$E = 1$ – poslovanje na granici ekonomičnosti

$E < 1$ – poslovanje nije ekonomično



4.2. Određivanje praga ekonomičnosti pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena

Određivanje praga ekonomičnosti poslovanja gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamenatemeleji se naciieni koštanja odrezanog brutto obujma stjenske mase i prosječnoj prodajnoj cijeni 1 m³ bloka svih kategorija koja se dobije iz odrezanog bruto obujma.

Da bi se odredio prag ekonomičnosti, prvo se mora izračunati najmanja količina komercijalnih blokova koji se trebaju (moraju) dobiti iz zadanog ukupnog obujma stijenske mase prodajom kojih po tržišnoj cijeni gospodarski subjekt neće poslovati s gubitkom. Drugim rječima treba izračunati minimalnu količinu blokova čiji će troškovi eksploatacije biti jednaki prihodu koji će se uprihodovati njihovom prodajom.

Slijedom iskazanog postavljamo sljedeću relaciju:

$$Q_{min} = \frac{T_p}{V_t} \quad [3]$$

gdje su:

- Q_{min} - minimalna količina blokova koja se treba dobiti iz ukupnog obujma da bi poslovanje bilo ekonomično (m³)
- T_p - troškovi eksploatacije ukupnog obujma (kn/m³)
- V_t - prosječna prodajna 1 m³ cijena bloka (kn/m³)

Postavljanjem odnosa između minimalne količina blokova koja se treba dobiti iz ukupnog obujma da bi poslovanje bilo ekonomično (Q_{min}) i ukupnog obujma (Q_{uk}) iz kojega se dobila ta minimalna količina blokova daje nam granični koeficijent iskorištenja kod kojeg će se poslovati na granici ekonomičnosti.

$$k_{igr} = \frac{Q_{min}}{Q_{uk}} \quad [4]$$

gdje su:

- k_{igr} - granični koeficijent iskorištenja
- Q_{uk} - ukupno odrezani obujam (m³)

Budući se eksploatacijski gubici mogu egzaktno izračunati (8% - 10%) granični popravni koeficijent kod kojeg će gospodarski subjekt poslovati na granici rentabilnosti računa se po obrascu:

$$k_{pgr} = \frac{Q_{min} \times \left(\frac{100}{100 - E_g} \right)}{Q_{uk}} \quad [5]$$

gdje su:

- k_{pgr} - granični popravni koeficijent
- E_g - eksploatacijski gubici (%)



5. MOGUĆNOST PRIMJENE NOVIH METODA ZA POBOLJŠANJE ISKORIŠTENIJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA

5.1. Teorijske postavke

Već je ranije rečeno da su se sva dosadašnja istraživanja za poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena uglavnom temeljila na maksimalno mogućem upoznavanju ležišta i prilagodbi njegovom strukturno-tektonskom sklopu sa svim primarnim i sekundarnim diskontinuitetima. Podrazumjeva se da će rudarski inženjer maksimalno prilagoditi otvaranje i razvoj rudarskih radova prirodnim uvjetima koji vladaju u ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Međutim i kod najboljeg mogućeg odabira otvaranja i razvoja rudarskih radova iskorištenje stijenske mase u nekom ležištu limitirano je upravo prirodnim uvjetima koji vladaju u tome ležištu. Jedini način daljnjeg poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena je ljudskim djelovanjem, tj. primjenom suvremenih tehnologija na intaktni stijenski masiv.

Primjena novih tehnologija na intaktni stijenski masiv u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena relativno je nepoznata u stručnoj literaturi i rudarskoj praksi.

Ovdje valja razlučiti primjenu novih tehnologija koje se primjenjuju na već formirane blokove arhitektonsko-građevnog kamena kojima se poboljšavaju preradbeni kriteriji komercijalnih blokova. Kameni blokovi se stavljaju u peći gdje su izloženi visokim temperaturama radi oslobađanja vlage koja je sadržane u njima, a nakon toga premazuju s raznim sredstvima (epoksilne smole). Ovom tehnologijom eliminiraju se najfiniji diskontinuiteti (pukotine, prsline...) manje ili veće dužine, čime se postiže veća vrijednost formiranog komercijalnog bloka, budući se na taj način osigurava dobivanje ploča većih dimenzija. Radi se zapravo o tome da se poboljša unutarnja cjelovitost odnosno zdravoća već formiranih komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena. U nekonvencionalnim razgovorima ova tehnologija naziva se i tzv. "liječenje blokova". Liječenje već formiranih komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena nije predmet ovoga rada.

Je li moguće poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena ljudskim djelovanjem (intervencijom) na intaktni stijenski masiv uz primjenu novih tehnologija? Pitanje je raspoloživosti tehnike, sredstava i isplativosti odnosno ekonomičnosti postupka. Naime, ukoliko se poslužimo čistom analogijom postavlja se sljedeće pitanje: Ako je moguće liječiti blok dimenzija 2,7m x 1,5m x 1,0m zašto ne bi bilo moguće liječiti blok dimenzija 12m x 3m x 6m ili većim ?

Ako imamo odgovarajuće sredstvo, takvih svojstva da ispuni pukotine i zaljepi neutržive komade kamena, te tehničku mogućnost da utisnemo navedeno sredstvo u intaktnu stijensku masu na otvorenoj etaži (primarni banak) možemo dobiti fetu iz koje će se formirati komercijalni blokovi arhitektonsko-građevnog kamena i uz uvjet da navedeno sredstvo (ispuna) nema značajke arhitektonsko-građevnog kamena (čvrstoću, izgled...).

Naime, ukoliko uspijemo dobiti "slijepljeni" blok arhitektonsko-građevnog kamena dimenzija npr. 2,7m x 1,5m x 1,0m, u daljnjoj preradi (raspilavanju) moguće je izolirati pukotine ispunjene sredstvom (ispunom) i tako dobiti komercijalne ploče od čiste matične stijene.



5.2. Funkcionalni zahtjevi materijala i opreme

Da bi poboljšali iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena ljudskim djelovanjem (intervencijom) na intaktni stijenski masiv moraju biti ispunjeni određeni uvjeti.

Usprkos činjenici da je raspilavanjem moguće izolirati ispunjene pukotine primjenjeno sredstvo (ispuna) ili bolje rečeno spoj (ispuna + površina kamena) mora zadovoljiti određene kriterije u smislu fizičko-mehaničkih značajki kako bi se uopće dobile fete iz kojih će se moći formirati komercijalni blokovi arhitektonsko-građevnog kamena. Tu se prije svega misli na tlačnu čvrstoću, vlačnu čvrstoću, toplinsku dilataciju, otpornost na udar.

Zahtjevi koje mora ispunjavati sredstvo za konsolidaciju stijenske mase:

- što niži viskozitet;
- što veća sposobnost penetracije u stijensku masu;
- kontrolirano vrijeme djelovanja;
- dobro prijanjanje na vlažne površine;
- postizanje što veće vlačne čvrstoće ljepljenih dijelova stijene;
- siguran za ljude i okoliš;
- lako primjenjiv u in situ uvjetima;
- ekonomski povoljan (isplativ);

Zahtjevi koje mora ispunjavati oprema za utiskivanje:

- postizanje visokog tlaka za utiskivanja;
- lako primjenjiva u in situ uvjetima;
- sigurna za ljude i okoliš;
- ekonomski povoljna (isplativa);

6. OKRUPNJAVANJE NEUTRŽIVIH BLOKOVA ARHITEKTONSKO- GRAĐEVNOG KAMENA

Postupak (pokusi) utiskivanja vezivne smole direktno na etažama arhitektonsko-građevnog kamena s ciljem konsolidacije raspucane stijenske mase u ležišnim uvjetima je prilično skup pokus te je prethodno provedena proba lijepljenja blokova kako bi se uvjerali u efikasnost lijepljenja kamena i ispravnost odluke o probi na etaži.

Postupak okrupnjavanja neutrživih blokova arhitektonsko-građevnog kamena izveden je s ciljem da se izravno na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena zalijepe dva potpuno odvojena bloka arhitektonsko-građevnog kamena, te da se na zalijepljenom bloku naprave tehnološke probe piljenja, čime bi se ispitala otpornost spoja (ispuna+kamen) na dinamička opterećenja, koja blok arhitektonsko-građevnog kamena mora podnijeti u procesu tehnološke prerade.

Kronološki, postupak se izvodio kako slijedi:

- na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena odabrana su dva potpuno odvojena bloka;
- jedan blok premazan je vezivnom smolom;
- na premazanu površinu spušten je drugi blok i ostavljen 30 minuta, kako bi smola ostvarila učinak okrupnjavanja bloka;
- napravljena je tehnološka proba piljenja okrupljenog bloka na jednolisnoj pili;
- napravljena je tehnološka proba piljenja otpilanog bloka na stroju za rezanje na kamene kvadre zadanog formata u kamenoklesarskoj radionici;

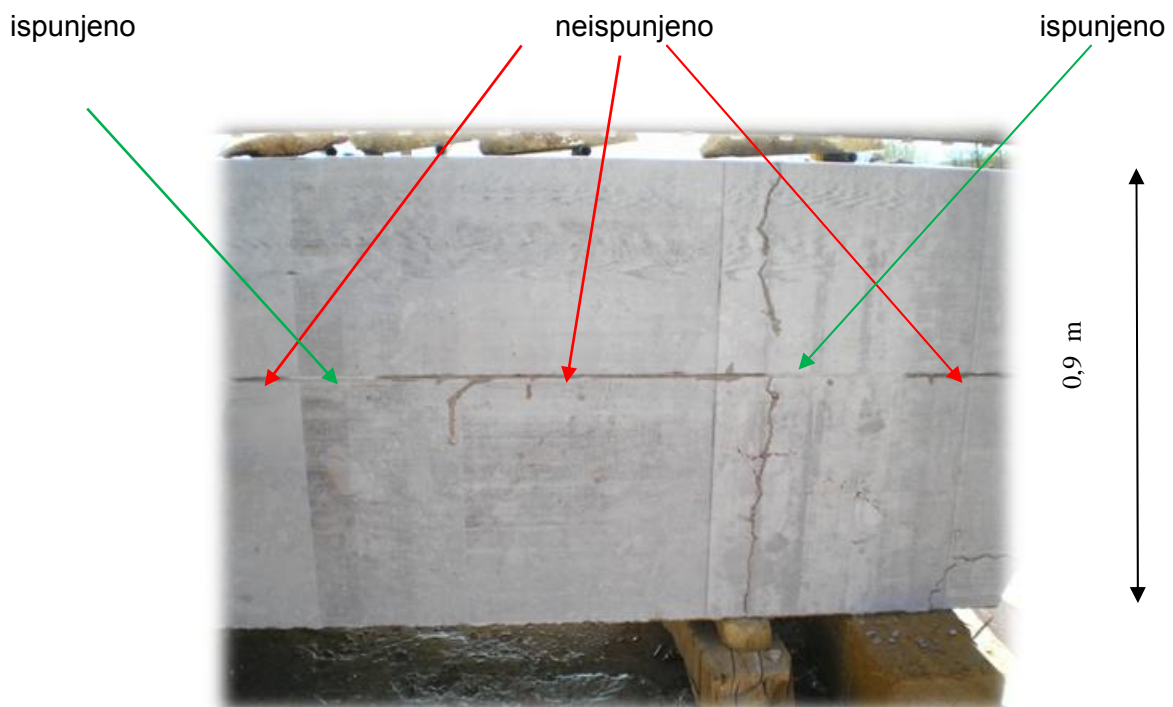
-na formatiranim kvadrima obavljena su ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki zalijepljenog spoja.

6.1. Tijek postupka okrupnjavanja

Vezivna smola je u tankom sloju nanešena na jednu od stranica fete oznake F10/11-C1 na koju je bagerom nanešena udruuga feta oznake F11/11-C1 (slika 2). Ostavljeno je da djeluje 30 minuta.



Slika 2. Nanošenje jedan fešte na drugu preko tankog sloja vezivne smole



Slika 3. Spoj između feta djelomično ispunjen vezivnom smolom



6.2. Rezultati probe okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena

Iz kvadra od čistog kamena izbušeni su valjci promjera 52,4 mm i visine približno 140 mm. Jedan uzorak oznake DB-001-002 pripremljen za ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava prikazan je na slici 4.



Slika 4. Uzorak oznake DB-001-002 pripremljen za ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Za ispitivanje vlačne čvrstoće izrezani su uzorci promjera 63,0 mm i debljine približno 32 mm koje je približno po sredini presjecala pukotina koju smo ispunili vezivnom smolom (slika 5.). Uzorci istih dimenzija od čistog kamena također su ispitani na vlačnu čvrstoću radi usporedbe dobivenih rezultata.



Slika 5. Uzorak zalijepljenog kamena oznake 11-006-025 nakon ispitivanja vlačne čvrstoće



Tablica 1. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzorkovanog kamena

Oznaka uzorka	Visina (mm)	Promjer (mm)	Gustoća (kg/m ³)	Sadržaj vode (%)	St. Satur. (%)	Poroznost (%)	Brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova (m/s)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)	Youngov modul elastičnosti (GPa)
DB-001-001	139,6	54,2	2698	0,1	33	0,4	6204	163,01	70,927
DB-001-002	146,3	54,2	2698	0,1	33	0,4	6223	148,87	77,221
DB-001-003	142,2	54,2	2692	0,1	33	0,4	6290	164,68	77,491
DB-001-004	141,3	54,2	2687	0,1	29	0,4	6225	144,92	65,089
DB-001-005	148,1	54,2	2688	0,1	29	0,4	6197	114,46	59,921

Tablica 2. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava vezivne smole

Oznaka uzorka	Visina (mm)	Promjer (mm)	Gustoća (kg/m ³)	Sadržaj vode (%)	St. Satur. (%)	Poroznost (%)	Brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova (m/s)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)	Youngov modul elastičnosti (GPa)
11-006-001	148,7	54,1	1295	0,8	51	2	2062	42,13	0,358
11-006-002	149,9	54,1	1293	0,8	51	2	2056	38,19	0,356
11-006-003	148,3	54,1	1295	0,8	51	2	2062	38,19	0,398
11-006-004	149,0	54,1	1298	0,8	51	2	2054	37,71	0,352
11-006-005	150,8	54,2	1296	0,8	51	2	2034	38,47	0,374

Tablica 3. Ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka s pukotinom u koji je injektirana vezivna smola

Oznaka uzorka	Promjer (mm)	Debljina (mm)	Masa (g)	Slabost (kN)	Vlačna čvrstoća (MPa)
11-006-23	63,0	32,6	270,0	13,0	4,026
11-006-24	63,0	29,6	244,0	13,5	4,604
11-006-25	63,0	31,3	258,0	1,3	0,419

Tablica 4. Ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka "čistog" kamena

Oznaka uzorka	Promjer (mm)	Debljina (mm)	Masa (g)	Slabost (kN)	Vlačna čvrstoća (MPa)
11-006-26	63,0	31,6	265,0	15,1	4,824
11-006-27	63,0	31,9	269,0	20,1	6,361
11-006-28	63,0	32,3	272,0	26,8	8,376



6.3. Diskusija u svezi dobivenih rezultata *in situ* probe okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena

In situ proba okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena pokazala je sljedeće:

- provedena ispitivanja pokazala su da se primjenom nove tehnologije dobije zalijepljeni blok arhitektonsko-građevnog kamena koji je takovih svojstva da može podnijeti dinamička opterećenja koja nastaju u procesu eksploatacije i prerade blokova arhitektonsko-građevnog kamena;
- rezultati dobiveni u Geomehničkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, na uzorcima kamena koji su bili zalijepljeni vezivnom smolom (vlačna čvrstoća na jednom uzorku 4,026 MPa, na drugom 4,604 MPa) ocjenjeni su pozitivnim u smislu daljnjih ispitivanja, budući vlačne čvrstoće zalijepljenih uzorak iznose preko 70% vlačne čvrstoće intaktnog uzorka;
- rezultati probe ukazuju na realnu mogućnost poboljšanja iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenom novih tehnologija;
- treba iznaći najbolji način primjene testirane tehnologije na stijenski masiv u ležišnim uvjetima.

7. POVEZIVANJE RASPUCANIH STIJENA U LEŽIŠNIM UVJETIMA

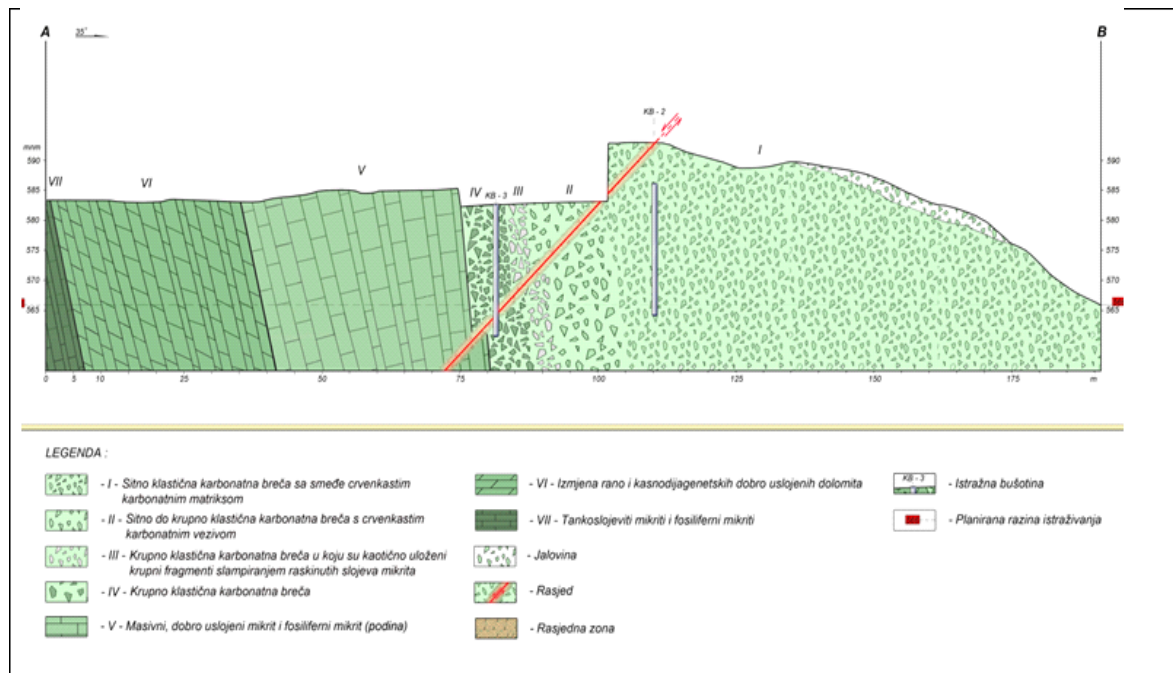
In situ proba okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena, lijepljenjem odrezanih komada stijene pokazala je opravdanost daljnjih istraživanja te se pristupilo probi povezivanja raspucalih stijena u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivnih smola.

Pod pojmom stijenska masa u ležišnim uvjetima u ovom radu podrazumjeva se cjelina sastavljena od intaktne stijene i diskontinuiteta kojima je ona ispresijecana. Zbog toga je za određivanje značajki stijenske mase u ležišnim uvjetima, osim iznesenih svojstava intaktne stijene, vrlo važno odrediti značajke diskontinuiteta.

Proba povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivnih smola izvedena je na površinskom kopu "Tvrdi ljut" u Ljubotićima kod Širokog Brijega. Na slici 6 je prikazan litološki presjek lokacije utiskivanja, a na slici 7 fotografski prikaz stanja čela radne etaže prije izvođenja pokusa.

Za razumijevanje inženjerskogeoloških značajki bilo kojeg terena u čvrstim stijenama vrlo je bitno odrediti značajke intaktne stijene, koje zajedno sa značajkama diskontinuiteta određuju inženjersko-geološke značajke stijenske mase. U inženjerskoj geologiji se intaktnom stijenom smatra dio stijenske mase koji se nalazi između diskontinuiteta (Hoek, 1994.). Prema toj definiciji, fragmenti intaktne stijene mogu biti milimetarskih, pa do metarskih dimenzija.

Sa sigurnošću se može reći da stijenska masa u ležišnim uvjetima više ovisi o diskontinuitetima koji se nalaze u istoj stijenskoj masi nego o fizičkim značajkama same intaktne stijene. Stijenska masa je obično heterogenija i anizotropnija od intaktne stijene. Stijenska masa je diskontinuirani agregat blokova, ploča ili nepravilnih geometrijskih tijela. Zapravo, najvažnija značajka stijenske mase u ležišnim uvjetima u sedimentnim stijenama su diskontinuiteti (fizički prekidi u stijeni) odnosno plohe slojevitosti, pukotine i rasjedi.



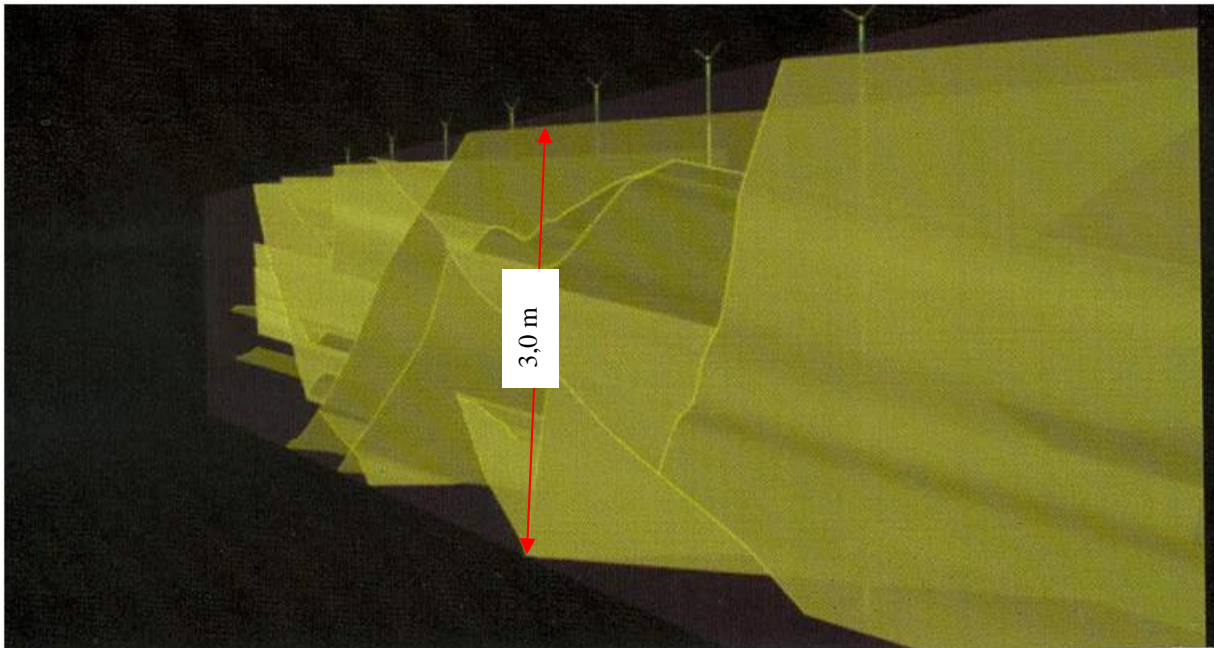
Slika 6. Detaljni litološki presjek A-B (preuzeto iz Elaborata o rezervama, *Dragičević et al*, 2009.).



Slika 7. Fotografski prikaz stanja čela radne etaže prije izvođenja pokusa

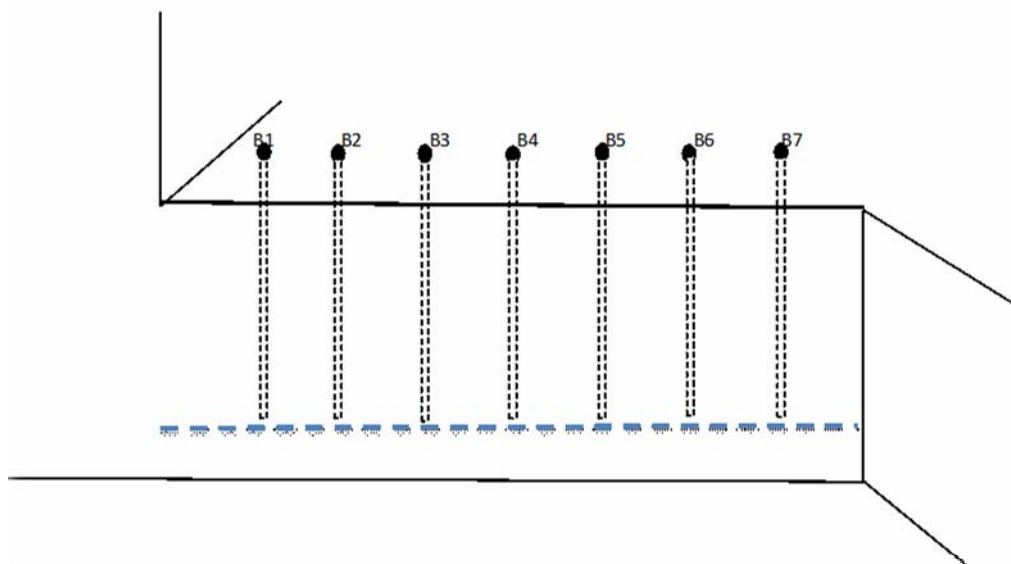
Obzirom da su diskontinuiteti vrlo bitni u određivanju inženjersko-geoloških čimbenika stijenske mase njihova su svojstva na ispitnom modelu podrobno istražena.

S ciljem što uspješnijeg utiskivanja vezivne smole, na računalu je izrađen 3D model položaja svih diskontinuiteta na radnom čelu (slika 8). Na računalu je simulirano i utiskivanje vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima.



Slika 8. Računalno izrađen 3D model diskontinuiteta radne etaže

Utisne bušotine izbušene su prema planu bušenja prikazanom na skici (slika 9). Ukupno je izvedeno sedam bušotina prosječne dubine 3,0 m i promjera $\varnothing 34$ mm. Kako su utisne bušotine izrađene mjesec dana prije probe utiskivanja, prethodno je provjereno njihovo stanje, prohodnost i dubina bušenja. Ustanovljeno je da su bušotine izvedene do potrebne razine, međutim većinom su ispunjene vodom i određenom količinom zemljanog taloga.



Slika 9. Shema bušenja utisnih bušotina



7.1. Tijek postupka utiskivanja

Tehnički postupak kojim su se posebne vezivne smjese posredstvom bušotina u koji su usidreni pakeri injektirale u raspucalu stjensku masu u ležišnim uvjetima s ciljem konsolidacije stijenske mase i poboljšanja mehaničkih svojstva stijene prikazano je na sljedećim slikama. Maksimalni tlak utiskivanja nije prelazio 3 MPa, a određen je osnovom najmanje vlačne čvrstoće intaktnog uzorka (4,824 MPa).



Slika 10. Utiskivanje vezivne smole u utisnu bušotinu

Prilikom utiskivanja vezivne smole u diskontinuitete u intaktnu stijensku masu kroz pukotinske sustave prvo je istiskivana voda, glina i mulj koji su prije utiskivanja ispunjavali diskontinuitete u ležišnim uvjetima. Nakon toga kroz pukotinske sustave je na radno čelo probila vezivna smola.

Uspješnije ljepljenje frakturirane stijene u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivne smole u diskontinuitete u stjennoj masi postiglo bi se kada bi predhodno očistili diskontinuitete od mulja, gline, zemlje crvenice i tankog filma kojim su presvučene plohe diskontinuiteta. Pročišćavanje diskontinuiteta u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima obavljalo bi se vodom koja bi se utiskivala u pukotinske sustave pod visokim tlakom i tako ispirala pukotine. Nakon čišćenja vodom, diskontinuiteti se mogu sušiti i "ispuhati" uz pomoć komprimiranog zraka.





Slika 11. Izgled čela etaže nakon utiskivanja u bušotine

7.2. Rezultati probe povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivnih smola

Dinamika odvijanja tehnološkog procesa eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, na površinskom kopu "Tvrdra ljut", uvjetovala je otkopavanje na dijelu na kojem je obavljeno probno utiskivanje vezivnih smola približno 130 dana nakon utiskivanja.

Probno polje je prije otkopavanja podijeljeno na tri dijela. Rezultati probe povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivnih smola u stjensku masu u ležišnim uvjetima ocjenjeni su kao uspješni, djelimično uspješni i neuspješni.

Analiza uspješne konsolidacije

U južnog dijelu probnog polja dobiven je pozitivan rezultat. Tretirana stijenska masa koja je u ležišnim uvjetima bila razdvojena kosom, odnosno dijagonalnom pukotinom je konsolidirana (slika 12). Može se konstatirati da bi se blok zasigurno odvojio po pukotinskoj plohi, da se nije tretirao smjesama za lijepljenje. Stoga se ovdje može uvesti pojam tretirane kompaktnosti stijene, dakle stijene koja je intaktno spojena određenim tretmanom, tj. ljepilom (smolom).

Dobiveni je blok obujma približno $8,25 \text{ m}^3$, dimenzija oko $3,0 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}$.



a) Pozicija tretirane stijenske mase

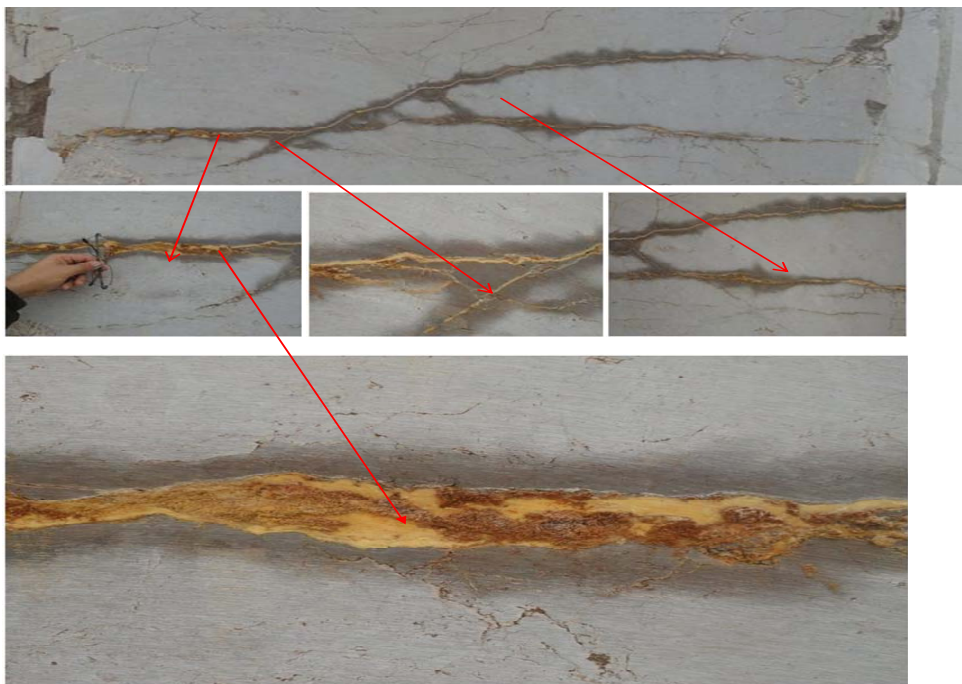
b) Odrezani tretirani blok

Slika 12. Prikaz pozicije rezanja i izgled dobivenog tretiranog bloka



Dobiveni tretirani blok bio je razdvojen kosom, dijagonalnom pukotinom i više manjih pukotina kroz koje je penetrirala smjesa za lijepljenje i u potpunosti povezala dva komada stijene. Prikazani blok arhitektonsko građevnog kamena obujma $8,25 \text{ m}^3$ pokazuje da se u stijenski masiv u ležišnim uvjetima uz današnji stupanj razvoja tehnologije i današnji stupanj razvoja različitih smjesa za lijepljenje, može utisnuti ljepilo s ciljem konsolidacije, odnosno povezivanja komada stijene koji bi se inače bez tretiranja razdvojili.

Pravi učinak penetracije i prijamljivosti smjese i stijene može se vidjeti na uvećanim pozicijama (slika 13.). Uočava se snažan prodor smjese za lijepljenje i potpuno saturiranje praznog ili čak djelomično, crvenicom zapunjenog pukotinskog prostora. To se vjerojatno dogodilo kao posljedica utiskivanja smjese za lijepljenje pod visokim tlakom te rezultat nije izostao.



Slika 13. Prikaz zapunjenih pukotina

Na slikama je razvidno da je zijev diskontinuiteta u koje je penetrirala vezivna smola različit i kreće se u rasponu od 1 mm do 25 mm. Ovaj prikaz u potpunosti potvrđuje tezu da je primjenom novih tehnologija na stijenski masiv u ležišnim uvjetima moguće povećati iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena. Naime, bez primjene naprijed opisane tehnologije blok obujma od $8,25 \text{ m}^3$, (dimenzije 3,0 m x 2,5 m x 1,1 m) bio bi hrpa komada kamena nepravilnog oblika bez komercijalne vrijednosti.

Analiza djelimično uspješne konsolidacije

Pored netom prikazanih, smjesom za lijepljenje, potpuno zapunjenih diskontinuiteta tijekom industrijske probe rezanja blokova, naišlo se i na dijelove stijenske mase koja nije tako uspješno konsolidirana, odnosno na diskontinuitete koji nisu tako uspješno saturirani.



Evidentno je da usitnjeni dijelovi stijene (prah), a napose zapunjene pukotine zemljom crvenicom, stvaraju određen otpor prodiranju ljepljive smjese. Stoga na mjestima gdje plohe mijenjaju smjer a i zijev dolazi do pada tlaka te efekt ljepljenja bitno opada. To se vidi i na lističavoj strukturi u pukotinama gdje je vjerojatno došlo do bečenja, ali ne i do sabijanja ljepila (slika 14.). Slika jasno pokazuje da je kroz diskontinuitete penetrirala vezivna smola međutim ne u dovoljnim količinama da bi uspješno, odnosno dovoljno čvrsto zalijepila dva razdvojena komada stijene, a poradi naprijed opisanih razloga (ispunjenost diskontinuiteta zemljom crvenicom, pada tlaka usljed proširenja zijeva diskontinuiteta...).



Slika 14. Prikaz nezapunjenih pukotina, s lističavim ljepilom

Ako analiziramo djelomično uspješnu konsolidaciju, neminovno se postavlja pitanje da li je djelimično uspješna konsolidacija mogla biti potpuno uspješna. Ukoliko bi se otklonio glavni uzrok nepotpune konsolidacije, a to je ispunjenost diskontinuiteta usitnjenim dijelovima stijene (prah) i zemljom crvenicom nedvojbeno je da bi lijepljenje bilo uspješnije. To bi se moglo postići ispiranjem diskontinuiteta vodom ili zrakom pod visokim takom, a što je ranije u tekstu opisano.

Analiza neuspjele konsolidacije

Kako je naprijed prikazano, prilikom industrijskih proba rezanja blokova, neki dijelovi etaže bili su potpuno konsolidirani smjesom za lijepljenje, neki dijelovi etaže konsolidirani su djelomično uspješno (nepotpuno zapunjeni diskontinuiteti). Međutim tijekom industrijske probe rezanja blokova, naišlo se i na dijelove stijenske mase koja nije uopće konsolidirana, tj. nije se uspjelo povezati raspucane stijene odnosno naišlo se na dijelove etaže na kojoj utiskivanje vezivne smole nije imalo nikakav utjecaj.

To se zbilo na mjestima koja su se nalazila podalje od ušća penetracijske cijevi, a na kojima je došlo do promjene oblika (proširenja) diskontinuiteta i pojave primjesa ustinjenog materijala i zemlje crvenice. Naime, u diskontinuitete u stijenskom masivu u ležišnim uvjetima je penetrirala vezivna smola, međutim nije ostvaren dovoljno čvrst spoj između komada stijena koji bi mogao izdržati dinamička opterećenja koja se javljaju u postupku eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena.

Tvrđnje koje se navode kao razlog neuspješne ili djelomično uspješne konsolidacije zasigurno treba provjeriti u budućnosti jer će o njima umnogome ovisiti primjenjivost smjesa u stijenskom masivu u ležišnim uvjetima. No, može se sa sigurnošću navesti da će penetracija jako ovisiti o viskoznosti ljepila.



8. ZAKLJUČAK

Temeljni poticaj za nastanak ovog rada je ideja da se sustavnim istraživanjima egzaktno utvrdi mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenom suvremenih tehničko-tehnoloških dostignuća. Tijekom rada došlo se do značajnih spoznaja glede primjene metode okrupnjavanja blokova ili povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

U radu je analizirana ekonomska opravdanost eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na nekom ležištu ovisno o koeficijentu iskorištenja toga ležišta, a koji objedinjuje popravnikoeficijent i eksploatacijske gubitke. Navedena analiza pokazala je vrlo visoku osjetljivost rudarskog zahvata eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena obzirom na iznos koeficijenta iskorištenja.

In situ proba okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon ekstrakcije iz ležišta, koja je obavljena izravno na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena pokazala je da se s vezivnom smolom mogu uspješno zalijepiti dva potpuno odvojena bloka arhitektonsko-građevnog kamena.

Usljedila je vrlo složena i zahtjevna in situ proba utiskivanja vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima. Izrađen je inženjersko-geološki model dijela ležišta na kojem se izvodila in-situ proba utiskivanja vezivnih smola u stijenu u ležišnim uvjetima i 3D model položaja svih diskontinuiteta na ispitnom modelu s ciljem što uspješnijeg utiskivanja. Definirana je geološka građa ležišta, geneza, tektonika ležišta i značajke intaktne stijene, koje zajedno sa značajkama diskontinuiteta određuju stijensku masu u ležišnim uvjetima.

Rezultati probe utiskivanja vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta ogledaju se prvenstveno preko proba rezanja homogenizirane stijenske mase, a potom i preko rezultata laboratorijskih ispitivanja na uzorku izrezanom iz bloka dobivenog utiskivanjem smole u stijensku masu u ležišnim uvjetima. Laboratorijska ispitivanja na uzorku izrezanom iz bloka dobivenog utiskivanjem smole u ovom radu, poradi ograničenosti prostora, nisu prikazana.

Tehnologija otkopa okrupnjenih blokova homogenizirane stijenske mase izvodila se potpuno identično tehnološkom rješenju dobivanja osnovnih blokova na otvorenoj etaži, na kojem nije bilo vanjske intervencije, kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile kao najsuvremenijem i najracionalnijem načinu dobivanja osnovnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena.

Obavljena istraživanja potvrdila su mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena i mogućnost okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon ekstrakcije iz ležišta.



LITERATURA

1. Asmhole, I., Moutloun, M. (2008.): The latest trends in exploration and production technology, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
2. Bieniawski, Z. T. (1989.): Engineering rock mass classifications. John Wiley & Sons, New York.
3. Carmignani, L. Conti P., Fuoco S., Martineili L., Segato D. (2000.): Il consolidamento del marmo giallo di Siena: l'esperienza del primo campo prova nella cava della granital-siena S.R.L. Convegno su le cave di pietre ornamentali, 99-105, Siena.
4. Carvalho, J.F., Henriques, P., Falé, P., Luís G. (2008.): Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits
5. Galić, I. D. Vidić & Ž. Jembrich (2011.): Utjecaj koeficijenta iskorištenja ležišta na rentabilnost proizvodnje arhitektonsko-građevnog kamena i mogućnosti poboljšanja. Rudarsko-geološki glasnik, 15, 117-130, Mostar.
6. Hoek, E. (1994.): Strength of rock and rock masses. ISRM News journal, International society for rock mechanics, Lisbon.
7. Knut, F. G. (2007.): Pre-Excavation Gouting in Rock Tunneling, Zurich, Switzerland.
8. Mojićević, M. & Laušević, M. (1966.): Osnovna geološka karta i tumač geološke karte list Mostar, Savezni geološki savez, Beograd.
9. Mutlutürk, M. (2007.): Determining the amount of marketable blocks of dimensional stone before actual extraction, Journal of mining science, 43, 67-72, Springerlink.
10. Tomašić, I. (1994.): The influence of discontinuity fabric and other factors on optimum exploitation of dimension stone. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 6, 101-105, Zagreb.
11. Tomašić, I. (1989.): Grafička metoda analize najpovoljnijeg položaja otkopne fonte u odnosu na tektonski sklop i stabilnost stijenske mase. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 1, 77-87, Zagreb.
12. Vidić, D., Galić, I., B. Farkaš (2012.): The profitability of dimension stone deposit exploitation in relation to the coefficient of utilization, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 25, 123-130, Zagreb.

Udžbenici

13. Čerić V. (1993.): Simulacijsko modeliranje. Školska knjiga, Zagreb.
14. Dunda, S. Kujundžić T., Globan M., Matošin V. (2003.): Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena, Digitalni udžbenik, Zagreb.
15. Grabowski, K. (1989.): Ekonomika rudarskih poduzeća u Jugoslaviji, Zagreb.
16. Kraut, B. (1988.): Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb.