



Ivan Tomašić

Zagreb

ISKORISTIVOST STIJENSKE MASE I MOGUĆI POTENCIJALI REZERVI PRIRODNOG KAMENA PREMA LASKYJEVU ZAKONU

UDK: 622.35:622.271.2

Rukopis primljen za tisak 16. 11. 2011.

Klesarstvo i graditeljstvo, Pučišća, 2011. br. 3-4

Izvorni znanstveni članak

Original scientific paper

Eksploatacijom i preradom malih blokova i tombolona povećavaju se raspoložive rezerve. Kamen se na taj način racionalnije koristi, a rezerve se povećavaju s obzirom da se i iskorištenje ležišta-kamenoloma znatno povećava. Takav pristup omogućuje da se u ležištima prirodnog kamena primjeni Laskyjeve zakon. Temeljem tog zakona, možemo ustvrditi: ako se u ležištu veličina blokova smanjuje aritmetički, rezerve rastu geometrijski, odnosno eksponencijalno. Na prikazanim primjerima analizirana je iskoristivost stijenske mase kod primjene dviju različitih tehnologija eksploatacije. Osim što se eksploatacijom različitih veličina blokova postigne velika iskoristivost stijenske mase, eksploatacijom agregata i punila iskoristivost se još više povećava. Potrebno je posebno naglasiti postojanje graničnog područja, kada je, s obzirom na položaj i gustoću diskontinuiteta, potrebno donijeti odluku o primjeni I. ili II. varijante eksploatacije (izrada vertikalnih i horizontalnih rezova ili pak odvajanje blokova uzduž prirodnih diskontinuiteta ili pomoću kosih rezova). Primjer je analiziran i prikazan kao dvodimenzionalni problem.

UVOD

Nekoliko je važnih čimbenika posljednjih desetaka godina bitno utjecalo na razvoj eksploatacije i prerade prirodnog kamena. Bili su presudni u određivanju broja aktivnih kamenoloma, veličinu komercijalnih blokova i broj varijeteta prirodnog kamena koji se koristio na tržištu. Do 1964. godine broj kamenoloma u Hrvatskoj stalno je rastao, da bi tada, nakon ekonomske krize, došlo do njegova znatnog smanjenja. Nakon tog razdoblja, broj se njihov samo povremeno povećavao. Veličina komercijalnih blokova, cijena radne snage i općenito porast troškova eksploatacije bili su glavni razlozi prestanku rada mnogih kamenoloma. Stoga su gotovi svi kamenolomi, u kojima su nekad eksploatirani mali blokovi i tomboloni, zatvoreni i napušteni zbog nerentabilnosti eksploatacije i prerade. U tehnologiji prerade prirodnog kamena dominirali su strojevi kojima su se isplativo mogli rezati i obrađivati samo veliki blokovi. Pod velikim blokom podrazumijeva se cjeloviti komad kamena odvojen iz stijenske mase veličine preko 2,5 m³. Veličina velikih blokova doseže i preko 5 m³.

Danas je situacija bitno izmijenjena. Razvojem tehnologije eksploatacije i prerade, mali se blokovi i tomboloni mogu sve više koristiti u proizvodnji kamenih elemenata različitih i ponajviše manjih dimenzija. Odnosi se to ponajviše na ležišta koja su srednje i jače raspucana. Pomiče se granica isplativosti u korist malih blokova i tombolona. Znači da je opet moguće obnoviti eksploataciju ležišta u kojima su dekorativnost te fizička i mehanička svojstva prirodnog kamena na visokoj ili odgovarajućoj razini. Smanjenjem veličine blokova koji se pridobivaju eksploatacijom povećava se iskoristivost stijenske mase u ležištima. Istovremeno se eksploatacijom i preradom malih blokova i tombolona povećavaju raspoložive rezerve, a kamen se zbog većeg iskorištenja racionalnije koristi.

MOGUĆE REZERVE PRIRODNOG KAMENA PREMA LASKYJEVU ZAKONU

Ukoliko se mali blokovi i tomboloni prilikom prerade višestruko dodatno obrađuju, vrijednost gotovih proizvoda se povećava, što je još jedan od važnih čimbenika koji utječu na ekonomičnost i bilančnost rezervi. Ovakav pristup vodi nas prema razmišljanju o mogućem povećanju granice iskoristivosti stijenske mase u ležištima prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena. Možemo postaviti pitanje gdje su zapravo granice mogućih rezervi, posebice našeg domaćeg prirodnog kamena, te kako ih i na koji način racionalno i održivo eksploatirati. Također se može postaviti pitanje po kojem pravilu odnosno zakonu gledati u budućnost s obzirom na potencijal prirodnog kamena s kojim raspolažemo.

U nas postoje brojna ograničenja kojima se danas suzuje prostor za nova eksploatacijska polja na kojima je moguće eksploatirati - "ubirati" blokove prirodnog kamena. Na suženje prostora na kojem je moguće eksploatirati ponajviše utječu dekorativni, tehnički, geološki, tehnološki i ekonomski kriteriji te u novije vrijeme posebno potencirani ekološki i urbanistički kriteriji kojima se bitno suzuje površina za dobivanje koncesija. Određeni optimizam mogao bi se tražiti u racionalizaciji njihova korištenja.

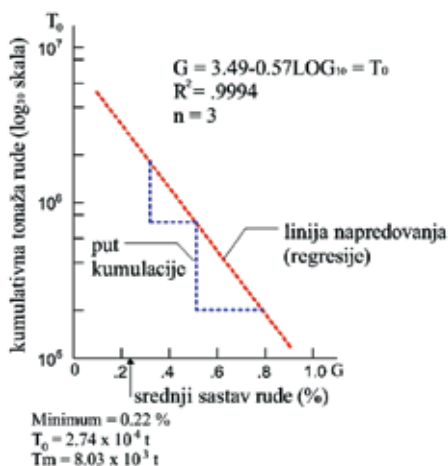
Slično pitanje u svijetu se postavlja i za mnoge, posebice strateške mineralne sirovine važne za industrijski razvoj mnogih ekonomski snažnih zemalja. Poznato je da se postavlja pitanje dokle će nekih mineralnih sirovina uopće biti odnosno kada dolazi kraj njihovih rezervi i eksploataciji. Takvim se pitanjima bave brojni znanstvenici, geolozi i eksperti različitih struka, političari, ekonomisti i vlasnici multinacionalnih kompanija. Interesira i brine ih problem o izdašnosti mineralnih sirovina na našem planetu Zemlji. Pitanje je jednostavno, dokle će poznate, dakle utvrđene i posebice još nepoznate i neutvrđene rezerve moći zadovoljavati potrebe pučanstva na Zemlji? Djelomično je na to pitanje dao odgovor geolog Lasky, radeći u U.S. Geological survey. On je ponudio pronalazak za tehniku procjene koja obuhvaća mnoge atribute vezane za mineralne zalihe prikazane kao stupanj kumulativne tonaže izražen kao aritmetičko-geometrijski (A/G) odnos, drugim riječima dao je matematički model za procjenu metalnih rezervi. Taj model drugi su po njemu nazvali Laskyjevim zakonom (De Young, 1981.). Po tom zakonu, ako se sadržaj metala (izražen u postocima po toni) u rudi smanjuje aritmetički, onda količine rudnih zaliha (izražene u tonama) rastu geometrijski odnosno eksponencijalno. On je formulirao jednadžbu odnosa između srednjeg sadržaja i kumulativne tonaže u obliku:

$$G = a + b \cdot \log T_0,$$

gdje je T_0 kumulativna tonaža rude koja je proizvedena ili dobivena na temelju procjena; G je izmjereni određeni srednji sadržaj kumulativne tonaže; a i b su konstante određene za svako ležište. Lasky je izračunavao vrijednosti a i b shodno odnosu tonaže i srednjeg sadržaja ili, u nekim slučajevima, prema Cut-off Grade (graničnom sadržaju) za zalihe različitih metala. Na sl. 1 prikazan je odnos između kumulativne tonaže i srednjeg sastava rude prema Laskyju.

Lasky je ustanovio, radeći jedno vrijeme na eksploataciji ležišta bakra, da je sadržaj bakra u ležištima s vremenom, tijekom niza godina, padao od 0,8 % po toni na 0,6 %, te na 0,4 % i napokon na 0,2 %, dok je njegova proizvodnja rasla kumulativno. Vidljivo je to bilo prema porastu proizvodnje koja je rasla zbog potreba za bakrom i odgovarajuće tržišne cijene. Praksa je ubrzo pokazala da je Laskyjevi zakon primjenjiv samo kod nekih mineralnih sirovina čija ležišta treba dobro poznavati u pogledu geneze i strukturne građe.

U Hrvatskoj bi se Laskyjevi zakon mogao primijeniti kod procjene rezervi ležišta prirodnog kamena te ležišta nafte i plina. Moglo bi se sa sigurnošću reći: ako se veličina blokova koje možemo izvaditi iz nekog ležišta smanjuje aritmetički, tada rezerve rastu geometrijski. To odgovara njegovu modelu prema kojemu, ako se sadržaj metala (izražen u postocima po toni) u rudi smanjuje aritmetički, količine rudnih zaliha (izražene u tonama) rastu geometrijski odnosno ekspon-



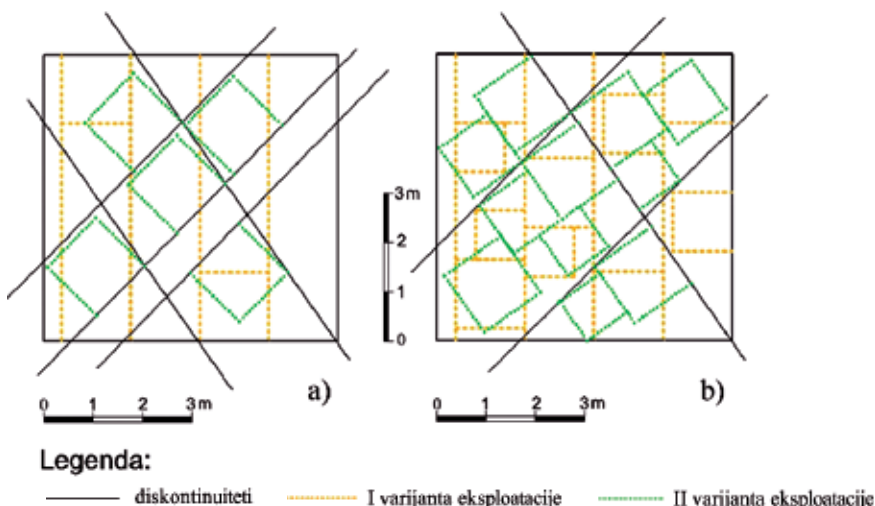
Sl. 1. Prikaz odnosa kumulativne tonaže i srednjeg sastava rude prema Laskyju

nencijalno. Prethodno je prikazano kako je on formulirao jednadžbu odnosa između srednjeg sadržaja i kumulativne tonaže.

Geneza i brojni postdijagenetski procesi najviše utječu na oblikovanje i raspodjelu mineralne sirovine u prostoru ležišta. Ima ležišta koja imaju rudu ograničeno raspodijeljenu u stijenskoj masi, odnosno u prostoru ležišta, tako da se rezerve brzo i naglo smanjuju, a daljnja istraživanja pokazuju da ih više nema u isplativim količinama ili da je njihovo pojavljivanje u potpunosti ograničeno. Za takva ležišta ne vrijedi Laskyjev zakon. Oblik rudnog tijela dakle ovisi o čitavom nizu različitih geoloških čimbenika. Primarni oblik ležišta može biti kasnijim disjunktivnim pokretima i dijagenetskim procesima potpuno promijenjen. Dakle naknadnim tektonskim procesima ležište može biti u potpunosti raskomadano, a plikativnim pokretima izmijenjeno i razvučeno u širem prostoru Zemljine kore. Takva ležišta pružaju nadu da je mineralna sirovina u različitim koncentracijama raspršena na širokom prostoru.

UTJECAJ STRUKTURNOG SKLOPA I TEHNOLOGIJE EKSPLOATACIJE NA ISKORISTIVOST

Da bi se dobila odgovarajuća slika o iskoristivosti stijenske mase u ovisnosti o strukturnom sklopu i tehnologiji eksploatacije, cijeli je problem pojednostavljen i analiziran kao plošni tj. dvodimenzionalni. Primjer je obrađen izračunavanjem površinskih koeficijenata iskoristivosti stijenske mase na vertikalnim presjecima uzduž vertikalne stijene radne etaže površine 36 m^2 ($6 \times 6 \text{ m}$). Temelji se na elementima modela određenih strukturnih značajki, položajima diskontinuiteta (sijeku se pod kutom $80\text{-}82^\circ$, a prema horizontali zatvaraju kut od 44° i 56°) dobivenih prilikom istraživanja ležišta dolomitnog mramora Sivec kraj Prilepa u Makedoniji (sl. 2a i 2b). Na slikama su prikazana samo dva od brojnih mogućih primjera presjeka s različitim mogućim gustoćama diskontinuiteta.



Sl. 2. Hipotetski presjeci ležišta diskontinuitetima pri različitim varijantama eksploatacije i iskoristivim površinama blokova

Analizom takvih primjera dobiveni su rezultati prikazani grafički na sl. 3 i 4 pomoću odgovarajućih krivulja. One prikazuju iskoristivost kod dvije različite varijante (metode) eksploatacije s obzirom na gustoću diskontinuiteta. U ovom primjeru to su dvodimenzionalne površine blokova. Obradeni primjer ima hipotetski i spekulativni karakter. Poučan je i može se vrlo dobro koristiti u edukativnom pogledu.

Dvije su varijante eksploatacije (I. i II.) koje se u prikazanim primjerima analiziraju. Prva (I.) se odnosi na primjer kada u ležištu odgovarajućim strojevima eksploataciju izvodimo izradom samo vertikalnih i horizontalnih rezova. Druga (II.) varijanta eksploatacije podrazumijeva rezanje kosih rezova ili odvajanje stijenske mase odgovarajućim alatima uzduž prirodnih površina diskontinuiteta. Obje varijante eksploatacije prikazane su na slikama 2a i 2b. Na sl. 2a iskoristivost je prvo procijenjena za površine mogućih blokova dimenzija 1,4 x 1,4 m koje je tom prilikom moguće izvaditi iz stijenske mase vertikalnim i horizontalnim rezovima. Ovaj način koristi se ponajviše u zdravoj stijenskoj masi kada su pukotine u povoljnom međusobnom prostornom odnosu i na povećanom razmaku. Omogućuje veliku učinkovitost uz manje troškove. Ukoliko je stijenska masa ispresijecana nepovoljnim položajima diskontinuiteta, kao u ovom primjeru, korištenjem prve varijante eksploatacije proizveli bismo sve više kamenog otpada, a troškovi bi rasli. Istodobno je na sl. 2a prikazano rezanje kosih rezova koji u ovom primjeru daju veću iskoristivost površina blokova. Druga (II.) varijanta eksploatacije (kosi rezovi) pritom daje 5 površina blokova u odnosu na 2 bloka kod I. varijante eksploatacije (horizontalni i vertikalni rezovi).

Uvođenjem eksploatacije blokova (sl. 2b) s tri različite veličine njihovih površina (1,4 x 1,4; 1,2 x 1,2 i 1,0 x 1,0 m) iskoristivost bi značajno porasla kako kod I. tako i kod II. varijante eksploatacije. U ovom primjeru iskoristivost naročito raste kod II. varijante eksploatacije u jače raspucanim dijelovima ležišta. Veliko povećanje iskoristivosti prati djelomično povećanje troškova. Takvim načinom povećava se znatno iskoristivost kod jače raspucanih ležišta.

Tako postavljen, ovaj problem slični problemima optimalizacije u nekim industrijskim granama npr. kada se maksimalno želi iskoristiti papir, lim i tkanina (Brown, 1971.). Također prema Erdösu i Grahamu (1975.) rješavanje ovog problema sličilo bi problemu postavljanja jednakih kvadrata u veće kvadrate minimalne površine.

Analizirani primjeri pokazuju da se, osim horizontalnim i vertikalnim rezovima, povećanje iskoristivosti u nepovoljnim uvjetima gustoće diskontinuiteta može povećati i rezanjem kosih rezova u kamenolomu. Koso se pak rezanje stijenske mase najčešće izbjegava u kamenolomima. U tom pogledu preporuča se odvajanje jače raspucanih dijelova stijenske mase na osnovnu etažu, pri čemu se oni raspadaju uzduž diskontinuiteta.

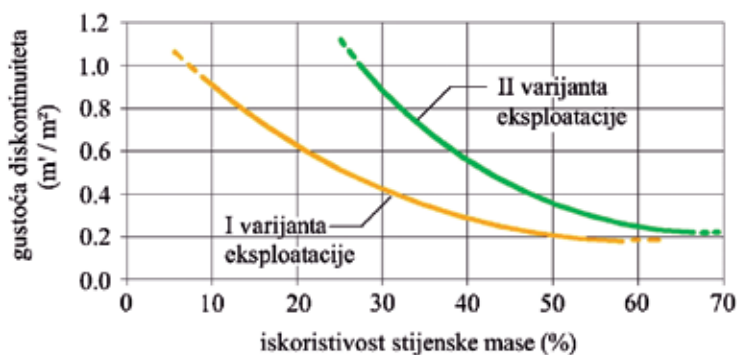
Cotman i Damijanić (1992.) posebno ističu takvu mogućnost povoljnog dobivanja većih i manjih blokova iz raspucanih dijelova stijenske mase, tako da se mnogo veći raspucani blok prvo, bez korištenja eksploziva, prevrne ili odvali na horizontalnu površinu. Tom prilikom blok se potpuno ili djelomično raspadne uzduž prirodnih diskontinuiteta. Nakon toga slijedi odvajanje ostalih blokova uzduž diskontinuiteta te na kraju formiranje blokova tržišnih dimenzija, zatim manjih blokova i tombolona. Prednosti ove metode oni opravdavaju velikim porastom produktivnosti, smanjenjem troškova eksploatacije i povećanjem iskorištenja stijenske mase u jače raspucanim stijenskim masivima.

Krebel (1974.) ističe korištenje crnog baruta koji ima potiskujuće djelovanje u jače raspucanim dijelovima stijenske mase. Takvim načinom postiže se minimalno uništavanje cjelovitih dijelova stijenske mase. Nakon prevrtanja, stijenska se masa raspada uzduž diskontinuiteta, a nakon toga se formiraju blokovi različitih veličina. Povećanje iskoristivosti odgovara načinu prethodno opisanom kod II. varijante eksploatacije.

Milocco (1988.) ističe kako produktivnost i sposobnost stvaranja prihoda ne ovise toliko o veličini radišta, broju radnika, investicijama i rezervama, koliko o umješnosti korištenja strojeva i alata s kojima se raspolaže. No ipak, ističe važnost pojedinačnog učinka radnika. Također ističe umjerenu pred intenzivnom eksploatacijom kamenoloma s obzirom na iskoristivost stijenske mase na ležištu.

Tomašić (1982.) ističe da iskoristivost ležišta-kamenoloma prirodnog kamena ovisi o složenosti strukturne građe stijenske mase te o primjeni odgovarajuće tehnologije eksploatacije. Stoga strukturnom sklopu, ponajviše raspucanosti stijenske mase, treba maksimalno prilagoditi primjenu odgovarajućih strojeva u tijeku eksploatacije.

Da bi se hipotetski procijenilo kako tehnologija eksploatacije u različitim uvjetima raspucanosti može utjecati na iskoristivost, pristupilo se analizi brojnih presjeka sličnih onima na slikama 2a i 2b. Temeljem većeg broja takvih i sličnih presjeka dobivene su krivulje na slikama 3 i 4 koje vrlo jasno objašnjavaju kako treba razmišljati prilikom izbora načina eksploatacije. Na ordinati su prikazane vrijednosti gustoće sustava pukotina u m'/m^2 , a na apscisi su vrijednosti za iskoristivost. Veća vrijednost gustoće u obliku dužina diskontinuiteta po jedinici površine (m'/m^2) znači da je stijenska masa jače raspucana. Veća gustoća diskontinuiteta utjecat će na smanjenje iskoristivosti. Međutim uvođenjem eksploatacije različitih dimenzija blokova, odnosno u ovom slučaju površina blokova, iskoristivost će se ponovno znatno povećavati.



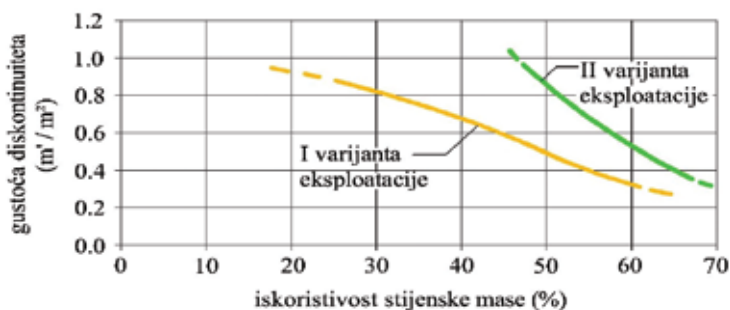
Sl. 3. Krivulje odnosa gustoće diskontinuiteta i iskoristivosti u obliku površina blokova 1,4 x 1,4 m (Tomašić, 1994.)

Krivulje na sl. 3 prikazuju da su razlike u iskoristivosti stijenske mase između I. i II. varijante eksploatacije za blokove površina 1,4 x 1,4 m najveće kod jače raspucanosti. Temelje se na analizi primjera sličnih kao na sl. 2a, te prikazuju mogućnost iskorištenja blokova konstantnih veličina presjeka njihovih površina (1,4 x 1,4 m). Smanjenjem gustoće diskontinuiteta odnosno raspucanosti smanjuje se razlika u iskoristivosti kod obje varijante eksploatacije.

Krivulje na sl. 4 proizlaze iz analize primjera sličnih onome prikazanom na slici 2b, kada se I. i II. varijantom eksploatacije iz stijenske mase pokušavaju eksploatirati blokovi različitih veličina odnosno različitih veličina njihovih površina (1,4 x 1,4; 1,2 x 1,2 i 1,0 x 1,0 m).

Obje dobivene krivulje sada su znatno pomaknute udesno u odnosu na prethodno prikazane krivulje na sl. 3. Odnosi se to na I. i II. varijantu eksploatacije. To upućuje na zaključak da se eksploatacijom različitih veličina blokova postiže veća iskoristivost što je jako dobro. U tom pogledu se približavamo Laskyjevu zakonu, ali ne u potpunosti. Potpuno približavanje Laskyjevu zakonu postiglo bi se na način da se sukladno promjeni gustoće diskontinuiteta smanjuje veličina blokova. To znači, ako smanjujemo veličinu blokova aritmetički, počevši od veličine 1,4 x 1,4; 1,2 x 1,2; 1,0 x 1,0; 0,8 x 0,8, pa sve do 0,6 x 0,6 m ili manje, kumulativno će povećanje zalih rezervi (u analiziranom primjeru površina blokova) rasti geometrijski, odnosno eksponencijalno. To će se dogoditi samo pod uvjetom da kod svake novoutvrđene veće gustoće eksploatiramo samo jednu veličinu bloka odnosno u ovom slučaju jednu površinu bloka. Stoga dijagrami na slikama 3 i 4, iako jasno pokazuju povećanje iskoristivosti, nisu u skladu sa Leskyjevim zakonom, s obzirom da su kod svake gustoće korištene tri različite površine analiziranih blokova.

I na sl. 4 razlike u iskoristivosti stijenske mase između I. i II. varijante eksploatacije (površine blokova 1,4 x 1,4; 1,2 x 1,2 i 1,0 x 1,0 m) najveće su kod jače raspucanosti. Smanjenjem raspucanosti smanjuje se razlika u iskoristivosti s obzirom da se smanjuje gustoća diskontinuiteta u m^3/m^2 na analiziranoj površini.



Sl. 4. Krivulje odnosa gustoće diskontinuiteta i iskoristivosti u obliku površina blokova 1,4 x 1,4; 1,2 x 1,2 i 1,0 x 1,0 m (Tomašić, 1994.)

Nesumnjivo je također da bi u trodimenzionalnom prikazivanju vrijednosti iskoristivosti bile manje od načina koji je ovdje korišten i prikazan. Povrh svega najvažnije je da se jasno uoče razlike između učinaka u pogledu povećanja iskoristivosti u dva strukturno različito složena slučaja kod primjene dvije bitno različite varijante eksploatacije (I. i II.). Također je vrlo važno da se uoče pozitivne razlike koje nastaju uslijed eksploatacije različitih dimenzija blokova u odnosu na blokove istih veličina. Dakako, sve to treba promatrati s rezervom s obzirom da su u ovim primjerima za analizu korištene samo njihove površine te da se radi o dvodimenzionalnom modelu.

Nedvojbeno je stoga da se druga varijanta eksploatacije, prikazana na sl. 3 i 4, u praksi može ostvariti prevrtanjem velikog pravilnog bloka dimenzija 250 do 400 m^3 .

Prilikom pada dolazi do njegova raspadanja uzduž diskontinuiteta. Nepravilni blokovi tek se tada formiraju u pravilne blokove odnosno paraleloipede. Ovaj način primjenjuje se kod srednje do jače raspucanih stijenskih masiva. Daje odlične rezultate. Koristi se mnogo danas, a koristio se i u prošlosti.

Prikazani dijagrami pokazuju kako na iskoristivost stijenske mase utječu različite metode eksploatacije (varijante I. i II.), te pokušaj da se u ležištu, osim velikih, iskorištavaju i mali blokovi i tomboloni. Posebno treba naglasiti veliko povećanje iskoristivosti stijenske mase iskorištavanjem sve manjih blokova s obzirom na njihovu veličinu odnosno površinu u prikazanim dijagramima.

To bi u usporedbi s Leskyjevim zakonom značilo da u ležištima rezerve prirodnog kamena rastu eksploatacijom i korištenjem blokova manjih veličina. Prema tome, ako se veličina bloka smanjuje aritmetički (ova veličina odgovara smanjenju srednjeg sadržaja kod drugih vrsta mineralnih sirovina), onda rezerve rastu geometrijski s obzirom da se koriste sve manji blokovi i tomboloni. Na to upućuju i krivulje na slikama 3 i 4. To navodi na zaključak kako će u budućnosti na razvoj kamenarstva, odnosno na održivo gospodarenje zalihama prirodnog kamena, ponajviše utjecati pravilna primjena tehnologije eksploatacije i prerade.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Prvo je prikazan Laskyjev zakon kojim je ponuđen pronalazak za tehniku procjene zaliha nekih mineralnih sirovina koji obuhvaća mnoge atribute kao na primjer kumulativnu tonažu izraženu kao aritmetičko-geometrijski (A/G) odnos, odnosno matematički model. Taj model drugi su po njemu nazvali Laskyjevim zakonom. Drugim riječima, ako se sadržaj metala (izražen u postocima po toni) u rudi smanjuje aritmetički, onda količine rudnih zaliha (izražene u tonama) rastu geometrijski odnosno eksponencijalno. Nakon toga slijedi pokušaj da se ustanovi primjenljivost spomenutog zakona u našim prilikama. Ustanovljeno je da se njegovo tumačenje u nas najbolje može primijeniti kod eksploatacije i iskorištenja ležišta prirodnog kamena. Nakon toga uslijedio je pokušaj da se dokaže spomenuta tvrdnja.

U tom pogledu prikazani su rezultati analize iskoristivosti stijenske mase koji ukazuju na potrebu racionalnog i planskog gospodarenja zalihama prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena. Kod srednje i jače složenih ležišta, s obzirom na raspucanost, odlučivanju o primjeni odgovarajuće tehnologije eksploatacije treba prethoditi temeljita prostorna analiza strukturnih i teksturnih značajki stijenske mase. Donošenju važnih odluka u kamenolomu prethodi analiza izmjerenih diskontinuiteta. Diskontinuiteti su jedno od ključnih obilježja strukturnog sklopa s obzirom da svojim položajem i gustoćom utječu na veličinu blokova koje je eksploatacijom moguće pridobiti (Tomašić i Kršinić, 2011.). Iz prikazanoga je vidljivo da na iskoristivost stijenske mase neizmerno utječe pravilan izbor odgovarajuće tehnologije eksploatacije. Eksploatacijom različitih veličina blokova može se još više utjecati na povećanje iskoristivosti.

Pogled na kamenolom i pilanu kipara i poduzetnika Stipe Vrandečića na otoku Braču jasno ukazuje na važnost što veće iskoristivosti stijenske mase u kamenolomu. Na sl. 5 prikazan je pogled na otvaranje novog kamenoloma. Nešto manji kameni blokovi i



Sl. 5. Pogled na kamenolom prirodnog kamena u početnoj fazi razrade

tomboloni dimenzija manjih od 1 do 2 m³ vidljivi su u prvom planu. Na sl. 6 prikazani su zdravi i mali kameni blokovi pripremljeni za daljnje krojenje. Iako su manjih dimenzija, svi će ovi komadi biti upotrijebljeni za različite namjene. Na taj se način povećava iskoristivost ležišta prirodnog kamena i promovira ideja održivog razvoja.



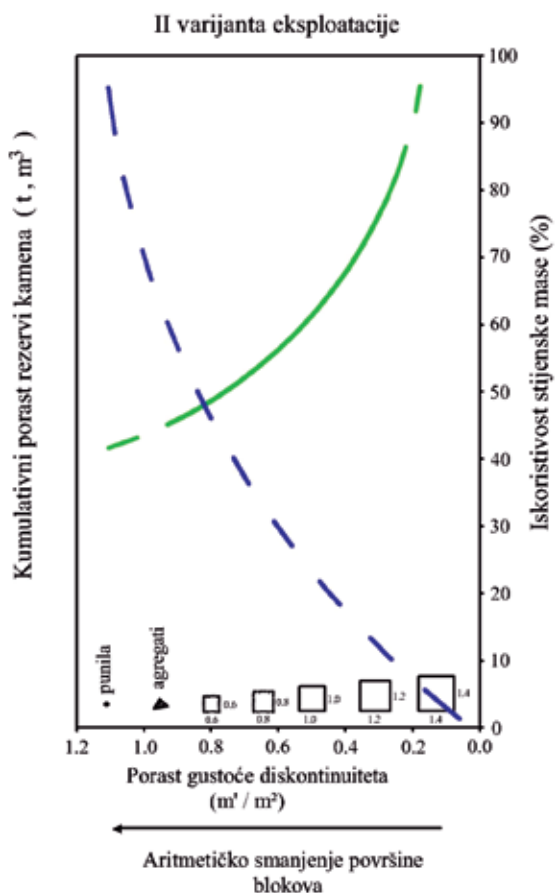
Sl. 6 Kameni tomboloni pripremljeni za daljnju preradu

Razvojem tehnologije osigurava se i održava isplativost eksploatacije i prerade, a time i mogućnost povećanja iskoristivosti stijenske mase prirodnog kamena. Dakle, rastu i rezerve. To znači da se u ležištu nećemo ograničiti samo na eksploataciju velikih blokova stijenske mase, već ćemo koristiti i one dijelove u kojima je ona kvalitetna u obliku blokova manjih dimenzija. Tome u prilog govore i metode koje omogućuju oplemenjivane blokova i ploča, a koje se temelje na umjetnom zacjeljivanju defekata u kamenu.

U tom pogledu najveća dvojba postoji kada primijeniti I. varijantu eksploatacije, a kada II. Nedvojbeno je da u slabo raspucanim odnosno u cjelovitim stijenskim masivima rezanje horizontalnih i vertikalnih rezova (I. varijanta eksploatacije) daje najbolje učinke, kako u pogledu dobivanja velikih tako i malih blokova. Pojavom većeg broja diskontinuiteta i njihova nepovoljnog međusobnog položaja situacija u ležištu postaje sve složenija. Postoji i granično područje kada, s obzirom na položaj i gustoću diskontinuiteta, treba donijeti odluku o primjeni I. ili II. varijante eksploatacije (izrada vertikalnih i horizontalnih rezova ili pak odvajanje stijenske mase uzduž prirodnih diskontinuiteta ili kosih rezova).

Ovaj način može znatno povećati iskoristivost, posebice ako se vodi računa i o eksploataciji manjih blokova. Najveće se štete čine u ležištima kada se nalazimo u spomenutom graničnom području. U tom području raste količina jalovine i smanjuje se iskoristivost stijenske mase. Granično područje zahtijeva pomne analize i traženje rješenja na inženjerskoj razini.

Potrebno je jasno utvrditi diskontinuitete u strukturnom sklopu s obzirom da postoji široko područje u kojem je relativno teško odlučiti u kojem smjeru krenuti zbog položaja i gustoće diskontinuiteta. U tom ćemo području biti u dvojbi da li se opredijeliti za horizontalne i vertikalne rezove i brzo dobivanje blokova po prihvatljivoj cijeni, a uz nešto manju iskoristivost i više otpadnog materijala, ili pak, rezati kose rezove odnosno odvajivati velike blokove iz kojih se onda oblikuju manji. Ova je metoda eksploatacije skuplja i sporija, ali daje značajno veću



Sl. 7 Dijagram iskoristivosti površina blokova i prikaz moguće kumulativne iskoristivosti kamena za različite namjene

iskoristivost. Analizirani primjeri pokazuju da se, u jednom i drugom primjeru, eksploatacija različitih veličina blokova, u našem primjeru površina blokova, znatno povećava iskoristivost stijenske mase uz povećanje troškova eksploatacije. Stoga se taj dio mora vrlo dobro i racionalno prostudirati u tijeku eksploatacije.

Svi prikazani rezultati analize diskontinuiteta i iskoristivosti stijenske mase ukazuju na pretpostavku da se Laskyjev zakon u potpunosti može primijeniti na ležištima prirodnog kamena. To je moguće samo pod jednim uvjetom, a taj je da se kod eksploatacije aritmetički smanjuje veličina blokova, odnosno površina blokova u skladu s gustoćom diskontinuiteta, a ne kako je to prikazano na krivuljama na sl. 3 i 4. Kod svake određene promjene gustoće diskontinuiteta eksploatira se samo jedna veličina bloka odnosno u analiziranom primjeru površina bloka. Samo će u tom slučaju zalihe u ležištu rasti geometrijski odnosno eksponencijalno. Najbolje se to vidi na dijagramu na sl. 7. Na apscisi je prikazana raspucanost stijenske mase u obliku gustoće pukotina prikazane u m^3/m^2 , koja se povećava ulijevo. U prikazanom se primjeru, zbog povećanja raspucanosti, a u istom smjeru, aritmetički smanjuje površina blokova.

Hipotetska isprekidana krivulja (lijevo) prikazuje kumulativno povećanje zaliha prirodnog kamena prema Laskyjevu zakonu (u analiziranom primjeru površina blokova). Dakle, ako se kod eksploatacije veličina blokova smanjuje aritmetički onda rezerve rastu geometrijski odnosno eksponencijalno. To vrijedi pod uvjetom da se kod određene gustoće diskontinuiteta odnosno raspucanosti eksploatira samo jedna veličina bloka. Osim korištenja blokova (u ovom primjeru površina blokova), ostatak kamena bi se koristio za proizvodnju manjih kamenih elemenata, agregata i punila. Zalihe bi na taj način još više porasle.

Druga krivulja (desno) odgovara onoj na sl. 4. Ona vrijedi za II. varijantu eksploatacije (odvajanje stijenske mase uzduž prirodnih diskontinuiteta u obliku različitih dimenzija odnosno u ovom primjeru površina blokova, npr. $1,4 \times 1,4$; $1,2 \times 1,2$ i $1,0 \times 1,0$ m). Na ordinati (desno) prikazana je iskoristivost blokova. Dijagram upućuje na važnost uvođenja u eksploataciju različitih veličina blokova (površina blokova u analiziranom primjeru sl. 3 i 4). I takav pristup ukazuje na veliko povećanje iskorištenja stijenske mase kao i na ogromno povećanje rezervi kamena.

Dakle zbog sve nepovoljnije gustoće diskontinuiteta, odnosno velike raspucanosti stijenske mase u srednje i jako raspucanim ležištima, preporuča se smanjenje veličine eksploatiranih blokova, u ovom slučaju površina blokova, kako bi se povećala iskoristivost stijenske mase i zaliha kamena. Posebice se to odnosi na ležišta u kojima je kamen vrlo povoljno ocijenjen prema dekorativnom i tehničkom kriteriju. Na kraju možemo prijeći na proizvodnju malih kamenih elemenata, agregata i punila, te još više povećati iskoristivost stijenske mase u ležištima. Stoga se za povećanje iskoristivosti u ležištima prirodnog kamena također može pretpostaviti da bi mogla rasti eksponencijalno odnosno geometrijski. Potrebno je na kraju reći da bi uzimanje u obzir volumne iskoristivosti dalo nešto drukčije krivulje. U svakom slučaju krivulje bi u osnovi imale sličan oblik. Nesumnjivo da se Laskyjev zakon može primijeniti u ležištima prirodnog kamena uz uvjet da se u njima eksploatiraju manji blokovi i tomboloni, te da se ostatak kamena koristi za proizvodnju malih kamenih proizvoda, agregata i punila.

LITERATURA

Brown, A. R. (1971.): *Optimum Packing and Depletion*. Mac-Donald - London and American Elsevier Inc., 107 pp, New York.

Cotman, I. i Damijanić, A. (1992.): "Nova otkopna metoda u eksploataciji slojevitih ležišta arhitektonskog kamena". *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 3, 69-76, Zagreb.

DeYoung, J.H., JR. (1981.): "The Lasky Cumulative Tonnage-grade Relationship-A, Reexamination". *Economic Geology* 76, pp. 1067-1080.

Erdős, P. and Graham, R.L. (1975.): "On Packing Squares with Equal Squares". *Journal of Combinatorial Theory* 19, 119-123.

Krebel, K. (1974.): "Metoda eksploatacije ukrasnog kamena pomoću detonirajućeg štapina i crnog baruta". Zbornik radova, Simpozij: *Ukrasni i tehnički kamen*, 167-176, Opatija.

Milocco, N. A. (1988.): "Problemi di dimensioni di cave e miniere". *Marmi-graniti e pietre* 160, 14-28, Milano.

Tomašić, I. (1982.): "Iskoristivost ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u ovisnosti od tektonskog sklopa i tehnologije eksploatacije". *Rudarsko-metalurški zbornik* 29, 332-342, Ljubljana.

Tomašić, I. and Kršinić, A. (2011.): "Some Important Facts for Estimation of Natural Stone deposits during the exploration". *World of Marmomacchine, International Multimedia yearbook*, Promorama publisher, 46-53, Milano.

UTILITIZATION OF THE ROCK MASS AND POSSIBLE POTENTIALS RESERVES OF NATURAL STONE TO THE LASKY-LOW

S u m m a r y

Exploitation and processing of small stone blocks and tombolons increase the resources. The natural stone is than rationally used, but the resources greatly increase due to the utilization of deposits-quarries. This approach ensures that in the deposits size of natural stone could be applied Lasky's-law. Based on this law we can say, if in the deposits size of the blocks decreases arithmetically then reserve increases geometrically or exponentially. On presented examples the utilization of the rock mass was analyzed in the application of two different technologies of exploitation.

Besides, the exploitation of different block size achieves high utilization of the rock mass, exploitation of aggregates and fillers yield even more increases. It is necessary to emphasize the existence of the border areas, when considering the location and density discontinuity, should render a decision to apply the I or II variant of the exploitation (making vertical and horizontal cuttings or separation of the bocks along natural discontinuities or using slanting cuts). The example is shown and analyzed as a two-dimensional problem.