

PROBNA PODZEMNA EKSPLOATACIJA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA U KAMENOLOMU "KANFANAR", ISTRA

Ivan COTMAN

"KAMEN" d.d., Trg slobode 2, HR-52000 Pazin, Hrvatska

Ključne riječi: Arhitektonsko-gradbeni kamen, Podzemna eksploatacija, Blokovi kamena

Preliminarno izvješće o rezultatima praćenja probne podzemne eksploatacije arhitektonsko-gradbenog kamena u slojevitom ležištu. Podzemna je eksploatacija detaljno opisana i sugerirane su metode za njeno izvođenje.

Key-words: Dimenzion stone, Underground excavation, Stone blocks

The preliminary report about results obtained during the trial underground exploitation of stratified limestones. The proces of exploitation is described in details, and the methods for designing the underground exploitation in dimension stone field was suggested.

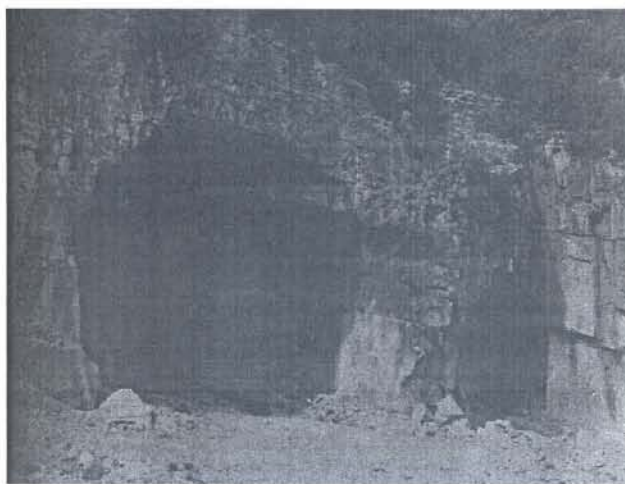
Uvod

Djelatnost eksploatacije ili "branja" kamena na Istarskom poluotoku datira još od Rimskih vremena. Prvi poznati veći kamenolom razvijen je oko I. stoljeća p.K. u Vinkuranu kraj Pule. Od kamena iz tog kamenoloma izgrađena je i poznata Arena u Puli. Tijekom stoljeća ova se djelatnost širi i nastavlja do današnjih dana. Njezin značaj s vremenom postaje sve veći, a kamen dobiven iz istarskih kamenoloma počinje se izvoziti diljem svijeta. Poslije II. svjetskog rata ujedinjuju se brojna mala uspješna poduzeća koja su djelovala na istarskom poluotoku u poduzeće "KAMEN" koje posluje sve do danas.

Dioničko društvo "KAMEN" bavi se proizvodnjom, preradom i ugradbom arhitektonsko-gradbenog kamena već duži niz godina. Upravne zgrade i pogoni prerade tvrtke "KAMEN" dd nalaze se u srcu poluotoka Istre, u gradu Pazinu. Tijekom desetljeća, tvrtka je razvila eksploataciju blokova kamena na više lokaliteta diljem Istre. To su kamenolomi Kirmenjak, Selina, Kanfanar, Vinkuran, Valtura, Grožnjan i Sv.Lucija. Osim ovih aktivnih kamenoloma trenutno su neaktivni Planik i Istranka koji se nalaze na južnim obroncima planine Učke. Aktivni kamenolomi proizvode od 23 000 m³ do 25 000 m³ blokova godišnje, od kojih se oko 50% izvozi, uglavnom na zapadnoeuropsko tržište. Od ukupne količine blokova, u Kanfanaru se na četiri aktivna radilišta izvadi oko 14 000 m³ blokova godišnje. Sva proizvodnja odvija se površinskim kopovima, prespliting miniranjem otkrivke, te potpilivanjem i obaranjem primarnih blokova dužina od 25 m do 35 m, visine 5,40 m i debljine oko 1,4 m. Komercijalni se blokovi dobivaju iz primarnog bloka bušenjem i piljenjem uz poštivanje slojevitosti. Visine komercijalnih blokova su određene izrazitim slabo vezanim slojnicama, a dužine se određuju prema zahtjevima tržišta i pilane. Blokovi se dižu pomoću utovarivača tipa CAT 980C ili CAT 988B.

Arhitektonsko-gradbeni kamen Istarskog poluotoka je vapnenac jurske (Kirmenjak) i kredne

(Kanfanar, Selina) starosti. Ležišta su slojevita različite debljine slojeva. Međuslojne plohe su slabije ili jače vezane ovisno o tipu veziva slojnice. Karakteristično za ove slojeve je to da se kvaliteta kamena vrlo nepredvidljivo mjenja po pružanju slojeva a relativno predvidljivo po padu slojeva. Naslage kredne starosti upadaju prema istoku pod nagibom od 0° do 4°. Svi aktivni kamenolomi Istre eksploatiraju se površinskim otkopavanjem. Izuzetak je kamenolom "Sv.Stjepan" kod Istarskih Toplica (sl. 1) koji se do 50-ih godina eksploatirao podzemnom eksploatacijom. Ovaj je kamenolom iscrpljen i napušten.



Sl. 1. Stari podzemni kamenolom arhitektonskog kamena Sv. Stjepan, dolina Mirne

Fig. 1. Sv. Stjepan old underground dimension stone quarry, Mirna valley

Uvođenjem suvremenijih strojeva u eksploataciji kamena, povećava se proizvodnja. Ovisno o geološkim uvjetima ležišta povećavaju se također debljina i količina otkrivke. Ograničenost korisne debljine sloja ima za posljedicu povećavanje količine otkrivke prema m³ proizvedenog bloka. Ta je tendencija u pojedinim kamenolomima dovela do

toga da visina otkrivke doseže i do 20-ak metara, prema 3-6 metara eksploabilnog sloja. Osim toga, takvo stanje dovodi do nagomilavanja sve većih jalovišta kao i do sve većih poremećaja u okolišu.

Imajući u vidu sve navedene elemente, te prateći tendencije razvoja kamenarstva u svijetu, poglavito u Italiji, počelo se razmišljati o uvođenju podzemne eksploatacije u kamenolomu Kanfanar, u kojemu je problem otkrivke navise izražen.

Temeljni razlozi koji su doveli do probne podzemne eksploatacije

Razloge za podzemnu eksploataciju u kamenolomu Kanfanar možemo podijeliti na dvije temeljne grupe i to:

- ekološki razlozi i
- tehno-ekonomski razlozi

Razvojem društva i njegovog odnosa prema prirodi, koju smo samo posudili od svojih potomaka, razvija se i odnos prema svim djelatnostima koje narušavaju naš okoliš. Među te djelatnosti spada i djelatnost eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, koja također počinje doživljavati promjene u smislu boljeg očuvanja i manjeg narušavanja prostora i prirode koja nas okružuje. Eksploatacija kamena polako prelazi s površinske na podzemnu te na taj način postaje sve manje "otvorena rana" na površini zemlje. Osim eksploatacije, koja polako silazi u podzemlje, mnogo je urađeno na pročišćavanju otpadnih voda kao i na smanjenju kamene prašine prilikom rada.

S tehno-ekonomskog stajališta, uvođenjem podzemne eksploatacije, očekuje se relativno smanjenje troškova proizvodnje, kao i poboljšanje rada s obzirom da se radi s "krovom nad glavom". Osim toga, prilikom podzemne eksploatacije, ne dolazi do gomilanja velikih količina jalovog materijala, što smanjuje potrebu za:

- velikim jalovištem,
- velikom mehanizacijom za prebacivanje jalovine i
- velikim brojem ljudi na eksploataciji.

Ovi faktori pozitivno utječu na smanjenje cijene koštanja. Treba međutim imati u vidu i negativne elemente koji dižu cijenu koštanja, a to su:

- ograničena veličina eksploatacije po stroju za dobivanje (sjekačici) i
- veće investicije u pripremne radnje i otvaranje takvog kamenoloma.

Međutim, usprkos ovim činjenicama, često su upravo zahtjevi za zaštitom okoliša toliko precizni da jednostavno prisiljavaju proizvođače na uvođenje podzemne eksploatacije kako bi se tržište osiguralo određenom vrstom sirovine, a ujedno udovoljilo ekološkim zahtjevima.

Imajući u vidu ove razloge i primjenjujući ih na situaciju u kamenolomima tvrtke "KAMEN", projek-

tirana je probna podzemna eksploatacija u kamenolomu Kanfanar II.

Temeljni parametri koji se utvrđuju probnom eksploatacijom

Otvaranje i razvoj podzemnog kamenoloma vrlo je složen proces. Sastoji se od više faza rada, kako u pripremi, tako i u probnoj eksploataciji, s ciljem da se dobiju parametri dostatni za projektiranje podzemnog kopa. Shemu razvoja projekta podzemnog kamenoloma prikazali su F o r n a r o i B o s t i c i o (1994,1995) te P e l i z z a et al. (1994) u izlaganju na 16-om svjetskom rudarskom kongresu. Ovaj "diagram toka" dan je u tablici 1 i predstavlja odličan vodič svima koji se namjeravaju upustiti u ovaj posao. Njime su obuhvaćene sve faze pripremnih radova koje treba obaviti prije početka operativnih radova na samom terenu.

Kako na teritoriju Hrvatske nije razvijena tradicija podzemne eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena uz iznimku kamenoloma Sv.Stjepan u Istri, nije bilo na raspolaganju iskustvenih podataka na temelju kojih bi se lakše pristupilo izradi "Elaborata za probnu podzemnu eksploataciju kamena u kamenolomu Kanfanar II". Na osnovu konzultiranja s domaćim i stranim stručnjacima i iskustva stečenih dugogodišnjim radom i posjetama nekolicini podzemnih kamenoloma, projektirana je probna eksploatacija u kamenolomu Kanfanar II sa sljedećim ciljevima:

- utvrditi geomehanička svojstva stijenske mase, po mogućnosti, "in situ",
- utvrditi tehičko-ekonomske parametre primjenjene mehanizacije u probnoj eksploataciji,
- utvrditi tehnološke parametre eksploatacije, a posebno koeficijente iskorištenja stijenske mase,
- obavljati stalna opažanja s obzirom na:
 - mikrotektoniku i krške fenomene,
 - stabilnost krovine i stupova, te
 - ostalih elemenata važnih za sigurnost na radu i
- sistematizirati rezultate i utvrditi osnovne elemente za izradu Glavnog projekta.

Elaborat, na osnovu kojega se izvodi probna eksploatacija, izrađen je na temelju postavki o podzemnim pritiscima Protodjakonova u kombinaciji s iskustvenim podacima sličnih kamenoloma u Italiji. Prilikom izrade elaborata korišteni su i iskustveni podaci firme FANTINI s.r.l. iz Rima.

Orientacijski proračun jamskih pritisaka i dimenzioniranje jamskih prostorija

Prije proračunavanja otvorenih prostora provjeravani su pojedini elementi postojećih jamskih pogona. Međutim, to je bilo slabo usporedivo, budući da se u Italiji radi uglavnom o kamenolomima u mramoru čija je elastičnost znatno veća od našeg vapnenca. U kamenolomu Sv.Stjepan ukupna otvorena površina

iznosi 10747 m² prema 1197 m² površine stupova koji drže krovinu. Ovaj je odnos približno 9:1. U kamenolomu Sv.Stjepan eksploatirao se vapnenac kredne starosti. Ležište je slojevite građe oblika velike leće. U kamenolomu "Aquilla Bianca" u provinciji Lasa (Italija), eksploatira se mramor podzemnim metodama nekoliko stotina godina (R i b a c h i, 1969). U ovom kamenolomu, prema podacima stare karte eksploatacije koja je bila dostupna, odnos slobodne krovine prema površini stupova iznosi 6:1. U stupovima ovog kamenoloma procjenjujemo ostaje oko 16% stijenske mase. U kamenolomu vapnenačkog konglomerata "Ceppo di Gre" ostavlja se u stupovima 20-25% stijenske mase.

- treba li stupove ostavljati u pravilnom rasporedu ili ne,
- treba li poštivati dimenzije stroja za dobivanje, lančane sjekačice, a izvedeni prostor prilagoditi postojećoj utovarnoj mehanizaciji ili ne,
- gdje odrediti lokaciju za probnu proizvodnju s tim da se ne utječe na redovnu,
- kako organizirati odgovarajuće praćenje stanja pritiska i
- koliki prostor treba osloboditi da bude dostatan za potrebna geomehnička mjerenja?

Za eksploataciju je odabrana podzemna sjekačica firme FANTINI iz Rima, tipa G 70 sa sljedećim karakteristikama:

Tablica 1.

DIJAGRAM TOKA FAZA PROJEKTIRANJA PODZEMNOG KAMENOLOMA

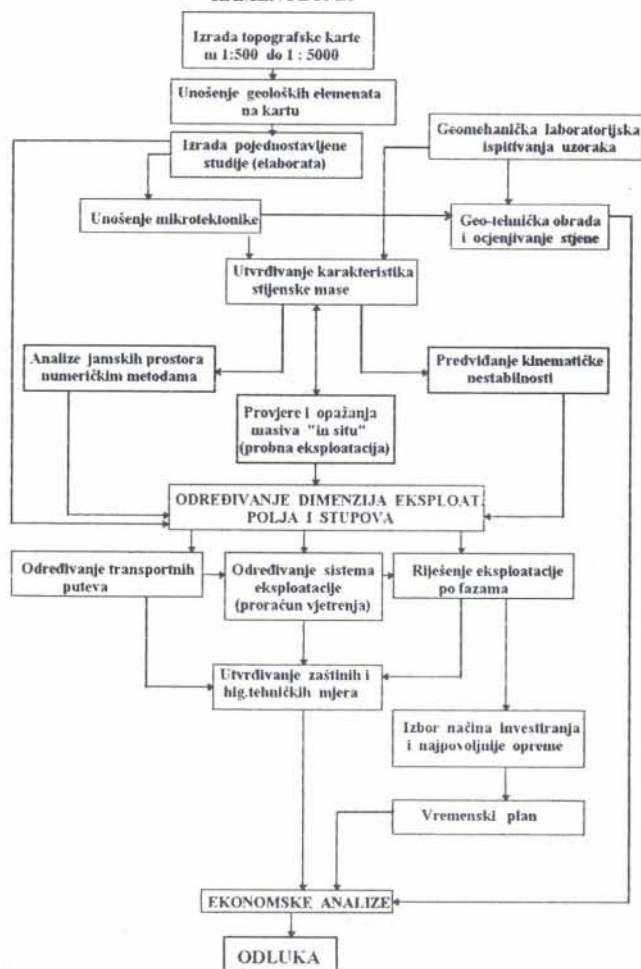
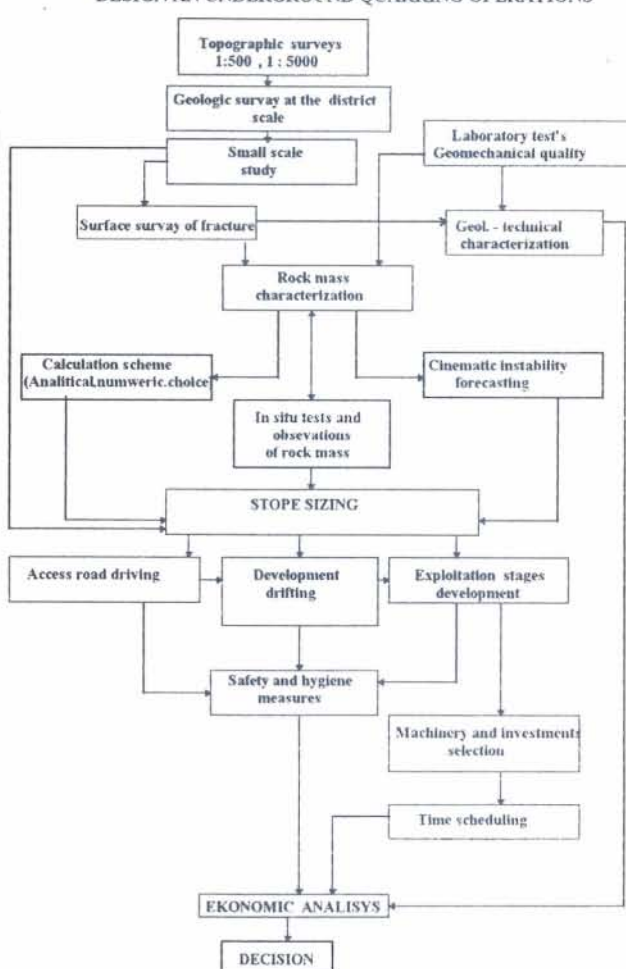


Table 1.

FLOW CHART FOR THE INVESTIGATIONS REQUIRED TO DESIGN AN UNDERGROUND QUARRING OPERATIONS



Početni elementi eksploatacije u slojevitom ležištu Kanfanar obuhvatili su nekoliko međusobno povezanih problema:

- koliki treba predvidjeti odnos slobodne krovine prema površini nosivih stupova,
- kolike će biti dimenzije stupova u odnosu na otvorene prostorije,

- *težina 6 000 kg
- *težina hidrauličnog pogona 2000 kg
- *obujam rezervoara za hidraulično ulje300 lit
- *obujam rezervoara za mast 1,8 kg
- *brzina lanca (0-0,71)m/sec
- *brzina napredovanja..... (0-7)cm/min
- *širina reza38 mm
- *korisna dubina reza 2,4 m

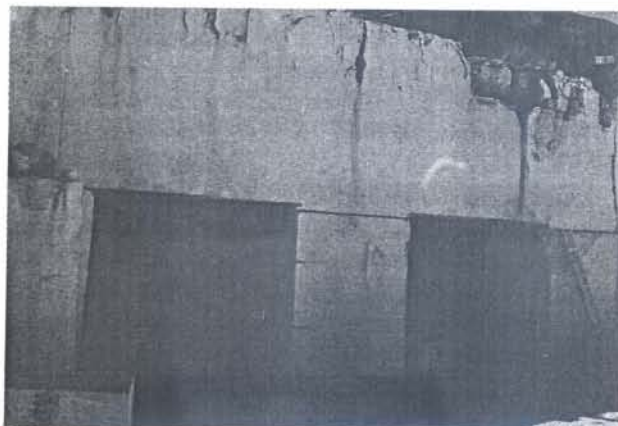
- *potrošnja vode 20 lit/min
- *ukupna instalirana snaga 70 HP
- *minimalne dimenzije otvora 6x3 m

Za lakše izvođenje radova, projektirani su rezovi koje se može izvesti sa sjekačicom, tako da širina hodnika ne prelazi 5,5 m, da je napredovanje jednako efektivnoj dužini "mača" t.j. 2,4 m. To je davalo relativno pogodnu širinu bloka od oko 1,35 m. Međutim, bilo je potrebno povećati visinu eksploatacijskog prostora toliko da tunelom može prolazi utovarivač CAT 980C. Odlučeno je da se pokuša izraditi hodnik visine 4 m, kako bi se blokovi mogli utovarivačem vaditi i izvoziti iz prostorije.

Poštujući navedene dimenzije, pristupilo se računskoj kontroli stijenskih pritisaka imajući u vidu pravilan raspored stupova po "šahovskom polju" s razmakom među stupovima 6 m i njihovim dimenzijama 3,5 m x 3,5 m. To daje ukupnu površinu koja se nalazi pod "utjecajem" stupa od 91 m². Time bi se ostvario odnos otvorenog prostora prema presjeku stupa od 6,8 : 1. Radi potpune sigurnosti rada, stup je povećan na 4,0 m x 4,0 m radi toga što se očekivalo neprecizno rezanje u probnoj fazi, do čega je i došlo.

Računska je kontrola pritisaka izračunata u "Pojednostavljenom projektu probne eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena vapnenca u kame-nolomu Kanfanar II". Dala je sljedeće rezultate:

- računsku visinu svoda zarušavanja za širinu hodnika od 5,5 m iznosi 0,66 m
- specifično opterećenje u krovini hodnika računski iznosi 1,76 t/m² što je prema A n t u n o v i ć - K o b l i š k i (1973) manje od dopuštenih naprezanja za vapnence:
 - čvrstoća na savijanje za vapnence(6-10) t/m²
 - čvrstoća na vlak za vapnence(3-5) t/m



Sl. 2. Pogled na ulaz u probni podzemni kamenolom Kanfanar

Fig. 2. The view over entry of Kanfanar trial underground quarry

računska visina svoda zarušavanja kod uzimanja u obzir širine hodnika povećana za otvorene prostore sa svake strane iznosi 1,6 m

- specifično opterećenje krovine u tom slučaju računski daje 4,317 t/m² što je također manje od dopuštenog.

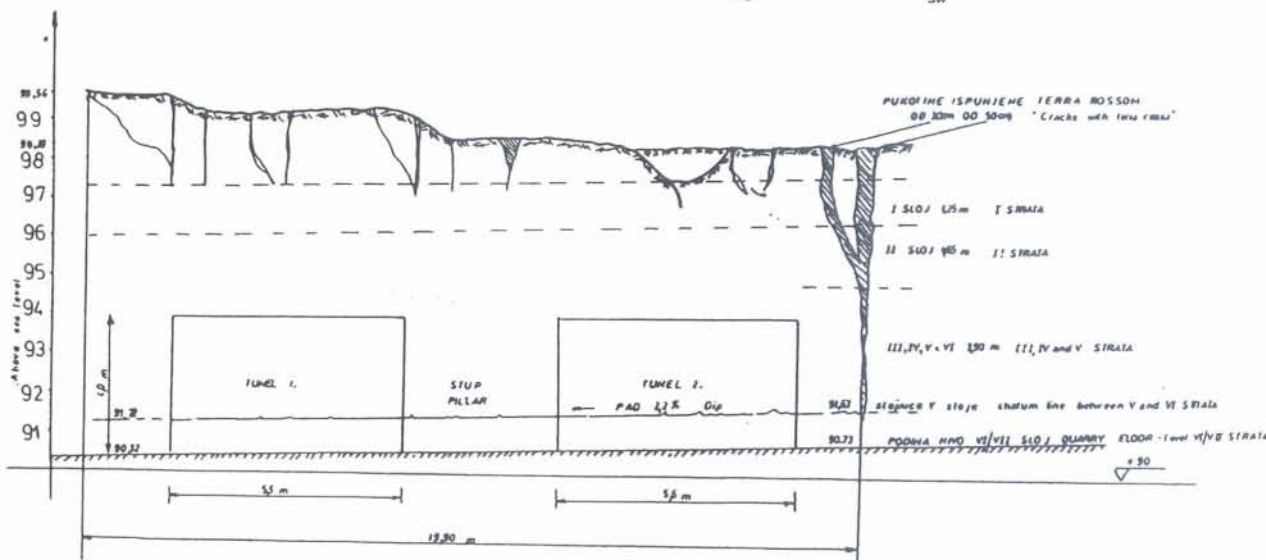
Ovako odabrani parametri eksploatacije blokova rudarskom metodom eksploatacije poznatom pod imenom "room and pillar" ("komora i stup"), podvrgnuti su dodatnoj kontroli uzimajući u vidu postavke talijanskih autora u vezi koeficijenta sigurnosti (B o s t i c c o et al.,1991), koji navode da minimalan koeficijent sigurnosti koji se mora ostvariti iznosi 0,9, a izražava se relacijom

$$b/l = 0,14 - 0,26$$

gdje su:

b - širina stupa u m

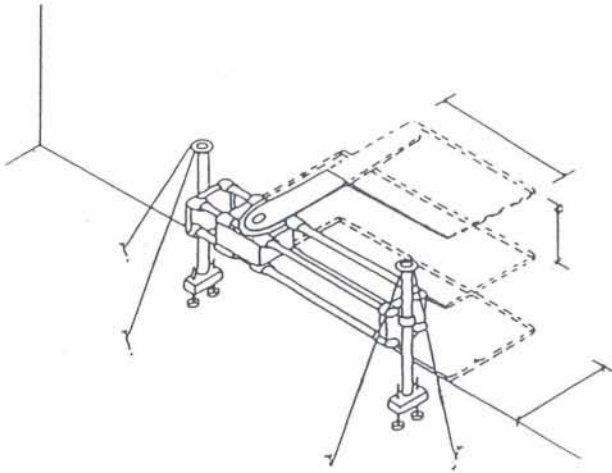
l - širina otvora u m



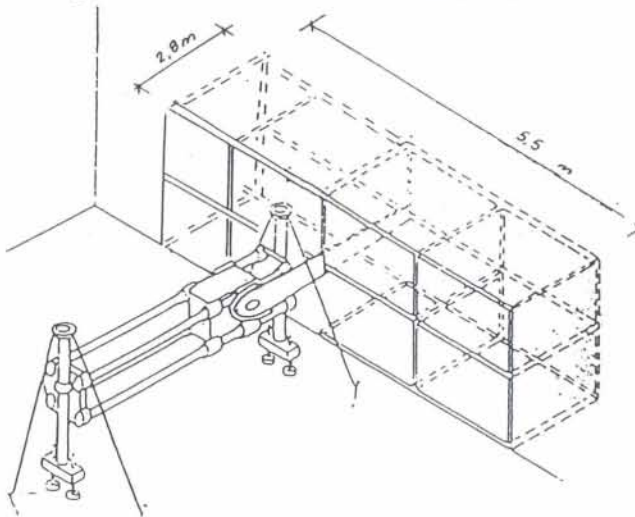
Sl. 3. Poprečni vertikalni profil čela radilišta kamenoloma Kanfanar II

Fig. 3. Transversal vertical section of Kanfanar II quarry working spot

U našem slučaju za širinu stupa od 3,5 m maksimalna širina komore, koja se može izraditi u potpuno zdravom i izotropnom materijalu, teorijski iznosi 13-25 m. Ovaj rezultat predstavlja jednu od mogućih širina kojima treba težiti u budućoj eksploataciji.



Sl. 4. Izrada horizontalnih rezova sjekačicom
Fig. 4. Horizontal cut works with chain saw machine

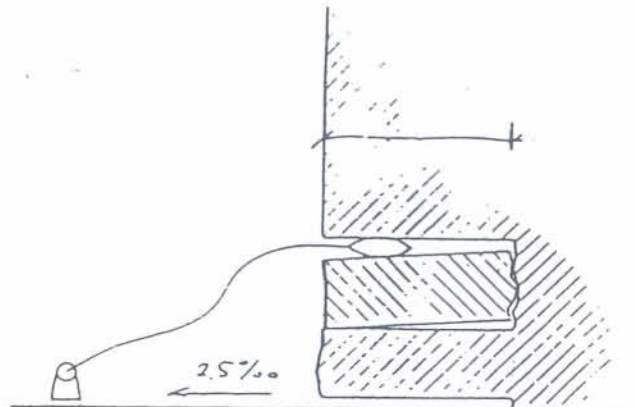
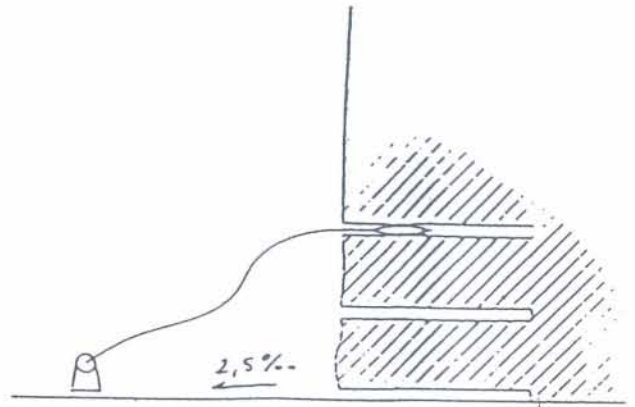


Sl. 5. Izrada vertikalnih rezova sjekačicom
Fig. 5. Vertical cut works with chain saw machine

Treba ih međutim i dokazati, kako praksom, tako i preciznijim računanjima matematičkim modeliranjem pomoću računara. Trenutno se tehnologija podzemne eksploatacije razrađuje poznatim software-ima FLACK, i UTAH2PC.

Izvođenje radova

Probna eksploatacija započela je na starom napuštenom čelu kamenoloma Kanfanar II, gdje visina otkrivke prelazi 3,5 m (sl. 2). Ovo je učinjeno iz razloga što u datom trenutku nije bilo mogućnosti da se bilo gdje drugdje pokuša s probnom eksploatacijom, a da se ne utječe na normalnu proizvodnju. Ovako mala otkrivka ima za posljedicu da se stijena ponaša kao ploča a ne kao masiv.



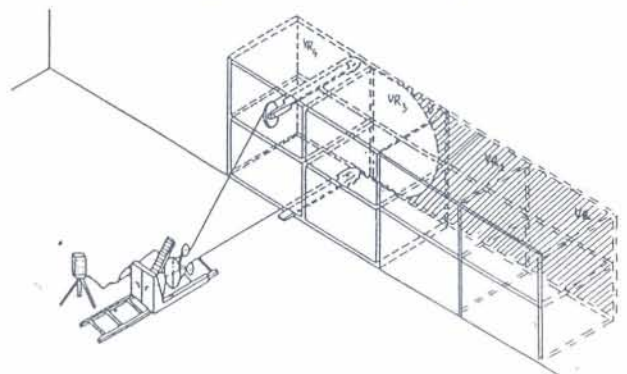
Sl. 6. Cijepanje pomoću vodenog jastuka
Fig. 6. Splitting with hydraulic pillow

Međutim, određeni se zaključci o veličini i ponašanju pritisaka u stijeni i stupovima ipak mogu izvući.

Stijenska je masa ispod krovinske jalovine podijeljena u tri eksploatacijska sloja koja (sl.3) idući od vrha prema dolje imaju debljine:

- III. sloj zahvaćen nešto deblje i iznosi 1,35 m
- IV. sloj debljine 1,30 m
- V./VI. sloj debljine 1,50 m

Slojevi u ovom dijelu ležišta leže subhorizontalno, što predstavlja izrazitu pogodnost. Otkrivka iznad ovih slojeva debljine od 3,5 do 5 m predstavljena je



Sl. 7. Pilenje pozadinskog reza dijamentnom žičnom pilom
Fig.7. Back cut with diamond wire

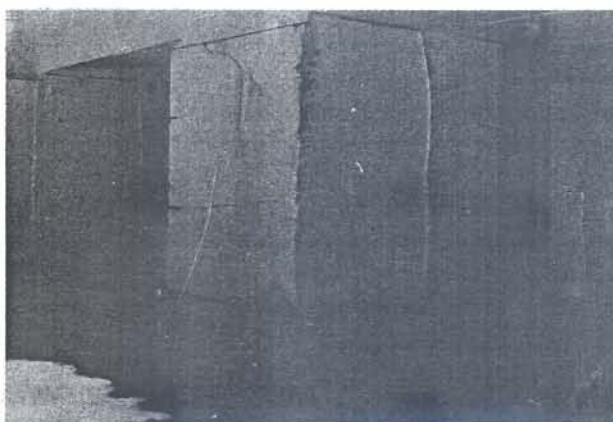
istim tipom vapnenca slabijih fizičko-mehaničkih svojstava.

Tijekom rada isprobana su dva načina vađenja blokova:

- eksploatacija piljenjem zadnjeg reza dijamantnom žicom i
- eksploatacija direktnim lomljenjem zadnje stranice bloka pomoću vodenih jastuka.

Eksploatacija piljenjem pozadinskog reza dijamantnom žicom

Vađenje blokova ovim načinom prikazano je shematski na slikama od 4-7. Eksploatacija započinje piljenjem vertikalnih i horizontalnih rezova sjekačicom (sl. 4 i 5). Radi kasnijeg postavljanja kolona za dijamantnu žicu potrebno je vertikalne rezove izvesti tako da si na jednom kraju zahvata omogućimo izradu usjeka širine oko 60 cm. Kada se ispile svi vertikalni i horizontalni rezovi, pristupa se cijepanju blokova iz usjeka pomoću vodenog jastuka (sl. 6). Prilikom rada primjećeno je da se materijal cijepa odlično. Nakon cijepanja komada i njihova vađenja iz usjeka, u usjek se postavlja kolona s kotačima za dijamantnu žicu koja se povlači kroz



Sl. 9. Pogled na komore i zaštitni stup
Fig.9. Outlook over the rooms and pillar

Dimenzije dobivenih blokova su približno $(2,6 \times 1,2 \times 1,3) \text{ m}^3 = 4,06 \text{ m}^3$ odnosno težine oko 11 tona/bloku. Ukupno se dobije 8 blokova i 2 tombolona iz usjeka. Ovaj je sistem napušten iz sljedećih razloga:

- vrlo komlicirana izvedba,
- potrebna je voda,
- manji koeficijent iskorištenja i
- vremenski duži rad.

Na ovaj je način izvršen samo prvi ulazak u stijensku masu. Cjelokupna dalja eksploatacija odvijala se direktnim cijepanjem zadnje stranice "glave" bloka pomoću vodenog jastuka (sl. 6).

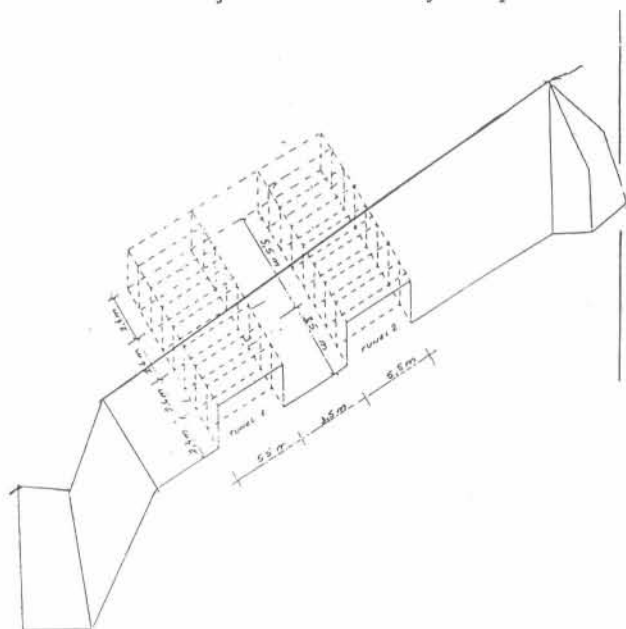
Metoda eksploatacije direktnim cijepanjem zadnje stranice bloka

Ova je metoda slična prethodnoj s tim da je u potpunosti odbačena izrada bilo kakvog usjeka ili kanala. Blokovi se dobivaju tako da im se uz pomoć vertikalnih i horizontalnih rezova izrađuju "bočne stranice" (sl. 4 i 5), s tim da je dužina bloka jednaka dužini mača s kojim se reže. Nakon tako izradenih rezova bloku je potrebno otkalati zadnju "glavu" te ga izvaditi. To se postiže tako da se u međuprostore horizontalnih rezova postave čelični podmetači i uvuku limeni jastuci za cijepanje (sl. 6). U jastuke se utiskuje voda pod pritiskom da se obavi cijepanje. Proces cijepanja odvija se bez problema. Kada su blokovi potpuno odvojeni, u podzemnu prostoriju ulazi utovarivač, uvlači rub kašike ili vilice u djelomično otvoren rez i izvlači blok iz njegova ležišta.

Utovarivač iznosi izvađeni blok i odlaže ga na skladište blokova izvan jame.

Velika prednost ovog načina u odnosu na dijamantnu pilu je da ne troši vodu i da je vrlo brz.

Na opisani se način probijaju dvije paralelne galerije između kojih se ostavlja zaštitni stup (sl. 8). Dužine galerija jesu 5,5 m, a zaštitnog stupa 3,5 m. Izgled dobivenih prostorija - komora između ostavljenih zaštitnih stupova vidljiv je na slici 9.



Sl. 8. Shematski prikaz radova po fazama
Fig. 8. Schematic view of working phases

vertikalni rez VR te se pili pozadinska stranica blokova I i II (sl. 7). Kada je ovo ispiljeno pristupa se piljenju reza VR2 tako da se praktički dobivena dužina blokova dijeli na dva dijela. Prije piljenja dijamantnom žicom u horizontalne rezove lančane sjekačice potrebno je umetnuti čelične umetke, da eventualno popuštanje gornjeg bloka ne razbije ostale, te da se može kasnije ponovno provući žica. Nakon što je ispiljen rez VR2, pristupa se piljenju reza VR3 čime se dobiju definitivni oblici blokova.

Tablica 2. Geomehanički parametri vapnenca u kamenolomu "Kanfanar"
 Mjerenja izvršena u prosincu 1995, Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu, Zavod za rudarstvo i geotehniku
 Table 2. Geomechanical characteristics of limestones from "Kanfanar" quarry
 Tests performed in December 1995, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Department for mining and geotechnics

Opis <i>Description</i>	Neposredna krovina <i>Direct roof</i>	Drugi sloj <i>Second strata</i>	Četvrti sloj <i>Fourth strata</i>	Diskontinuiteti			Normalna slojnica <i>Normal joint amongh the strata</i>
				Slojnica V. sloja <i>Strata line at fifth stratum</i>	Kalcitna žila <i>Vein of calcite</i>	Pukotina <i>Crack</i>	
Jednoosna tlačna čvrstoća <i>Uniaxial compression strength</i>	σ_{t-rod} MPa	87,409	84,847	92,413			
Jednoosna vlačna čvrstoća <i>Uniaxial tension strength</i>	σ_{t-rod} MPa	5,328	4,216	4,502			
Troosna tlačna čvrstoća <i>Triaxial compression strength</i>	σ_3 MPa		4	4			
	σ_1 MPa		110,42	95,262			
Yangov modul elastičnosti <i>Youngs modulus</i>	E GPa	10,946	14,394	14,762			
Kohezija <i>Cohesia</i>	c MPa	17	13	13	5,228	6,059	2,460
Koeficijent Poassona <i>Poissons ratio</i>	v	0,26	0,335	0,151			
Kut unutrašnjeg trenja <i>Angle of internal friction</i>	ϕ	50°	59°	52°	47°23'	34°10'	58°13'
Prostorna masa <i>Apparent specific gravity</i>	ρ_{rel} kg/m ³	2663,2	2628,1	2642,3			

Tijekom eksploatacije, uzeti su uzorci kamena i izvršeno je ispitivanje geomehaničkih parametara u Zavodu za Mehaniku stijena na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu. Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 2. Parametri su dovoljni da se može pristupiti matematičkom modeliranju jamskog prostora pomoću teorije konačnih elemenata i uz pomoć postojećih softvera, FLACK ili UTAH2PC (K o v a č e v i ć - Z e l i ć et al., 1996).

Problemi i kontrole prilikom izvođenja radova

Prilikom izvođenja radova posebne je probleme stvaralo "podizanje" sjekačice na željezne kavalete kako bi se mogla rezati visina reza od 4,05 m. Ovo je dovodilo do usporavanja procesa rezanja, jer se u jednom ciklusu za svaki vertikalni rez sjekačica dizala i spuštala po jedanput. Kod rezanja horizontalnih rezova, sjekačica se također morala jedanput dizati za doseganje tražene visine.

Kontrola pritisaka obavljala se pomoću dugoljastih stakala (30 x 5) cm koja su ljepljena preko pukotina i na stranice stupova. Ukoliko bi došlo do pomicanja ova stakla bi pucala što bi predstavljalo upozorenje da se nešto dešava. Nakon godinu dana nije došlo do pucanja niti jednog stakla, što svjedoči o stabilnosti stijenske mase.

Problem koji se pojavio je procjeđivanje vode u podzemne prostorije nakon većih kiša, o čemu će trebati voditi računa.

Problem kojeg također ne treba zanemarivati je povećana zaprašenost prostora u neposrednoj blizini rezanja. Firma FANTINI uskoro izlazi na tržište sa specijalnim otprašivačem za jamske sjekačice čime će

ovaj problem biti znatno ublažen. Potpuno rješenje se dobiva kombinacijom otprašivanja i pravilno postavljenog sustava ventilacije radnih prostorija.

Zaključak

Probna je eksploatacija obavljena od III. do VII. mjeseca 1995. i dobiveni su sljedeći rezultati:

izvadena stijenska masa.....	558 m ³
ostavljeno u potpornom stupu.....	3,5 x 4,0 x 4,05 = 56,7 m ³
proizvedeno komercijalnih blokova.....	346,734 m ³
prosječna veličina bloka.....	3,508 m ³
prosječna dužina bloka.....	2,14 m
piljenje s lančanom pilom (406,28 sati).....	967 m ²
prosječna brzina piljenja	
vodoravno piljenje.....	3.0 m ² /sat
vertikalno piljenje.....	1,8 m ² /sat
ukupno vertikalnog piljenja.....	402 m ²
ukupno horizontalnog piljenja.....	561 m ²
ukupno piljenja po izvađenom bloku	
brutto.....	1.80 m ² /m ³ bloka
netto.....	2,73 m ² /m ² bloka
piljenje dijamantnom žičnom pilom (zadnji rezovi u prvom ulazu).....	38 m ²
koeficijent iskorištenja stijenske mase	
bez stupova.....	62 %
sa stupom.....	56 %
ukupno ostvareni radni sati radnika.....	2393 sati
rad utovarivača CAT 980C.....	27 sati
ostvarena produktivnost	
42,438 m ³ /po radniku mjesečno za brutto izvađenu masu	
26,370 m ³ /po radniku mjesečno za netto izvađenu masu	

Ovi rezultati pokazuju da je eksploatacija provedena uspješno, kao i da se s takvim para-

metrima može računati na njenu ekonomsku rentabilnost. Prema pokazateljima u Italiji za podzemnu eksploataciju, cijene blokova kod eksploatacije vapnenaca iznose od 200000 do 300000 lira/m³ bloka, što potvrđuju i naši rezultati.

Također je pristupljeno promjeni konstrukcije sjekačice tako da će joj kolone biti produžene i da će dozvoljavati visinu eksploatacije do maksimalno 4,20 m, što će omogućiti direktan ulazak teške mehanizacije u otkopne galerije. Ovo je omogućeno tijesnom suradnjom talijanskog proizvođača strojeva FANTINI s.a. iz Rima sa stručnjacima KAMEN-a Pazin.

Budući je ovo prva poslijeratna podzemna eksploatacija blokova arhitektonsko-gradevnog kamena na teritoriju Hrvatske, rezultati koje smo dobili su više nego dobri. Nadam se da će poslužiti i drugima ukoliko pristupe eventualnoj analizi moguće primjene u svojim kamenolomima. Uspješnost ove metode, također, može dovesti do otvaranja kamenoloma koji su do danas smatrani nepogodnim za eksploataciju upravo iz razloga visoke otkrivke. Eksploatacija i proizvodnja ovim načinom može

postati moguća i u područjima koja su zaštićena, jer ne dolazi do narušavanja okoliša kao pri eksploataciji površinskim kopom.

Primljeno: 1996.03.12.

Prihvaćeno: 1996.06.25.

LITERATURA

- Antunović-Kobliška, M. (1973): Opšti rudarski radovi. Građevinska knjiga, Beograd.
- Bosticco, L., Fornaro, M. e Oreste, P. (1991): Stabilità di rocce ornamentali in sotteraneo: Metodi e analisi. Carrara.
- Fornaro, M. & Bosticco, L. (1994): Underground Stone Quarrying in Italy - Its Origins. The Present Day and Prospects (Part 2). *Marmomacchine International*, 7, 22-51.
- Fornaro, M. & Bosticco, L. (1995): Underground Stone Quarrying in Italy - Its Origins. The Present Days and Prospects (Part 4). *Marmomacchine International*, 9, 64-87.
- Kovačević-Zelić, B., Vujec, S. i Cotman, I. (1996): Numeričke analize podzemne eksploatacije arhitektonsko-gradevnog kamena. *Rud.-geol.-naft. zb.*, 8, Zagreb.
- Pelizza, S., Manzini, R., Peila, D., Cardu, M. and Bosticco, L. (1994): Design Criteria to Transfer Underground Ornamental Stone Quarries. XVI world Mining Congress, 425-434, Sofia.
- Ribacchi, R. (1969): Misurre dello stato di sollecitazione nei pilastri della cava di marmo di Lasa. *L'Industria Mineraria*, Roma.

The trial Underground Exploitation of Dimension Stone at "Kanfanar" Quarry, Istria

I. Cotman

Company "KAMEN" is placed in the center of Istrian Peninsula. Company is dealing with exploitation, processing and applications of dimensional stone in the civil engineering and architectural field. The limestone is stratified and thickness of the strata dictate the high of the blocks. Company has several opened quarries (Kanfanar, Kirmenjak, Vinkuran, Valtura and others) with the annual production about 23000 up to 25000 m³ of block. The limestone in the quarries is dipping from 0 up to 10 degrees approximately to the East. The useful high of strata in quarry of Kanfanar is about 6.8 m, with about 20 meters of stratified limestone as overburden. The overburden has no quality to be utilized for dimensional stone industry.

In the present time limestone is excavate by open mining with presplitting blasting of overburden. In the exploitation methods, diamond wire saws, chain saws and loaders are in use. As the useful strata are dipping, height of the overburden practically raise every day and make the exploitation expencier.

The reasons of introduction of underground methods in actual quarries, can be divided in two groups:

- environment demands, and
- tech-economical demands.

By the implementation of the underground methods of exploitation green surfaces of the site terrains remains untouched. That has a great positive influence to the scenery and to the nature, so that dimensional stone underground quarries start to obtain positive image to the surroundings. To open dimensional stone quarry becomes much easier if the quarry is in underground.

From the tech-economical point of view, exploitation becomes cheaper. The masses in operations are smaller that diminish all secondary costs. The underground method of exploitation in stratified quarries, needs smaller equipment (small quantities of waste, overburden) and smaller number of employees. These factors has great influence to the production costs.

Before making decision to open an underground quarry, the problem must overview from several points. In the table 1 are shown all necessary steps that has to be made before any decision. Having in mind all these steps, the trial exploitation has the aim to obtain necessary data for future planing of the works, such are:

- geomechanical properties of limestone,
- tech-economic parameters of applied equipment,
- technological parameters of the applied method, and
- determination of all parameters important for technology and safe:
 - microtectonical and karstic phenomena and their influence to the stability
 - stability of roof and pillars, and
 - other elements important for safe work in underground conditions

Method of exploitation in Kanfanar quarry chosen for the operation is well known "room and pillar" method. The dimension

of room and pillars was calculated on the base of old Protodjakov formulas. The chosen dimensions of the rooms were (5.5 x 5.5) meters, and chosen dimensions of the pillars were (3.5 x 3.5) meters. Looking at the other existing quarries in Italy, it was seen that relation of m² of pillar to the m² of open space were from 6:1 up to 9:1. In the other words, the useful stone which is "lost" in the pillars is from 16% up to 25%. These relations are different for the marbles.

The chain saw with vidia teeth and with 2.4 meters effective long cutting tool were chosen. The chain saw is produced by company FANTINI, Rome, Italy.

The specific rock presure was calculated with the help of Protodjakov formulas, and for the width of the room of 5.5 m, are of influence in the roof is aproximatly about 0.66 m high. Specific pressure in the roof is 1.76 t/m², which is smaller than 3 t/m² as the permissible value according to the A n t u n o v i ć - K o b l i s k a. Additional control of the rock pressure calculation were done by the use of various softwares such are FLACK, UTAH2PC. The minimum factor of safety according to the B o s t i c c o, et al. (1991) is 0.9. Following their calculations maximum width of open areas (rooms) can be up to 13 meters. These data has to be approved in the practice, which will be the next step.

The method of exploitation can be seen on the schematic pictures 4-8. The first cuttings are horizontal cutting with the chain saw. With the underground exploitation three stratas will be excavated with total height of 4 meters. Horizontal and vertical cuts can be easy done with the chain saw. To obtain the last surface, internal "head" block has to be or cutted with diamond wire or splitting by use of hydraulic water pillows. Both systems were tried, and splitting method were chosen because of many facilities in the work. Using the hydraulic pillows digging process is faster, easier and does not need the water. As a negative point of that system is rough surface obtained which diminish the value of the block. In the farther works, the diamond wire sawing will be analyze more, because this system is probably more economical.

During the exploitation, there were no problems with the consistency of the rock, or problems caused by the rock pressure. All time situation were controlled with the application of the special glasses implemented in various places in the underground corridor. No braking were determinate. In this trial stage, quantity of the limestone that were excavated was 558 m³ of the rock. From that quantity 346.73 m³ of blocks were obtained with average of the 3.5 m³ per block. Factor of utilization obtained were 62% (not calculated the mass of the pillars) and 56% with calculation of the pillars. The productivity was 26.37 m³ netto blocks/worker month.

The trial underground excavation was the first working of that kind in the recent history of dimensional stone industry in Croatia. The results are excellent and very promising. Underground exploitation of dimensional stone will become most use method in the future if we wish to preserve nature and our environment.