Procjena iskoristivosti prilikom eksploatacije tankih ploča na primjeru benkovačkog kamena

Bačić, Maria Magdalena

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:562177

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geologije

PROCJENA ISKORISTIVOSTI PRILIKOM EKSPLOATACIJE TANKIH PLOČA NA PRIMJERU BENKOVAČKOG KAMENA

Diplomski rad

Maria Magdalena Bačić
G308

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PROCJENA ISKORISTIVOSTI PRILIKOM EKSPLOATACIJE TANKIH PLOČA NA PRIMJERU BENKOVAČKOG KAMENA

MARIA MAGDALENA BAČIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Terensko mjerenje i uzorkovanje za diplomski rad izvršeno je na eksploatacijskom polju Kukalj, smještenom u neposrednoj blizini Grada Benkovca. Na području Benkovačke zaravni tijekom eocena taložen je tzv. „benkovački pločasti vapnenac“ definiran kao mineralna sirovina prirodni ili arhitektonsko-građevni kamen. Ležište Kukalj je izgrađeno od krednih, paleogenskih i kvartarnih naslaga. Cilj rada je prikazati proračun iskoristivosti stijenske mase. Procjena iskoristivosti određena je pomoću linearnog, površinskog, te volumnog koeficijenta iskoristivosti. S obzirom na izračunate koeficijente iskoristivosti može se zaključiti da se veliki dio kamenoloma Kukalj može iskoristiti u obliku ploča budući da volumni koeficijent iskoristivosti iznosi 51,44%. Osim same procijene stijenske iskoristivosti na terenu je obavljeno uzorkovanje, te su ispitana litološka i petrografska svojstva vapnenaca. Ispitana svojstva i izračun iskoristivosti pomaže u daljnjoj eksploataciji kamena, te u samoj procjeni njegove primjene.

Ključne riječi: Kamenolom Kukalj, benkovački vapnenac, prirodni kamen, koeficijent iskoristivosti, mineraloška i petrografska svojstva.

Diplomski rad sadrži: 51 stranica, 6 tablica, 15 slika i 21 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Ana Maričić

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Ana Maričić
Prof.dr.sc. Dunja Aljinović
Doc.dr.sc. Tomislav Korman

Datum obrane: 19. listopada, 2018.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

EVALUATION OF UTILIZATION DURING EXPLOITATION OF THIN PLATES IN THE CASE OF BENKOVAC STONE

MARIA MAGDALENA BAČIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Resources
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Field investigations and sampling for this graduate thesis were done at the exploitation field Kukalj, located near the town of Benkovac. The so-called „Benkovac platy limestone" was deposited in the area of Benkovac plateau during Eocene. "Benkovac platy limestone" is mineral raw material defined as natural building stone. The Kukalj field is made of cretaceous, paleogenic and quaternary deposits.
The aim of this thesis is to show the calculation of the rock mass utilization coefficient. The utilization of the rock mass is determined or calculated by a linear, surface and volume coefficient of utilization. According to the results of the volume utilization coefficient which is 51.44%, it could be concluded that a large part of the Kukalj quarry could be utilized. In addition to the rock utilization calculation, lithological and petrographic properties of stone were also determined. Data of stone properties and utilization could help during the planning of exploitation and in the estimation of stone usability.

Keywords: Kukalj quarry, Benkovac limestone, natural stone, utilization coefficient, mineralogical and petrographic properties,
Thesis contains: 50 pages, 6 tables, 15 figures and 21 references

Original in: Croatian
Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,

Supervisor: Assistant Professor Ana Maričić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Ana Maričić, PhD
Full professor Dunja Aljinović, PhD
Assistant Professor Tomislav Korman, PhD

Date of defence: October 19, 2018.

SADRŽAJ

1. Uvod.....5
2. Geografske značajke šireg i užeg područja istraživanja.....7
3. Geološke značajke šireg i užeg područja istraživanja 11
3.1. Geologija šireg područja 11
3.2. Geološka građa ležišta u kojem se eksploatira Benkovački kamen 16
3.3. Osnovni podaci o Benkovačkom kamenu 17
4.1. Karakteristike ležišta koje utječu na iskoristivost stijenske mase 20
4.2. Čimbenici koji utječu na iskorištenje stijenske mase 21
4.2.1. Položaj diskontinuiteta 21
4.2.2. Ostali važni čimbenici 21
4.3. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase 22
5. Metodologija istraživanja 24
5.1. Terenski rad.....24
5.2. Petrografska analiza 24
6.1. Petrografska analiza 26
6.1.2. Mikroskopska analiza.....29
6.2. Izračun iskoristivosti stijenske mase na primjeru ležišta Kukalj.....33
6.2.2. Površinski koeficijent iskoristivosti 39
6.2.3. Volumni koeficijent iskoristivosti 40
7. **Rasprava rezultata** 43
7.1 Mineraloško-petrografska svojstva Benkovačkog vapnenca u kamenolomu Kukalj.....43
7.1. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase Benkovačkog kamena u kamenolomu Kukalj 44
7.2.1. Linearni koeficijent iskoristivosti.....45
7.2.2. Površinski koeficijent iskoristivosti 46
7.2.3. Volumni koeficijent iskoristivosti 47
8. Zaključak 48

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Koordinate vršnih točaka eksploatacijskog polja Kukalj (Nuić i dr, 2013)…..…..…..5
Tablica 3.2.Fizičko-mehanička svojstva kamena u kamenolomima Kukalj (Nuić i dr., 2013.)……..……..13
Tablica 3.3. Rezultati određivanja kemijskog i mineralnog sastava (Nuić i dr.,2013.)…..…….14
Tablica 6.1. Izmjerene debljine slojeva u slijedu debelom 3 m……...……32
Tablica 6.2. Rezultati mjerenja duž ploče……...…….33
Tablica 6.3. Rezultati mjerenja za širinu ploče……...…….34

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Geografski položaj šireg istraživanog područja (https://www.google.hr/maps/@44.2236797,15.5996093,67738m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4).....3
Slika 2.2. Geografski položaj kamenoloma Kukaj označen crveno. (https://www.google.hr/maps/@44.0348513,15.766171,13768m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4).....5
Slika 3.1. Geološka karta šireg istraživanog područja sa naznačenim ležištem Kukalj (crvena zvijezda) (isječak iz OGK, M 1: 100 000, List Obrovac)(preuzeto iz Ivanović i dr., 1976)……10
Slika 5.1. Otkopna fronta na kojoj su izvršena mjerenja za određivanje koeficijenta stijenske iskoristivosti……..……....20
Slika 6.1. Označeni slojevi na otkopnoj fronti u ležištu Kukalj……..……21
Slika 6.2. Uzorak kamena sa vidljivom laminacijom, izmjena mikritnog i zrnskog vapnenca…...22
Slika 6.3. Uzorak kamena iz sloja 8 na kojem se vidi školjkasti lom, te boja kamena kakva je uglavnom prisutna u svim slojevima ……23
Slika 6.4. Uzorak kamena na kojem se jasno uočava tanki sloj mikrita i deblji sloj zrnastog vapnenca.....24
Slika 6.5. Uzorak kamena iz sloja 44 koji je potpuno zrnaste strukture……..…24
Slika 6.6. Slika prikazuje pukotinu gotovo okomitu na slojevitost, ispunjena kalcitom……25
Slika 6.7. Nekoliko zapaženih zrna pirita…….....……...……...…...26
Slika 6.8. Foraminifera miliolida unutar madstona……...……...27
Slika 6.9. Miješanje sedimenta, odnosno bioturbacija vekstona i grejnstona……..…….28
Slika 6.10. Oštar prijelaz iz madstona u vekston……..……...….29
Slika 6.11. Otkopna fronta na kojoj su vršena mjerenja i uzorkovanje.....30
Slika 6.12. Idealizirani prikaz otkopne fronte…….…….31
Slika 6.13. Površinski dio kamenoloma korišten za izračun osi x i y……...31
Slika 6.14. Tlocrt otvorene gornje slojne plohe na površini izdanka (ploče su površina 30x30 cm…….……37
Slika 7.1. Otkopna fronta sa oznakom slojeva i njihovih imena po litotipu, M-madston, V-vekston, G-grejnston ……...40
Slika 7.2. Učestalost pojedinih debljina ploča unutar intervala od 3 m na zamišljenoj osi z.....….42

1.Uvod

U ovom radu obavljeno je istraživanje na području eksploatacijskog polja „Kukalj“ koje je smješteno u Zadarskoj županiji i prema teritorijalnom ustrojstvu pripada području Grada Benkovca.

Na području Benkovačke zaravni (sjeverozapadno, sjeverno i sjeveroistočno od Benkovca), eksploatira se kamen na tržištu poznat kao „benkovački pločasti vapnenac“ ili „benkovački kamen“. Benkovački vapnenac je mineralna sirovina koja prema primjeni pripada u skupinu prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena. Jalovina, odnosno kameni otpad koji se dobiva iz ostatka komercijalno neiskoristivog prirodnog kamena koristi se u obliku tehničko-građevnog kamena.

S obzirom da se na širem području Benkovca nalaze brojni kamenolomi u kojima se eksploatira benkovački kamen, istraživanja koja su provedena u ovom radu uvelike pomažu shvaćanju građe ležišta, zatim određivanju iskoristivosti u ležištu s obzirom na pojavljivanje arhitektonsko-građevnog kamena u obliku tankih ploča što utječe na njegovu eksploataciju.

U radu je ujedno provedena petrografska analiza uzoraka, s ciljem određivanja petrografskih litotipova. Naslage u ležištu Kukalj su dobro uslojene s izraženim izmjenama mikritnog i zrnskog vapnenaca, odnosno s izmjenama litotipova kao što su madston, vekston i grejnston. Debljine slojeva variraju od 0,3 do 24 cm. Ovisno o debljini ploča variraju i cijene proizvoda pa tako tanje ploče obično imaju mnogo veću ekonomsku vrijednost nego deblje ploče.

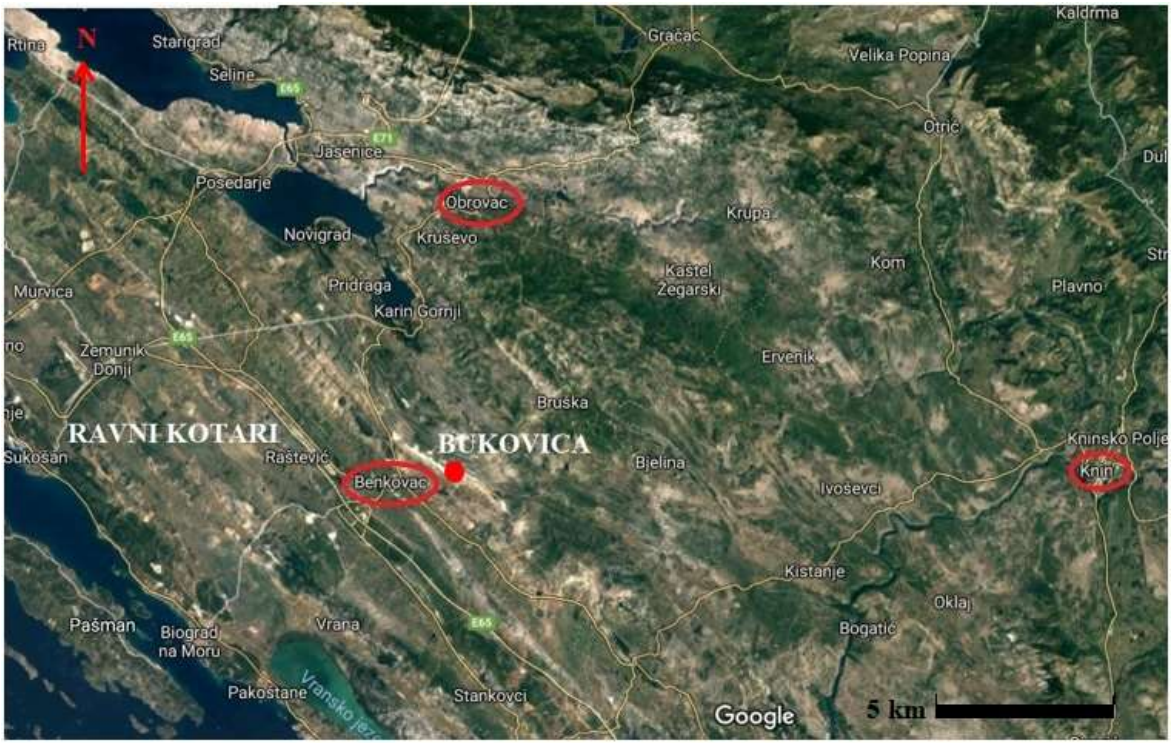
Glavni cilj diplomskog rada je odrediti iskoristivost stijenske mase pomoću tri koeficijenta iskoristivosti, linearnog, površinskog i volumnog. Izračun koeficijenata iskoristivosti uvelike ovisi o diskontinuitetima kao što su pukotine i plohe slojevitosti, koji se pojavljuju u ležištu, te njihovim sustavima i razmacima.

U ovom radu korištene su smjernice za izračun koeficijenata iskoristivosti bazirane na izračunima koje su koristili Pedić (2012) u svom diplomskom radu „Mogućnost procjene i povećanja iskoristivosti benkovačkog prirodnog kamena u ležištu „Pridraga“ i Pinjuh (2017) u diplomskom radu „Procjena iskoristivosti prilikom eksploatacije tankih ploča na primjeru „Lipovečkog kamena“. Zbog velike iskoristivosti i površine prostiranja samog vapnenca, kamenolomi koji se nalaze na ležištima Benkovačkog slojevitog vapnenca mogu se uzeti kao reprezentativni primjer za izračun koeficijenta iskoristivosti za tanke ploče.

2. Geografske značajke šireg i užeg područja istraživanja

2.1.Geografija šireg područja

Šire područje istraživanja pripada sjevernoj Dalmaciji koja je sastavljena od otoka, obale i zaleđa, te obuhvaća i mikroregije Bukovicu i Ravne kotare. Bukovica je krševit kraj u trokutu između Benkovca, Obrovca i Knina (slika 2.1.) u čijem dijelu se nalazi i kamenolom „Kukalj“. Na sjeveru je omeđena rijekom Zrmanjom, na zapadu Karinskim morem, a na istoku i jugoistoku rijekom Krkom. To je vapnenačka ravan koja se prostire na 863 km^2, visine 250-300 m s brdovitim proplancima kao što su Jurišnika 674 m, V. Prosek 658 m, Ivanova Glavica 653 m, Kunovac 640 m, Orljak 573 m, Vršina 565 m, Stari vrh 552 m, Visibaba 544 m i dr. Južno od Bukovice u pravcu priobalja prostiru se Ravni kotari površine od 996 km^2. Ravni kotari prostiru se od Bukovice, Benkovca i Novigradskog mora na sjeveru do tankog priobalnog pojasa od Zadra do Skradina (ušća Krke) na jugu, odnosno od zaleđa Zadra na zapadu do zaleđa Skradina na istoku. Na njenom jugu i jugoistoku ističu se brojni brežuljci kao na primjer Mijavica 413 m, Daleko brdo 341 m, Sopalj 221 m, te se na tom području nalaze i više udolina Nadinska, Vranska i dr. kao i Vransko jezero (Medini, 1987).Grad Benkovac u blizini kojeg se nalazi istraživano područje, je nastao na spoju plodnih polja Ravnih kotara i krša Bukovice, u okružju čak 5 Nacionalnih parkova i 3 Parka prirode. Grad se sastoji od 41 naselja u kojima živi oko 12000 stanovnika, te čini administrativno središte ovog kraja.



Slika 2.1. Geografski položaj šireg istraživanog područja i oznaka kamenoloma (crvena točka).

(https://www.google.hr/maps/@44.2236797,15.5996093,67738m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4)

2.2. Geografski položaj kamenoloma Kukalj

Kamenolom „Kukalj“ prema teritorijalnom ustrojstvu pripada području Grada Benkovca u Zadarskoj županiji. Mikrolokacijski nalazi se u nenaseljenom dijelu, lokalitetu Buković gaj, oko 3 km udaljen od centra Benkovca prema sjeveroistoku (slika 2.2.). Najbliža naselja su Benkovačko Selo i Buković udaljeni oko 2 km zapadno odnosno južno od kamenoloma. Najmanja zračna udaljenost kamenoloma do morske obale je u pravcu sjevera (Karinsko more) i iznosi oko 10 km odnosno juga (Biograd na moru) oko 20 km.

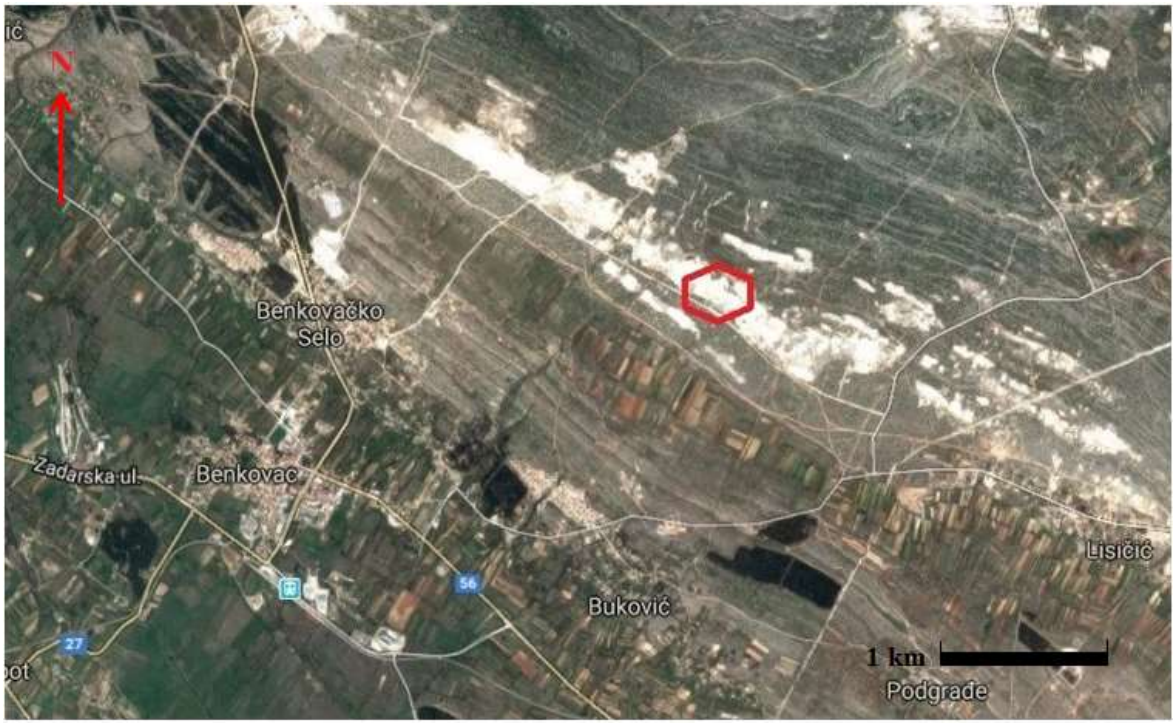
Eksploatacijsko polje/kamenolom „Kukalj“ oblika je nepravilnog peterokuta, omeđenog spojnicama vršnih točaka A, B, C, D i E, te zaprima površinu od 11, 71 ha (tablica 2.1).

Kamenolom se nalazi u blizini županijske prometnice Ž6027 koja se u gradu Benkovcu spaja na državnu prometnicu D 27 (Karin-Benkovac) što omogućava lak transportni pristup te dobru daljnju cestovnu povezanost.
U geomorfološkom pogledu eksploatacijsko polje „Kukalj“ nalazi se u zaravnjenom terenu, između kota 266 i 272 m n. m., s blagim padom terena prema jugozapadu. Šire područje terena se odlikuje blagim morfološkim formama, odnosno izmjenom blagih brežuljaka s plitkim dolinama. Visinske razlike terena su jedva vidljive.

Površinskih vodotoka nema na eksploatacijskom polju i neposrednoj okolici. Predmetno područje je nenaseljeno, s mnogobrojnim iskopima i odlagalištima kamena koji se ne može ekonomski iskoristiti.

Klima šireg područja je mediteranska, s vrućim i suhim ljetima, te prohladnim i vlažnim zimama. Srednja godišnja temperatura je 14° C. Srednja količina godišnjih padalina iznosi oko 1 000 mm. Režim padalina je izrazito neujednačen – mediteranski s relativno velikim količinama padalina, ali neravnomjernim godišnjim rasporedom. Najviše temperature prate najmanje količine padalina, posljedica čega su česte suše. Oborine su često velikog intenziteta što pogoduje ubrzanom procesu erozije. Vjetrovi imaju česte velike brzine, osobito bura (preko 100 km/h). Obzirom na klimatske uvjete, eksploatacija kamena je moguća tokom cijele godine.

Biljni pokrov je zastupan tipičnom biljnom zajednicom karakterističnom za krško-mediteransko podneblje, bez većih šumskih površina. Prisutna je niska vegetacija: makija, nisko grmoliko drveće, rjeđe visoko drveće. Humusni se pokrivač iznad karbonatnih naslaga tek ponegdje javlja u vrlo tankom sloju. Više humusa u širem području ima samo u depresijama koje su izgrađene od flišnih naslaga.



Slika 2.2. Geografski položaj kamenoloma Kukaj označen crveno.

(https://www.google.hr/maps/@44.0348513,15.766171,13768m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4)

Tablica 2.1. Koordinate vršnih točaka eksploatacijskog polja Kukalj (Nuić i dr., 2013).

Oznaka točke	Koordinate točaka		Dužina
			stranica, m
	y	x	
A	5 552 338,40	4 877 586,62	
			266,22
B	5 552 449,08	4 877 828,74	
			527,48
C	5 552 841,11	4 877 475,83	
			138,88
D	5 552 757,08	4 877 365,26	
			155,93
E	5 552 601,16	4 877 363,46	
			344,74
A	5 552 338,40	4 877 586,62	
Površina P= 11,71 ha			

3. Geološke značajke šireg i užeg područja istraživanja

3.1. Geologija šireg područja

Šire područje istražnog prostora Kukalj izgrađeno je od krednih, paleogenskih i kvartarnih naslaga (slika 3.1.). Geološke značajke šireg područja Benkovca opisane su na temelju podataka preuzetih iz tumača Osnovne geološke karte 1:100 000 za list Benkovac(Ivanović i dr., 1976).

Turon-senon ($K_2^{2,3}$)

Naslage turon-senona su najstarije naslage otkrivene na širem području. Nalaze sejugozapadno od Benkovca na području Gornje Jagodnje, a izgrađuju jezgru kredne antiklinale. Zastupane su sivo-smeđim dolomitnim vapnencima, dolomitima i bijelim kristalastim vapnencima bez izražene slojevitosti.

Senon (K_2^3)

Kontinuirano na naslage turon-senona taloženi su vapnenci senona. Otkriveni su u antiklinalnim dijelovima bora, jugozapadno od Benkovca. Vapnenci su zastupljeni biomikritima i biomikruditima bogati makro i mikrofosilima: česti su rudisti i različite vrste foraminifera.. Jasno su slojeviti, decimetarskih do metarskih dimenzija (15-150 cm). Količina $CaCO_3$ u prosjeku iznosi 98%.

Paleocen-donji eocen (Pc, E_1)

Transgresivno na kredne naslage taloženi su, u obliku isprekidanih zona, tzv. „kozinski vapnenci“. Nalaze se jugozapadno od Benkovca i sjeverno od Novigradskog mora. Zastupljeni su slatkovodno-brakičnim varijetetima vapnenaca, koji su u bazi slijeda. Gornji dijelovi su izgrađeni od vapnenaca s fosilima koji upućuju na marinsku sedimentaciju. Debljina ovih naslaga je približno 15 m.

Donji eocen i donji dio srednjeg eocena ($E_{1,2}$)– foraminiferski vapnenci

U ovoj su stratigrafskoj jedinici dominantni foraminiferski vapnenci rasprostranjeni uz krednu strukturu južno od Novigradskog mora, te na području jugozapadno od Benkovca. Sastoje se od miliolidnih, alveolinskih i numulitnih tipova vapnenaca, a ime su dobili po dominirajućim foraminiferama. Ukupna debljina ovih naslaga je približno 220 metara.Najstariji dijelovi ove jedinice sadrže male miliolide i globigerinide. Mlađi dijelovi sadrže nešto krupnije i brojnije miliolide, a prisutni su brojni fosilni ostaci drugih foraminifera. Na miliolidne vapnence se kontinuirano talože alveolinski vapnenci. Prema prisutnim fosilima, ovi vapnenci potječu iz gornjeg dijela donjeg i donjeg dijela srednjeg eocena. Završni član čine numulitni vapnenci u kojima su najčešće zastupljene vrste *Nummulites ataciacus* i *Nummulites millecaput*.

Srednji eocen ($^1E_2$)– vapnenci i laporoviti vapnenci s glaukonitom

Kontinuirano na foraminiferske vapnence taloženi su vapnenci srednjeg eocena. Nalazimo ih u krilima eocenske antiklinale kod Perušića nedaleko od Benkovca. U starijim dijelovima ovih naslaga nalaze se pretežito vapnenci, da bi u mlađim dijelovima sve više bili zastupljeni lapori, sa znatno manje fosilnih ostataka. U bazi se pojavljuju brojni makro i mikrofosili, koji postupno nestaju, a javljaju se pelagičke foraminifere globigerine i globorotalije. Petrografske promjene te nestanak makrofosila i numulita uz pojavu planktonskih fosila upućuje na produbljavanje sedimentacijskog prostora, te jaku komunikaciju s otvorenim morem. Debljina ovih naslaga ne prelazi 50 metara.

Sredni eocen ($^2E_2$) – vapnenci, lapori i klastiti

Ove su naslage rasprostranjene jugoistočno i sjeverozapadno od Benkovca: od Perušića do Smilčića. Kontinuirano se nastavljaju na prethodno opisane naslage srednjeg eocena. Sadrže relativno bogate i dobro sačuvane asocijacije mikro i makroforaminifera, te rjeđe makrofosile (koralje, ježince i mekušce). Donji dio ove jedinice izgrađen je od lapora, vapnenačkih lapora, vapnenaca i laporovitih vapnenaca, s brojnim ulošcima i proslojcima kalkarenita, pješčenjaka i konglomerata. Klastiti mjestimično prevladavaju. Gornji dijelovi su jednoličniji, izgrađeni od lapora i vapnenaca dok su ulošci i proslojci klastita rjeđi. Debljina ovih naslaga je približno 800 m. *Srednji i gornji eocen (E_{2-3}) – promina naslage*

Konkordantno na sedimente srednjeg eocena talože se vapnenci, konglomerati i lapori „prominskih naslaga“. Te naslage tvore zonu širine 1,5 km uz sjeveroistočni rub Benkovačkog polja. Litološki sastav mijenja se od sjeverozapada prema jugoistoku. Ove naslage su dobro uslojene. Na karti su izdvojena dva litološka člana: uslojeni vapnenci (mikritni vapnenci, bioklastiti i litokalkareniti), te grebenski vapnenci. Uslojeni vapnenci su dobro uslojeni mikritni vapnenci žutosmeđe boje s dobro izraženom laminiranom teksturom. Debljina slojeva je do 30 cm, u prosjeku 10 cm. Bioklastiti (ruditi, areniti i siltiti) dolaze kao deblji i tanji ulošci u mikritnim vapnencima. Dobro su uslojeni, a debljina je 2-75 cm. Bogati su fosilnim ostacima, npr. foraminiferama i makrofosilima. Litokalkareniti su smeđe boje, a javljaju se kao tanki ulošci u mikritima.
Grebenski vapnenci također dolaze kao tanke leće u mikritnim vapnencima. Masivni su s brojnim ostacima makrofosila (koralji, školjke, alge i dr.). Primarna struktura stijena je djelomično uništena uslijed intenzivne rekristalizacije.
Lapori, koji se izmjenjuju s vapnencima, su tanko uslojeni (1-5 cm). Boje su žute i sive. Od detritusa, koji je veličine silta, dolazi kvarc, listići muskovita, te biljni detritus (od 1 do 3%).
Konglomerati su otkriveni samo u jugoistočnom dijelu. Pojavljuju se kao tanki ulošci u numulitnim vapnencima. Debljina slojeva iznosi do 1,5 m. Sastoje se pretežito od loše sortiranih valutica vapnenaca različite starosti. Vezivo je kalkarenitno i laporovito. Promjer valutica je 0,2 do 15 cm. Debljina ovih naslaga je približno 600 m.

Gornji eocen (E_3)– konglomerati i vapnenci u izmjeni, konglomerati i lapori

Najrašireniji geološki član na priloženoj geološkoj karti šireg područja kamenoloma Kukalj, jest *benkovački pločasti kamen* koji je gornjoeocenske starosti (slika 3.1.). Ove naslage taložene su kontinuirano na Prominske naslage. Naime taloženje „promina naslaga“ nastavilo se i nakon izdizanja Dinarida u gornjem eocenu. Tekućice koje su tekle po Dinaridima erodirale su karbonate, zbog čega se mjestimice na kopnenim i rubnim kopneno-morskim područjima taložio krupniji karbonatni materijal, odnosno „promina naslage“. Sitniji dio erodiranog materijala sa karbonatne podloge bio je transportiran dalje u šelfni prostor Jadranskog bazena, te se taložio u tankouslojene karbonatne naslage, tj. naslage koje danas nazivamo *benkovački kamen*.
Prema litološkim značajkama naslage *benkovačkog kamena* mogu se podijeliti u dva dijela. Donji dio se dominantno sastoji od dobro uslojenih mikritnih vapnenaca, debljine

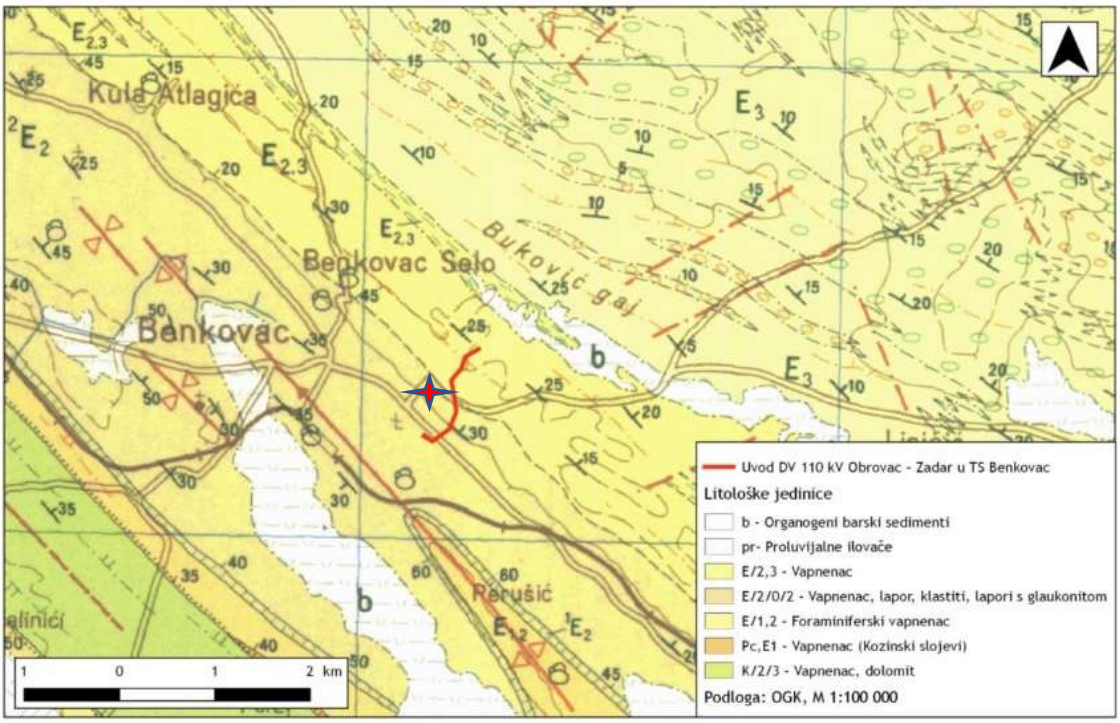
slojeva od 2 do 40 cm, s čestim tragovima životne aktivnosti organizama na slojnim plohama, te paralelnom i kosom laminacijom u presjeku.
U donjem dijelu prisutni su i tanki proslojci i leće vapnenih lapora, grebenskih vapnenaca s rijetkim proslojcima biokalkarenita, litokalkarenita i konglomerata. Gornji dio sastoji se od lapora, vapnenaca, konglomerata i litokalkarenita koji se lateralno i vertikalno višestruko izmjenjuju.

Gornji eocen-oligocen (E,Ol)

Naslage eocensko-oligocenske starosti kontinuirano su taložene na sedimente prethodne jedinice, a predstavljaju ih konglomerati i vapnenci u izmjeni. Dolaze kao prostrana zona u Bukovici, na sjeveroistočnom dijelu pregledne geološke karte. Fosilni ostaci u ovim naslagama vrlo su rijetki, tek se mjestimice pronalaze ostaci bilja i ljuštura koje je teško odrediti.
Sedimenti su predstavljeni izmjenom uslojenih konglomerata i vapnenaca. Konglomerati prevladavaju i morfološki su značajniji. Debljina slojeva je 0,20 do 5 m s vrlo visokim udjelom $CaCO_3$. Valutice su većinom izgrađene od vapnenaca gornjokredne starosti, rjeđe donjokredne i jurske. Valutice koje su porijeklom iz mlađih naslaga su vrlo rijetke ili potpuno izostaju. Bez obzira na podrijetlo i starost valutice su sličnog oblika i zaobljenosti, promjera od 0,02 do 0,24 m. Sortirane su slabo, a vezivo je najvećim dijelom kalkarenitno.
Vapnenci u ovim naslagama su kalkarenitni uz mjestimično taloženje mikritnih vapnenaca. Žutosmeđe su boje, debljine slojeva od 0,02 do 0,6 m. Udio $CaCO_3$ je od 87% do 98%.

Kvartar (Q)

Zastupljen je pleistocenskim i holocenskim naslagama. Od pleistocena u širem području utvrđene su proluvijalne gline i crvenica (terra rossa), a od holocena organogeno-barski sedimetni. Proluvijalne gline sastavljene su od smeđastih glina s mnogo oštrobridnog vapnenenačkog kršja. Substrat su obradivog tla. Također u njima nalazimo i vapnenačke konkrecije. Veće pojave terra rosse su izdvojene u području Raštevića, ali je nalazimo u nizu mnogih krških udubljenja na širem području Ravnih kotara i Velebita. Zemlja crvenica se sastoji većinom od pjeskovite gline crvenkasto-smeđe boje, s dosta vapnenačkog kršja.



Slika 3.1. Geološka karta šireg istraživanog područja s naznačenim ležištem Kukalj (crvena zvijezda) (isječak iz OGK M 1: 100 000, List Obrovac)(preuzeto iz Ivanović i dr., 1962-1967).

3.2. Geološka građa ležišta u kojem se eksploatira Benkovački kamen

Samo ležište prirodnog kamena „Kukalj“ u kojem se eksploatira Benkovački kamen, izgrađuju karbonatni sedimenti – tankopločasti vapnenci nastali taloženjem u marinskoj sredini. Prema paleontološkim analizama i podacima iz literature vapnenci su gornjoeocenske starosti (Ivanović i dr., 1976).

Vapnenci pokazuju izrazitu slojevitost. Debljina slojeva je od 0,3 do 21 cm. Često više centimetarskih slojeva čini deblje – amalgamirane slojeve decimetarskih dimenzija. Slojne plohe su dobro izražene i ravne, ponekad valovite. Ponegdje je na slojnim plohama prisutna glina ili terra rosa. Duž slojnih ploha dolazi do odvajanja ploča vapnenca. Pod udarcem čekića se lome plitko školjkasto, rjeđe oštro i nepravilno. Površine ploha prijeloma su neravne, blago hrapave.

Makroskopski, analizirani uzorci pokazuju da je kamen blijedo-narančast do ružičast i svijetlosivi. Prema strukturi, teksturi, sastavu, količini i dimenzijama detritusa, mineralnom sastavu i rezultatima kemijske analize determiniran je kao vapnenac.

Najviši dio ležišta nalazi se na sjeveroistočnom dijelu s kotom na razini 272 m/n. m. Slijedom toga, maksimalna visinska razlika u ležištu iznosi 6 m.

Površinski dio stijenske mase ležišta je tektoniziran i oštećen. Prosječna debljina površinski oštećenog dijela je oko 50 cm, a sastoji se od humusa, tla pomiješanog sa zdrobljenim vapnencem i terra rossom. Za ležište prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena „Kukalj“ karakteristična je slabija tektonska poremećenost koja se vidi u razlomljenosti stijenske mase. Tektonski odnosi su odraz regionalnih geoloških zbivanja. Ležište se nalazi na prostoru gdje prevladava dinaridsko pružanje struktura i rasjeda. Pružanje slojeva u ležištu je sjeverozapad-jugoistok sa padom prema sjeveroistoku pod kutom od 6° do 9°.

U ležištu su vidljiva dva dominantna sustava pukotina koji predstavljaju prirodne plohe diskontinuiteta. Prvi sistem pukotina je pružanja sjeverozapad-jugoistok, a drugi je pružanja sjeveroistok-jugozapad. Pukotine su približno okomite, gustoća pukotina unutar ležišta nije ujednačena, već se varira od lokacije do lokacije. Pukotine su milimetarske do centimetarske širine, popunjene crvenicom, rjeđe otvorene. Također, kako se ležište nalazi u zoni krša, uvjetovano je karstifikacijom, te mehaničkim i kemijskim djelovanjem atmosfere i vode.

Zbog slojnih ploha i dominantnih sustava pukotina u ležištu dolazi do odvajanja i vapnenac se lomi u ploče raznih dimenzija. Dimenzije i oblik ploča ovise o gustoći pukotina i debljini slojeva vapnenca.

Ležište je karakterizirano povoljnim hidrogeološkim uvjetima. Tankopločasti vapnenci ležišta „Kukalj“ imaju sekundarnu pukotinsku poroznost uvjetovanu lokalnom tektonikom i dobrom slojevitošću. U neposrednoj blizini ležišta nema pojava površinskih vodotoka i izvora, tako da se prilikom eksploatacije ne očekuje dulje zadržavanje oborinskih voda na otkopnim frontama.

Iako je stijenska masa znatno raspucana i ispresijecana brojnim pukotinama, ne postoji opasnost od njenog urušavanja zbog dobre slojevitosti vapnenca, male ukupne dubine otkopavanja (oko 9 m), načina vađenja kamena i morfologije ležišta (Nuić i dr., 2013.).

3.3. Osnovni podaci o Benkovačkom kamenu

Benkovački pločasti vapnenac (prirodni ili arhitektonsko-građevni kamen) podatan je za sve vidove mehaničke i abrazivne obrade, koji se primjenjuje za stijene karbonatnog podrijetla, te su dekorativni i tehnički kriteriji ocjenjeni povoljno. Može se koristiti za zidanje i oblaganje vanjskih i unutarnjih vertikalnih i horizontalnih površina. Također, pločasti vapnenac, kao vrijedna mineralna sirovina, nije ograničen transportnim udaljenostima i njihovim troškovima. Te činjenice potvrđuju često oblaganje kuća i zgrada diljem Hrvatske, te povećan potražnja za pločastim vapnencem u zemljama Europske unije (Mađarska, Italija, Španjolska, Nizozemska, Njemačka itd.).

Rezultati ispitivanja prirodnog kamena iz kamenoloma Kukalj (tablica 3.1. preuzeta iz Nuić i dr., 2013), ukazuju na povoljne vrijednosti tlačne čvrstoće (132 MPa), čvrstoće na savijanje (4,3 MPa), postojanost na djelovanje mraza/smrzavanja, te otpornosti na habanje prema Böhme-u (27,0 cm^2/50 cm^3). Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika, kemijske čistoće i mineraloško-petrografskog sastava prirodni kamen iz ležišta Kukalj ocijenjen je kao kvalitetan kamen koji se može upotrijebiti:

-za horizontalna popločavanja i puteve i pješačkih površina za umjereno prometne površine (do 1500 ljudi na dan)

-za oblaganje slobodnih terasa oko kuća

-za oblaganje temelja i zidova kuća na maloj visini

-za masivnu gradnju i zidanje kamenom

-za izradu zidova od kamena i slične namjene (Nuić i dr., 2013.)

Tablica 3.1.Fizičko-mehanička svojstva kamena u kamenolomima Kukalj (Nuić i dr, 2013).

Vrsta određivanja	**Kamenolom Kukalj**
Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	132,7 MPa
Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	100,8 MPa
Čvrstoća na savijanje	4,3 MPa
Otpornost na habanje po Bohme-u	27,0 cm^3 /50 cm^2
Upijanje vode	0,57 mas. %
Prostorna masa	2,640 g/cm^3
Gustoća	2,700 g/cm^3
Poroznost	2,22 vol. %
Otpornost na mraz	Postojan

Rezultati istraživanja provedenih za potrebe izrade elaborata (Nuić i dr., 2013) ukazuju na prisutnost dolomitizacije (udio dolomita 0,46%) i piritizacije (udio željezovog oksida 0,20%) u Benkovačkom vapnencu. Na to ukazuju povećane gustoće i rezultati kemijskih analiza prikazani u tablici 3.1. i 3.2.

Tablica 3.2. Rezultati određivanja kemijskog i mineralnog sastava (preuzeto iz elaborata Nuić i dr, 2013.).

KEMIJSKI PARAMETAR	**UDIO (mas. %)**
Gubitak žarenjem na 1000° C	42, 83
Silicijev dioksid, SiO_2 + netopivi ostatak	2,5
Željezni oksid, Fe_2O_3	0,2
Aluminijev oksid, Al_2O_3	0,16
Kalcijev oksid, CaO	53,83
Magnezijev oksid, MgO	0,05
Sumporni trioksid, SO_3	0,12
Kalijev oksid, K_2O	0,47
Natrijev oksid, Na_2O	0,04
UKUPNO	**99,75**
Ukupni kloridi izraženi kao Cl^-	0,0048
PRORAČUNATO IZ KEMIJSKE ANALIZE	
Mineralni sastav kamena:	
Kalcit, $CaCO_3$	95,83
Dolomit, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$	0,46

4. Iskoristivost ležišta prirodnog kamena

4.1. Karakteristike ležišta koje utječu na iskoristivost stijenske mase

Benkovački kamen posebna je vrsta prirodnog kamena za koju je vrlo važno prije eksploatacije odrediti iskoristivost stijenske mase. Prosječna iskoristivost ležišta benkovačkog kamena širem području, u raznim kamenolomima, kreće se od 25-45 %. Komercijalno najinteresantnije ploče su debljine od 2 do 6 cm (Nuić i dr., 2013.)

Veliku ulogu pri izračunu koeficijenata igraju diskontinuiteti kao slojevitost i pukotine. Tanki slojevi, koji daju tanke ploče prirodnog kamena, zbog sustava pukotina i slojevitosti imaju velik utjecaj na smanjenje krajnjeg volumnog koeficijenta iskoristivosti, te je samim time i manja ekonomska vrijednost ležišta. Izračun koeficijenata iskoristivosti koristi se prvenstveno na ležištima gdje se eksploatiraju veliki blokovi, a u manjoj mjeri na ležištima kao što je Benkovački kamen.

Ocjena iskoristivosti stijenske mase izrađuje se na prirodno otvorenim profilima, na profilima otvorenim istražnim radovima i na profilima starih otkopnih fronti u kamenolomima. Da se dobiju najbolji rezultati profili bi trebali biti međusobno okomiti. Kameni blokovi/monoliti/ploče mogu biti prirodno odvojeni slojnim plohama, pukotinama i rasjednim zonama. Površine odijeljenih blokova prikazuju se na skici otvorenih površina iz koje se vade podaci visina i širina iskoristivih blokova, a na osnovi tih vrijednosti može se računati linearni i površinski koeficijent (Crnković, 1966; Tomašić, 1976; Tomašić, 1982; Tomašić, 1994).

Primjena rezultata analize iskoristivosti ima značajnu ulogu u eksploataciji prirodnoga kamena, te u njegovoj industrijskoj preradi. Omogućuje bolji uvid u stanje stijenske mase ležišta, daje osnovu za izradu plana eksploatacije, a uz dobro poznavanje fizikalno-mehaničkih svojstava kamena omogućuje pravilan izbor odgovarajuće tehnologije eksploatacije. Znanje o mogućoj veličini blokova koji bi se mogli vaditi iz jednog ležišta, a kojih u tom ležištu ima najviše, što je vidljivo iz analize iskoristivosti stijenske mase i pratećih dijagrama, pomaže prilikom donošenja odluke o primjeni odgovarajuće

tehnologije industrijske prerade gotovih blokova, prvenstveno konačnih proizvoda (ploča) (Tomašić, 1976).

Kod proračuna koeficijenta iskoristivosti ležišta, odnosno mogućnosti dobivanja „zdravih“ blokova kamena, trebalo bi primijeniti odgovarajuću metodu, te izračunati koeficijent iskoristivosti kao kvantitativni pokazatelj koji je čvrsto povezan s utvrđivanjem kategorija i kvalitete rezervi ležišta (Tomašić, 1976).

4.2. Čimbenici koji utječu na iskorištenje stijenske mase

4.2.1. Položaj diskontinuiteta

Postoje razni čimbenici koji utječu na iskorištenje stijenske mase u kamenolomu, a jedan od glavnih je položaj diskontinuiteta (Tomašić & Vidović-Tisanić, 2013).

Optimalni položaj diskontinuiteta u kamenolomu za dobivanje velikih i pravilnih blokova jest:

1. Diskontinuiteti su međusobno približno okomiti ili teže da budu okomiti.
2. Diskontinuiteti su međusobno paralelni ili teže da budu paralelni.
3. Diskontinuiteti su na velikim razmacima bez obzira jesu li međusobno okomiti ili paralelni.
4. Diskontinuiteti zatvaraju povoljan kut prema horizontalnoj površini u kamenolomu.

4.2.2. Ostali važni čimbenici

Prema elaboratu Nuić i dr. (2013) ostali važni čimbenici koji utječu na iskorištenje stijenske mase:

1. Primjena različitih strojeva i alata u tijeku eksploatacije.
2. Mogućnost prilagođavanja eksploatacije položaju diskontinuiteta (horizontalni, vertikalni i kosi rezovi).
3. Ostale mogućnosti eksploatacije (prevrtanje odjednom većih masa stijenske mase od 150 do 250 m^3 i njeno odvajanje duž prirodnih diskontinuiteta).

4. Matematička i grafička analiza svih važnih čimbenika od utjecaja na iskoristivost blokova u nekom kamenolomu.

4.3. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase

Mogu se utvrditi tri koeficijenta iskoristivosti stijenske mase. To su linearni, površinski, te volumni koeficijent iskoristivosti stijenske mase. Na taj način se istražnim radovima dobiju točniji podaci o iskoristivosti ležišta (Crnković, 1966; Tomašić, 1976; Tomašić, 1982; Tomašić, 1994; Tomašić i dr., 2009; Tomašić & Kršinić, 2010; Tomašić i dr., 2013, Tomašić & Vidović-Tisanić, 2013, Maričić & Pinjuh, 2018).

Linearni koeficijent iskoristivosti stijenske mase može se utvrditi duž otkopnih fronti starih i novih kamenoloma, te prilikom istraživanja istraživačkim bušotinama na jezgru. Izračun za linearni koeficijent iskoristivosti prikazan je izrazom koji je sličan izrazu za izračun RQD-a u inženjerskoj geologiji:

$$Kl = \frac{\Sigma l}{L} x100\ (\%) \qquad (4\text{-}1)$$

Gdje je:
Kl – linearni koeficijent iskoristivosti,
l – dužina cjelovitog intervala,
L – cijela dužina istraživanog intervala.

Površinski koeficijent iskoristivosti najpogodnije se određuje na površinama starih i novih otkopnih fronti kamenoloma. Određivanje površinskog koeficijenta iskoristivosti računa se na sljedeći način prema formuli:

$$Ks = \frac{\Sigma(dxs)}{P} x100(\%) \qquad (4\text{-}2)$$

Gdje je:

*K*s – površinski koeficijent iskoristivosti
d – dužina bloka
s – širina bloka
P – površina istraživanog izdanka.

Volumni koeficijent iskoristivosti stijenske mase određuje se pomoću tri istraživačke bušotine određivanjem tri linearna koeficijenta iskoristivosti. Isto tako volumni koeficijent iskoristivosti može se odrediti na otkopnim frontama kamenoloma ukoliko je stijenska masa zasječena eksploatacijom pod kutom od približno 90°. Također se može izračunati umnoškom površinskog i linearnog koeficijenta iskoristivosti. Izračun za volumni koeficijent iskoristivosti dan je sljedećim izrazom:

$$Kv = \frac{\Sigma(vxsxd)}{V} x100(\%) \qquad (4\text{-}3)$$

Gdje je:

Kv – volumni koeficijent iskoristivosti
v – visina bloka
s – širina bloka
d – dužina bloka
V – ukupni volumen istraživane stijenske mase.

Kao što je prethodno rečeno volumni koeficijent iskoristivosti može se odrediti i umnoškom preostala dva koeficijenta iskoristivosti na sljedeći način formulom:

$$Kv = KlxKsx\ 100\ (\%) \qquad (4\text{-}4)$$

Jedan od načina izračuna volumnog koeficijent iskoristivosti je pomoću tri linearna koeficijenta iskoristivosti s time da je uvjet da sva tri koeficijenta budu međusobno

okomita i da su okomita na diskontinuitete u stijenskoj masi. Formula koja se koristi prilikom ovog načina određivanja volumnog koeficijenta je sljedeća:

$$Kv=Kl(x)xKl(y)xKl(z)\ x\ 100\ (\%) \qquad (4\text{-}5)$$

5. Metodologija istraživanja

5.1. Terenski rad

Terenski rad obavljen je na lokaciji kamenoloma Kukalj, na otkopnoj fronti koja je bila najpogodnija za kvalitetno obavljanje mjerenja i uzorkovanja Benkovačkog kamena (slika 5.1.)

Određen je položaj slojeva koji je gotovo horizontalan s malim nagibom od 6° do 9° i pružanjem sjeverozapad-jugoistok. Izmjerene su debljine pojedinih slojeva (ukupno 47 slojeva) te sustavi pukotina i razmaci između njih.

Na temelju navedenih podataka konstruiranje donji dio ležišta visine približno od 3 m i širine od 4 m. Pomoću odabrane otkopne fronte izračunati su linearni, površinski i volumni koeficijent iskoristivosti stijenske mase. Debljina slojeva u ovom ležištu kreću se uglavnom od 0,3 do 21 cm. Također odabrana je jedna gornja ploha sloja na kojoj su određeni razmaci između pukotina u svrhu izračuna linearnog i površinskog koeficijenta iskoristivosti. Na temelju izmjerenih podataka na terenu napravljene su idealizirane skice otkopne fronte i jedne gornje slojne plohe u kompjuterskom programu AutoCad.

Za makroskopsku i mikroskopsku petrografsku analizu prikupljeni su uzorci iz 10 različitih slojeva s time da se pazilo da prilikom uzorkovanja uzorci predstavljaju sviježu stijenu.

5.2. Petrografska analiza

Petrografskom analizom određeni su litotipovi, te njihove petrografske značajke. Za mikroskopsku analizu uzoraka napravljeni su mikroskopski preparati koji se dobiju tako da se uzorci ispile na tanke pločice, te poliraju korundovim prahom i stanje do debljine približno od 0,03 mm. Kako bi se olakšalo razlikovanje kalcita od dolomita i odnosi

između kalcita i dolomita kod dolomitizacije i dedolomitizacije, uzorci su obojani kemikalijama (K-feri-cijanid i Alizarin crveni S) prema metodi brzog bojanja mikroskopskih izbruska po Evamy & Shearman (1962) koju navodi Tišljar (2001). Na taj način pripremljeni uzorci, odnosno preparati, promatrani su polarizacijskim mikroskopom tipa *Leica DM LSP*, dok su mikrofotografije snimljene digitalnom kamerom *Canon EOS.* Determinacija tipova vapnenaca načinjena je prema Dunhamovoj (1962) i Folkovoj (1959, 1962) klasifikaciji. Dunhamova (1962) klasifikacija se koristi za terensku makroskopsku klasifikaciju vapnenaca dok se Folkova (1959, 1962) koristi za klasifikaciju vapnenaca na temelju mikroskopskih preparata.



Slika 5.1. Otkopna fronta na kojoj su izvršena mjerenja za određivanje koeficijenta iskoristivosti stijenske mase.

6. Rezultati istraživanja

6.1. Petrografska analiza

Prilikom terenskog rada uzorkovano je deset uzoraka iz deset različitih slojeva vapnenaca (slika 6.1.). Makroskopski uzorci su pregledani na terenu lupom te su određena dva litotipa zrnski i mikritni litotip koji se izmjenjuju. Za potrebe detaljne petrografske analize su napravljeni mikroskopski preparati. Već na terenu dalo se zaključiti da su slojevi slični što je pokazala i mikroskopska analiza. Budući da se radi o ponavljanju istih litotipova kroz sve slojeve prikazani su rezultati petrografske analize generalno za odabrani interval slojeva. Analiza je obavljena na uzorcima iz slojeva: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 44 i 45.



Slika 6.1. Označeni slojevi na otkopnoj fronti u ležištu Kukalj.

6.1.1. Makroskopska analiza

Makroskopskom analizom utvrđeno je da su prikupljeni uzorci na terenu izrazito laminirane/tankoslojevite teksture što se uočava na slici 6.2. Debljina lamina/tankih slojeva varira između 0,5 i 3-4 cm. Boja kamena je vrlo blijedo narančasta i svijetlosiva (10 YR 8/2 i N7-8, prema Rock-color Chart-u). Pod udarcem čekića kamen se lomi izrazito plitko školjkasto, a površine ploha prijeloma su neravne i blago hrapave (slika 6.3.). Pod povećalom se motri gusta kompaktna građa lamina, dok se na nekim uzorcima uočavaju crvene žilice paralelne slojevitosti ispunjene željezom. Vrlo vjerojatno se radi o hematitu. S razrijeđenom otopinom HCl (3%) kamen reagira burno. Kroz sve slojeve izmjenjuju se mikritni i zrnski vapnenac kao što je prikazano na primjeru slike 6.4., gdje je uzorak kamena iz sloja 5 na kojem se uočava oštar kontakt madstona i grejnstona, dok na slici 6.5. koja prikazuje uzorak kamena iz sloja 44, uočava se grejnston.



Slika 6.2. Uzorak kamena sa vidljivom laminacijom, izmjena mikritnog i zrnskog vapnenca.



Slika 6.3. Uzorak kamena iz sloja 8 na kojem se vidi školjkasti lom, te boja kamena kakva je uglavnom prisutna u svim slojevima.



Slika 6.4. Uzorak kamena iz sloja 5 na kojem se jasno uočava tanka lamina mikrita (dolje) i deblji sloj zrnskog vapnenca (gore).



Slika 6.5. Uzorak kamena iz sloja 44 koji je potpuno zrnske strukture.

6.1.2. Mikropetrografska analiza

U mikropetrografskim preparatima uočavaju se lamine ili tanki slojevi čije debljine variraju između 0,5 cm i nekoliko centimetara. Na uzorcima se jasno uočavaju prijelazi iz jednog litotipa u drugi, a uglavnom se izmjenjuju madston i vekston (mikritni tipovi), te grejnston (zrnski tip).

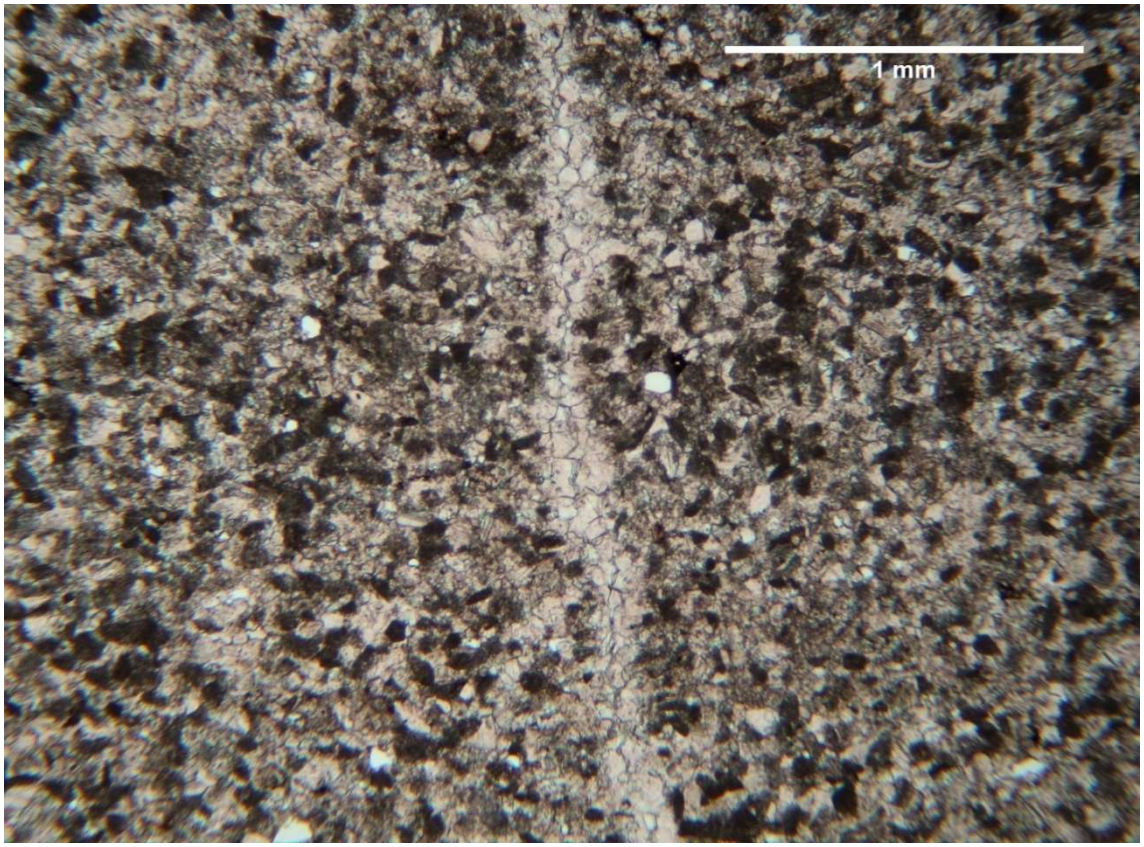
U uzorcima su uočena i pukotine koje su gotovo okomite na slojevitost, dimenzija 0,1 mm te su ispunjene uglavnom kalcitom (slika 6.6.).Uočeno je da su svi uzorci nakon postupka bojanja obojani crveno a tek manji dijelovi su ostali neobojani što pokazuje da se radi o kalcitu s malim udjelom dolomita. Mineralni sastav čine kalcit kojeg ima najviše, a podređeno dolomiti opaki minerali. Opaki minerali su neznatno zastupljen, a nalazi se u nekim pukotinama i kao sitna zrna.

Od alokema u zrnskom litotipu uočavaju se dobro zaobljeni intraklasti, karbonatna zrna veličine do 0,1 mm koja se u ovom uzorku uglavnom ne dodiruju (slika 6.7.). Između intraklasta nalazi se krupnokristalasti sparikalcitni cement.

U mikroskopskom preparatu uzorka iz sloja 8 uočava se da se mikritni litotip sastoji od gustog karbonatnog mikrita a da pritom u mikritnoj osnovi ima manje od 10% zrna promjera između 0,03 i 2 mm te je uzorak na osnovi toga determiniran kao madston. Na

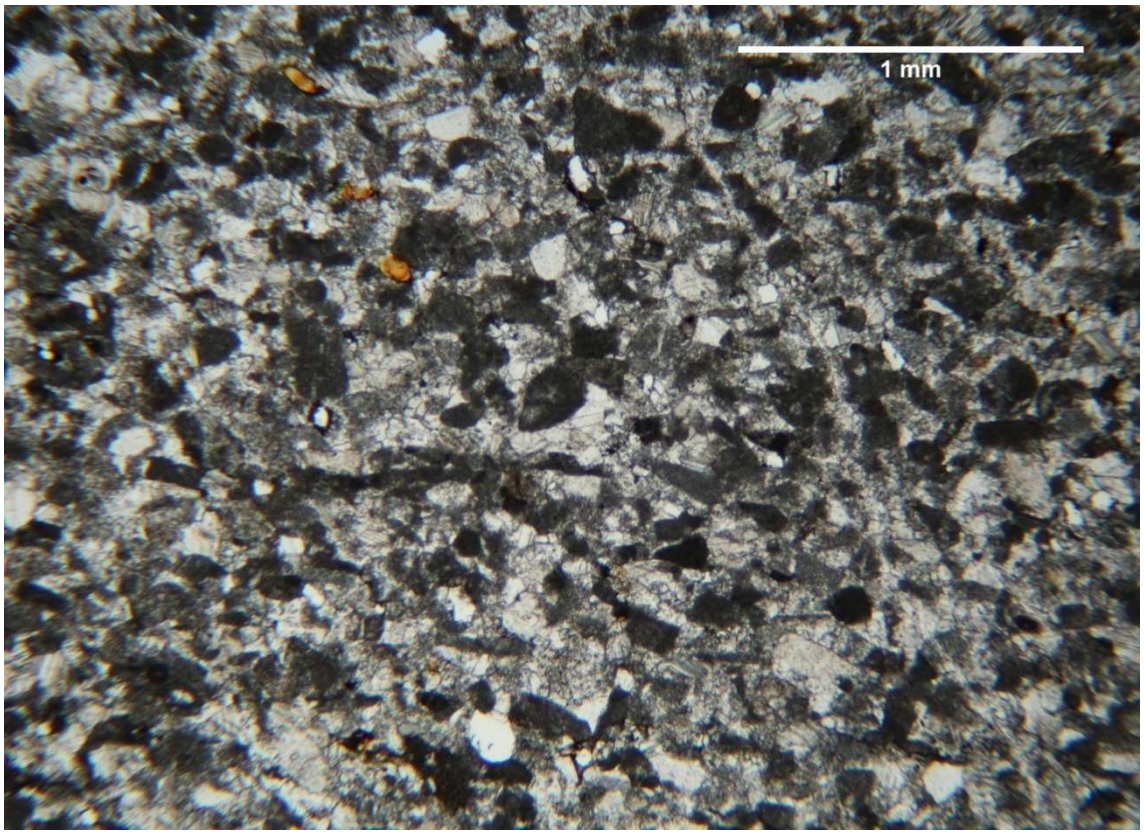
uzorku iz istog sloja uočena je foraminifera miliolida (slika 6.8.). Prema Folkovoj klasifikaciji ovaj vapnenac je determiniran kao mikrit, a prema Dunhamovoj klasifikaciji kao madston.

U uzorcima su vidljivi tragovi prerade sedimenata organizmima u vidu nepravilno izmiješanog sedimenta (slika 6.9.). Na slici 6.10. prikazan je prijelaz iz madstona u grejnston, odnosno iz mikritnog u zrnski vapnenac.

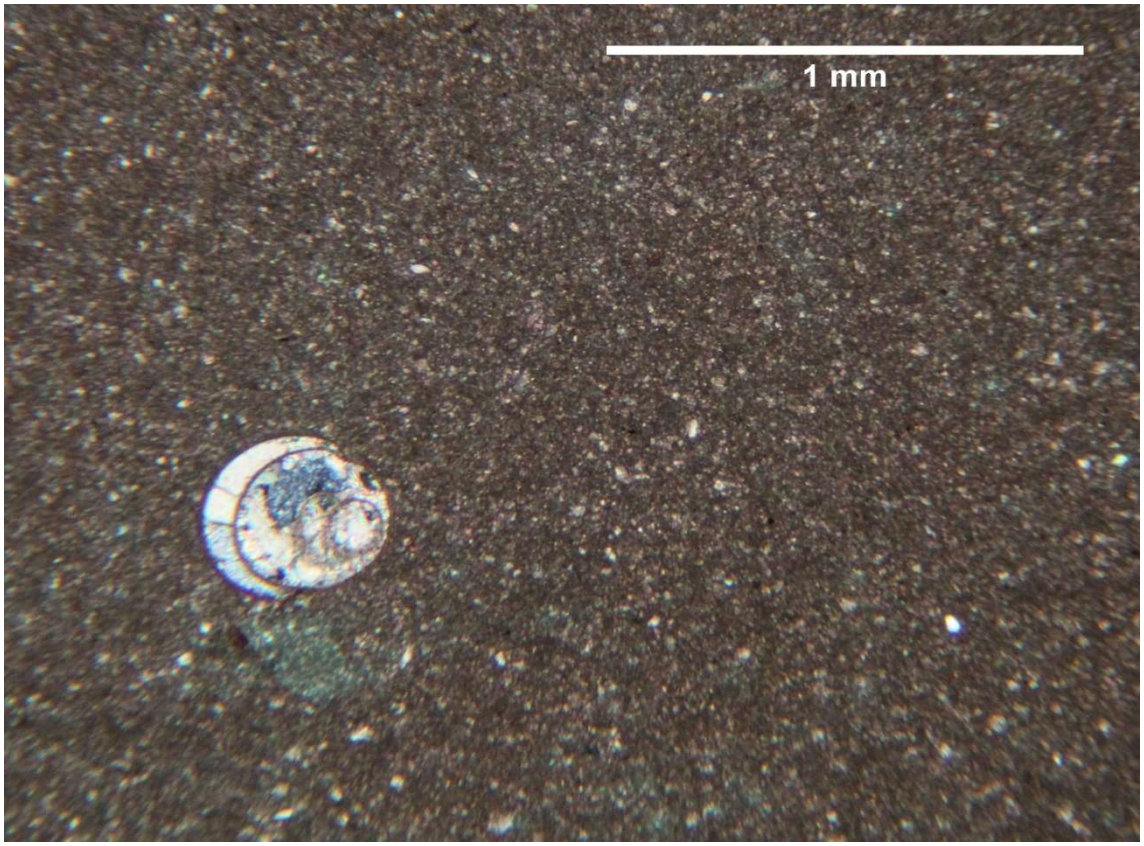


Slika 6.6. Slika prikazuje sastav intraklastičnog grejnstona i pukotinu (sredina) gotovo okomitu na slojevitost, ispunjena kalcitom.

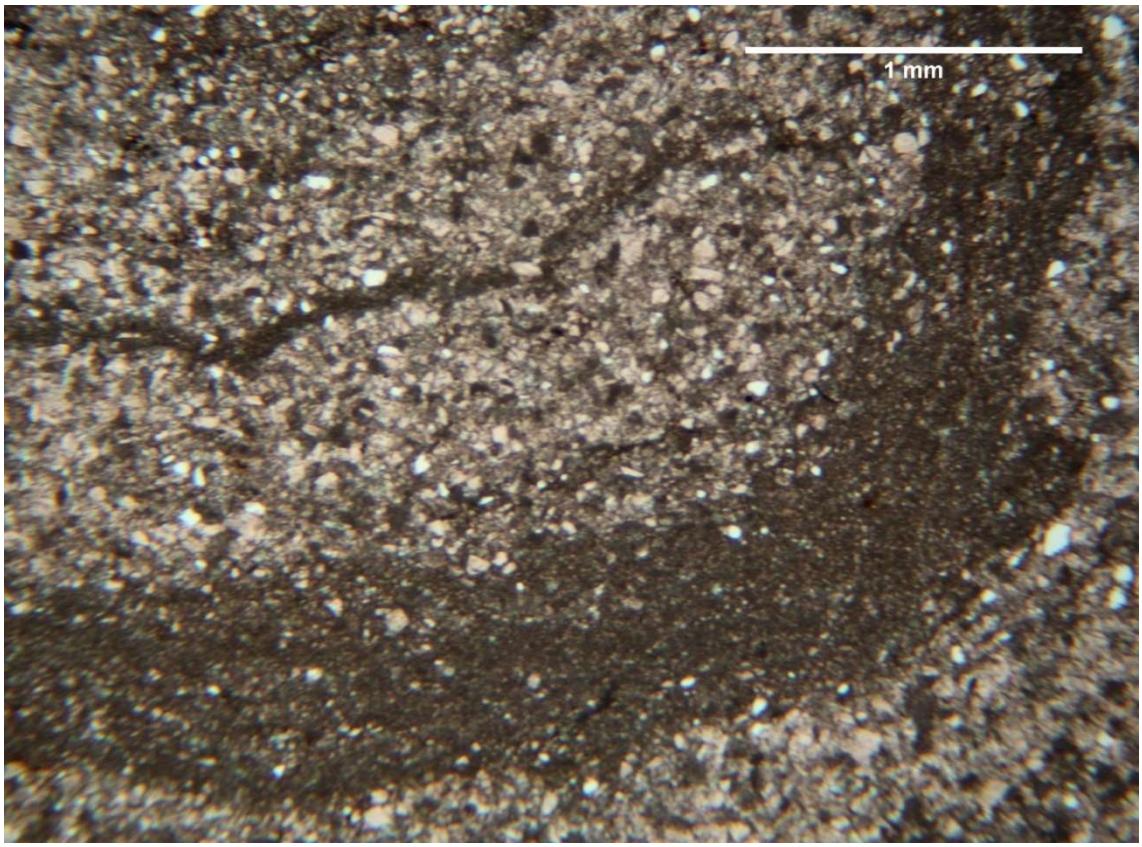
.



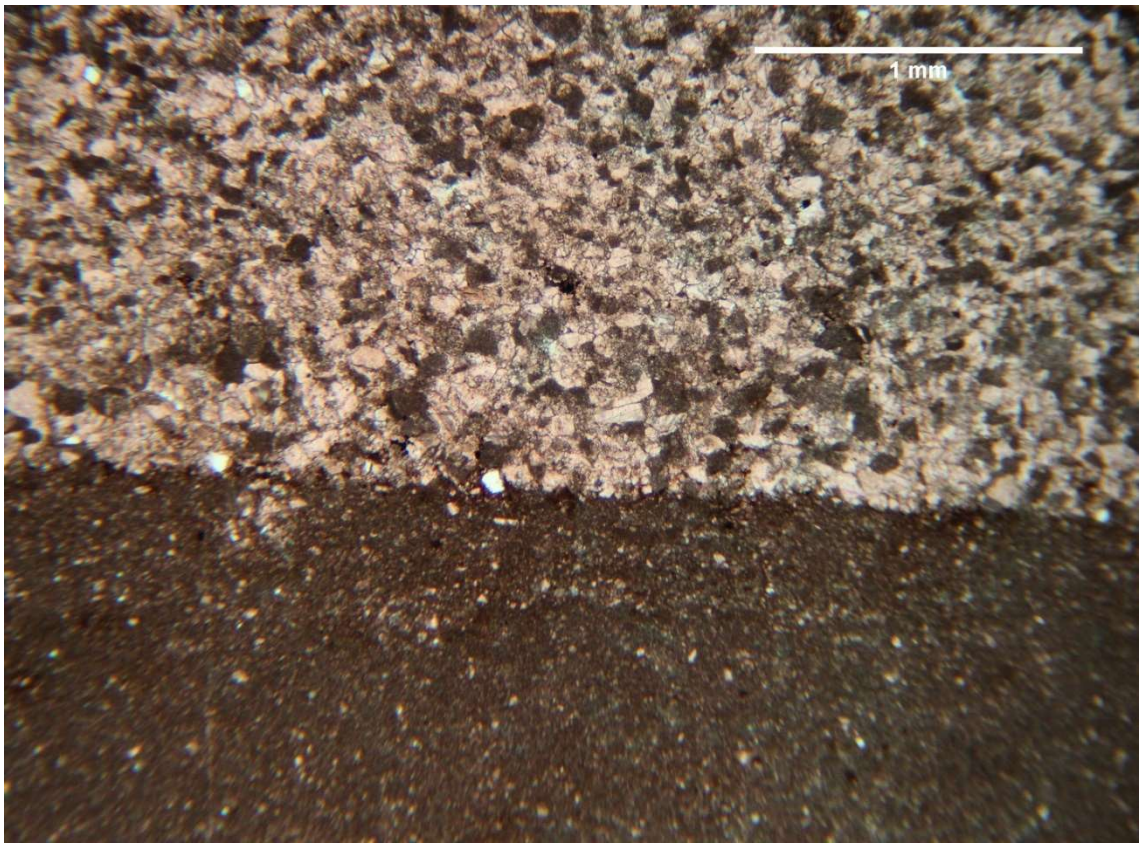
Slika 6.7. Slika prikazuje zrnski litotip – intraklastični grejnston.



Slika 6.8. Homogena struktura madstona.



Slika 6.9. Miješanje sedimenta, odnosno bioturbacija vekstona i grejnstona.



Slika 6.10. Oštar prijelaz iz madstona u grejnston.

6.2. Izračun iskoristivosti stijenske mase na primjeru ležišta Kukalj

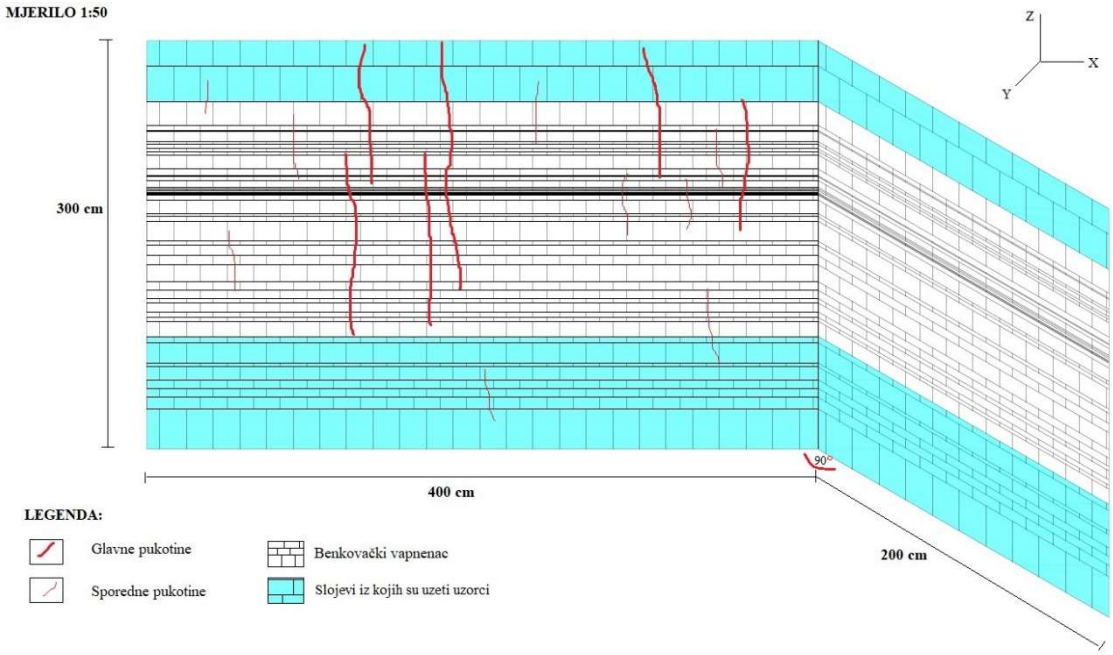
Na odabranom dijelu u kamenolomu Kukalj izračunati su koeficijenti iskoristivosti stijenske mase, a to su linearni, površinski i volumni koeficijent iskoristivosti. Za ulazne podatke korištena je otvorena otkopna fronta visine 3 m (slika 6.11.) i gornja slojna ploha na površinskom dijelu kamenoloma širine3 m i dužine4 m ukupne površine oko 12 m^2 (slika 6.12). Izrađena je i idealizirana skica otkopne fronte na kojoj su prikazani sustavi pukotina te debljine slojeva (slika 6.13). Plavom bojom su označeni slojevi iz kojih su uzeti uzorci za petrografsku analizu. Prilikom izračunavanja iskoristivosti strukturni su elementi postavljeni u skladu s Kartezijevim trodimenzionalnim koordinatnim sustavom, gdje bi visina od 3 m odgovarala osi „z“ u koordinatnom sustavu, a površinske mjere bi odgovarale osima „x“ (3m) i „y“ (4m). Na osnovu tih podataka izračunao se linearni koeficijent iskoristivosti u sva tri smjera, te površinski i volumni koeficijenti iskoristivosti.



Slika 6.11. Otkopna fronta na kojoj su obavljena mjerenja debljine slojeva i uzorkovanje.

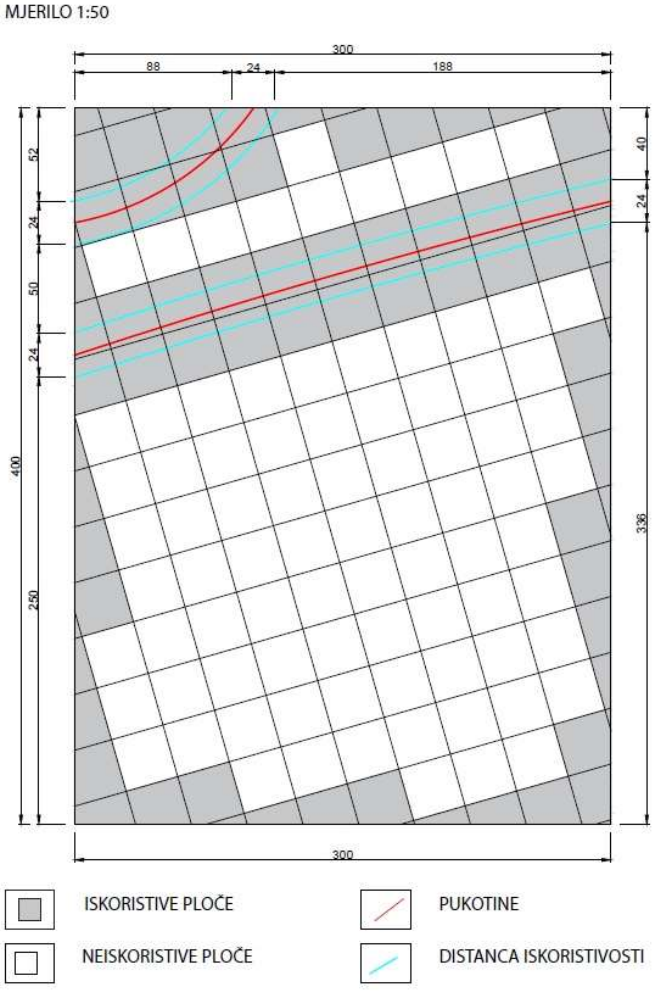


Slika 6.12. Površinski dio kamenoloma korišten za izračun osi xi y.



Slika 6.13. Idealizirani prikaz otkopne fronte.

Izrađena je skica gornje slojne plohe (u položaju tlocrta) na temelju terenskih mjerenja na otvorenoj gornjoj slojnoj plohi glavnih i manjih sustava pukotina i njihovog položaja u odnosu na otkopnu frontu (slika 6.14). Na skici su prikazani sustavi pukotina označeni crvenom bojom koji dijele prikazanu ploču na nekoliko manjih dijelova. Plavom bojom na skici je označena udaljenost koju je potrebno uzeti u obzir prilikom izračuna, zbog mogućih trošenja ploča u tim zonama. Udaljenost iznosi 10 cm. Na skici je također prikazana „mreža“ ploča dimenzija 30x30 cm, postavljena paralelno s pukotinama kako bi njena efikasnost i iskoristivost bila što veća. Sivom bojom označene su ploče koje su neiskoristive, kako zbog toga što se nalaze na pukotinama, ili nisu cjelovite. Bijelom bojom na slici su označene ploče koje su u potpunosti zdrave te ih ima točno 84. Za izračun površinskog i volumnog koeficijenta iskoristivosti upotrijebljene su ploče dimenzija 30x30 cm.



Slika 6.14. Tlocrt otvorene gornje slojne plohe na površini izdanka (ploče su površina 30x30 cm).

6.2.1. Linearni koeficijent iskoristivosti

Linearni koeficijenti iskoristivosti procijenjeni su na sličan način kao i kod korištenja tri međusobno okomite istražne bušotine orijentirane približno okomito na tri sustava diskontinuiteta. U ovom slučaju to se odnosi na dva sustava pukotina i slojevitost (slika 6.13). Linearni koeficijent iskoristivosti duž osi „z“, odnosno okomito na slojevitost za komade debljine 0,3-24 cm izračunat je prema formuli 4-1 (poglavlje 4.3). Ulazni podaci za debljine slojeva prikazani su u tablici 6.1. Izmjerene su debljine ukupno za 47 slojeva, a ukupna debljina istraživanog intervala (L) iznosi 300 cm. Dužina cjelovitih intervala (l) ukupno iznosi 245 cm. Linearni koeficijent Kl(z) koji je okomit na slojevitost prema izračunu iznosi 81,66%.

Tablica 6.1. Izmjerene debljine slojeva u slijedu debelom 3 m.

SLOJ	DEBLJINA SLOJA cm	SLOJ	DEBLJINA SLOJA cm
1	24	**25**	0,3
2	6,8	**26**	0,6
3	5,4	**27**	0,3
4	5,1	**28**	1,5
5	7,7	**29**	0,5
6	2,3	**30**	1,5
7	12,1	**31**	1
8	3,7	**32**	0,9
9	9,1	**33**	4
10	2,3	**34**	2,3
11	3,2	**35**	0,5
12	5,4	**36**	4
13	2,6	**37**	8,5
14	4,9	**38**	2
15	5,1	**39**	1,6
16	10,1	**40**	2,6
17	5,4	**41**	1,7
18	6,1	**42**	6
19	2,5	**43**	0,7
20	12	**44**	3
21	2,6	**45**	14,2
22	1,9	**46**	21
23	8	**47**	15
24	3	**UKUPNO**	**245**

$$K(z) = \frac{\Sigma l}{L} x100\ (\%)$$

$$Kl(z) = \frac{(24 + 6{,}8 + 5{,}4 + 5{,}1 + 7{,}7 \ldots\ldots + 14{,}2 + 21 + 15)}{300} x100(\%)$$

$$Kl(z) = \frac{245}{300} x100(\%) = 0{,}8166\ x\ 100$$

$$\underline{\boldsymbol{Kl}\textbf{(z) = 81,66 \%}}$$

(6-1)

gdje je:

Kl – linearni koeficijent iskoristivosti

l – dužina pojedinog sloja u ležištu (cjeloviti komadi),

L – cijela dužina istraživanog intervala

Prema istoj formuli 4-1 izračunat je linearni koeficijent iskoristivosti po osi „x“ odnosno planparalelno s pukotinama (slika 6.14.). U tablici 6.2. prikazani su rezultati terenskih mjerenja dužine ploča na površinskom dijelu ležišta. Na terenu je zaključeno da se radi o jednoj kontinuiranoj ploči koja je ispresijecana nekolicinom sekundarnih pukotina. Mora se uzeti u obzir da dio ploča koje se nalaze u promjeru 10 cm od pukotina ne ulaze u izračun za iskoristivost zbog mogućih trošenja i oštećena rubnih dijelova ploča, kao ni komadi manji od 30 cm koji su iz ekonomskih razloga neisplativi (slika 6.14.).

Tablica 6.2. Rezultati mjerenja duž ploče.

Komad ploče	Dužina ploče u cm	Broj pukotina
1	250	2
2	50	
3	52	

$$Kl(x) = \frac{\Sigma l}{L} x100\ (\%)$$

$$Kl(x) = \frac{250 + 50 + 52}{400} x100(\%)$$

$$Kl(x) = \frac{352}{400} x100(\%) = 0{,}88\ x\ 100$$

$$\underline{\boldsymbol{Kl}\textbf{(x) = 88 \%}}$$

(6-2)

Treći linearni koeficijent je izračunat za širinu ploča, te odgovaraju osi „y“ u koordinatnom sustavu, što je okomito na pukotine. U tablici 6.3. prikazani su rezultati dobiveni terenskim mjerenjem.

Tablica 6.3. Rezultati mjerenja za širinu ploče.

Komad ploče	Dužina ploče u cm	Broj pukotina
1	188	1
2	88	

$$Kl(y) = \frac{\Sigma l}{L} x100\ (\%)$$

$$Kl(y) = \frac{188 + 88}{300} x100(\%)$$

$$Kl(y) = \frac{276}{300} x100(\%) = 0{,}92\ x\ 1$$

$$\underline{\boldsymbol{Kl}\textbf{(y) = 92 \%}}$$

(6-3)

Linearni koeficijent iskoristivosti stijenske mase za os „x“ iznosi 88%, za os „z“ je nešto manji i iznos 81,66 %, a za os „y“ je najveći i iznosi 92 %. Kombinacijom dva od tri linearna koeficijenta može se izračunati površinski koeficijent (poglavlje 6.2.2), dok kombinacijom sva tri linearna koeficijenta se može izračunati volumni koeficijent ležišta Kukalj (poglavlje 6.2.3).

6.2.2. Površinski koeficijent iskoristivosti

Na temelju skice gornje slojne plohe (slika 6.14.) je izračunat površinski koeficijent iskoristivosti prema formuli 4-2 (poglavlje 4.3).

$$Ks = \frac{\Sigma(dxs)}{P} x100(\%)$$

$$Ks = \frac{84x(30x30)}{120\ 000} x100(\%) = 0{,}63\ x\ 100$$

$$\underline{\boldsymbol{Ks}\textbf{= 63 \%}}$$

(6-4)

Površinski koeficijent iskoristivosti može se izračunati i kombinacijom dva od tri linearna koeficijenta. Tako se mogu dobiti još tri različita izračuna za površinski koeficijent, a računa se prema formulama:

$Ks(1)=Kl(x)xKl(y)$ (6-5)

$Ks(2)=Kl(x)xKl(z)$ (6-6)

$Ks(3)=Kl(y)xKl(z)$ (6-7)

$Ks(1)=0{,}88\ x\ 0{,}92$

$Ks(1)=0{,}8096$

$\underline{Ks(1)=80{,}96\%}$

$Ks(2)=0{,}88\ x\ 0{,}8166$

$Ks(2)=0{,}7186$

$\underline{Ks(2)=71{,}86\ \%}$

$Ks(3)=0{,}92x\ 0{,}8166$

$Ks(3)=0{,}7512$

$\underline{Ks(3)=75{,}12\%}$

Prema formuli (6-4) za izračun površinskog koeficijenta stijenske mase, iskoristivost iznosi 63%. Površinski koeficijenti dobiveni umnoškom dvaju linearna koeficijenta redom iznose 80,96% za umnoške linearnih koeficijenata paralelnog s pukotinama i okomitog na njih, 71,86 % za koeficijent dobiven umnoškom linearnog koeficijenta paralelnog s pukotinama i linearnog koeficijenta okomitog na slojevitost, te 75,12% za umnožak preostala dva linearna koeficijenta. Po dobivenim koeficijentima iskoristivosti stijenske mase vidimo da je iskoristivost u iznosu od 63% dosta manja u odnosu na iskoristivost dobivenu kombinacijom dva linearna koeficijenta.

6.2.3. Volumni koeficijent iskoristivosti

Volumni koeficijent iskoristivosti može se izračunat na tri načina. Prvi način je umnoškom triju linearnih koeficijenta, a u drugi umnoškom površinskog koeficijenta i na njega okomitog linearnog koeficijenta iskoristivosti. Treći način je pomoću formule 6-10 gdje se za svaki iskoristivi blok/ploču trebaju odrediti sve tri dimenzije.

Izračunavanje volumnog koeficijenta iskoristivosti pomoću tri linearna koeficijenta iskoristivosti, koji su prethodno izračunati u poglavlju 6.3.1. Linearni koeficijent iskoristivosti stijenske mase za os „x“ iznosi 88 %, za os „z“ je 81,66%, a za os „y“ je najveća i iznosi 92 %.

$$Kv=Kl(x)xKl(y)xKl(z)x100\ (\%)$$

$$Kv=0{,}88\ x\ 0{,}92\ x\ 0{,}8166x\ 100=$$

$$Kv=0{,}6611x100$$

$$\underline{\mathbf{Kv = 66{,}11\ \%}}$$

(6-8)

Izračunavanje volumnog koeficijenta pomoću površinskog koeficijenta i na njega okomitog linearnog koeficijenta. Površinski koeficijent iskoristivosti prethodno je izračunat u poglavlju 6.2.2. i iznosi 63,0 %.

$$Kv=KsxKl(z)x\ 100\ (\%)$$

$$Kv=0{,}63\ x\ 0{,}8166x\ 100$$

$$Kv=0{,}5144x\ 100$$

$$\underline{\mathbf{Kv=51{,}44\%}}(6\text{-}9)$$

Izračunavanje volumnog koeficijenta pomoću formule:

$$Kv = \frac{\Sigma(vxsxd)}{V} x100(\%)$$

$$Kv = \frac{84x(30x30)x245}{300x300x400} x100(\%)$$

Kv= 0,5145 x 100 (%)

$\underline{Kv}$=51,45 %

(6-10)

Iz koeficijenta iskoristivosti izračunat je popravni koeficijent prema formuli:

$$x = \frac{100xKv}{E}$$

$$x = \frac{100x0,5144}{95} = \frac{51,44}{95}$$

x=0,5414

(6-11)

gdje je :

x – popravni koeficijent

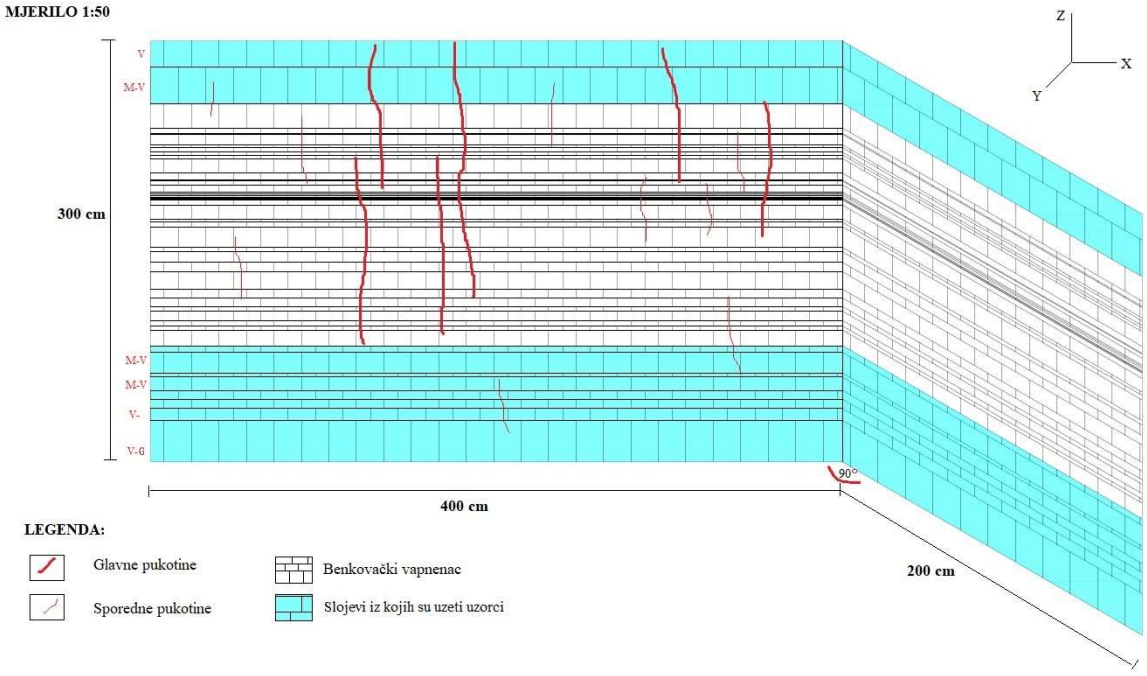
E – eksploatacijski gubitak u iznosu od 5 % koji je standardna veličina samo za ležišta u kojima se eksploatira *Benkovački kamen.*

7. Rasprava rezultata

7.1 Petrografska svojstva Benkovačkog vapnenca u kamenolomu Kukalj

U poglavlju 6.1. petrografskom analizom uzoraka iz kamenoloma Kukalj određena je izmjena tri različita litotipa vapnenca, odnosno determinirani su vapnenci tipa madston, vekston i grejnston na području samog ležišta. Makroskopskom analizom se moglo uočiti da su svi uzorci sličnog sastava, strukture i teksture. Determinirani vapnenci tipa madston i vekston su mikritni vapnenci, a grejnston zrnski vapnenac.

Slika 7.1. prikazuje idealiziranu otkopnu frontu na kojoj su plavom bojom označeni slojevi na kojima je izvršeno uzorkovanje te makroskopska i mikroskopska determinacija stijene, oznake kraj tih slojeva su M za madston, V za vekston i G za grejnston



Slika 7.1. Otkopna fronta s oznakom slojeva i njihovih imena po litotipu, M-madston, V-vekston, G-grejnston.

Iz perspektive tehničke petrografije, može se zaključiti kako uočene promjene litotipova u ovom ležištu ne utječu previše na samu kvalitetu kamena odnosno na iskoristivost stijenske mase. Promjena litotipova kroz slojeve jedino može značajno utjecati na dekorativni kriterij od 5 glavnih kriterija za vrednovanje prirodnog kamena (Tomašić, 2006 skripta), a to su:

1. geološki (prosudba –iskoristivost i blokovitost stijenske mase)
2. tehnološki (ocjena mogućnosti i isplativosti eksploatacije i obrade)
3. tehnički (trajnost i postojanost)
4. dekorativni (estetska vrijednost)
5. ekonomski (objedinjuje sve kriterije – tržišna vrijednost)

Kriterij dekorativnosti temelji se na općem izgledu kamena kao i na estetskim vrijednostima koje iz njega proizlaze. Ovaj kriterij je subjektivan, jer se ne može objektivno procijeniti, no istovremeno je vrlo značajan za tržišnu vrijednost kamena. Pokazatelj tržišne vrijednosti je potražnja za kamenom koja proizlazi iz rijetkosti boje, šara kao i općenitog izgleda. Glavno svojstvo kamena, temeljem čega se procjenjuje njegova dekorativnost, je boja kamena, te je ona vrlo važna pri izboru mjesta primjene kamena. Boja kamena ovisi o boji dominantnih minerala, njihovom prostornom rasporedu, veličini zrna, te o udjelu prirodnih pigmenata. Često su boja i površinska obrada isključivi elementi odabira kamena, a da se odbacuju svojstva prirodnih pigmenata. Prirodni pigmenti u kamenu mogu biti različitog stupnja stabilnosti. Kamen sedimentnog podrijetla, kakav se najčešće susreće u ležištima u Republici Hrvatskoj, može kao pigment sadržavati stabilne minerale, kao što su hematit, ali i nestabilne sastojke, kao što su, organogena, bituminozna supstanca, te se takav kamen, kao što je prethodno navedeno, ne smije upotrijebiti u eksterijeru (Dunda i dr., 2000).

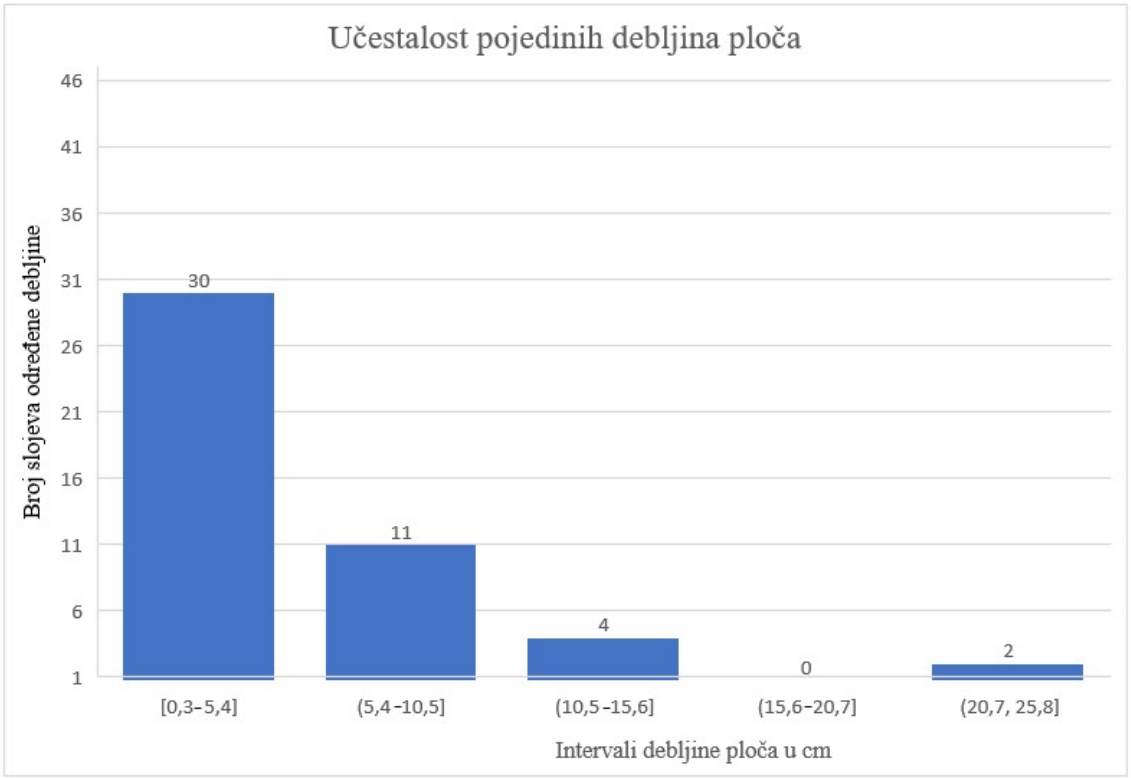
7.1. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase Benkovačkog kamena u kamenolomu Kukalj

Određena su tri linearna koeficijenta iskoristivosti stijenske mase, četiri površinska, te tri volumna koeficijenta na primjeru ležišta Kukalj. Današnje spoznaje o ležištima prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena u neposrednoj blizini kamenoloma Kukalj, pokazuju

da se iskorištenje stijenske mase iz ležišta kao arhitektonsko-građevni kamen („Benkovački kamen“) kreće između 25 i 30%.

7.2.1. Linearni koeficijent iskoristivosti

Pomoću otkopne fronte, gornje slojne plohe, kao i pomoću prikupljenih podataka o debljinama slojeva, i njihovog broja te podacima o pukotinskim sustavima izračunata su tri linearna koeficijenta iskoristivosti stijenske mase. Položaj slojeva na terenu koji je gotovo horizontalan s pružanjem sjeverozapad-jugoistok, sa zalijeganjem prema sjeveroistoku pod kutom od 6° do 9° je olakšao izračun iskoristivosti.
Smjerovi su određeni prema sustavu diskontinuiteta koji su međusobno gotovo okomiti. Os „z“ u odgovara smjeru okomitom na slojevitost, os „y“ odgovara smjeru paralelnom s pukotinama, te os „x“ smjeru okomitom na sustav pukotina. Za os „z“, uzet je interval od 300 cm, od kojih 245 cm otpada na ukupnu debljinu slojeva. Ostatak otpada na trošne zone između slojeva. Prema podacima iz tablice 6.1 (poglavlje 6.2.1) konstruiran je histogram (slika 7.2) učestalosti pojedinih debljina u intervalu od 300 cm.



Slika 7.2. Učestalost pojedinih debljina ploča unutar intervala od 3 m na zamišljenoj osi „z“.

Za osi „x“ i „y“ bilo je potrebno pronaći odgovarajuću slojnu plohu, nešto većih dimenzija i prikupiti podatke o pukotinama na njoj. Površina određene slojne plohe iznosi približno 12 m^2, a za točnije izračune u programu AutoCad izrađena je idealizirana skica slojne plohe, na osnovu koje su dobiveni rezultati. Os „x“ koja u prirodi odgovara osi paralelnoj s pukotinama, ukupne je dužine od 300 cm, a na nekorisne dijelove otpada ukupno 24 cm. Dok je os „y“ u prirodi predstavljena kao okomita na sustav pukotina i iznosi 400 cm, od čega na nekorisne dijelove otpada 48 cm.

Na temelju svih prikupljenih podataka, izračunati su linearni koeficijenti iskoristivosti stijenske mase (poglavlje 6.2.1) u tri međusobno okomita smjera. Dobiveni podaci su:
Kl(x) = 88 %
Kl(y) = 92%
Kl(z) = 81,66 %
Prema dobivenim rezultatima zaključilo se da je koeficijent veći što je nepravilnosti u ovom slučaju diskontinuiteta manje odnosno što je ukupni zbroj nepravilnosti izražen u cm manji. Najveći linearni koeficijent je 92 %, dobiven je na osi „y“ koja je najmanje ispresječena pukotinama, što je u skladu sa zaključkom. Koeficijent na osi „z“ koja ima veći broj diskontinuiteta (pukotina i slojeva) je manji, nego koeficijent dobiven na osi „x“ sa manjim brojem pukotina, iz usporedbe ova dva koeficijenta može se zaključiti koliku ulogu imaju diskontinuitetu u konačnom izračunu koeficijenata iskoristivosti.

7.2.2. Površinski koeficijent iskoristivosti

Površinski koeficijent iskoristivosti se izračunao pomoću površine gornje slojne plohe. Bilo je bitno odrediti dimenzije ploča, sustave pukotina, te debljine pukotina. Površina gornje slojne plohe aproksimirana je s pravokutnikom dimenzija 400x300 cm, jer ploha i u prirodnim uvjetima ima gotovo pravilan oblik.
Na skici gornje slojne plohe postavljena je „mreža ploča“ u ovisnosti o diskontinuitetima. Ploče su orijentirane na takav način da se dobije najveća moguća iskoristivost, a ujedno da je što jednostavnije za eksploataciju i daljnju obradu ploča. Dimenzije ploča koje su uzete za potrebe ovog rad iznose 30x30 cm. Broj ploča umnožen s njihovim dimenzijama, daje ukupnu iskoristivu površinu sloja. Da se dobije površinski koeficijent potrebno je samo ukupnu iskoristivu površinu podijeliti sa cjelokupnom površinom. Dobiven je rezultat za površinski koeficijent iskoristivosti od 63,0%.

Dodatno su podaci o linearnim koeficijentima korišteni za izračun površinskog koeficijenta iskoristivosti. Jednostavnim umnoškom dvaju od tri linearna koeficijenta dobit će se još tri nova rezultata koji redom iznose:

Ks(1) = 81,96 %

Ks(2) = 71,86 %

Ks(3) = 75,12 %.

Kao što se vidi iz rezultata, što je više ulaznih podataka to je koeficijent iskoristivosti manji, ali prema tome i točniji. Uvođenjem još jedne dimenzije koeficijent iskoristivosti se smanjio u odnosu na linearni koeficijent. Ovi rezultati pokazuju realniju sliku iskoristivosti ovog ležišta nego što je to primjer kod izračuna linearnih koeficijenata.

7.2.3. Volumni koeficijent iskoristivosti

Volumni koeficijent izračunat je na tri načina, a za izračun su se koristili podaci prikupljeni na terenu, dobiveni rezultati su sljedeći:

Kv(1). = 66,11 %

Kv(2). = 51,44 %

Kv(3) = 51,45 %

Drugi i treći način izračunavanja volumnog koeficijenta iskoristivosti (51,44 i 51, 45 % potvrđuju da količina ulaznih podataka znatno utječe na promjenu koeficijenta iskoristivosti. Prvim načinom dobiven je koeficijent iskoristivosti u iznosu od 66,11 %, a izračunat je umnoškom tri linearna koeficijenta iskoristivosti, iz rezultata se vidi da je iznos iskoristivost pala za 15 %.Rezultati o volumnoj iskoristivosti pokazuju realniju sliku iskoristivosti ovog ležišta nego što je to primjer kod izračuna linearnih i površinskih koeficijenata.

8. Zaključak

Glavni cilj provedenog istraživanja je bio procjena iskoristivosti ležišta na primjeru kamenoloma Kukalj u kojem se eksploatira Benkovački kamen. Na osnovi prikupljenih terenskih podataka, njihove laboratorijske obrade i analize dobivene su petrografske značajke ispitivanog kamena, te su izračunati koeficijenti iskoristivosti stijenske mase.

Obavljena istraživanja pridonose boljem poznavanju petrografske i litološke građe ležišta, te znatno poboljšanje izračunavanja iskoristivosti kamena prije eksploatacije i samog istraživanja ležišta.

Na osnovi mikroskopskih analiza determinirana su tri litotipa vapnenaca i to madston (M), vekston (V) i grejnston (G), te se iz toga može zaključiti da su ovi vapnenci taloženi u mirnim marinskim okolišima s niskom do srednjom energijom vode. Treba naglasiti da razlika u litotipovima nema utjecaj na iskoristivost stijenske mase u ležištu u obliku ploča.

Prema izračunima koeficijenata iskoristivosti stijenske mase linearnih koeficijenata iskoristivosti, iskoristivost varira između 81,66 % i 92 %, međutim takve visoke vrijednosti nisu realne i ne mogu se očekivati.

Površinski koeficijent iskoristivosti ima manje vrijednosti koje se kreću od 63,00 % do 81,96 %. Prema dobivenim rezultatima, prilikom uvođena dimenzije više, iskoristivost proporcionalno opada. Tome u prilog idu rezultati volumnih koeficijenata iskoristivosti koji iznose 66,11 %, 51,44 % te 51,45 %.

Današnje spoznaje o ležištima arhitektonsko-građevnog kamena u neposrednoj blizini kamenoloma Kukalj, pokazuju da se iskorištenje stijenske mase iz ležišta kao arhitektonsko-građevni kamen („benkovački arhitektonski kamen“) kreće između 25 i 30% što ukazuje na to da su iznosi volumnog koeficijenta najbliži tim podacima.

Iako diskontinuiteti kao što su plohe slojevitosti smanjuju iskoristivost kamena, na primjeru Benkovačkog kamena takva vrsta diskontinuiteta je pogodna prilikom eksploatacije kamena, budući da dolazi do laganog odvajanja slojnih ploha i time se znatno olakšava eksploatacija i daljnja obrada kamena. Promjenom tehnike ali i tehnologije vađenja kamena u budućnosti bi moglo dovesti do još većih iskoristivosti stijenske mase.

9. Literatura

Crnković, B. (1966). Ocjena homogenosti stijenske mase. Građevinar, XVIII/4, str.155-162.

Dunham, J.B. (1962). „Classification of carbonate rocks according to depositional texture“, u: Ham, W. E. (ur.) Classification of Carbonate Rocks, AAPG Memoir, str. 108 – 121.

Dunda, S., Kujundžić, T., Globan, M. & Matošin, V. (2003). Digitalni udžbenik: Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Folk, R. L., 1959. „Practical petrographic classification on limestones“, AAPG Bull., br. 43, str. 1 – 38.

Ivanović, A., Sakač, K., Marković, S., Sokač, B., Šušnjar, M., Nikler, L., Šušnjara, A. (1973). Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Obrovac L 33-128 − Inst. geol. istraž. Zagreb (1962–1967), Savezni geol. zavod, Beograd.

Ivanović, A., Sakač, K., Sokač, B., Vrsalović-Carević, J., Zupanić, J. (1976). Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. Tumač za list Obrovac L 33-128 – Inst. geol. istraž. Zagreb (1967), Savezni geol. zavod, Beograd, str. 61.

Maričić, A., Pinjuh, D. (2018). Evaluation of utilization coefficient during exploitation – case study of Lipovec thinly bedded limestone from Croatia. Rad poslan za objavljivanje u časopisu.

Medini, J. (1987). Benkovački kraj kroz vjekove: zbornik: radovi s naučnog skupa Benkovački kraj kroz vjekove, Benkovac, str. 22-24.

Nuić, M., Nuić, J., Nuić, V. (2013). Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog i tehničkog kamena na eksploatacijkom polju „Kukalj“.

Pedić, T. (2012). Mogućnost procjene i povećanja iskoristivosti benkovačkog prirodnog kamena u ležištu „Pridraga“. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu, str 29-31.

Pinjuh, D. (2017). Procjena iskoristivosti prilikom eksploatacije tankih ploča na primjeru Lipovečkog kamena. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, str. 16-17.

Tomašić, I. (1982). Iskoristivost ležišta arhitektonskog kamena u ovisnosti od tektonskog sklopa i tehnologije eksploatacije. Rudarsko-metalurški zbornik 29, str. 332-342, Ljubljana.

Tomašić, I. (1976). Ocjena cjelovitosti stijenske mase (ležište arhitektonsko-građevnog kamena Pećina kraj Vinice). Građevinar 11, str. 473-482, Zagreb.

Tomašić, I. (2006). Tehnička petrografija 1. Skripta za studente geologije. str. 102.

Tomašić, I. Kršinić, A., Radić, S., Vlahović, M. (2009). Istražno bušenje u svrhu vrednovanja prirodnog kamena. Klesarstvo i graditeljstvo, str. 1-2, 66-76.

Tomašić, I., Kršinić, A. (2011). Some important facts for estimation of natural stone deposits during the exploitation. World of Marmomacchine, str. 46-53, Milano.

Tomašić, I., Vidović-Tisanić, Z. (2013). Potential of medium to more fractured natural stone deposits. Key Engineering Materials, str. 39-47.

Elektronički izvori:

URL:https://www.google.hr/maps/@44.2236797,15.5996093,67738m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4

URL:https://www.google.hr/maps/@44.0348513,15.766171,13768m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4)

URL:https://www.slideshare.net/petroshahnawaz/rock-color-chart-book

Munsell color chart (2009). Geological rock-color chart with genuine Munsell color chips. (2009 year revised). http://www.vawaterwellassociation.org/wp-content/uploads/2014/05/Munsell-sample-from-the-munsell-website-CIPA00011_599.pdf (7.10.2018)