



ANALIZA STANJA DISKONTINUITETA U PRISTUPNOM TUNELU HE RAMA

prof. dr. sc. **Amira Galić**, dipl. ing. geol.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru
Marija Burić, mag. građ.

Sažetak: Tuneli su vrlo zahtjevni, skupi i značajni objekti, posebno oni koji su u sklopu važnih energetske građevine. Takav je i pristupni tunel HE Rama. Riječ je o tunelu dugom 545 metara kojim se dolazi do postrojenja hidroelektrane. Izgradnja HE Rama započela je 1964.godine i završila 1968.godine kada je i puštena u pogon. Osnovna stijenska masa u kojoj su smješteni svi podzemni objekti vezani za strojarnicu su vapnenci koji pripadaju anizijskom katu i dijabaz-rožna formacija srednjeg trijasa, a na pojedinim mjestima se pojavljuju proboji eruptiva i metamorfita. U ovom radu dat je prikaz analize recentnog stanja diskontinuiteta na šest lokacija koje se nalaze na otkrivenom lijevom zidu pristupnog tunela.

Ključne riječi: diskontinuitet, stijena i tunel.

ANALYSIS OF THE CONDITION OF DISCONTINUITIES IN THE ACCESS TUNNEL HPP RAMA

Abstract: The tunnels are very demanding, expensive and significant objects, especially those within the important power plants. Such is the access tunnel HPP Rama. It is a 545 meters long tunnel that leads to the machine room. The construction of HPP Rama began in 1964 and ended in 1968 when it was put into operation. The basic rock mass in which are located all underground facilities related to the machine room are limestones belonging Anisian age and the diabase-chert formation Middle Triassic age, in some places appear breakthroughs of eruptives and metamorphic rock. This paper presents the analysis of the recent condition of discontinuity in six locations that are discovered on the left wall of the access tunnel.

Keywords: discontinuity, rock and tunnel



1. UVOD

Hidroelektrana Rama je derivacijsko-akumulacijska hidroelektrana koja se nalazi na sjeveru Hercegovačko-neretvanske županije, u Bosni i Hercegovini. Ulazni portal u strojarnicu hidroelektrane zajedno s vanjskim pogonskim objektima smješten je među strmim, vertikalnim klisurama. Od ulaznog otvora, tunelom dugim 545 metara dolazi se do strojarnice hidroelektrane. Ova hidroelektrana je najveće postrojenje u sustavu Neretva-Rama. Njezina izgradnja započela je 1964.godine i završila 1968.godine kada je i puštena u pogon.

Najistaknutiji morfološki oblik na području na kojem je smještena elektrana predstavlja dolina Rame, čije je korito usječeno u stijene različitog petrografskog sastava. Dolina Rame po svom postanku ima obilježja fluvijalno-tektonske doline. Dolinske strane su strme, posebno oko područja strojare gdje se Rama urezala u vapnence koji na pojedinim mjestima čine skoro vertikalne litice.

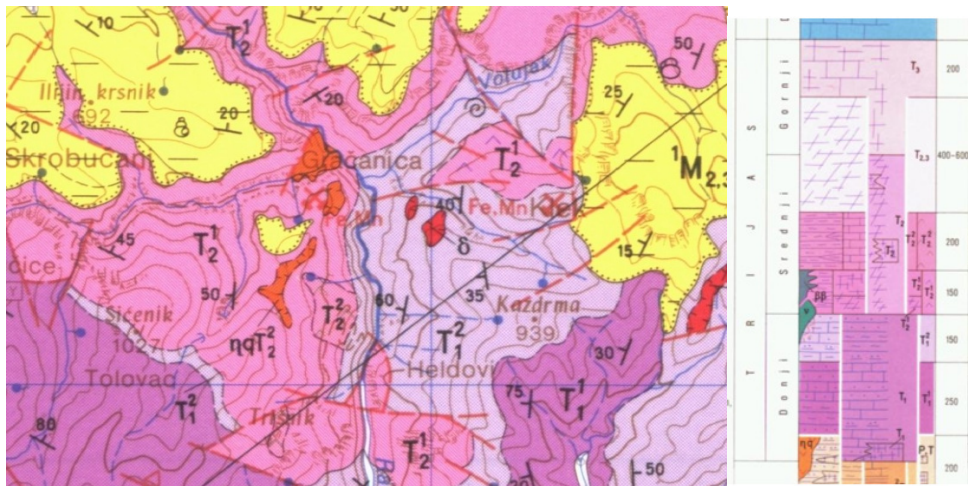


Slika 1. Geografski položaj HE Rama

Cijelo ovo područje raščlanjeno je uvalama potoka koji imaju izrazito bujični karakter s dosta krupnog nanosa oko ušća. Dolina Rame ispunjena je krupnim blokovima, zbog njihovog velikog otkidanja s dolinskih strana i sitnim riječnim nanosom. Najznačajnije pritoke Rame su Zagradačka rijeka i potok Volujak. S lijeve strane ulijevaju se tri manja potoka, odnosno bujice koje imaju kratak tok i velik pad. S desne strane, uzvodno od pristupa strojarnici u Ramu se ulijeva potok Lužac. Pristupni tunel strojarnici i odvodni tunel prolaze ispod ovog potoka, s nadslojem oko 150 metara.

2. GEOLOŠKA GRAĐA

Desnu obalu Rame, gdje je smještena hidroelektrana izgrađuju stijene isključivo trijasko starosti. Verfenski laporoviti vapnenci i lapori najstarije su zastupljene stijene, koje imaju veliku rasprostranjenost u području Gračaca, južno od lokacije hidroelektrane. Osnovna stijenska masa u kojoj su smješteni svi podzemni objekti vezani za strojarnicu su vapnenci koji pripadaju anizijskom katu. Ovi vapnenci nisu kontinuirana masa, nego se u njima nalaze magmatske stijene u vidu žica i dajkova. Način pojavljivanja magmatskih stijena nam ukazuje da se radi o plitkim intruzijama žičnog tipa na granici donjeg i srednjeg trijasa.



Slika 2. Isječak OGK list Prozor (dio na kojem se nalazi pristupni tunel HE Rama)

2.1. Stratigrafski članovi

Na masivnim rumenim vapnencima srednjeg trijasa, koji pripadaju anizijskom katu leže sedimenti dijabaz-rožne serije predstavljeni eruptivnim stijenama, rožnjacima, tufitima i silikatnim karbonatnim stijenama. Na njima leže različito uslojeni, ponegdje pločasti ili masivni silikatni vapnenci, preko kojih normalno zaliježu dolomiti gornjeg trijasa. Superpozicijski red ovih tvorevina govori nam da pripadaju jednoj normalnoj fazi taloženja unutar trijaskog geosinklinale, te da nema nikakvih erozijskih diskordancija. Normalan kontinuitet rasprostiranja poremećen je disjunktivnim pokretima u kasnijem geološkom vremenu, što se očituje rasjedima na dodiru anizijskih vapnenaca i dijabaz-rožne formacije. Poseban utjecaj na međusobne odnose sedimenata na prijelazu iz donjeg u srednji trijas ima magmatska aktivnost. Kao najstarija tvorevina, donje trijaska laporovito-vapnenačka facija ima malu rasprostranjenost i zauzima najdublje dijelove kanjona Rame.

Anizijski vapnenci su sive boje, ispresijecani mnoštvom prslina s limonitnom skramom, koja mijenja njihovu boju te ih zbog toga i nazivamo crvenkastim ili rumenim vapnencima. Uglavnom su masivni, najvećim dijelom bez ikakvih tragova slojevitosti, koja se na pojedinim mjestima tek nazire. U dugom geološkom razdoblju ove stijene su bile na površini pa su krški procesi u njima bili jako intenzivni. Stari krški kanali danas su uglavnom ispunjeni crvenicom, a veliki oblici ostali su i danas otvoreni. Iako je većina starih vodnih putova ispunjena crvenicom kroz pojedine diskontinuiteti ipak prolaze male količine vode, koja je u ovim stijenama vezana za tektonski zdrobljene zone ili zone kontakta s stijenama iz dijabaz-rožne serije.

Preko vapnenaca anizijskog kata leže tvorevine dijabaz-rožne serije u kojoj su zastupljene eruptivne stijene, izlučene kao submarinski izljevi. Određene su kao keratofiri do kvarc keratofiri. Mineralni sastav ovih stijena čine albit i klorit, kao osnovni minerali te amfibol i kvarc, kao sporedni minerali. Istraživanja koja su prethodila izgradnji tunela potvrdila su značajna mehanička oštećenja tijekom orogenih faza. Najveći dio eruptivne mase na taj način dobio je škrljavi izgled i lako se otkida i troši po plohama škrljavosti. Djelovanjem vode koja se procjeđuje sa površine kroz diskontinuiteti, u njima nastaju tanke skrame gline koja



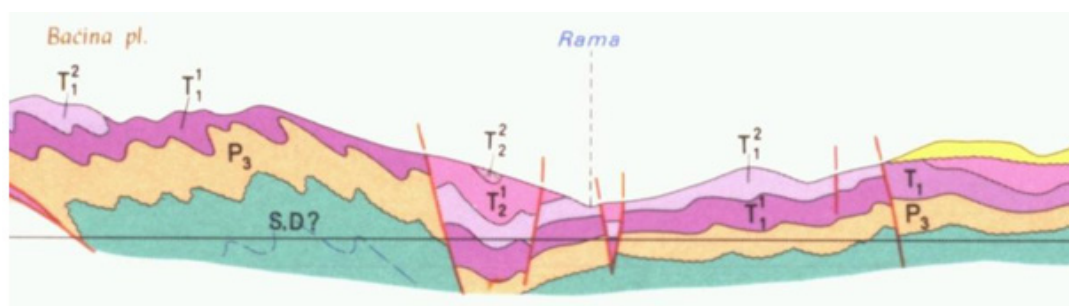
pomaže razdvajanje. Na površini terena ove stijene su prekrivene grusom i humusom i rijetki su izdanci zdrave stijene. Istražni potkop, koji je urađen u toj fazi, otkrio je da ima dijelova eruptivne mase koja je zdrava i neoštećena mehaničkim procesima. Površinskim istraživanjem utvrđeni su kontakti vapnenaca i eruptivnih stijena kao oštri s neznatnim zalijeganjem jedne stijene u drugu, te su magmatske stijene otkrivene na površini okarakterizirane kao submarinske efuzije. Iskopom pristupnog tunela, pokazalo se da na ovom području, pored submarinskih efuzija postoje i relativno plitke intruzije.

Magmatske stijene koje se također pojavljuju u iskopu pristupnog tunela, po svom mineralnom sastavu odgovaraju submarinskim izljevima i predstavljaju žične ekvivalente ovih stijena. Njihov način pojavljivanja ukazuje nam da se radi o plitkim intruzijama žičnog tipa na granici donjeg i srednjeg trijasa.

Pored efuzivnih stijena, sastavu dijabaz-rožne formacije, pripadaju i litološki članovi kao što su: rožnjaci različite boje, dominantno crveni, pješčari, tufiti i vulkanske breče. U gornjim dijelovima nalaze se lapori i laporni vapnenci. Sve ove stijene, kao i magmatski izljevi pripadaju srednjem trijasu i to ladinskom katu.

2.2. Tektonika šireg područja

Što se tiče tektonike same lokacije hidroelektrane, ovo područje predstavlja dio sinklinale raskinute po kontaktu vapnenca i dijabaz-rožne serije. Tu se ne radi samo o lokalnom rasjedanju nego o velikoj rasjednoj zoni u kojoj je usječena Rama, a koja je presječena drugim rasjedom skoro uspravnim na tok rijeke. Kretanja su bila uglavnom u pravcu sjevera. Stupanj dinamometamorfizma nam govori da su kretanja u ovom području ponavljana više puta, što je dovelo do kompliciranih međusobnih odnosa koji se površinskim zapažanjima nisu ni mogli otkriti. Na osnovu istraživanja vezanih za ovaj objekt, zaključujemo da se strojarnica s svim ostalim objektima nalazi u neposrednoj blizini rasjedne zone u kojoj su kretanja ponavljana više puta i za koju je vezana magmatska aktivnost u ovom području. Magmatske intruzije vezane su neposredno za rasjednu zonu koju presijecaju pristupni i odvodni tunel.



Slika 3. Dio profila OGK list Prozor koji oslikava tektoniku ovog prostora

Statistička obrada diskontinuiteta iz eruptivnih stijena pokazuje da najveći broj diskontinuiteta ima pravac pružanja sjeverozapad – jugoistok, približavajući se pravcu sjever – jug. Najveći broj diskontinuiteta koji se javljaju u vapnencima pada u pravcu zapada, dok manji broj diskontinuiteta ima suprotan pravac pada pružanjem sjever – jug.



Diskontinuiteti koji se javljaju u iskopu pristupnog tunela i dijelom odvodnog tunela mogu se podijeliti u tri neravnomjerna sustava diskontinuiteta:

1. sustav s elementima pada $270^{\circ}/60^{\circ}$,
2. sustav s elementima pada $80^{\circ}/75^{\circ}$ i
3. sustav s elementima pada $120^{\circ}/40^{\circ}$.

Prvom sustavu pripada daleko veći broj diskontinuiteta koji imaju najveće značenje, jer su na svima pronađeni tragovi kretanja, a duž mnogih vapnenci su toliko zdrobljeni da s crvenicom predstavljaju breču. Duž ovih diskontinuiteta došlo je i do utiskivanja magmatske mase pa one ujedno i pravci magmatskih intruzija. U odnosu na pravac pristupnog tunela ovi diskontinuiteti padaju od ulaza ka strojarnici (povoljnije s aspekta inženjerske geologije). Diskontinuiteti ovog sustava čine najintenzivnija oštećenja stijena. veliki broj diskontinuiteta ima limonitnu skramu što stijenama daje karakterističnu crvenu boju.

U pristupnom tunelu pronalazimo i zone izrazito oštećenih stijena, koje ujedno predstavljaju čvrstu vezanu stijenu, jer je crvenica koja služi kao vezivo očvrsla.

Diskontinuiteti drugih sustava su uglavnom obilježene limonitnom skramom, te se ponegdje javlja i brečasti materijal u neposrednoj blizini samih diskontinuiteta.

2.3. Hidrogeološke značajke

Stijene koje izgrađuju šire područje oko strojarnice posjeduju isključivo sekundarnu poroznost. U ovom slučaju ne uzimamo u obzir riječni nanos Rame i zdrobljene dijelove koji se nalaze na desnoj obali rijeke, neposredno ispred pristupnog i odvodnog tunela. Prema hidrogeološkoj funkciji u regionalnom smislu, promatrajući pojedine stijene možemo ih svrstati u dvije grupe:

1. Hidrogeološki kolektori gdje ubrajamo vapnence i dolomite, odnosno karbonatne stijene podložne okršavanju
2. Hidrogeološki izolatori gdje ubrajamo sve stijene iz dijabaz-rožne serije kao i verfenski sedimenti.

Dijabaz-rožna serija u širem području Rame leži ispod debelih naslaga karbonatnih, krških stijena trijasa, pa i jure predstavlja podinske izolatore, dok druge hidrogeološke funkcije može imati samo u lokalnom pogledu i na određenom području.

Vapnenci srednjeg trijasa koji se nalaze između verfenskih slabo propusnih sedimenata i dijabaz-rožne formacije, te su ujedno podložni okršavanju čine najvodopropusniju sredinu u užem području strojarnice. Pravih krških oblika unutar same vapnenačke mase nema. Podzemni kanali koji se nalaze u vapnencima ispunjeni su crvenicom, koja je u procesu dijageneze očvrsla, a pri tektonskim pokretima utiskivana je i u sitnije diskontinuiteti i zadobila škrljav izgled. Obzirom da je vapnenačka masa malog rasprostiranja i dosta ispucala, male količine vode cirkuliraju samo kroz diskontinuiteti i to uglavnom u rasjednoj zoni i u blizini dodira s magmatskim stijenama. Radi se isključivo o pojavama vode, obzirom da se u njima ne mogu očekivati veći podzemni krški oblici, ne mogu se očekivati ni podzemni tokovi vode, nego lagano otjecanje vode duž diskontinuiteta u količinama koje ne ometaju rad.



Magmatske stijene, rožnjaci, lapori, tufiti i silikatni vapnenci koji ulaze u sastav dijabaz-rožne serije imaju isključivo pukotinsku poroznost. Pojava vode u ovim stijenama moguća je u vrlo malim količinama duž većih otvorenih diskontinuiteta i njeno kretanje kroz njih je polagano. Stijene iz ove grupe u odnosu na vapnence su daleko manje vodopropusne, te se u blizini dodira ovih dviju vrsta stijena i pojavljuju najveće količine vode. U stijenama iz dijabaz-rožne serije moguće su i pojave zatvorene vode posebno u eruptivnim stijenama gdje je ispucanost najviše izražena. Slaba vodopropusnost cijele serije ne dopušta infiltraciju vode iz potoka Lužac tako da ovaj mali vodotok nema nikakvog utjecaja na količine podzemne vode.

3. OPIS DISKONTINUITETA U PRISTUPNOM TUNELU HE RAMA

Diskontinuiteti su sastavni dijelovi stijenske mase koji posjeduju vlastite karakteristike. Vizualne karakteristike kao što su broj diskontinuiteta, hrapavost zidova diskontinuiteta, voda u diskontinuitetima te vrste ispune u diskontinuitetu, razmak između diskontinuiteta, širina diskontinuiteta. Na svakoj lokaciji mjereni su elementi prostorne orijentacije diskontinuiteta.



Slika 4. Pristupni tunel HE Rama

Tablica 1. Izmjereni razmaci od ulaza u pristupni tunel do lokacije diskontinuiteta

lokacija diskontinuiteta	udaljenost lokacije od ulaza u pristupni tunel (m)
lokacija 1	291
lokacija 2	363
lokacija 3	400
lokacija 4	420
lokacija 5	443
lokacija 6	503

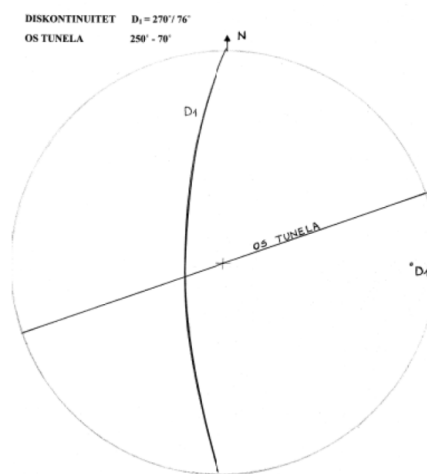


3.1. Analiza stanja diskontinuiteta na prvoj lokaciji

Na prvoj lokaciji je vrlo uzak diskontinuitet, koji se pri samom dnu širi. Izmjerena širina zijeve na tom proširenju iznosi 3 cm, dok se idući prema gore zijev se nakon 0,5 metara sužava na nulu, a na donju stranu povećava na 10 cm. Obzirom na duljinu diskontinuiteta možemo reći da je srednje postojanosti. Stijenke diskontinuiteta su hrapave i čvrste. Diskontinuitet je suh bez naznaka tečenja vode. Izmjereni otklon smjera pada od sjevera iznosi 270° a otklon od horizontale je 76° .



Slika 5. Pogled na prvu lokaciju



Slika 6. Strukturni dijagram diskontinuiteta br.1

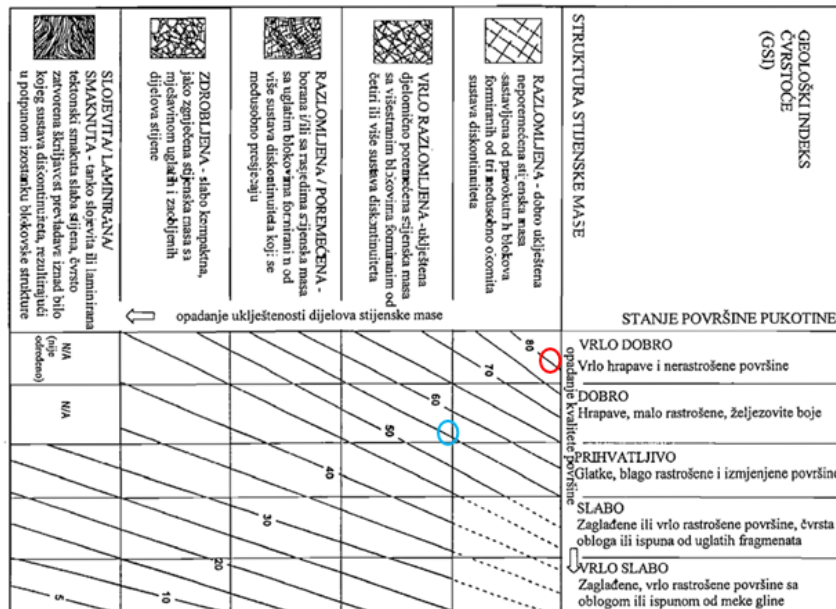
Tablica 2. Opis stanja diskontinuiteta na prvoj lokaciji

razmak	(jedan diskontinuitet)
dužina	preko 5 metara
zijev	3 cm
ispuna	bez ispune
hrapavost	hrapavo
rastrošenost	nema vidljivih znakova rastrošbe
vlažnost	diskontinuitet je suh bez naznaka tečenja vode
prostorna orijentacija	$270^\circ/76^\circ$
kut prema trasi tunela	20°

Tablica 3. Vrijednosti parametara za RMI na prvoj lokaciji

parametri za RMI indeks	vrijednosti
V_b	$>1000 \text{ m}^3$
j_c	1
j_L	1
j_R	2
j_A	2
D	0,37
J_p	2,58
RMI	309,6 [MPa]

Iz dijagrama za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (sl.7.) na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta za prvu lokaciju očitano je GSI 80. Indeks kvalitete stijenske mase RQD je procijenjen na 100 % jer postoji samo jedan diskontinuitet. Obzirom na broj bodova prema RMR klasifikaciji (tab. 4.) stijenska masa na ovoj lokaciji pripada prvoj kategoriji vrlo dobre stijenske mase.



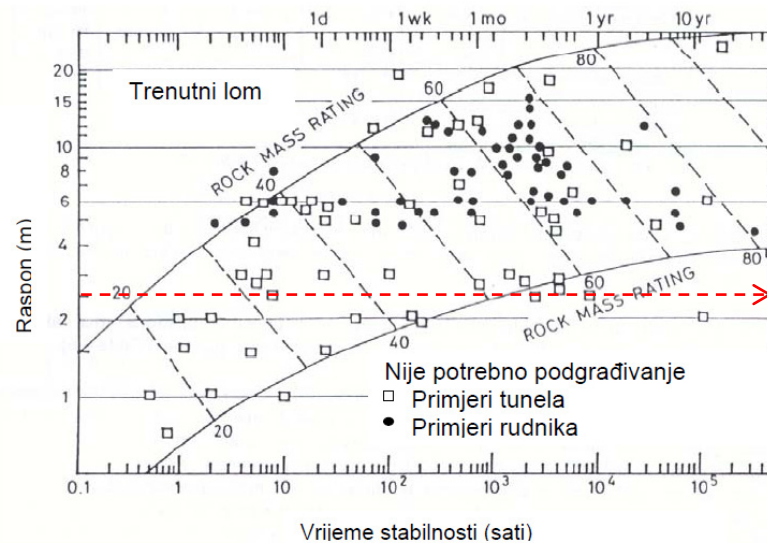
○ GSI za 1., 2., 4., 5., i 6. lokaciju ○ GSI za 3. lokaciju

Slika 7. Dijagram za procjenu geološkog indeksa čvrstoće na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta (Hoek i Marinos, 1998.)

Tablica 4. RMR klasifikacija stijenske mase za prvu lokaciju

	parametar	vrijednost parametra	bodovi
klasifikacijski parametri i njihovi bodovi	čvrstoća stijenskog materijala (mpa)	120 mpa	12
	rqd	100	20
	razmak diskontinuiteta	> 2 m	20
	podzemna voda	suho	15
korekcija bodova obzirom na orijentaciju diskontinuiteta	orijentacija diskontinuiteta	vrlo povoljno	0
klasifikacija stanja diskontinuiteta	duljina diskontinuiteta	preko 5 m	2
	zijev diskontinuiteta	3 cm	0
	hrapavost diskontinuiteta	hrapavo	5
	ispuna diskontinuiteta	bez ispune	6
	rastrošnost zidova diskontinuiteta	nerastrošeni	6
	ukupno		86

Prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora raspona 3m očitano s dijagrama raspon/vrijeme stabilnosti ima maksimalnu vrijednost.



Slika 8. Dijagram raspon/vrijeme stabilnosti za prvu lokaciju

Procijenjene vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje:

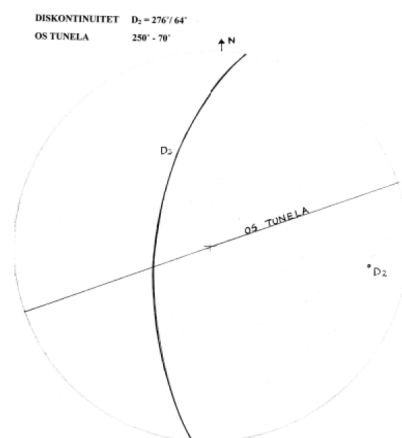
- kohezija stijenske mase (c) (kPa) > 400
- kut trenja $\varphi(^{\circ})$ > 45.

3.2. Analiza stanja diskontinuiteta na drugoj lokaciji

Diskontinuitet na drugoj lokaciji je zatvoren i bez ispune, suh, nema tragova starog procjeđivanja ni kapanja. Duljina diskontinuiteta ukazuje na to da je srednje postojanosti. Stijenke diskontinuiteta su hrapave, bez vidljivih znakova rastrošbe stijene. Izmjereni otklon smjera pada od sjevera iznosi 276° otklon od horizontale 64° .



Slika 9. Diskontinuitet na drugoj lokaciji



Slika 10. Strukturni dijagram diskontinuiteta br. 2



Tablica 5. Opis stanja diskontinuiteta na drugoj lokaciji

razmak	(jedan diskontinuitet)
dužina	preko 5 metara
zijeve	-
ispuna	bez ispune
hrapavost	hrapavo
rastrošenost	nema vidljivih znakova rastrošbe
vlažnost	diskontinuitet je suh bez naznaka tečenja vode
prostorna orijentacija	276°/64
kut prema trasi tunela	26°

Tablica 6. Vrijednosti parametara za RMI na dugoj lokaciji

parametri za RMI indeks	vrijednosti
V_b	>1000 m ³
j_c	1
j_L	1
j_R	2
j_A	2
D	0,37
J_p	2,58
RMI	309,6 [MPa]

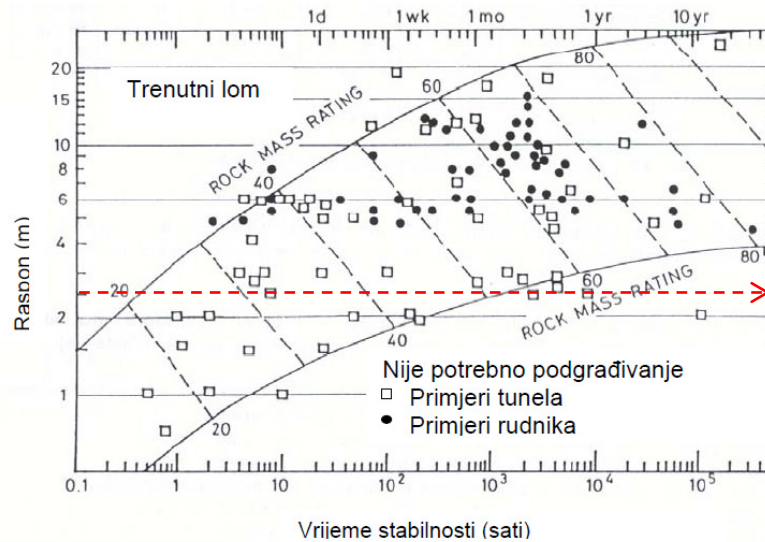
Iz dijagrama za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (Hoek i Marinos, 1998. sl. 7.) na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta za drugu lokaciju očitano je GSI=80. Indeks kvalitete stijenske mase RQD je procijenjen na 100 % jer postoji samo jedan diskontinuitet. Obzirom na broj bodova prema RMR klasifikaciji (tab. 7.) stijenska masa na prvoj lokaciji pripada prvoj kategoriji vrlo dobre stijenske mase.

Tablica 7. RMR klasifikacija stijenske mase za drugu lokaciju

	parametar	vrijednost parametra	bodovi
klasifikacijski parametri i njihovi bodovi	čvrstoća stijenskog materijala (mpa)	120 mpa	12
	rqd	100	20
	razmak diskontinuiteta	> 2 m	20
	podzemna voda	suho	15
	korekcija bodova obzirom na orijentaciju diskontinuiteta	orijentacija diskontinuiteta	vrlo povoljno
klasifikacija stanja diskontinuiteta	duljina diskontinuiteta	preko 5 m	2
	zijeve diskontinuiteta	0 cm	6
	hrapavost diskontinuiteta	hrapavo	5
	ispuna diskontinuiteta	bez ispune	6
	rastrošnost zidova diskontinuiteta	nerastrošeni	6
ukupno			92



Prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora za raspon od 3m očitano s dijagrama raspon/vrijeme stabilnosti ima maksimalnu vrijednost.



Slika 11. Dijagram raspon/vrijeme stabilnosti za drugu lokaciju

Procijenjene vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje:

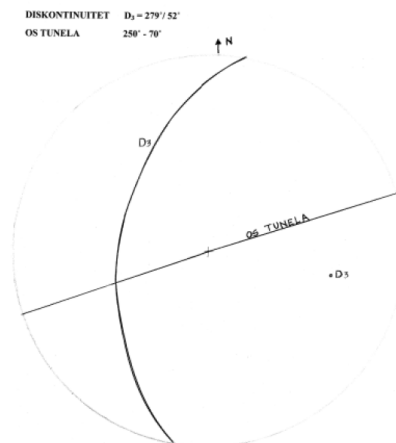
- kohezija stijenske mase (c) (kPa) > 400
- kut trenja $\varphi(^{\circ})$ > 45.

3.3. Analiza stanja diskontinuiteta na trećoj lokaciji

Na trećoj lokaciji nailazimo na oštećenu stijensku masu, koja ujedno predstavlja čvrstu vezanu stijenu, jer je crvenica koja služi kao ispuna očvrsla. Diskontinuiteti na ovoj lokaciji su uglavnom široki i ispunjeni crvenicom. Razmak između diskontinuiteta je oko 20 cm, postoje tri sustava plus slučajni diskontinuiteti, te se radi o značajnoj blokovskoj izdijeljenosti. Diskontinuiteti su dijelom vlažni, ali nije prisutna slobodna voda. Izmjereni otklon smjera pada od sjevera glavnog diskontinuiteta iznosi 279° a otklon od horizontale 52° .



Slika 12. Pogled na treću lokaciju



Slika 13. Strukturalni dijagram diskontinuiteta br. 3



Tablica 8. Opis stanja diskontinuiteta na trećoj lokaciji

razmak	0,2 m (blokowska izdijeljenost)
dužina	preko 5 metara
zijev	-
ispuna	očvrsla crvenica
hrapavost	hrapavo
rastrošenost	manje od polovine materijala je rastrošeno i dezintegrirano
vlažnost	diskontinuitet je suh bez naznaka tečenja vode
prostorna orijentacija	279°/52°
kut prema trasi tunela	29°

Tablica 9. Vrijednosti parametara za RMI na trećoj lokaciji

parametri za RMI indeks	vrijednosti
V _b	0,8 m ³
j _c	0,3
j _L	3
j _R	1
j _A	10
D	1,27
J _p	0,075
RMI	9 [MPa]

Tablica 10. RMR klasifikacija stijenske mase za treću lokaciju

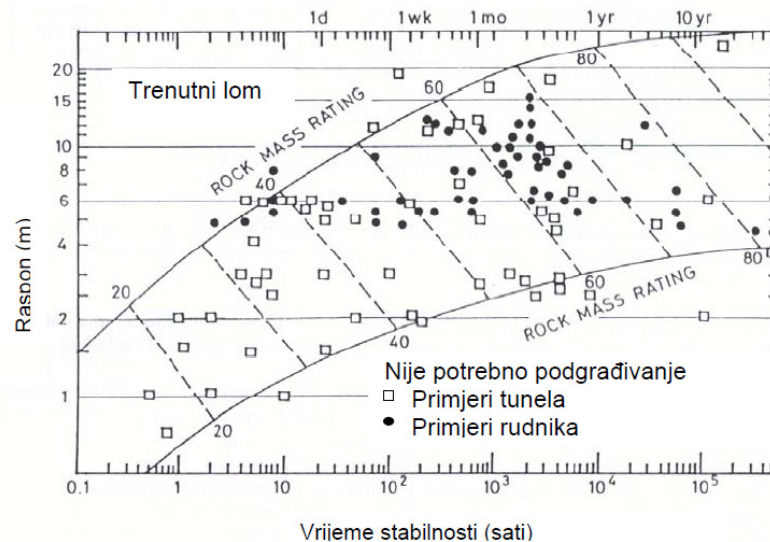
klasifikacijski parametri i njihovi bodovi	parametar	vrijednost parametra	bodovi
klasifikacijski parametri i njihovi bodovi	čvrstoća stijenskog materijala (mpa)	120 mpa	12
	rqd	75,4	14
	razmak diskontinuiteta	20 cm	8
	podzemna voda	vlažno	10
	korekcija bodova obzirom na orijentaciju diskontinuiteta	orijentacija diskontinuiteta	vrlo povoljno
klasifikacija stanja diskontinuiteta	duljina diskontinuiteta	< 5 m	2
	zijev diskontinuiteta	-	6
	hrapavost diskontinuiteta	hrapavo	5
	ispuna diskontinuiteta	tvrda ispuna >5mm	2
	rastrošnost zidova diskontinuiteta	umjereno	2
ukupno			61

Iz dijagrama za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (Hoek i Marinos, 1998. sl. 7.) na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta za drugu lokaciju očitano je GSI=55. Indeks kvalitete stijenske mase RQD je određen prema izrazu:

$$RQD=115-3,3xJ_v$$

(1)

gdje je J_v volumetrijski broj i određuje se temeljem broja diskontinuiteta u jediničnim volumenu. U ovom slučaju on iznosi 12 pa vrijednost RQD iznosi 75,4. Obzirom na broj bodova prema RMR klasifikaciji (tab. 10.) stijenska masa na trećoj lokaciji je na prijelazu između druge i treće skupine, opisno na prijelazu dobre i povoljne kategorije.



Slika 14. Dijagram raspon/vrijeme stabilnosti za treću lokaciju

Prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora raspona 3m prema dijagramu raspon/vrijeme stabilnosti je maksimalno.

Procijenjene vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje:

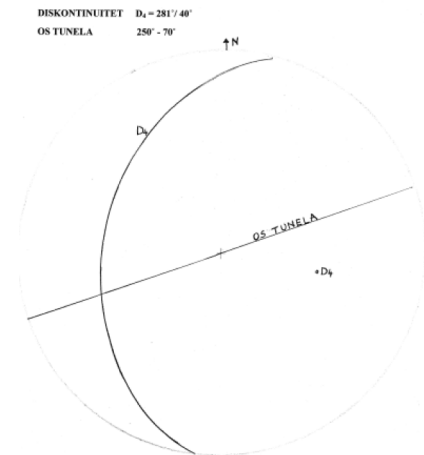
- kohezija stijenske mase (c) (kPa) 250 - 350
- kut trenja $\varphi(^{\circ})$ 30 - 40.

3.4. Analiza stanja diskontinuiteta na četvrtoj lokaciji

Za četvrtu lokaciju karakterističan je diskontinuitet koji je zatvoren i bez ikakve ispune, s zidovima koji se dodiruju. Duljina diskontinuiteta nam govori da je srednje postojanosti. Stjenke su hrapave i čvrste. Diskontinuitet je vlažan, trenutno nema istjecanja, ali se vide tragovi starog tečenja. Na slici možemo vidjeti da je prisutna siga žutosmeđe boje koja obično potječe od humusnih kiselina procijeđenih iz pokrova tla, te zelena siga čija boja potječe od metalnih iona ugrađenih u kristalnu strukturu siga. Otklon smjera pada od sjevera na ovoj lokaciji iznosi 281° . a otklon od horizontale 40° .



Slika 15. Pogled na četvrtu lokaciju



Slika 16. Strukturni dijagram diskontinuiteta br. 4

Tablica 11. Opis stanja diskontinuiteta na četvrtoj lokaciji

razmak	(jedan diskontinuitet)
dužina	preko 5 metara
zijeve	-
ispuna	bez ispune
hrapavost	hrapavo
rastršenost	nema vidljivih znakova rastršbe
vlažnost	diskontinuitet je suh ali s tragovima starog tečenja
prostorna orijentacija	281°/40°
kut prema trasi tunela	31°

Tablica 12. Vrijednosti parametara za RMI na četvrtoj lokaciji

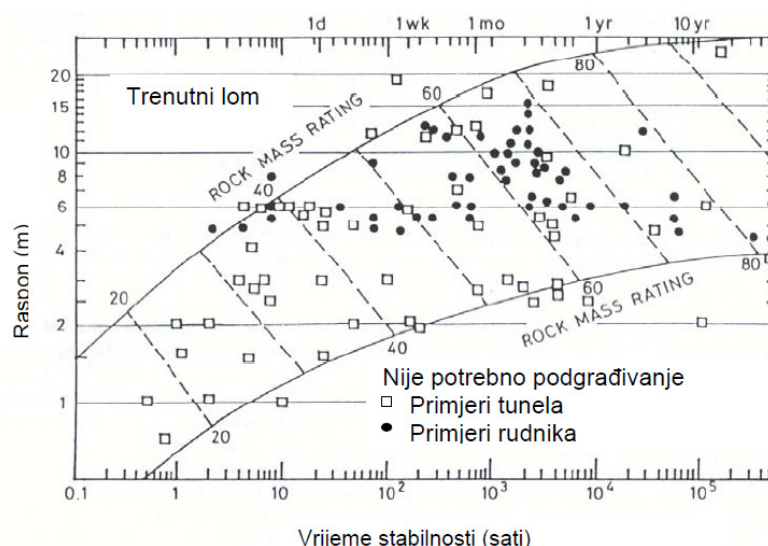
parametri za RMI indeks	vrijednosti
V_b	>1000 m ³
j_c	1
j_L	1
j_R	2
j_A	2
D	0,37
J_p	2,58
RMI	309,6 [MPa]

Iz dijagrama za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (Hoek i Marinos, 1998. sl.7.) na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta za četvrtu lokaciju očitano je GSI=80. Indeks kvalitete stijenske mase RQD je procijenjen na 100 % jer postoji samo jedan diskontinuitet. Obzirom na broj bodova prema RMR klasifikaciji (tab. 13.) stijenska masa na ovoj lokaciji pripada prvoj kategoriji vrlo dobre stijenske mase.

Tablica 13. RMR klasifikacija stijenske mase za četvrtu lokaciju

	parametar	vrijednost parametra	bodovi
klasifikacijski parametri i njihovi bodovi	čvrstoća stijenskog materijala (mpa)	120 mpa	12
	rqd	100	20
	razmak diskontinuiteta	> 2 m	20
	podzemna voda	vlažno	10
korekcija bodova obzirom na orijentaciju diskontinuiteta	orijentacija diskontinuiteta	povoljno	-2
klasifikacija stanja diskontinuiteta	duljina diskontinuiteta	preko 5 m	2
	zijev diskontinuiteta	-	6
	hrapavost diskontinuiteta	hrapavo	5
	ispuna diskontinuiteta	bez ispune	6
	rastrošnost zidova diskontinuiteta	nerastrošeni	6
ukupno			85

Prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora prema dijagramu raspon/vrijeme stabilnosti je maksimalno.



Slika 17. Dijagram raspon/vrijeme stabilnosti četvrtu lokaciju

Procijenjene vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje:

- kohezija stijenske mase (c) (kPa) > 400
- kut trenja $\varphi(^{\circ})$ > 45.

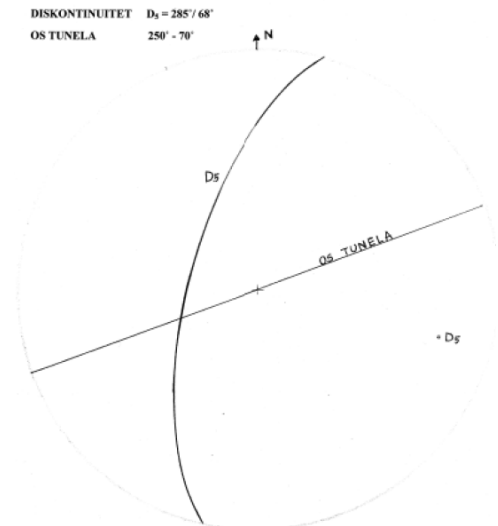


3.5 Analiza stanja diskontinuiteta na petoj lokaciji

Na petoj lokaciji nailazimo na zatvoreni diskontinuitet, koji se proteže duljinom preko 5m. Diskontinuitet je suh, ali u neposrednoj blizini postoje naznake starog tečenja vode, te zelene sige. Stijenke diskontinuiteta su hrapave i čvrste. Izmjereni otklon smjera pada od sjevera iznosi 285° , a otklon od horizontale 68° .



Slika 18. Pogled na petu lokaciju



Slika 19. Strukturni dijagram diskontinuiteta br. 5

Tablica 14. Opis stanja diskontinuiteta na petoj lokaciji

razmak	(jedan diskontinuitet)
dužina	preko 5 metara
zijev	-
ispuna	bez ispune
hrapavost	hrapavo
rastrošenost	nema vidljivih znakova rastrošbe
vlažnost	diskontinuitet je suh s naznakama starog tečenja vode
prostorna orijentacija	$285^\circ/68$
kut prema trasi tunela	35°

Tablica 15. Vrijednosti parametara za RMI petoj lokaciji

parametri za RMI indeks	vrijednosti
V_b	$>1000 \text{ m}^3$
j_c	1
j_L	1
j_R	2
j_A	2
D	0,37
J_p	2,58
RMI	309,6 [MPa]



Iz dijagrama za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (Hoek i Marinos, 1998. sl.7.) na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta za petu lokaciju očitano je $GSI=80$. Indeks kvalitete stijenske mase RQD je procijenjen na 100 % jer postoji samo jedan diskontinuitet. Obzirom na broj bodova prema RMR klasifikaciji (tab. 16.) stijenska masa na ovoj lokaciji pripada prvoj kategoriji vrlo dobre stijenske mase.

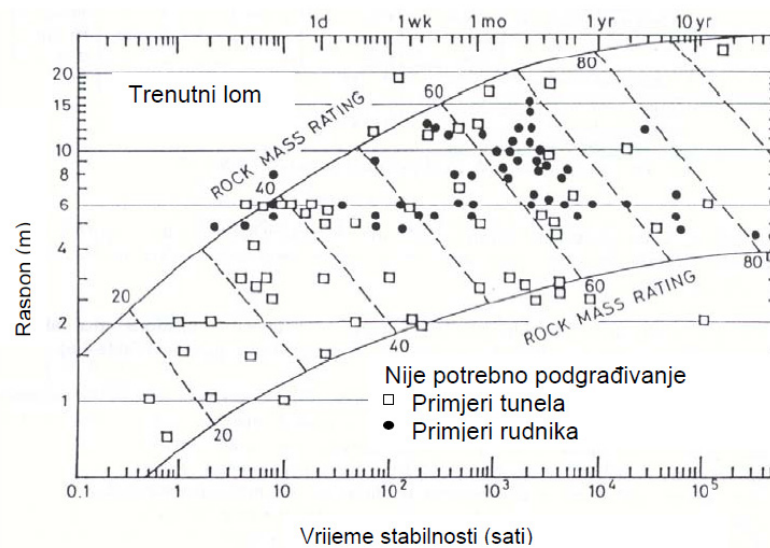
Tablica 16. RMR klasifikacija stijenske mase za petu lokaciju

	parametar	vrijednost parametra	bodovi
klasifikacijski parametri i njihovi bodovi	čvrstoća stijenskog materijala (mpa)	120 mpa	12
	rqd	100	20
	razmak diskontinuiteta	> 2 m	20
	podzemna voda	vlažno	10
korekcija bodova obzirom na orijentaciju diskontinuiteta	orijentacija diskontinuiteta	vrlo povoljno	0
klasifikacija stanja diskontinuiteta	duljina diskontinuiteta	preko 5 m	2
	zijev diskontinuiteta	-	6
	hrapavost diskontinuiteta	hrapavo	5
	ispuna diskontinuiteta	bez ispune	6
	rastrošnost zidova diskontinuiteta	nerastrošeni	6
ukupno			86

Procijenjene vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje:

- kohezija stijenske mase (c) (kPa) > 400
- kut trenja $\varphi(^{\circ})$ > 45.

Prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora prema dijagramu raspon/vrijeme stabilnosti je maksimalno.



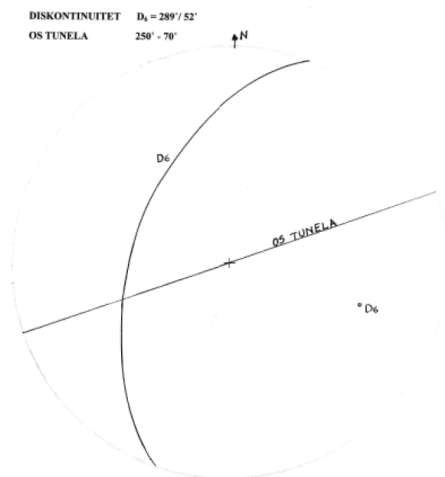
Slika 20. Dijagram raspon/vrijeme stabilnosti za petu lokaciju

3.6. Analiza stanja diskontinuiteta na šestoj lokaciji

Na ovoj lokaciji nalazi se diskontinuitet u tektonskoj breči i uočljivo je da su duž njega kameniti blokovi u breči pukli i da je bilo kretanja blokova duž diskontinuiteta. Dakle, riječ je o paraklazi, rasjednoj plohi velike duljine. Diskontinuitet je suh i nema ni starih tragova procjeđivanja. Izmjereni otklon smjera pada od sjevera iznosi 289° a otklon od horizontale je 52° .



Slika 21. Pogled na šestu lokaciju



Slika 22. Strukturni dijagram diskontinuiteta br. 6



Tablica 17. Opis stanja diskontinuiteta na šestoj lokaciji

razmak	(jedan diskontinuitet)
dužina	preko 5 metara
zijek	-
ispuna	bez ispune
hrapavost	hrapavo
rastrošenost	nema vidljivih znakova rastrošbe
vlažnost	diskontinuitet je suh bez naznaka tečenja vode
prostorna orijentacija	289°/52°
kut prema trasi tunela	39°

Tablica 18. Vrijednosti parametara za RMi na šestoj lokaciji

parametri za RMi indeks	vrijednosti
V_b	>1000 m ³
j_c	1
j_L	1
j_R	2
j_A	2
D	0,37
J_p	2,58
RMi	309,6 [MPa]

Iz dijagrama za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (Hoek i Marinos, 1998. sl.7.) na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta za šestu lokaciju očitano je GSI=80. Indeks kvalitete stijenske mase RQD je procijenjen na 100 % jer postoji samo jedan diskontinuitet. Obzirom na broj bodova prema RMR klasifikaciji (tab. 19.) stijenska masa na ovoj lokaciji pripada prvoj kategoriji vrlo dobre stijenske mase.

Tablica 19. RMR klasifikacija stijenske mase za šestu lokaciju

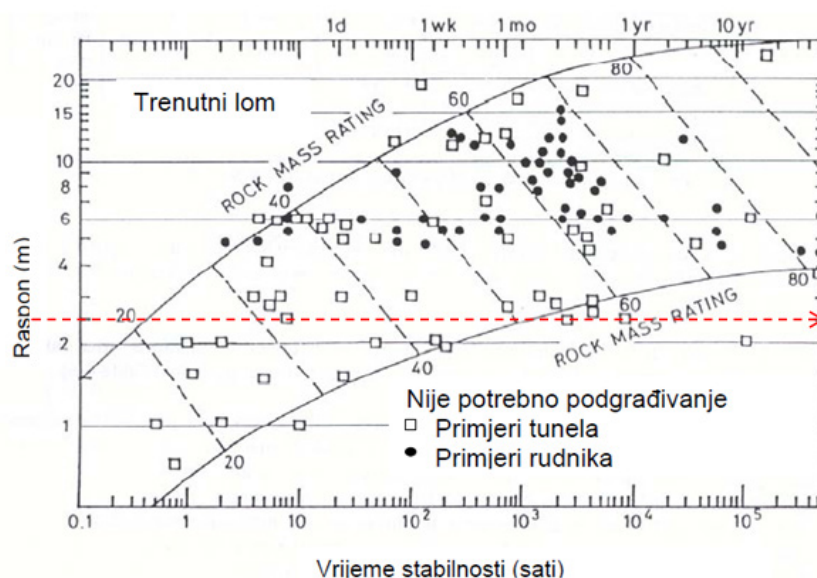
	parametar	vrijednost parametra	bodovi
klasifikacijski parametri i njihovi bodovi	čvrstoća stijenskog materijala (mpa)	120 mpa	12
	rqd	100	20
	razmak diskontinuiteta	> 2 m	20
	podzemna voda	suho	15
	korekcija bodova obzirom na orijentaciju diskontinuiteta	orijentacija diskontinuiteta	vrlo povoljno
klasifikacija stanja diskontinuiteta	duljina diskontinuiteta	preko 5 m	2
	zijek diskontinuiteta	-	6
	hrapavost diskontinuiteta	hrapavo	5
	ispuna diskontinuiteta	bez ispune	6
	rastrošnost zidova diskontinuiteta	nerastrošeni	6
ukupno			92



Procijenjene vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje:

- kohezija stijenske mase (c) (kPa) > 400
- kut trenja $\varphi(^{\circ})$ > 45.

Prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora prema dijagramu raspon/vrijeme stabilnosti je maksimalno.



Slika 27. Dijagram raspon/vrijeme stabilnosti za šestu lokaciju

4. ZAKLJUČAK

Hidroelektrana Rama je najveće akumulacijsko-derivacijsko postrojenje u sustavu Neretva-Rama, čija je izgradnja trajala od 1964. do 1968. godine. Izvršena su brojna istraživanja koja su provedena s ciljem da se pronađe što bolja stijenska masa u kojoj bi bila smještena strojarnica s svojim pratećim objektima, uključujući i pristupni tunel. U njemu je tijekom listopada 2016. godine u nekoliko navrata vršeno je opažanje stanja diskontinuiteta na šest lokacija a rezultati su prikazani u prethodnim poglavljima u vidu detaljnog opisa stanja diskontinuiteta, strukturnih dijagrama, RMI, GSI i RQD indeksnih pokazatelja i RMR klasifikacije. Analiza je pokazala da diskontinuiteti u ovom vremenskom razdoblju nisu pretrpjeli značajniju dezintegraciju, zahvaljujući tome što nisu izloženi djelovanju egzogenih čimbenika a ni značajnijem djelovanju podzemnih voda. Opisano stanje diskontinuiteta upućuje na zaključak da nije značajno narušeno njihovo prvotno stanje, pa samim tim ne narušavaju stabilnost podzemnog otvora.



LITERATURA

- [1.] Investicijsko tehnička dokumentacija HE Rama
- [2.] ISRM Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Mass, 1978. http://www.isrm.net/fotos/editor2/NI27/2014_09_08_orange_book
- [3.] Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E.: The Geological Strength index: Applications and Limitations, <https://www.rocscience.com/documents/hoek/references/H2005b.pdf>;
- [4.] Mišević, P.: Uvod u inženjersku mehaniku stijena, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2004.
- [5.] Vrkljan, I.: Inženjerska mehanika stijena, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2003.