

# Indeksni parametri stijenske mase korišteni u inženjerskogeološkim istraživanjima

---

**Radetić, Benjamin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:069193>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-08**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



# Indeksni parametri stijenske mase korišteni u inženjerskogeološkim istraživanjima

---

**Radetić, Benjamin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:069193>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2020-10-22**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

BENJAMIN RADETIĆ

INDEKSNI PARAMETRI STIJENSKE MASE  
KORIŠTENI U INŽENJERSKOGEOLOŠKIM  
ISTRAŽIVANJIMA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

INDEKSNI PARAMETRI STIJENSKE MASE  
KORIŠTENI U INŽENJERSKOGEOLOŠKIM  
ISTRAŽIVANJIMA

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

Benjamin Radetić

MENTOR:

doc. dr. sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2018.



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: BENJAMIN RADETIĆ

Matični broj: 2574 - 2015./2016.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

INDEKSNI PARAMETRI STIJENSKE MASE KORIŠTENI U  
INŽENJERSKOGEOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA

Rad treba sadržati: 1. Uvod  
2. Stijenska masa  
3. Odabrani indeksni parametri stijenske mase  
4. Zaključak  
5. Popis literature  
6. Popis slika  
7. Popis tablica

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 21.05.2018.

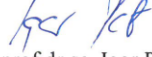
Rok predaje: 06.09.2018.

Mentor:

  
Doc.dr.sc. Hrvoje Meaški



Predsjednik Odbora za nastavu:

  
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

INDEKSNI PARAMETRI STIJENSKE MASE KORIŠTENI U  
INŽENJERSKOGEOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA

---

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc. dr. sc. Hrvoja Meaškog**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 05.09.2018.

Benjamin Radetić

---

(Ime i prezime)

*Radetić Benjamin*

---

(Vlastoručni potpis)

# SAŽETAK

**Ime i prezime:** Benjamin Radetić

**Naslov rada:** Indeksni parametri stijenske mase korišteni u inženjerskogeološkim istraživanjima

U inženjerskoj praksi je zbog složenosti, tehničkih ograničenja i visokih troškova mjerenja svojstava stijenske mase razvijen cijeli niz indeksnih veličina kojima se kvantitativno određuje kakvoća stijenske mase. Gotovo svi indeksi razvijeni su izravnim mjerenjem jedne ili više veličina koje su uspoređene s izmjerenim svojstvima stijenske mase u već riješenim inženjerskim zadacima. U ovom završnom radu teorijski su detaljnije opisani sljedeći indeksni parametri: indeks kakvoće jezgre (RQD), geološki indeks čvrstoće (GSI), indeks stijenske mase (RMi), težinska gustoća pukotina te faktor opterećenja stijenske mase.

**Ključne riječi:** indeksni parametri stijenske mase, RQD, GSI, RMi.

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	STIJENSKA MASA .....	2
3	ODABRANI INDEKSNI PARAMETRI STIJENSKE MASE.....	5
3.1	Indeks kakvoće jezgre (RQD).....	5
3.1.1	Direktna metoda.....	5
3.1.2	Indirektne metode .....	8
3.2	Geološki indeks čvrstoće (GSI) .....	9
3.3	Indeks stijenske mase (RMi).....	13
3.4	Težinska gustoća pukotina (wJd).....	17
3.4.1	Površinsko mjerenje.....	18
3.4.2	Mjerenje na jezgri bušotine.....	19
3.5	Faktor opterećenja stijenske mase ( $H_p$ ).....	22
4	ZAKLJUČAK.....	25
5	POPIS LITERATURE.....	26
6	POPIS SLIKA.....	29
7	POPIS TABLICA .....	30



# 1 UVOD

U inženjerskoj praksi je zbog složenosti, tehničkih ograničenja i visokih troškova mjerenja svojstava stijenske mase razvijen cijeli niz indeksnih veličina kojima se kvantitativno određuje kakvoća stijenske mase. Gotovo svi indeksi razvijeni su izravnim mjerenjem jedne ili više veličina koje su uspoređene s izmjerenim svojstvima stijenske mase u već riješenim inženjerskim zadacima. Time se dobiva sustav koji prikazuje kakvoću stijenske mase kvantitativno ocijenjenu na osnovi tog indeksa. Pokušaj da se kakvoća stijenske mase iskaže jednim parametrom osnovni je nedostatak i opasnost korištenja takvih veličina.

Bez obzira na činjenicu da su takvi sustavi razvijeni na osnovi iskustava stečenih mjerenjem, stijenska masa je složena prirodna tvorevina koja je na svakoj lokaciji jedinstvena. Upravo se u tome krije „ljepota i izazov“ istraživanja stijenskih masa. Svaka inženjerska zadaća u stijenskoj masi traži jedinstveno rješenje. Svaki od takvih indeksa je na neki način jedan oblik klasifikacije stijenske mase. Neki od tih indeksa su upotrijebljeni kao parametri u nekim od danas najčešće korištenih klasifikacija stijenske mase. Osim toga, i indeksne veličine i klasifikacije, kriju u sebi i nedostatak da su razvijene na jednoj vrsti stijenske mase te je njihova izravna primjena na druge vrste stijenskih masa uvijek upitna.

U radu je prikazano nekoliko danas najčešće korištenih indeksnih parametara: RQD (od eng. - „Rock Quality Designation“) – indeks kakvoće jezgre, GSI (od eng. - „Geological Strength Index“) – geološki indeks čvrstoće te RMI (od eng. - „Rock Mass Index“) – indeks stijenske mase. Kao primjer indeksnih parametara prikazat će se još dvije indeksne veličine: wJd (od eng. - „Weighted Joint Density“) - težinska gustoća pukotina te Terzaghijev faktor opterećenja stijenske mase.

## 2 STIJENSKA MASA

Stijenska masa (od eng. rock mass) je prirodna geološka formacija neke stijene sa svim svojim oslabljenjima odnosno naziv za cjelokupan volumen stijene koji se javlja u prirodi (in - situ) (Slika 1). Sastoji se od minerala, diskontinuiteta (fizičkih prekida u stijeni) i njihovih ispuna, zraka i/ili vode, ali i ugljikovodika, koji se nalaze unutar stijene ili između stijenci diskontinuiteta. Za razliku od stijenske mase, stijena je najmanji element stijenske mase koji nije presječen niti jednim oslabljenjem, a koristi se za utvrđivanje svojstava materijala koji gradi stijensku masu (Singh & Goel, 2011).



Slika 1 Opis stijenske mase

Kvaliteta stijenske mase uzrokovana je čvrstoćom intaktne stijene, orijentacijom i frekvencijom (razmakom) diskontinuiteta te kemijskom trošnosti stijenske mase. Poteškoće pri određivanju modula deformacije dovele su do razvoja jednostavnih i ekonomičnih metoda procjene kvalitete stijene pomoću klasifikacije stijenske mase. Klasifikacije stijenske mase razvijene su za određenu inženjersku primjenu kao što je primjerice stabilnost stijenske mase u podzemnim prostorijama, zasjecima/usjecima i površinskim kopovima. Klasifikacija stijenske mase je rezultat težinskih vrijednosti odabranih parametara. Najpoznatije klasifikacije stijenske mase su (Mihalić, 2007):

geomehanička klasifikacija RMR (od eng. „Rock Mass Rating“),  
norveški Q sustav,  
sustav geološkog indeksa čvrstoće (GSI).

Geomehanička klasifikacija iliti RMR sustav razvio je Bieniawski 1973. godine temeljem stečenih iskustava tokom gradnje plitkih tunela (Singh & Goel, 2011). Tokom sljedećih godina sustav je napredovao te se mijenjao. Kako bi RMR sustav bio primjenjiv, svaki tip stijenske mase predstavlja određenu geološku strukturnu jedinicu koje su određene sa 6 parametara:

- jednoaksijalna tlačna čvrstoća,
- RQD,
- razmak pukotina ili diskontinuiteta,
- stanje pukotina,
- stanje podzemne vode,
- orijentacija pukotina.

U RMR sustavu zbrajaju se bodovi parametara te je njihov zbroj osnova za klasificiranje stijenske mase u jednu od pet klasa (od jako dobre do jako loše). RMR klasifikacija koristi se za klasifikaciju stijenske mase te odabiru podgradnog sustava u tunelima.

S druge strane, norveški Q sustav razvijen je za potrebe tunelogradnje na temelju dvjestotinjak slučajeva iskopa tunela i kaverni. Klasifikacija je zasnovana na numeričkoj procjeni kvalitete stijenske mase koja se opisuje sa šest parametara koji se množe:

- RQD,
- $J_n$  - broj sustava pukotina,
- $J_r$  - indeks hrapavosti pukotina,
- $J_a$  - indeks pukotinske ispune,
- $J_w$  - faktor pukotinske vode,
- SRF - faktor redukcije naprezanja.

Vrijednost indeksa Q varira u logaritamskom mjerilu od 0,0001 do 1000, a sama vrijednost indeksa Q određena je izrazom (Barton et al., 1974):

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) * \left( \frac{J_r}{J_a} \right) * \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

Neke se klasifikacije mogu primijeniti samo za određenu namjenu, a neke i šire. Budući da je broj kriterija za klasifikaciju različit, značaj inženjerske geologije očituje se u istraživanju i definiranju stijenskih masa koje su jedinstvene za svaku lokaciju kako bi tehnička rješenja bila primjerena i sigurna. U daljnjem tekstu objasnit će se indeksni parametri koji su podloga za definiranje različitih kriterija klasifikacije.

### 3 ODABRANI INDEKSNI PARAMETRI STIJENSKE MASE

#### 3.1 Indeks kakvoće jezgre (RQD)

RQD (od eng. – „Rock Quality Designation“) indeks je uveden 1964.-te kako bi se dobila kvantitativna procjena kakvoće stijenske mase iz jezgri dobivenih bušenjem. Određuje se kao postotak jezgre izvađene prilikom sondažnog bušenja, koju čine dijelovi jezgre duži od 10 centimetara. Osnovna formula za izračunavanje (Deere & Deere, 1988):

$$RQD = \frac{\text{ukupna dužina dijelova jezgre} \geq 10 \text{ cm}}{\text{ukupna promatrana dužina bušenja}} * 100\%$$

Iako je indeks kakvoće jezgre praktičan parametar zbog svoje jednostavnosti te je relativno jeftin, jedan od nedostataka RQD indeksa jest činjenica da se temelji na kvantitativnoj procjeni kakvoće stijenske mase te kao takav ne pruža dovoljno točan opis stijenske mase jer zanemaruje orijentaciju i stanje pukotina, njihovu ispunu te čvrstoću (Bieniawski, 1989; Singh & Goel, 2011). Nadalje, RQD indeks ne daje podatke o dijelovima jezgre manjim od 10 cm te daje krive vrijednosti ukoliko su pukotine ispunjene glinom ili ispranim materijalom (Lucian & Wangwe, 2013). Za dobivanje RQD indeksa koristi se direktna metoda, ali dostupne su i neke indirektno metode koje mogu poslužiti pri procjeni.

##### 3.1.1 Direktna metoda

Za potrebe proračuna RQD indeksa, Međunarodna organizacija za mehaniku stijena (ISRM – od eng. „International Society for Rock Mechanics“) preporučuje korištenje najmanje NX<sup>1</sup> (54,7 mm) promjera bušenja s dijamantnom krunom i jezgrenom cijevi s dvije stijenke. Pri mjerenju dijelova jezgre dužih od 10 cm potrebno je isključiti lomove koji su nastali umjetno kao posljedica postupka bušenja. (Abbas & Konietzky, 2017; Mišćević, 2004) Nastanak umjetnih lomova može se izbjeći sporijim bušenjem što će na kraju rezultirati boljim RQD indeksom (Singh & Goel, 2011).

---

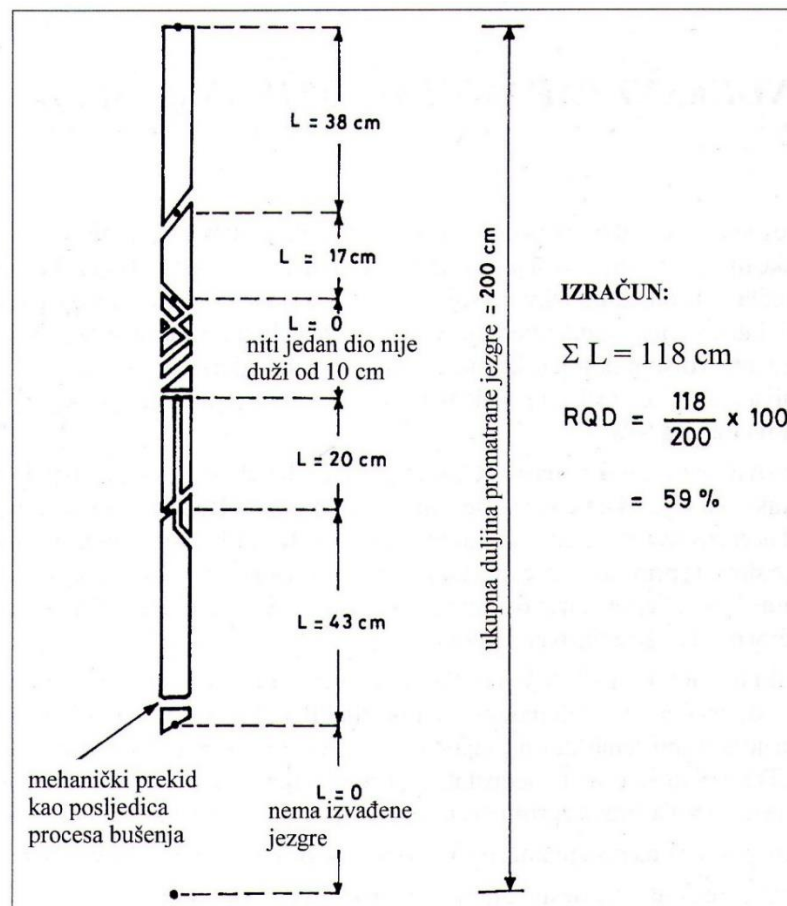
<sup>1</sup> NX predstavlja oznaku za jezgru promjera 54,7 mm prema Christensen Dia-Min Tools, Inc. u literaturi (Poullain, 2012).

Odnos između RQD indeksa i kakvoće stijenske mase koju je predložio Deere prikazan je u tablici (Tablica 1). (Lucian & Wangwe, 2013; Mišćević, 2004; Singh & Goel, 2011)

Tablica 1 Odnos između RQD i kakvoće stijenske mase (Deere & Deere, 1988)

RQD (%)	Kakvoća stijenske mase
< 25	vrlo loša
25 – 50	loša
50 – 75	prihvatljiva
75 – 90	dobra
90 – 100	izvrсна

Postupak mjerenja te izračunavanja vrijednosti RQD prikazan je na slici (Slika 2). Koristeći osnovnu formulu za izračunavanje RQD indeksa odredit će se postotak jezgre koja je izvađena prilikom bušenja.



Slika 2 Primjer izračuna RQD indeksa (Mišćević, 2004; Singh & Goel, 2011)

Izračun:

Ukupna dužina dijelova jezgre =  $\Sigma L = 38 \text{ cm} + 17 \text{ cm} + 20 \text{ cm} + 43 \text{ cm} = 118 \text{ cm}$

*Ukupna promatrana dužina bušenja = 200 cm*

$$RQD = \frac{\text{ukupna dužina dijelova jezgre } \geq 10 \text{ cm}}{\text{ukupna promatrana dužina bušenja}} * 100\%$$

$$RQD = \frac{118 \text{ cm}}{200 \text{ cm}} * 100\% = 0,59 * 100\% = 59\%$$

Temeljem izračuna RQD indeksa može se zaključiti kako je jezgra prikazana na slici (Slika 2) prihvatljive kakvoće stijenske mase.

Na primjeru jezgre prikazane na slici (Slika 3) napravljen je vlastiti primjer izračuna RQD-a. Dužina sanduka iznosila je 1 m.



**Slika 3** Primjer jezgre bušotine BJL-3 na lokaciji Bjelolasica (Meaški, 2017a)

Ukupna dužina dijelova jezgre većih od 10 cm ili jednakih iznosila je 489 cm dok je ukupna promatrana dužina bušenja iznosila 600 cm. Izračun za RQD navedenog primjera je sljedeći:

$$RQD = \frac{15 + 12 + 30 + 12 + 20 + 400 \text{ cm}}{600 \text{ cm}} * 100\% = 0,82 * 100\% = 82\%$$

Temeljem izračuna RQD indeksa može se zaključiti kako je jezgra dobre kakvoće stijenske mase.

### 3.1.2 Indirektne metode

#### Seizmička metoda

Metoda seizmičkog istraživanja koristi različita elastična svojstva slojeva koja utječu na brzinu širenja seizmičkih valova koji putuju kroz njih pritom pružajući korisne informacije o podzemnim slojevima. Ova metoda je relativno jeftina te se brzo primjenjuje, a korisna je i kod proučavanja stijenskih masa velikog volumena. Seizmičkim ispitivanjima mogu se dobiti podaci koji su povezani sa stijenskim masama, a to su položaj i izgled osnovne stijene i geoloških struktura u podzemlju te učinak diskontinuiranosti stijenske mase. Ti podaci se mogu procijeniti uspoređujući „in situ“ mjerenu brzinu kompresijskih valova s brzinom dobivenom laboratorijskim testom na uzorku iste jezgre bušotine. Brzine dobivene laboratorijskim testom na uzorcima intaktnih stijena pokazuju karakteristike intaktne stijene (bez pukotina), a brzine izmjerene na terenu prikazuju stijensku masu (sa svim pukotinama te oslabljenjima). Prema tome, RQD indeks se računa po navedenoj formuli:

$$RQD[\%] = \left(\frac{V_F}{V_L}\right)^2 * 100$$

gdje je  $V_F$  brzina kompresijskih valova „in situ“, a  $V_L$  brzina kompresijskih valova dobivenih laboratorijskim testom (Singh & Goel, 2011).

#### Volumetrijsko zbrajanje pukotina

Ovu metodu opisao je Palmstrøm (2001), a koristi se kada nema istražnih bušotina. To je mjera za broj pukotina u jedinici volumena stijenske mase ( $J_V$ ) definirana izrazom:

$$J_V = \sum_{i=1}^J \left(\frac{1}{S_i}\right)$$

gdje  $S_i$  predstavlja prosječni razmak između pukotina u metrima za svaki sustav pukotina, a  $J$  ukupan broj sustava pukotina osim slučajnih pukotina. Budući da nema istražnih bušotina, RQD se procjenjuje preko broja izmjerenih pukotina (diskontinuiteta) u jedinici volumena ( $J_V$ ) prema zadanom izrazu:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_V$$



gdje  $J_v$  predstavlja ukupni broj pukotina po metru kubičnom ili volumetrijski zbroj pukotina. Palmstrøm (2001) je također predložio novu jednadžbu:

$$RQD = 110 - 2,5 * J_v$$

koja je prikladnija za ravne ili duge blokove stijenske mase dok je prvu jednadžbu bolje koristiti za blokove kubičnog oblika. Nadalje, zaključio je kako prva jednadžba u nekim situacijama može biti netočna. Međutim, kada jezgre nisu dostupne, obje jednadžbe se mogu smatrati pouzdanim pri procjeni RQD indeksa. Odnos stupnja  $J_v$ -a te broja pukotina prikazan je u tablici (Tablica 2) (Singh & Goel, 2011).

**Tablica 2 Klasifikacija volumetrijskog zbroja pukotina (Singh & Goel, 2011)**

Stupanj $J_v$	$J_v$
Vrlo nizak	< 1,0
Nizak	1 – 3
Srednje visok	3 – 10
Visok	10 – 30
Vrlo visok	30 – 60
Razlomljen	> 60

Temeljem izračuna RQD indeksa na prethodnom primjeru (Slika 3) određen je volumetrijski zbroj pukotina prema sljedećim izrazima:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

$$J_v = \frac{115 - RQD}{3,3} = \frac{115 - 0,82}{3,3} = 34,6$$

Za navedeni primjer stijenske mase RQD indeksa 0,82 volumetrijski zbroj pukotina  $J_v$  iznosi 34,6 što predstavlja vrlo visoki stupanj  $J_v$ .

### 3.2 Geološki indeks čvrstoće (GSI)

GSI (od eng. - „Geological Strength Index“) indeks su uveli Hoek & Brown (1998). Ovaj indeksni parametar upotrebljiv je i za čvrste i za slabe stijenske mase. Proizašao je iz potrebe iskusnih inženjera i geologa za brzom, pouzdanom te jednostavnom ocjenom stijenske mase i to na osnovi vizualne procjene geoloških uvjeta. GSI se prema Hoeku i Brownu određuje iz matrice 5x5 kao raspon vrijednosti (npr. 50 - 64), a ne kao jedinstveni

broj (npr. 57) jer kvaliteta stijenske mase na većem području nije jednoznačna vrijednost (Singh & Goel, 2011). Glavna funkcija GSI indeksa je procjena svojstava stijenskih masa, a temelji se na vizualnoj procjeni stanja strukture stijenske mase i stanja diskontinuiteta stijenskih masa dobivenih površinskim kopovima te bušotinskim jezgrama (Marinos et al., 2005). Važno je napomenuti kako GSI pretpostavlja da je stijenska masa izotropna te da podzemna voda nema utjecaja na određivanje veličine GSI indeksa pri čemu velika preciznost kod određivanja i korištenja GSI indeksa nije potrebna (Miščević, 2004).

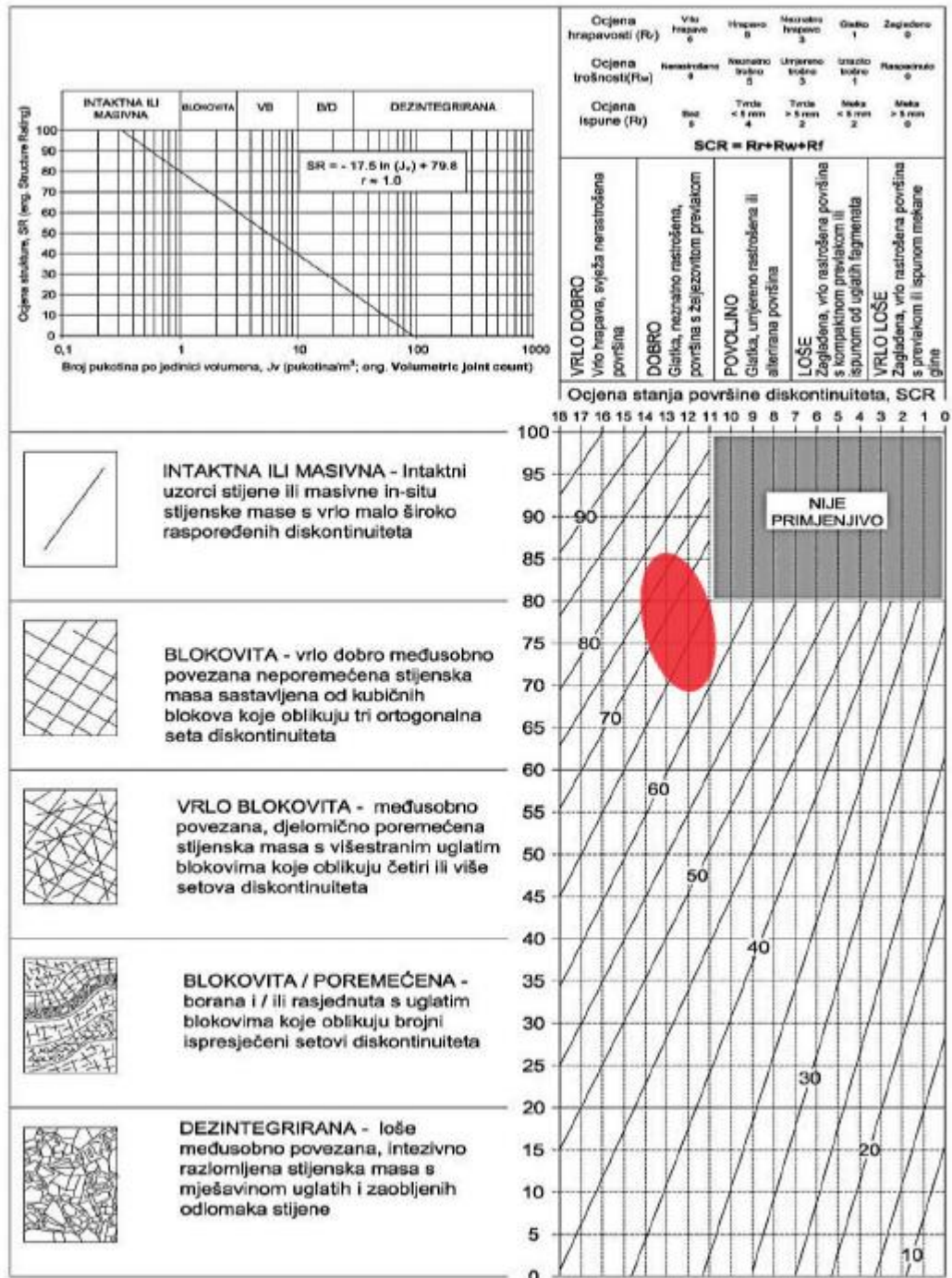
Na stvarnom primjeru s terena (slika 4) napravljena je procjena geološkog indeksa čvrstoće na osnovi vizualne ocjene geoloških uvjeta stijenske mase. Vidljivo je da je stijenska masa međusobno vrlo dobro povezana i neporemećena, ali i s izrazito vidljivim slojnim diskontinuitetima koji su neznatno rastrošene površine te vidljive glatkoće.



**Slika 4 Primjer stijenske mase (H. Meaški)**





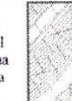



Prema tome, prvi skup podataka matrice prikazuje kako je ova stijenska masa blokovite strukture s rasponom vrijednosti od 70 – 85, dok drugi skup podataka matrice ocjenjuje stanje površine diskontinuiteta kao dobro stanje s rasponom vrijednosti od 11 - 14.

Kada se podaci s terena ubace u GSI dijagram (Hoek & Brown, 1998), tada se za prikazanu stijensku masu mogu očitati i vrijednosti GSI indeksa (slika 5).



Slika 5 Dijagram procjene geološkog indeksa čvrstoće (GSI) prethodnog primjera stijenske mase (Meaški, 2017b)

Na slici (slika 6) prikazan je dijagram za procjenu vrijednosti GSI indeksa za heterogenu stijensku masu na primjeru naslage fliša. Ovaj dijagram je nadopuna izvornog oblika određivanja GSI indeksa.

SASTAV I STRUKTURA STIJSKE MASE		STANJE POVRŠINE PUKOTINE				
		VRLO DOBRO	DOBRO	PRIHVATLJIVO	SLABO	VRLO SLABO
	A. Debelo uslojeni, vrlo blokoviti pješčenjak. Utjecaj peštinih obloga na ravninama slojevitosti minimiziran je uključenošću stijenske mase. U plitkim tunelima ili na kosinama ova uslojenost može uzrokovati strukturno kontroliranu nestabilnost.	70	A			
	B. Pješčenjak sa tankim međuslojevima silita	60	B	C	D	E
	C. Pješčenjak i silit u sličnim omjerima					
	D. Silit ili silitozni šejl sa slojevima pješčenjaka					
	E. Slabi silit ili glinoviti šejl sa slojevima pješčenjaka					
C, D, E i G mogu biti više ili manje savijeni nego što je ilustrirano ali to ne utječe na čvrstoću. Tektonske deformacije, rasjedi ili gubitak kontinuiteta pomjera ove kategorije u F i H.						
	F. Tektonski deformirani, intezivno borani, smaknuti glinoviti šejlovi ili siliti sa slomljenim i deformiranim slojevima pješčenjaka, koji formiraju gotovo kaotičnu strukturu.					
	G. Neporemećeni silitozni ili glinoviti šejl sa ili bez nekoliko tankih slojeva pješčenjaka.					
	H. Tektonski poremećeni silitozni ili glinoviti šejl u formi kaotične strukture, sa džepovima gline. Tanki slojevi pješčenjaka su transformirani u male komade stijene.					
				30	F	
				20		
					G	H
						10

Slika 6 Procjena GSI indeksa za heterogenu stijensku masu kao što je fliš (Marinos et al., 2005; Mišević, 2004)

Za opis stanja površine pukotine koristi se opis diskontinuiteta, pri čemu je potrebno analizirati diskontinuitet koji su formirani taloženjem stijenske mase. Prvi skup podataka matrice prikazuje ocjenu strukture stijenske mase koja može biti masivna, blokovita, vrlo blokovita poremećena ili dezintegrirana. Drugi skup podataka matrice prikazuje ocjenu stanja površine diskontinuiteta koja može biti vrlo dobra, dobra, povoljna, loša te vrlo loša (slika 5). Osnovna namjena dopune je bolja ocjena slojevitih, laminiranih ili smaknutih stijenskih masa. Praktična vrijednost GSI indeksa je u primjeni za razlomljene stijenske mase koje se mogu promatrati kao kvazi homogene, odnosno za stijenske mase za koje vrijedi Hoek-Brown-ov kriterij popuštanja. Za stijenske mase kojima je za rješenje inženjerske zadaće dominantan jedan diskontinuitet nije primjenjiv (Mišević, 2004). Nadalje, povećanom uporabom računalnih modela napravljen je klasifikacijski sustav prilagođen računalnoj simulaciji stijenskih masa. Stoga su Hoek & Brown (1998) izveli korelacijske odnose prema RMR i Q vrijednosti (Singh & Goel, 2011):

$$GSI = RMR - 5 ; \text{ za } GSI \geq 18 \text{ ili } RMR \geq 23$$

gdje je: RMR geomehanička klasifikacija (od eng. - „Rock Mass Rating“)

$$GSI = 9 * \ln Q' + 44 ; \text{ za } GSI < 18$$

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a}$$

gdje je:

$Q'$  - modificirana vrijednost  $Q$  klasifikacije,

$J_n$  - broj sustava pukotina,

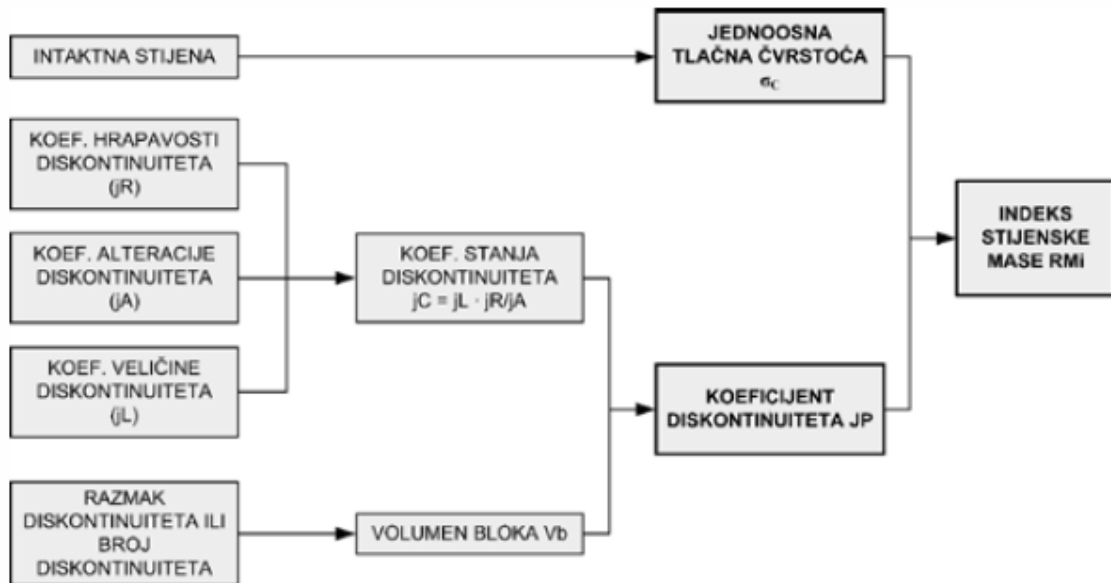
$J_r$  - indeks hrapavosti pukotine,

$J_a$  - indeks pukotinske ispune.

### 3.3 Indeks stijenske mase (R<sub>Mi</sub>)

Stijenske mase mogu se smatrati kao nehomogeni konstrukcijski materijali izgrađeni od dijelova i blokova raznih veličina. Kao jedan od uobičajenih svojstava pri opisu konstrukcijskih materijala koristi se njihova čvrstoća. Budući da je gotovo nemoguće izvršiti troosno ispitivanje ili ispitivanje direktnog smicanja na razmjeru stijenske mase koji odgovara veličini inženjerskog problema koji se rješava, Palmstrøm (1996a) je predložio indeks stijenske mase (od eng. – „Rock Mass Indeks“) s namjerom da se tim indeksom procjeni čvrstoća stijenske mase kao konstrukcijskog materijala (Palmstrøm, 1996). Prema Hoeku (1998), čvrstoća ovisi o veličini i obliku bloka kao i o karakteristikama njihove površine odvojenih pukotinama. Stoga se kao ulazni parametri (slika 7) pri procjeni čvrstoće stijenskih masa koriste (A'ssim & Yong Xing, 2010):

- veličina blokova odvojenih pukotinama mjerena kao volumen bloka ( $V_b$ ),
- čvrstoća materijala bloka mjerena kao jednoaksijalna tlačna čvrstoća,
- posmična čvrstoća stijenki blokova prikazana pomoću faktora pukotinskih značajki ( $j_R, j_A$ ),
- veličina i kontinuiranost pukotina prikazana pomoću faktora  $j_L$ .



Slika 7 Ulazni parametri RMI indeksa (Janković et al., 2008; Palmstrøm, 1996b; Palmstrøm, 1996)

Uglavnom, RMI indeks se temelji na smanjenju čvrstoće stijene prouzročenim presijecanjem pukotina te je izražen kao:

$$RMI [MPa] = \sigma_c * J_p$$

gdje su (A'ssim & Yong Xing, 2010; Palmstrøm, 1996b):

$\sigma_c$  – jednoosna tlačna čvrstoća stijene koja gradi stijensku masu izražena u MPa;  
 $J_p$  – pukotinski parametar koji se određuje na osnovi veličine blokova koji formiraju pukotinski sustavi, hrapavosti pukotina, stanja površine pukotine i dužine pukotina. (Ima vrijednost od 0 za razmrvljene stijenske mase do 1 za kompaktnu stijenu).

Nadalje, pukotinski parametar ( $J_p$ ) te njegovi faktori određuju se ovdje navedenim matematičkim izrazima:

$$J_p = 0,2 * (jC)^{0,5} * (Vb)^D$$

$$D = 0,37 * jC^{-0,2}$$

$$jC = jL * \left(\frac{jR}{jA}\right)$$

gdje su:

- $V_b$  – volumen bloka koji se određuje mjerenjem na terenu,
- $j_C$  – faktor stanja pukotine,
- $j_L$  – faktor dužine i kontinuiranosti pukotine prema tablici (Tablica 4),
- $j_R$  – faktor hrapavosti pukotine prema tablici (Tablica 6),
- $j_A$  – faktor stanja pukotine prema tablici (Tablica 5).

Za razliku od nekih klasifikacija stijenskih masa koje su uglavnom opisne i kvalitativne, R<sub>Mi</sub> indeks je brojčana vrijednost. Stijenske mase za koje je  $R_{Mi} < 0,001$  su izuzetno slabe stijenske mase, dok se za vrijednosti  $R_{Mi} > 100$  radi o izuzetno čvrstim stijenskim masama što je vidljivo u tablici (Tablica 3) (Mišćević, 2004). R<sub>Mi</sub> vrijednosti također mogu poslužiti kao ulazni podatak u drugim inženjerskim metodama poput numeričkog modeliranja, Hoek-Brown-ovog kriterija loma stijenske mase te za procjenu modula deformabilnosti stijenske mase (Hoek, 1995; Janković et al., 2008; RockMass, 2015). R<sub>Mi</sub> indeks može biti korišten za grube procjene u ranim fazama istraživanja kada je broj dostupnih parametara ograničen, pruža pogodan sustav za inženjersku prosudbu, pokriva širok raspon različitih stijenskih masa što omogućuje njegovu veliku primjenu te poboljšava točnost ulaznih parametara potrebnih u geotehničkom inženjerstvu. S druge strane, R<sub>Mi</sub> ima svoja ograničenja pa tako kod intaktnih stijena prikazuje veliku razliku sastava i strukture u različitim smjerovima što je teško izraziti jednim brojem, točnost procjene ovisi o parametrima koji su različiti za razne blokove unutar iste stijenske mase te kombinacija parametara koja u nekim slučajevima dovodi do netočnih rezultata (Meaški, 2017b).

**Tablica 3 Klasifikacija temeljem R<sub>Mi</sub> indeksa (Abbas & Konietzky, 2017)**

Za R <sub>Mi</sub>	Stijenska masa obzirom na čvrstoću	R <sub>Mi</sub>
Izuzetno nizak	Izuzetno slaba	< 0,001
Vrlo nizak	Vrlo slaba	0,001 – 0,01
Nizak	Slaba	0,01 – 0,1
Umjeren	osrednja	0,1 – 1,0
Visok	Čvrsta	1,0 - 10
Vrlo visok	Vrlo čvrsta	10 – 100
Izuzetno visok	Izuzetno čvrsta	> 100

**Tablica 4 Faktor dužine i kontinuiranosti pukotine (jL) (Mišćević, 2004)**

Dužina pukotine [m]	Naziv	Vrsta	jL	
			Neprekinute pukotine	Prekinute pukotine
< 0,5	vrlo kratke	slojevito/ listićavo	3	6
0,1 – 1,0	kratke / male	pukotina	2	4
1 - 10	srednje	pukotina	1	2
10 - 30	dugačke	pukotina	0,75	1,5
> 30	vrlo dugačke	ispunjena pukotina, proslojak	0,5	1

**Tablica 5 Faktor stanja pukotine (jA) (Mišćević, 2004)**

Naziv	Opis	jA	
<b>Dodir između zidova pukotine</b>			
<i>Čiste pukotine</i> Zacijeljene ili čvrsto spojene pukotine	Omekšavajuća nepropusna ispuna (kvarc, itd.) Nema prevlake ili ispune na zidovima pukotine osim tragova zatamnjenja	0,75 1	
<i>Degradirane stijenske pukotine</i> 1 stupanj više degradacije 2 stupnja više degradacije	Površina pukotine pokazuje 1 stupanj više degradaciju nego stijena	2	
	Površina pukotine pokazuje 2 stupnja više degradaciju nego stijena	4	
<i>Prevlaka ili tanka ispuna</i> Pijesak, silit, kalcit.. Glina, prah, klorid, ..	Prevlaka od materijala velikog trenja bez gline	3	
	Prevlaka od omekšavajućih kohezivnih minerala	4	
<b>Ispunjene pukotine s djelomičnim dodirom ili bez dodira između stijenki pukotine</b>			
Materijal ispune	Opis	Djelomičan dodir (tanka ispuna < 5 mm)	Bez dodira (debela ispuna)
Pijesak, silit, kalcit..	Ispuna od materijala velikog trenja bez gline	4	8
Zbijeni glinoviti materijali	„Tvrda“ ispuna od omekšavajućeg i kohezivnog materijala	6	10
Mekana glina	Srednja do niska predkonsolidacija ispune	8	12
Bujajuća glina	Ispuna iskazuje svojstva bujanja	8 - 12	12 - 20

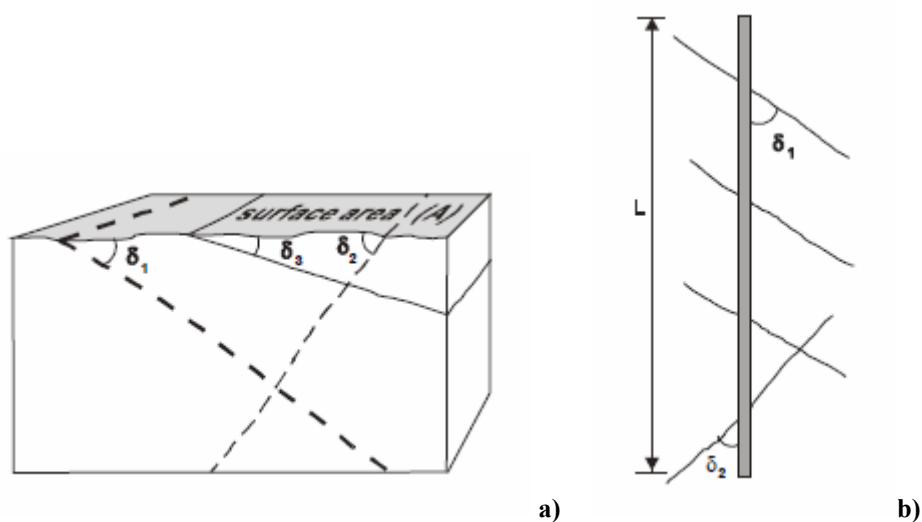


**Tablica 6 Faktor hrapavosti pukotine (jR) (Miščević, 2004)**

Malo mjerilo ravnosti površine pukotine	Veliko mjerilo valovitosti ravnine pukotine				
	Ravninske	Blago valovite	Jako valovite	Stepenaste	Uklještene
vrlo hrapavo	3	4	6	7,5	9
hrapavo	2	3	4	5	6
malo hrapavo	1,5	2	3	4	4,5
glatko	1	1,5	2	2,5	3
zaglađeno	0,75	1	1,5	2	2,5
smaknuto	0,6 – 1,5      1 – 2      1,5 – 3      2 – 4      2,5 - 5				
	Za nepravilne pukotine predlaže se jR=5 Za pukotine s ispunom jR=1				

### 3.4 Težinska gustoća pukotina (wJd)

Metodu težinske gustoće pukotina (od eng. – „Weighted Joint Density“) razvio je Palmstrøm (1996c) radi dobivanja boljih podataka o kvaliteti stijenske mase promatranjem jezgre bušotine i površine stijenske mase. Temelji se na mjerenju kuta između svake pukotine u odnosu na površinu (slika 8a)) ili u odnosu na os bušotine (slika 8b)), a mjeriti se može površinski (slika 9b)) ili na jezgri bušotine (slika 10b)).



**Slika 8 a) Sjecišta između pukotina i površine (Palmstrøm, 1996d); b) Sjecišta između pukotina i osi bušotine (Palmstrøm, 1996d)**

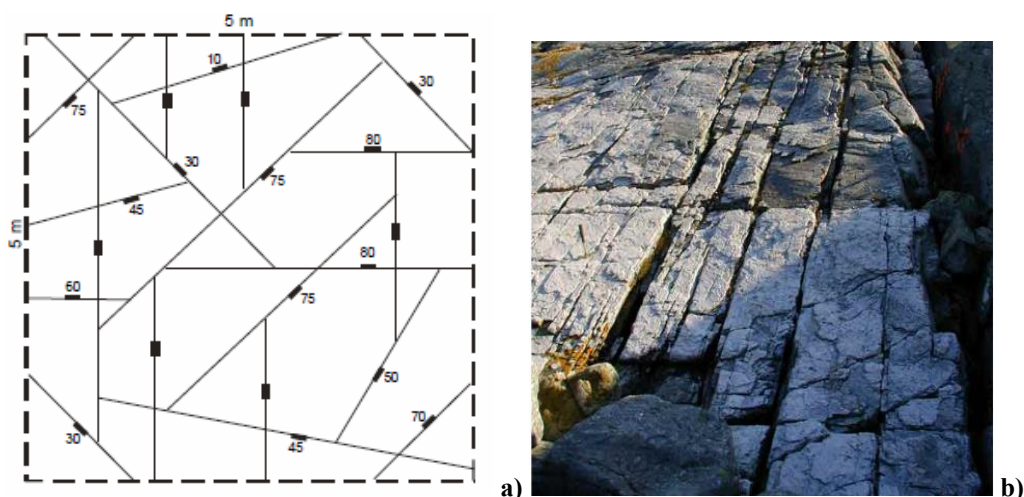
Kutovi su radi lakšeg promatranja podijeljeni u intervale s pripadajućim faktorom ( $f_i$ ) vidljivim u tablici (Tablica 7).

Tablica 7 Kutovi intervala s pripadajućim faktorom  $f_i$  (Nefeslioglu et al., 2006)

Kut $\delta$ između pukotine i površine ili osi bušotine	Faktor $f_i$
$> 60^\circ$	1
$31 - 60^\circ$	1,5
$16 - 30^\circ$	3,5
$< 16^\circ$	6

### 3.4.1 Površinsko mjerenje

Primjeri pukotina na površini prikazani su dolje priloženim slikama. Dok je prva slika korištena u izračunu, druga slika služi isključivo kao primjer izgleda pukotina na površini stijenske mase u prirodi.



Slika 9 a) Primjer pukotina na površini (Palmstrøm, 1996d); b) Površina stijenske mase (RockMass, 2013)

Iz priložene slike (slika 9a)) može se zaključiti kako je promatrana površina veličine 25 metara kvadratnih te su rezultati promatranja priloženi u tablici (Tablica 8).

Tablica 8 Izračun težinske gustoće pukotina prema primjeru pukotina na površini (Meaški, 2017a)

Lokacija	Površina (A) [m <sup>2</sup> ]	Broj pukotina (n) unutar površine				Ukupan broj pukotina prema slici (slika 9a))	Broj težinskih pukotina $N_w = \sum n \times f_i$	$wJd = (1/L) * N_w$
		$> 60^\circ$	$31 - 60^\circ$	$16 - 30^\circ$	$< 16^\circ$			
Slika 9a	25	12	4	3	1	20	34,5	6,9
Faktor $f_i$		1	1,5	3,5	6			

Kod površinskog mjerenja težinska gustoća pukotina zadana je izrazom (Nefeslioglu et al., 2006):

$$wJd = \frac{1}{\sqrt{A}} * \sum \frac{1}{\sin \delta_1} = \frac{1}{\sqrt{A}} * \sum n * f_i$$

gdje je:

A - veličina promatrane površine u metrima kvadratnim (slika 8a)),

$\delta$  – kut križanja odnosno kut između promatrane ravnine i pojedine pukotine (slika 8a)).

Izračun:

$$A = 5 * 5 = 25$$

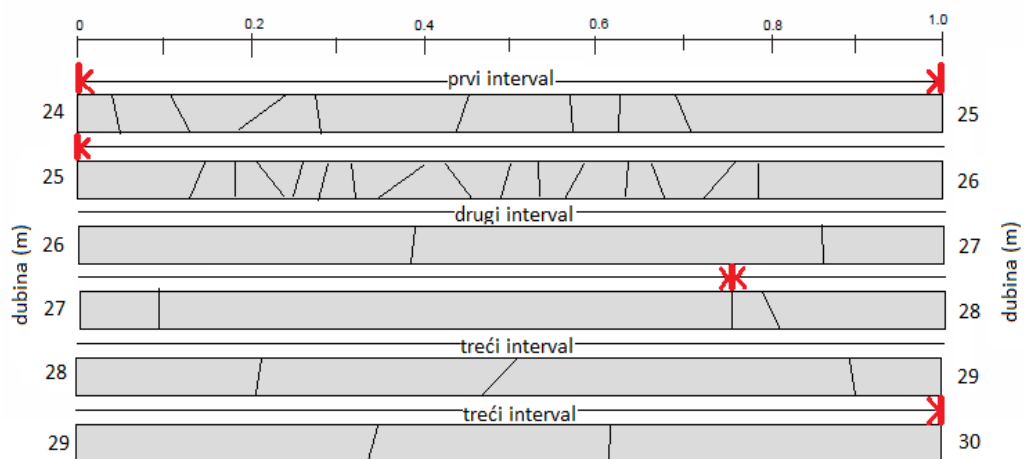
$$N_w = \sum n * f_i = 12 * 1 + 4 * 1,5 + 3 * 3,5 + 1 * 6 = 34,5$$

$$wJd = \frac{1}{\sqrt{A}} * N_w = \frac{1}{\sqrt{25}} * 34,5 = 6,9$$

Temeljem izračuna, težinska gustoća pukotine iznosi 6,9.

### 3.4.2 Mjerenje na jezgri bušotine

Jezgra bušotine na kojoj se provodi mjerenje (slika 10b)) dužine je šest metara te je podijeljena na tri intervala: 24 – 25 m, 25 – 27,75 m i 27,75 – 30 m. Za svaki interval izbrojan je broj pukotina kao što je prikazano u tablici (Tablica 9). Prema dobivenom primjeru jezgre napravljen je vlastiti izračun.



a)



b)

Slika 10 a) Primjer pukotina uzduž jezgre; b) Jezgra bušotine (H. Meaški)

Rezultati promatranja priloženi su u sljedećoj tablici (Tablica 9).

**Tablica 9 Izračun težinske gustoće pukotina prema primjeru pukotina uzduž jezgre (Meaški, 2017a)**

Dubina [m]	Dužina (L) [m]	Broj pukotina (n) unutar svakog intervala				Ukupan broj pukotina prema slici (slika 10a)	Broj težinskih pukotina $N_w = \sum n \times f_i$	$wJd = (1/L) * N_w$
		> 60°	31 - 60°	16 - 30°	< 16°			
24 - 25	1	6	2	0	0	8	9	9
25 - 27,75	2,75	14	5	0	0	19	21,5	21,5
27,75 - 30	2,25	5	1	0	0	6	6,5	6,5
Faktor (f <sub>i</sub> )		1	1,5	3,5	6			

Budući da se težinska gustoća pukotina mjeri na samoj jezgri bušotine koristi se izraz (Nefeslioglu et al., 2006):

$$wJd = \frac{1}{L} * \sum \frac{1}{\sin \delta_1} = \frac{1}{L} * \sum n * f_i$$

gdje je:

$\delta$  – kut križanja odnosno kut između promatrane bušotine i pojedine pukotine (slika 8b)),

L – dužina izmjerenog dijela jezgre (slika 8b)).

Izračun za prvi interval (24 – 25 m):

$$L = 25 - 24 = 1$$

$$N_w = \sum n * f_i = 6 * 1 + 2 * 1,5 = 9$$

$$wJd = \frac{1}{L} * N_w = \frac{1}{1} * 9 = 9$$

Temeljem prvog izračuna, težinska gustoća pukotine iznosi 9.

Izračun za drugi interval (25 – 27,75 m):

$$L = 27,75 - 25 = 2,75$$

$$N_w = \sum n * f_i = 14 * 1 + 5 * 1,5 = 21,5$$

$$wJd = \frac{1}{L} * N_w = \frac{1}{2,75} * 21,5 = 7,82$$

Temeljem drugog izračuna, težinska gustoća pukotine iznosi 7,82.

Izračun za treći interval (27,75 - 30 m):

$$L = 30 - 27,75 = 2,25$$

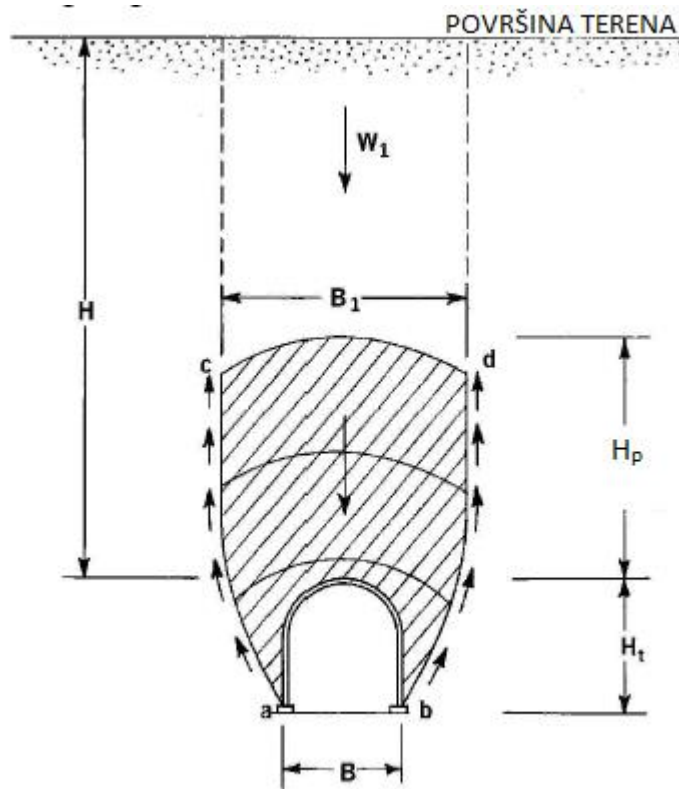
$$N_w = \sum n * f_i = 5 * 1 + 1 * 1.5 = 6,5$$

$$wJd = \frac{1}{L} * N_w = \frac{1}{2,25} * 6,5 = 2,89$$

Temeljem trećeg izračuna, težinska gustoća pukotine iznosi 2,89.

### 3.5 Faktor opterećenja stijenske mase ( $H_p$ )

Pretpostavlja se kako je faktor opterećenja stijenske mase jedan od prvih uspješnih pokušaja klasificiranja stijenske mase za inženjerske potrebe. Terzaghi je 1946. godine predložio faktor stijenskog opterećenja ( $H_p$ ) koji je definiran kao visina slobodne zone iznad tunelskog stropa koja ima utjecaja na opterećenje željeznih lukova (slika 11). Pretpostavljen je temeljem proučavanja 5,5 m širokih željeznih lukova koji su služili kao podgrada željezničkih tunela u Alpama dvadesetih godina prošlog stoljeća. Pri istraživanjima su korišteni drveni blokovi poznate čvrstoće za učvršćivanje željeznih lukova prema stijenskoj masi dok je opterećenje stijenske mase procijenjeno temeljem poznavanja poznate čvrstoće tih drvenih blokova (Barton et al., 1974). Nadalje, kako bi izračunao faktor stijenskog opterećenja ( $H_p$ ) u smislu širine tunela ( $B$ ) te visine tunelskog otvora ( $H_t$ ) iskoristio je rezultate pokusa te faktore stijenskog opterećenja dobivene mjerenjima u Alpama (slika 11). Stijenska masa podijeljena je u devet kategorija na temelju stanja stijenske mase s pripadajućim faktorima stijenskog opterećenja (Tablica 10).



Slika 11 Skica Terzaghijevog stijenskog opterećenja (Hoek, 2001)

Za dobivanje naprezanja na podgradu koristeći faktor stijenskog opterećenja ( $H_p$ ) Terzaghi je predložio sljedeću jednadžbu (Meaški, 2017b):

$$p = \gamma * H_p * H$$

gdje je:

$H_p$  – faktor opterećenja stijenske mase,

$p$  – naprezanje na podgradu,

$\gamma$  – jedinična težina stijenske mase,

$H$  – dubina tunela ili tunelski nadsloj.

**Tablica 10 Terzaghijevi faktori stijenskog opterećenja (Kumar Verman, 2013)**

Kategorija	Stanje stijenske mase	Faktor stijenskog opterećenja ( $H_p$ )	Napomena
I	Čvrsta i intaktna	0	Potrebna lagana podgrada samo ako se javlja površinsko prskanje stijena
II	Čvrsta, slojevita ili škriljava	$0 - 0,5*B$	Lagana podgrada samo kao zaštita od prskanja stijene
III	Masivna i blago razlomljena	$0 - 0,25*B$	Nema bočnog pritiska
IV	Srednje razlomljena i borana	$0,25*B - 0,35*(B+H_t)$	Nema bočnog pritiska
V	Vrlo razlomljena i blokovita	$(0,35 - 1,10)*(B+H_t)$	Mala vrijednost bočnog pritiska
VI	Potpuno razlomljena, ali kemijski neporemećna	$1,10*(B+H_t)$	Značajan bočni pritisak. Efekt razmekšanja ili tečenja s dna otvora zahtijeva kontinuiranu podgradu za donje dijelove otvora
VII	Plastificirana (stiskajuća) stijena male dubine	$(1,10 - 2,10)*(B+H_t)$	Veliki bočni pritisak, zahtijeva oblogu poda. Preporučuje se kružni presjek
VIII	Plastificirana (stiskajuća) stijena velike dubine	$(2,10 - 4,50)*(B+H_t)$	Veliki bočni pritisak, zahtijeva oblogu poda. Preporučuje se kružni presjek
IX	Bujajuća stijena	Do 80 m ne ovisi o vrijednosti ( $B+H_t$ )	Kružni otvor. U ekstremnim situacijama potrebna je popuštajuća podgrada

Zamišljeno je da je tunel ispod razine podzemne vode jer ako se nalazi iznad razine podzemne vode vrijednosti dobivene za kategorije od IV. do VI. treba smanjiti za 50 % (Health, 1982). Kao nedostatak navodi se činjenica da je Terzaghijev faktor stijenskog opterećenja primjenjiv za tunele maksimalne širine 9 m te da vrijedi za stare metode iskopa tunela odnosno nije primjenjiv za nove metode poput nove austrijske metode tunelogradnje, NATM (od eng. – „New Austrian Tunnelling Method“) ili norveške metode tunelogradnje, NMT (od eng. – „Norwegian Method of Tunnelling“) (Meaški, 2017b).



## 4 ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu teorijski su detaljnije opisani sljedeći indeksni parametri: indeks kakvoće jezgre (RQD), geološki indeks čvrstoće (GSI), indeks stijenske mase (RMi), težinska gustoća pukotina te faktor opterećenja stijenske mase. Indeks kakvoće jezgre koristi se radi dobivanja kvantitativne procjene kakvoće stijenske mase iz jezgri dobivenih bušenjem, a određen je postotkom. Geološki indeks čvrstoće upotrebljava se kada je potrebna brza, pouzdana te jednostavna ocjena stijenske mase i to na osnovi vizualne procjene geoloških uvjeta dok RMi indeks procjenjuje čvrstoću stijenske mase kao konstrukcijskog materijala. Nadalje, težinska gustoća pukotina je razvijena radi dobivanja boljih podataka o kvaliteti stijenske mase promatranjem jezgre bušotine i površine stijenske mase, a mjeriti se može površinski ili na jezgri bušotine, a faktor opterećenja stijenske mase je definiran kao visina slobodne zone iznad tunelskog stropa koja ima utjecaja na opterećenje lukova tunela. Prema tome, zbog složenosti, tehničkih ograničenja i visokih troškova mjerenja svojstava stijenske mase, uz navedene indeksne veličine razvijen je cijeli niz indeksnih veličina kojima se kvantitativno određuje kakvoća stijenske mase u inženjerskoj praksi s ciljem rješavanja raznih inženjerskih zadaća.

## 5 POPIS LITERATURE

- A'ssim, A.-J., Yong Xing, Z., 2010. Most Used Rock Mass Classifications for Underground Opening. *Am. J. Eng. Appl. Sci.* 3, 403–411.
- Abbas, S.M., Konietzky, H., 2017. Rock mass classification systems.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech. Felsmechanik Mécanique des Roches* 6, 189–236.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rockmass classifications. Wiley, Toronto.
- Deere, D.U., Deere, D.W., 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. *Rock Classif. Syst. Eng. Purp.*
- Health, A., 1982. Revising Terzaghi's tunnel rock load coefficients. 23rd US Symp. *Rock Mech.* 953–960.
- Hoek, B.E., 2001. BIG TUNNELS IN BAD ROCK 2000 TERZAGHI LECTURE by Evert Hoek *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* The Terzaghi lecture was presented at the ASCE Civil Engineering Conference and Exposition To be held in Seattle , October 18-21 , 20. October 127, 726–740.
- Hoek, E., 1995. POSSIBLE OTHER APPLICATIONS OF THE RMi IN ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING 1–22.
- Hoek, E., 1998. Reliability of Hoek-Brown estimates of rock mass properties and their impact on design. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 35, 63–68.
- Janković, B., Mihalić, S., Frgić, L., 2008. Neka ograničenja sustava kategorizacije stijenskih masa II. *Mineral* 6, 22–25.
- Kumar Verman, M., 2013. ROCK MASS-TUNNEL SUPORT INTERACTION ANALYSIS.
- Lucian, C., Wangwe, E.M., 2013. The Usefulness of Rock Quality Designation (RQD) in

- Determining Strength of the Rock. *Int. Ref. J. Eng. Sci.* 2, 2319–183.
- Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E., 2005. The geological strength index: Applications and limitations. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 64, 55–65.
- Meaški, H., 2017a. Indeksni parametri stijenske mase - vježbe. Sveučilište u Zagrebu.
- Meaški, H., 2017b. Indeksni parametri stijenske mase. Sveučilište u Zagrebu.
- Mihalić, S., 2007. Osnove Inženjerske Geologija. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Miščević, P., 2004. Uvod u inženjersku mehaniku stijena. Poljica, Split.
- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., 2006. Indirect determination of weighted joint density (wJd) by empirical and fuzzy models: Supren (Eskisehir, Turkey) marbles. *Eng. Geol.* 85, 251–269.
- Palmstrøm, A., 1996a. The Rock Mass index (RMi) applied in rock mechanics and rock engineering. *J. Rock Mech. Tunn. Technol.* 11, 1–40.
- Palmstrøm, A., 1996b. RMi- A new practical Characterization system for use in rock engineering. *Conf. Sven. Bergmekanikdagen* 39–63.
- Palmstrøm, A., 1996c. RMi - a system for characterizing rock mass strength for use in rock engineering. *J. Rock Mech. Tunn. Technol.* 1, 1–40.
- Palmstrøm, A., 1996d. The weighted joint density method leads to improved characterization of jointing. *Recent Adv. Tunn. Technol.* 1–6.
- Palmstrøm, A., 2001. Measurement and characterizations of rock mass jointing. In: *In-Situ Characterization of Rocks - Chapter 2.* pp. 1–40.
- Palmstrøm, A., 1996. Characterizing rock masses by the RMi for Use in Practical Rock Engineering: Part 1: The development of the Rock Mass index (RMi). *Tunn. Undergr. Sp. Technol.* 11, 175–188.
- Poullain, J., 2012. *Drilling and Sampling of Soil and Rock.*
- RockMass, 2013. RockMass website [WWW Document]. URL [www.rockmass.net](http://www.rockmass.net)

(6.10.18).

RockMass, 2015. RockMass website [WWW Document]. URL  
[http://www.rockmass.net/articles/rmi/why\\_rmi.html](http://www.rockmass.net/articles/rmi/why_rmi.html) (6.10.18).

Singh, B., Goel, R.K., 2011. Engineering rock mass clasification. Elsevier, Oxford.

## 6 POPIS SLIKA

Slika 1 Opis stijenske mase .....	2
Slika 2 Primjer izračuna RQD indeksa (Mišćević, 2004; Singh & Goel, 2011) .....	6
Slika 3 Primjer jezgre bušotine BJL-3 na lokaciji Bjelolasica (Meaški, 2017a) .....	7
Slika 4 Primjer stijenske mase (H. Meaški).....	10
Slika 5 Dijagram procjene geološkog indeksa čvrstoće (GSI) prethodnog primjera stijenske mase (Meaški, 2017b).....	11
Slika 6 Procjena GSI indeksa za heterogenu stijensku masu kao što je fliš (Marinos et al., 2005; Mišćević, 2004) .....	12
Slika 7 Ulazni parametri R <sub>Mi</sub> indeksa (Janković et al., 2008; Palmstrøm, 1996b; Palmstrøm, 1996).....	14
Slika 8 a) Sjecišta između pukotina i površine (Palmstrøm, 1996d); b) Sjecišta između pukotina i osi bušotine (Palmstrøm, 1996d) .....	17
Slika 9 a) Primjer pukotina na površini (Palmstrøm, 1996d); b) Površina stijenske mase (RockMass, 2013).....	18
Slika 10 a) Primjer pukotina uzduž jezgre; b) Jezgra bušotine (H. Meaški) .....	20
Slika 11 Skica Terzaghijevog stijenskog opterećenja (Hoek, 2001) .....	23

## 7 POPIS TABLICA

Tablica 1 Odnos između RQD i kakvoće stijenske mase (Bieniawski, 1989; Lucian & Wangwe, 2013; Miščević, 2004) .....	6
Tablica 2 Klasifikacija volumetrijskog zbroja pukotina(Singh & Goel, 2011).....	9
Tablica 3 Klasifikacija temeljem R <sub>Mi</sub> indeksa (Abbas & Konietzky, 2017).....	15
Tablica 4 Faktor dužine i kontinuiranosti pukotine (j <sub>L</sub> ) (Miščević, 2004) .....	16
Tablica 5 Faktor stanja pukotine (j <sub>A</sub> ) (Miščević, 2004).....	16
Tablica 6 Faktor hrapavosti pukotine (j <sub>R</sub> ) (Miščević, 2004).....	17
Tablica 7 Kutovi intervala s pripadajućim faktorom f <sub>i</sub> (Nefeslioglu et al., 2006) .....	18
Tablica 8 Izračun težinske gustoće pukotina prema primjeru pukotina na površini (Meaški, 2017a) .....	18
Tablica 9 Izračun težinske gustoće pukotina prema primjeru pukotina uzduž jezgre (Meaški, 2017a) .....	20
Tablica 10 Terzaghijevi faktori stijenskog opterećenja (Kumar Verman, 2013) .....	24