

**Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet**

Preddiplomski studij

GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO

5. predavanje

Klasifikacije stijenske mase



1. Osnovni uvjeti
2. Svojstva klasifikacija
3. Terzaghijeva klasifikacija
4. Laufferova klasifikacija
5. Modificirana Laufferova klasifikacija
6. RQD klasifikacija
7. RSR klasifikacija
8. RMR ili Geomehanička klasifikacija
9. Q klasifikacija
10. GSI – Geološki indeks čvrstoće
11. RMi Klasifikacija

Svaka klasifikacija stijenskih masa mora zadovoljavati sljedeće uvjete:

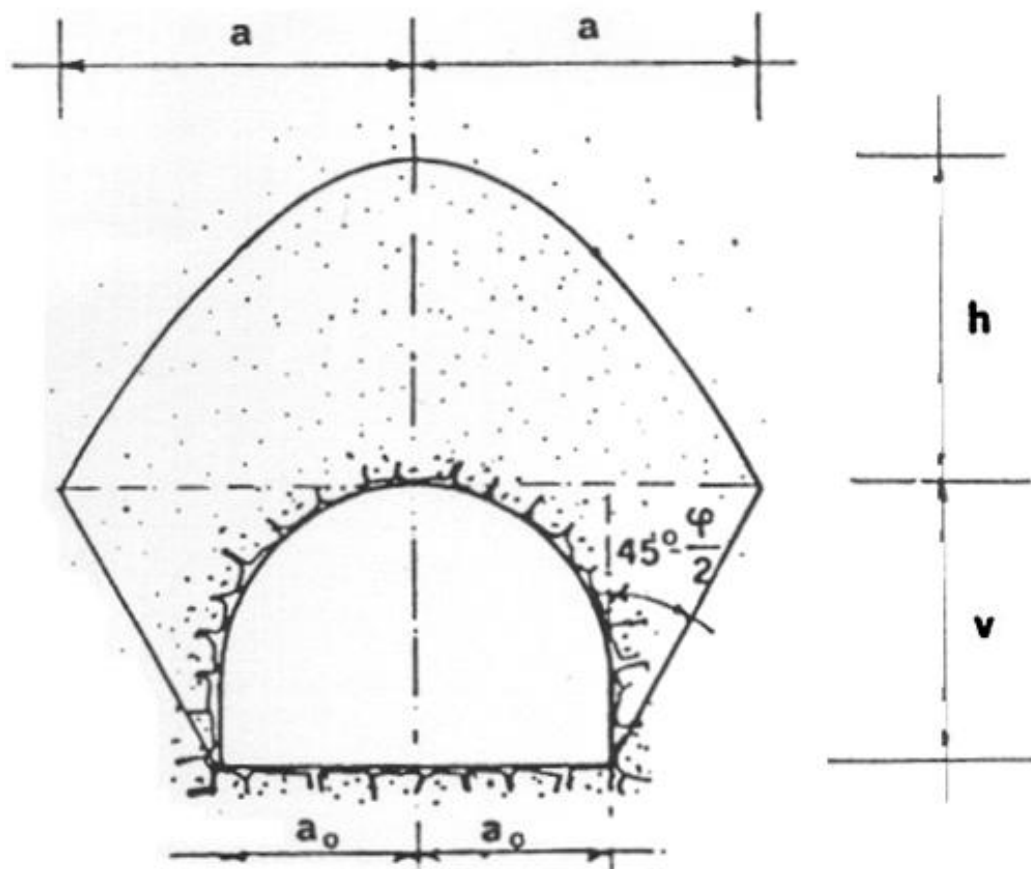
1. Podjela određene stijenske mase u grupe (kategorije, klase) sa sličnim ponašanjem.
2. Osiguranje osnove za razumijevanje karakteristika i ponašanja svake grupe.
3. Davanje kvantitativnih podataka za inženjerski projekt.
4. Osiguranje zajedničke osnove za uspješnu suradnju svih sudionika u projektu.

1. Jednostavna, razumljiva, lako se shvaća i pamti.
2. Svaki izraz mora biti jasan, a terminologija opće prihvaćena.
3. Uključena samo najznačajnija svojstva stijenske mase.
4. Temeljena na parametrima koji se mogu mjeriti i odrediti brzim i jeftinim pokusima na terenu.
5. Temeljena na bodovnom sustavu koji može ocijeniti relativnu važnost klasifikacijskih parametara.
6. Daje kvantitativne podatke za projekt podgradnog sustava.

Terzaghi, 1946.

- Razvijena za potrebe projektiranja i izvedbe tunelskih podgradnih sustava.
- Prva praktična i racionalna metoda procjene mogućeg opterećenja stijenske mase koje se prihvaća ugradnjom podgrade od čeličnih lukova.
- Dominantna klasifikacija u USA za izvođenje radova u tunelogradnji tijekom 50 godina.
- Stijenska masa je podijeljena na 9 opisnih odnosno kvalitativnih kategorija.

- Opterećenje se određuje u ovisnosti od kategorije stijenske mase, te širine i visine tunela i predstavlja težinu zone rastresene stijenske mase ispod rasteretnog svoda.



Terzaghijev model

Pri tome je posebno značajno po prvi put uvođenje sljedećih pojmova u mehaniku stijena:

- **intaktna stijenska masa** (*intact rock*),
- **uslojena stijenska masa** (*stratified rock*),
- **umjereno ispucala stijenska masa** (*moderately jointed rock*),
- **stijenska masa u blokovima i raspucala stijenska masa** (*blocky and seamy rock*),
- **raspadnuta stijenska masa** (*crushed rock*),
- **stijenska masa podložna skupljanju** (*squeezing rock*),
- **stijenska masa podložna bubrenju** (*swelling rock*).

Značaj Terzaghijeve klasifikacije je doprinos opisu pojedinih značajki stijenske mase koje daju presudan utjecaj na ponašanje stijenske mase, naročito u uvjetima u kojima geostatička naprezanja imaju presudan utjecaj.

Nedostaci Terzaghijeve klasifikacije:

- klasifikacija je preopćenita da bi dozvolila objektivnu procjenu kvalitete stijenske mase,
- ne daje kvantitativne informacije o osobinama stijenske mase,
- prestaje biti prihvatljiva nakon usvajanja modernih metoda izvođenja radova u tunelogradnji uz korištenje mlaznog betona i geotehničkih sidara.

Lauffer, 1958.

- Razvijena za potrebe projektiranja i izvedbe tunelskih podgradnih sustava.
- Zasnovana je na ranijim saznanjima na području mehanike stijena i tunela.
- Predlaže korelaciju između vremena postojanosti stijenskog iskopa nepodgrađenog raspona u odnosu na različite klase na koje je podijeljena stijenska masa.
- Vrijeme postojanosti nepodgrađenog raspona predstavlja vrijeme u kojem tunelski nepodgrađeni raspon može stajati bez podgrađivanja.

- Nepodgrađeni raspon predstavlja širinu tunelskog iskopa ili udaljenost od izvedene podgrade do lica iskopa ukoliko je isti raspon manji od raspona iskopa.
- Značaj Laufferove klasifikacije ili koncepta vremena nepodgrađenog iskopa je u zahtjevima na skraćenje vremena potrebnog za ugradnju podgrade. Na primjer, iskop tunela malog raspona koji se koristi kao pilot tunel ispred glavne tunelske prostorije, može se izvesti uz izvedbu minimalne podgrade u dužem vremenskom periodu, dok iskop tunela velikog raspona u istoj stijenskoj masi ne može biti stabilan bez trenutne ugradnje podgradnog sustava.
- Parametri ovise o orijentaciji osi tunela u odnosu na strukturni sklop stijenske mase, nagib u poprečnim presjecima, metodi iskopa i metodi podgrađivanja.



Pacher, Rabcevic, Golser, 1974.

- Klasifikacija je rađena za prometne tunele većih presjeka, promjera 10-15 m, probijane i podgrađivane u skladu sa *NATM* (*Novom Austrijskom Tunelskom Metodom*).
- Zasnovana je na rezultatima znanstvenog istraživanja ponašanja stijenske mase u zoni oko tunelskog otvora.
- Daje način iskopa sa zaštitnim i podgradnim mjerama kao i njihovo vremensko provođenje.
- Provjerena je na velikom broju projekata.

Stijenska masa podijeljena je u **4 grupe** (A, B, C i D) odnosno **6 klasa** (I, II, III, IV, Va i Vb).

- U **grupu A** spadaju **klase I i II** odnosno neznatno do jako obrušljive stijenske mase. Sekundarna naprezanja izazvana otvaranjem podzemnog iskopa ne prelaze čvrstoću stijenske mase. Iskop se izvodi u punom profilu.

U **klasu I** spadaju stabilne do neznatno obrušljive stijenske mase sklone ispadanju pojedinih blokova. Stijena oko podzemnog otvora ostaje stabilna bez podgrađivanja ili sa osiguranjem lokalnih slabih mjesta. U **klasu II** spadaju jako obrušljive stijene kod kojih je prisutno jače odvajanje kao rezultat uslojenosti i ispucalosti te su potrebne površinske odnosno lokalne mjere zaštite.



- U **grupu B** spada **klasa III** odnosno rastresene do vrlo rastresene stijenske mase. Sekundarna naprezanja na obodu otvora prelaze čvrstoću stijenske mase. Iskop se ne može vršiti u punom profilu. Pored površinske potrebne su i sistematske mjere zaštite.

- U **grupu C** spadaju **klase IV i Va** odnosno stijenske mase koje nakon iskopa izazivaju pritiske na podradni sklop. Sekundarna naprezanja izazvana otvaranjem podzemnog iskopa prelaze čvrstoću stijenske mase već kod djelomičnog iskopa.

U **klasu IV** spadaju stijenske mase koje izazivaju umjerene pritiske na podgradni sklop, a u **klasu Va** stijene koja izazivaju jaki pritisak na podgradni sklop. Potrebne su sistematske mjere zaštite, razrada podzemnog otvora i zatvaranje podgradnog prstena.



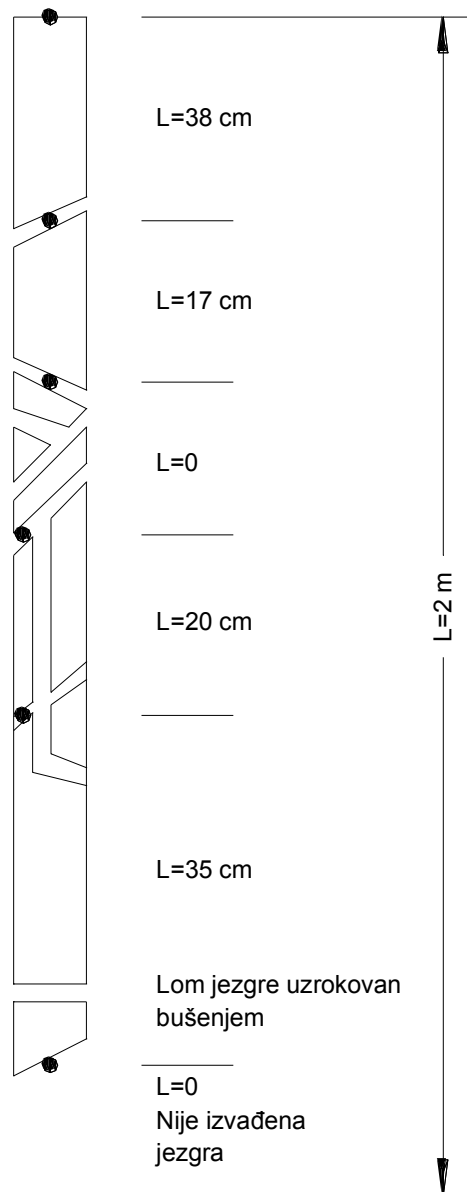
- U **grupu D** spada **klasa Vb** odnosno posebni slučajevi, kao što su bujajuće stijenske mase ili potpuno nekoherentan materijal za koje klasične metode mehanike stijena nisu dostatne. Potrebne su posebne mjere podgrađivanja.

Nedostaci modificirane Laufferove klasifikacije:

- potrebno je dosta praktičnog iskustva za primjenu,
- nije temeljena na bodovnom sustavu, a opis stijenske mase je kvalitativan,
- podgrada je određena samo kvalitativno.

Deere et al., 1967.

- Nije isključivo vezana na tunele.
- **R**ock **Q**uality **D**esignation (RQD) index definiran je kao postotak intaktne jezgre koja sadrži odlomke dužine 100 mm ili duže u ukupnoj dužini izbušene jezgre.
- Za određivanje vrijednosti RQD, International Society for Rock Mechanics (ISRM) određuje promjer jezgre 54.7 mm. Obzirom na to tijekom godina je predloženo više korekcijskih faktora za izračunavanje RQD za različite promjere jezgre (bušenja). Zaključeno je da se granična vrijednost od 100 mm može koristiti za sve veličine promjera jezgre ukoliko se prilikom mjerenja isključuju oštećenja jezgre nastala bušenjem i rukovanjem.



$$RQD = \frac{\sum \text{dužina odlomaka jezgre duže od 10 cm}}{\text{ukupna dužina jezgre}}$$

$$RQD = \frac{(38 + 17 + 20 + 35) \times 100}{200} = 55\%$$

<u>RQD (%)</u>	<u>Kvaliteta stijene</u>
< 25	vrlo slaba
25 – 50	slaba
50 – 75	povoljna
75 – 90	dobra
90 – 100	odlična

- U slučaju nedostatka podataka o stijenskoj masi dobivenih bušenjem, **RQD indeks se može odrediti iz utvrđenog broja pukotina (diskontinuiteta) vidljivih na površini po jedinici volumena stijenske mase.**
- Broj pukotina prisutan u prostornom metru stijene definira veličinu J_v kao:

$$J_v = \sum (1/S_i)$$

S_i - razmak pukotina u metru promatranog skupa pukotina

- RQD indeks je zavisan o J_v **za stijensku masu bez glinovitih ispuna** prema sljedećem izrazu:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

gdje je RQD u postocima i $J_v \geq 4.5$

RQD indeks koristi kao jedan od osnovnih elemenata u mnogim, kasnije razvijenim klasifikacijama, a posebno u obje glavne klasifikacije stijenske mase: RMR i Q.

Nedostaci RQD klasifikacije:

- bez obzira što je RQD jednostavna i relativno jeftina metoda određivanja kvalitete stijenske mase, sama nije dovoljna za adekvatan opis stijenske mase,
- glavni nedostaci su što ne uzima u obzir orijentaciju pukotina, širinu i materijal ispune, te posebno kut trenja i hrapavost zidova pukotina,
- problemi se javljaju i pri korištenju RQD indeksa za stijensku masu vrlo slabe kvalitete. U osnovi, RQD predstavlja praktičan parametar za opis stijenske mase zasnovan na mjerenju postotka jezgre ‘dobre’ stijenske mase u bušotini.

Wickham et al., 1972.

- **Rock Structure Rating Concept** – koncept bodovanja strukture stijena.
- RSR koncept razvijen je u USA, kao model za predviđanje potrebnog podgradnog sustava pri iskopu tunela. U razvoju su korišteni podaci o izvedbi tunela u stijenskoj masi kod kojih je većina malog raspona s čeličnom podgradom. RSR klasifikacija je ujedno i prva koja je usvojila mlazni beton kao sustav podgrade.
- RSR sustav predstavlja sustav bodovanja stijenske mase odnosno zbroj vrednovanja pojedinih parametara usvojenih u sustavu klasifikacije. **Ukupna suma RSR može imati maksimalnu vrijednost 100.**

- RSR je kvantitativna klasifikacija za razliku od Terzaghijeve.
- RSR usvaja više parametara stijenske mase za razliku od jednog parametra kao što je RQD indeks ograničen kvalitetom jezgre iz bušotine.
- RSR ima numerički ulaz i rezultat za razliku od Laufferove i drugih klasifikacija proizašlih iz iste, a zasnovana je na praktičnim iskustvima proizašlim iz kvalitete stijenske mase, koja su rezultirala podacima kao što su vrijeme potrebno za ugradnju podgrade i potreban tip podgrade.

RSR sustav usvaja dvije glavne kategorije faktora koji utječu na ponašanje stijenske mase u tunelima: geološki parametri i parametri podgradne konstrukcije.

➤ **Geološki parametri** su:

- a) tip stijenske mase,
- b) prosječan razmak pukotina,
- c) orijentacija pukotina (nagib i smjer),
- d) tip diskontinuiteta,
- e) glavni smjer rasjeda, smicanja i preklapanja,
- f) osobine stijenske mase,
- g) trošenje ili alteracija.

➤ **Parametri podgradne konstrukcije** su:

- a) veličina (raspona) tunela,
- b) smjer napredovanja tunela,
- c) metoda iskopa.

RSR se izračunava prema izrazu: $RSR = A + B + C$

➤ Parametar A - opća geologija prostora

Generalna ocjena geološke strukture zasnovana na: porijeklu stijenske mase, tvrdoći stijenske mase i geološkoj strukturi.

	Osnovni tip stijene							
	Čvrste	Srednje	Meke	Raspadnute	Geološka struktura			
Eruptivne	1	2	3	4		Slabo	Srednje	Jako
Metamorfne	1	2	3	4		ispucale ili	ispucale ili	ispucale ili
Sedimentne	2	3	4	4	Masivne	raspucale	raspucale	raspucale
Tip 1					30	22	15	9
Tip 2					27	20	13	8
Tip 3					24	18	12	7
Tip 4					19	15	10	6

$$RSR = A + B + C$$

➤ Parametar B - položaj pukotina, smjer izvedbe

Efekt položaja pukotina uz poštivanje smjera napredovanja tunela zasnovana na: razmaku pukotina, orijentaciji pukotina i smjeru napredovanja tunela.

	Smjer pružanja okomit na os					Smjer pružanja paralelan s osi		
	Smjer iskopa					Smjer iskopa		
	Zajednički	S nagibom pukotina		Suprotno nagibu pukotina		Ostali smjerovi		
	Nagib značajnih pukotina					Nagib značajnih pukotina		
Prosječan razmak pukotina	Vodoravan	Nagnut	Vertikalan	Nagnut	Vertikalan	Vodoravan	Nagnut	Vertikalan
1.Vrlo mali razmak pukotina, < 2 in	9	11	13	10	12	9	9	7
2.Mali razmak pukotina, 2-6 in	13	16	19	15	17	14	14	11
3.Srednji razmak pukotina, 6-12 in	23	24	28	19	22	23	23	19
4.Srednji razmak pukotina do blokovi, 1-2 ft	30	32	36	25	28	30	28	24
5.Blokovi do masivna stijena, 2-4 ft	36	38	40	33	35	36	34	28
6.Masivna stijena > 4 ft	40	43	45	37	40	40	38	34

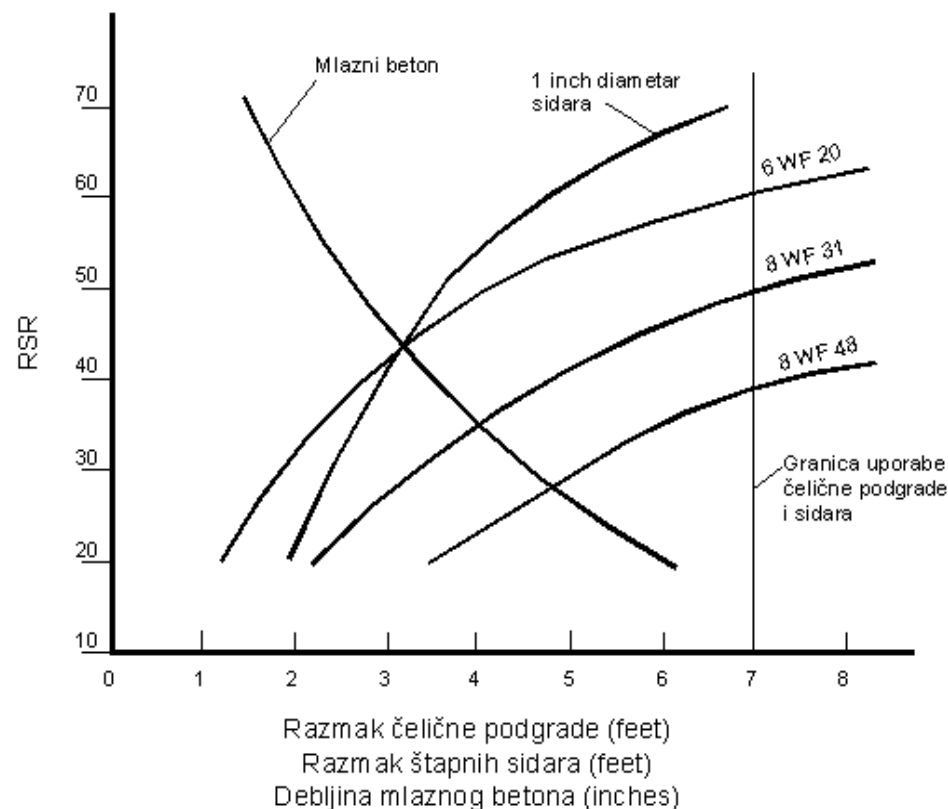
$$RSR = A + B + C$$

➤ Parametar C – podzemna voda, stanje pukotina

Efekt utjecaja toka podzemne vode i uvjeta pukotina zasnovan na: ukupnoj kvaliteti stijenske mase na osnovi kombinacije A i B parametara, stanju pukotina i vrijednosti dotoka podzemne vode.

	Suma parametara A + B					
	13 - 44			45 - 75		
Očekivani dotok vode	Stanje pukotina					
gpm/1000 ft tunela	Dobro	Povoljno	Slabo	Dobro	Povoljno	Slabo
Nikakav	22	18	12	25	22	18
Slab < 200 gpm	19	15	9	23	19	14
Srednji 200-1000 gpm	15	11	7	21	16	12
Jak >1000 gpm	10	8	6	18	14	10

- Vrijednost RSR povezuje kvalitetu stijenske mase s potrebnom podgradom.
- Pri tome su krivulje kojima se određuje tip potrebne podgrade zavisne od načina izvođenja (iskopa) i raspona tunela.
- Na slici je dana procjena potrebne podgrade za tunel raspona 24 ft (7.30 m) kružnog poprečnog presjeka u zavisnosti od vrijednosti RSR.



*Procjena podgrade u
zavisnosti o RSR - u*

- RSR koncept je vrlo uspješna metoda za određivanje podgrade od čeličnih lukova u stijenskoj masi, ali se ne može preporučiti za odabir kombinacije mlaznog betona i štapnih sidara. Ova metoda danas se rijetko koristi (uglavnom u USA), ali je tijekom svoje primjene korištena na velikom broju izvedenih tunela.
- **Nedostatak** predstavlja činjenica da definicije pojedinih parametara koji se koriste u klasifikaciji nisu jasno određene, ne koriste se u običajenim standardnim opisima pukotinskih sustava, te mogu izazvati određene zabune tijekom odabira adekvatnih parametara.

Bieniawski, 1973. (Geomehanička klasifikacija)

- Izvorno je razvijena za potrebe karakterizacije stijenske mase i projektiranje podgradnog sustava za tunele. Prva cjelovita verzija sa detaljima primjene prvi put je objavljena 1976. godine (RMR₇₆).
- Tijekom godina klasifikacija je mijenjana na osnovi rezultata primjene i provjere na većem broju podzemnih građevina u različitim geološkim sredinama i uvjetima te prilagođavana međunarodnim standardima i procedurama. Brojni drugi autori koji su koristili predmetnu klasifikaciju doprinjeli su svojim zapažanjima na osnovi iskustva pri izvođenju tunela, podzemnih prostora, kamenoloma i rudnika, pokosa i temeljenja.
- Bieniawski je 1989. godine predložio posljednju promjenu RMR sustava (RMR₈₉).

➤ Klasifikacijska procedura zasniva se na određivanju sljedećih šest parametara:

1. Jednoosna tlačna čvrstoća
2. RQD indeks (Rock Quality Designation)
3. Razmak diskontinuiteta
4. Stanje diskontinuiteta
5. Uvjeti podzemne vode
6. Orijentacija diskontinuiteta

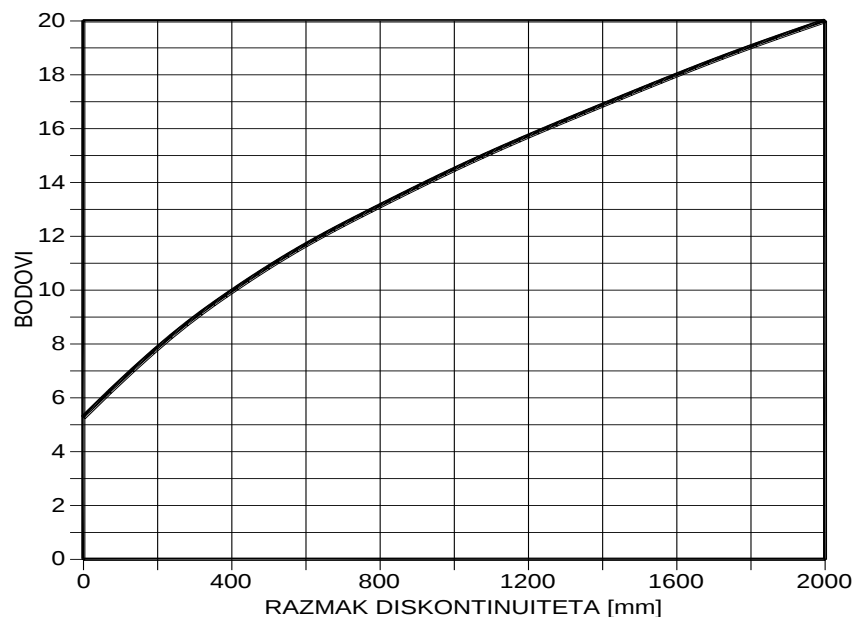
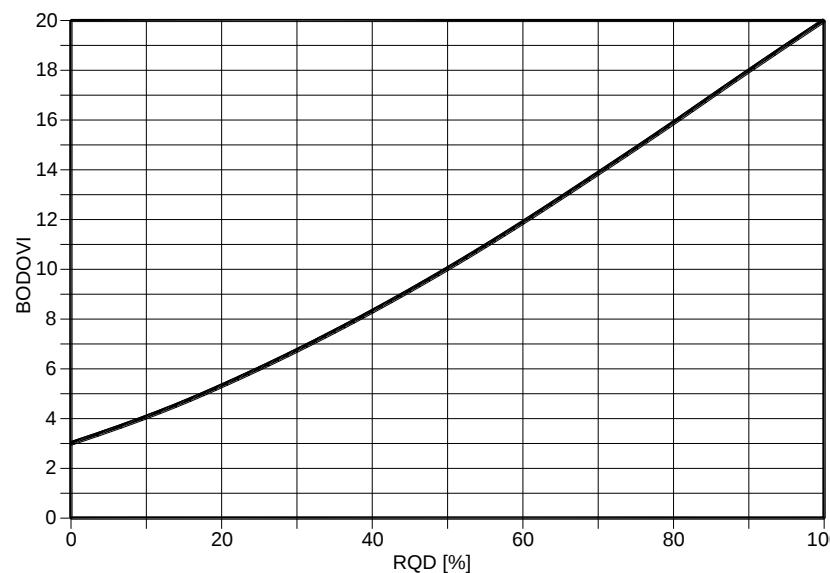
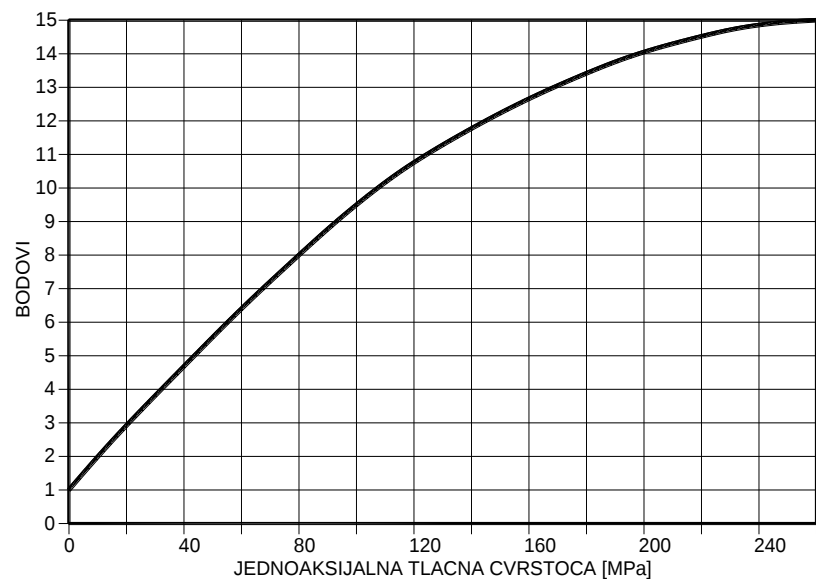
- Pri primjeni RMR klasifikacije, stijenska masa se dijeli u pojedinačne strukturne regije koje se klasificiraju odvojeno od drugih. Granice ovih regija su u pravilu određene značajnijim strukturnim pojavama kao što su rasjedi, zdrobljene zone ili promjene tipa stijenske mase. U pojedinim slučajevima, promjene uzrokovane značajnijim promjenama u nekom parametru, a unutar istog tipa stijenske mase, mogu uzrokovati podjele u manje dijelove strukturnih regija.
- Klasifikacija se temelji na bodovanju, pri čemu su različitim parametrima pridružene različite numeričke vrijednosti u ovisnosti o njihovoj važnosti za sveukupnu klasifikaciju stijenske mase.
- Predmetni bodovi se sumiraju i ukupna suma daje vrijednost RMR.

- RMR klasifikacija se tijekom vremena i povećanjem raspoloživih podataka mijenjala, a najveći utjecaj u promjeni pojedinih odnosa bodova je težina značaja pridodana utjecaju razmaka diskontinuiteta, stanju diskontinuiteta i podzemne vode.

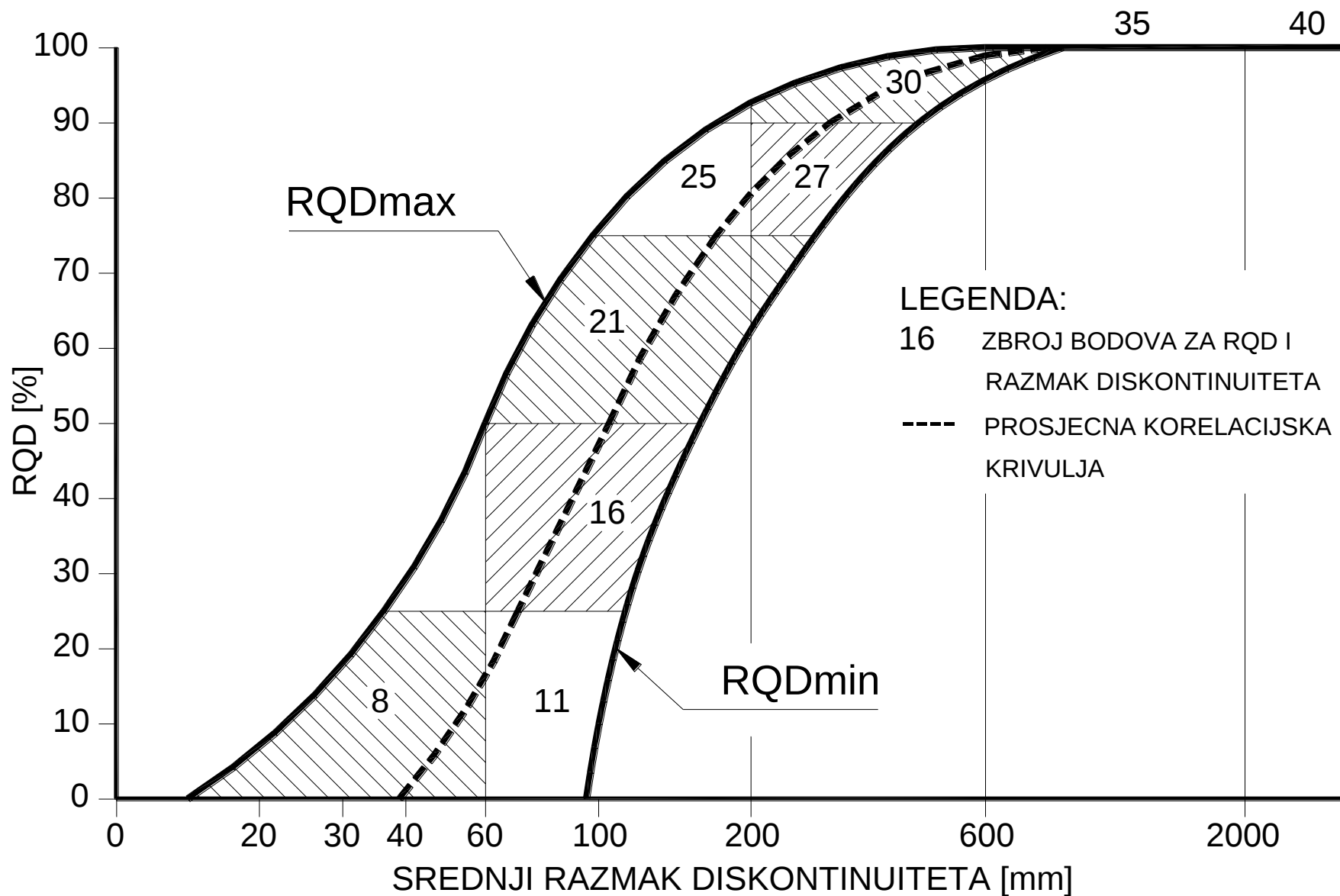
Parametar	Godina				
	1973.	1974.	1975.	1976.	1989.
Čvrstoća stijenskog materijala	10	10	15	15	15
RQD	16	20	20	20	20
Razmak diskontinuiteta	30	30	30	30	20
Zijev diskontinuiteta	5				
Kontinuitet pukotina	5				
Podzemna voda	10	10	10	10	15
Trošenje	9				
Stanje pukotina		15	30	25	30
Orijentacija pukotina		15			
Orijentacija pukotina u tunelima	3-15		0-12	0-12	0-12

A. Klasifikacijski parametri i njihovi bodovi

Parametri			Vrijednosti parametara						
1	Čvrstoća intaktne stijene (MPa)	Indeks čvrstoće u točki	>10	4-10	2-4	1-2	Preporuča se ispitati jednoosnu tlačnu č.		
		Jednoosna tlačna čvrstoća	250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Bodovi		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Bodovi		20	17	13	8	3		
3	Razmak diskontinuiteta		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Bodovi		20	15	10	8	5		
4	Stanje diskontinuiteta (vidi E)		Vrlo hrapave površine Nisu kontinuirani Zijev=0 mm Zidovi nisu rastrušeni	Neznatno hrapave površine Zijev<1 mm Stijena u zidovima neznatno rastrušena	Neznatno hrapave površine zijev<1 mm Stijena u zidovima jako rastrušena	Skliski ili ispuna<5 mm debljine Zijev 1-5 mm Kontinuirani	Mekana ispuna >5 mm debljine ili Zijev>5 mm Kontinuirani		
	Bodovi		30	22	13	6	0		
5	Podzemna voda	Dotok na 10 m duljine tunela (l/m)	nema	<10	10-25	25-125	>125		
		Odnos tlaka pukotinske vode i većeg glavnog naprezanja	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Općeniti uvjeti	kom pletno suho	vlažno	mokro	kapanje	tečenje		
	Bodovi		15	10	7	4	0		



Ovisnost RMR bodova o jednoaksijalnoj tlačnoj čvrstoći (a), RQD indeksu (b), razmaku diskontinuiteta (c)



E. Vodič za klasifikaciju stanja diskontinuiteta (veza sa A. 4)

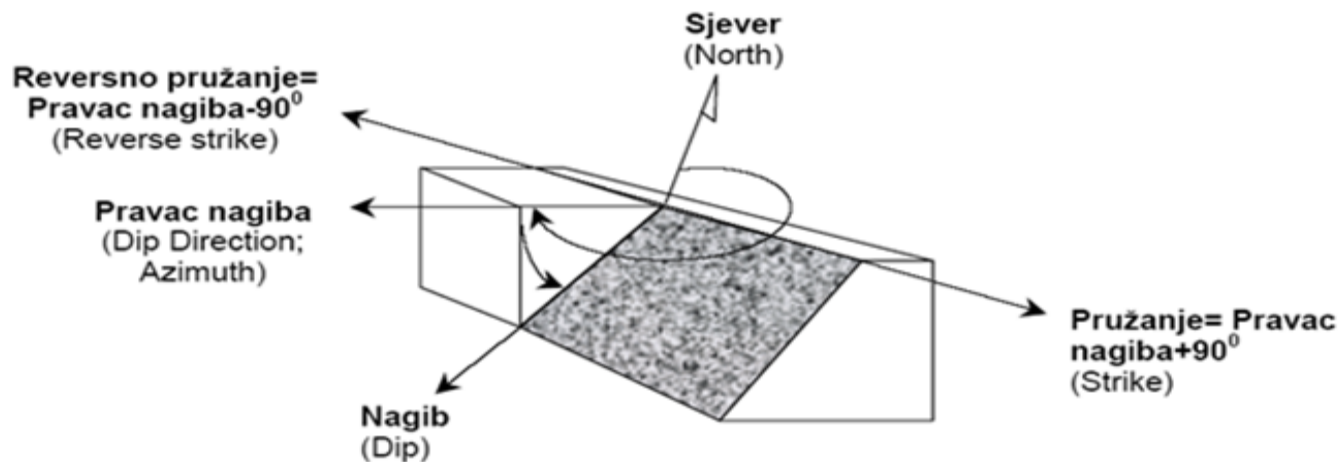
Duljina diskontinuiteta (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20
Bodovi	6	4	2	1	0
Zijev diskontinuiteta	nema zijeva	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm
Bodovi	6	5	4	1	0
Hrapavost diskontinuiteta	vrlo hrapavi	hrapavi	neznatno hrapavi	glatki	skliski
Bodovi	6	5	3	1	0
Ispuna diskontinuiteta	nema ispune	tvrda ispuna <5 mm	tvrda ispuna >5 mm	mekana ispuna <5 mm	mekana ispuna >5 mm
Bodovi	6	4	2	2	0
Rastrošnost zidova diskontinuiteta	nerastrošeni	neznatno rastrošeni	umjereno rastrošeni	jako rastrošeni	potpuno rastrošeni
Bodovi	6	4	2	1	0

B. Korekcija bodova s obzirom na orijentaciju diskontinuiteta (vidi F)

Orijentacija diskontinuiteta	Vrlo povoljna	Povoljna	Dobra	Nepovoljna	Vrlo nepovoljna
Tuneli i rudnici	0	-2	-5	-10	-12
Temelji	0	-2	-7	-15	-25
Kosine	0	-5	-25	-50	-60

F. Efekt orijentacije diskontinuiteta u tunelogradnji

Pružanje okomito na os tunela		Pružanje paralelno s osi tunela	
Iskop u smjeru nagiba diskontinuiteta 45-90°	Iskop u smjeru nagiba diskontinuiteta 20-45°	Nagib 45-90°	Nagib 20-45°
Vrlo povoljno	Povoljno	Vrlo nepovoljno	dobro
Iskop u smjeru suprotnom od nagiba diskontinuiteta 45-90°	Iskop u smjeru suprotnom od nagiba diskontinuiteta 20-45°	Nagib 0-20° bez obzira na pružanje	
Dobro	Nepovoljno	Dobro	



C. KATEGORIZACIJA STIJENSKE MASE NA OSNOVI UKUPNOG BROJA BODOVA

Ukupni bodovi	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Oznaka kategorije	I	II	III	IV	V
Opis	VRLO DOBRA STIJENA	DOBRA STIJENA	POVOLJNA STIJENA	SLABA STIJENA	VRLO SLABA STIJENA

D. ZNACENJE POJEDINIH KATEGORIJA

Ukupni bodovi					
Oznaka kategorije	I	II	III	IV	V
Srednje vrijeme	20godina za 15 m raspona	1 godina za 10 m raspona	1 tjedan za 5 m raspona	10 sati za 2,5 m raspona	30 min za 1 m raspona
Kohezija stijenske mase (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Kut trenja (stupnjevi)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

- Bieniawski je, obzirom na kategoriju stijenske mase, objavio i preporuke za iskop i podgrađivanje tunela.
- Uspostavljena je i **veza između RMR klasifikacije te kriterija čvrstoće i deformabilnosti** što daje poseban značaj ovoj klasifikaciji.

Barton et al., 1974.

- NGI – Rock Tunnelling Quality Index – Q
- Klasifikacija je napravljena primarno za određivanje karakteristika stijenske mase i odgovarajuće tunelske podgrade.
- Vrijednost indeksa Q varira (u logaritamskom mjerilu) od 0.001 do 1000, a sama vrijednost indeksa Q određena je izrazom:

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

Klasifikacija je zasnovana na numeričkoj procjeni kvalitete stijenske mase koja se opisuje sa šest parametara i to:

1. RQD – Rock Quality Designation
2. J_n – broj skupova (familija) pukotina
3. J_r – indeks hrapavosti pukotina
4. J_a – indeks alteracije (trošnosti) pukotina
5. J_w – faktor pukotinske vode
6. SRF – faktor redukcije naprezanja

- **Kvocijent (RQD / J_n)** predstavlja cjelokupnu strukturu stijenske mase i reprezentira relativnu veličinu bloka.
- **Kvocijent (J_r/J_a)** predstavlja veličinu približne posmične čvrstoće između blokova u funkciji hrapavosti i alteracije pukotina. Ustanovljena je veza u kojoj $\tan^{-1}(J_r/J_a)$ odgovara vrijednosti posmične čvrstoće pukotina.
- **Kvocijent (J_w/SRF)** predstavlja aktivni pritisak kroz odnos pritiska vode u pukotinama i parametra SRF koji predstavlja:
 - 1) opterećenje rastresene zone u području rasjednih zona ili zona stijenske mase s glinom ili
 - 2) naprezanja kod zdravih stijenskih masa ili
 - 3) naprezanja nastala uslijed gnječenja ili bubrenja plastičnih stijenskih masa.

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

Opis		Vrijednost	Napomene
1. Indeks kvalitete jezgre		RQD	
A	vrlo slaba	0-25	1. Kada se izmjeri $RQD < 10$ (uključujući i 0) kod izračunavanja vrijednosti Q uzima se da je $RQD = 10$ 2. Dovoljno je točno da se RQD izrazi u intervalima od 5 (100; 95, 90 i.t.d)
B	slaba	25-50	
C	povoljna	50-75	
D	dobra	75-90	
E	odlična	90-100	
2. Boj familija pukotina (J)		J_n	
A.	masivna stijena bez ili s nekoliko pukotina	0,5-1,0	1. Na križanjima koristi $(3,0 \cdot J_n)$ 2. Za portale koristi $(2,0 \cdot J_n)$
B.	jedna familija pukotina	2	
C.	jedna familija pukotina i slučajne pukotine	3	
D.	dvije familije pukotina	4	
E.	dvije familije pukotina i slučajne pukotine	6	
F.	tri familije pukotina	9	
G.	tri familije pukotina i slučajne pukotine	12	
H.	četiri ili više familija pukotina, slučajne pukotine, jako ispucale stijene	15	
J.	razdrobljena stijena slična zemlji	20	

3. Indeks hrapavosti pukotine		Jr	- Dodaj 1,0 ako je srednji razmak kod mjeroavnog seta pukotina veći od 3 m $J_r=0,5$ za planarne pukotine koje imaju izraženu lineaciju	
a) kontakt zidova pukotina				
b) kontakt zidova pukotine prije posmika od 10 cm				
A.	diskontinualne pukotine	4		
B.	hrapave ili nepravilne pukotine, valovite	3		
C.	glatke, valovite	2		
D.	skliske valovite	1,5		
E.	hrapave ili nepravilne, ravne	1,5		
F.	glatke, ravne	1,0		
G.	skliske, ravne	0,5		
c) nema kontakta zidova pukotina pri posmiku				
H.	glinovita min. ispuna dovoljne debljine da spriječi kontakt stijenki pukotine	1,0		
J.	pjeskovita, šljunčana ili zdrobljena ispuna dovoljne debljine da spriječi kontakt stijenki pukotine	1,0		
4 Indeks alteracije pukotina		Ja	Približni rezidualni kut trenja ($^{\circ}$)	Rezidualni kut trenja odnosi se na produkte alteracije ako postoje
a) kontakt zidova pukotina				
A.	zbijena, zacijeljena, čvrsta pukotina, nerazmekšavajuća, nepropusna ispuna	0,75		
B.	nepromijenjen zid pukotine, površina samo s mrljama	1,0	25-35	
C.	neznatno promijenjeni zid pukotine. Nerazmekšavajuća mineralna prevlaka pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline itd.	2,0	25-30	
D.	prašinasta ili pjeskovito-glinovita prevlaka, mali dio glinene frakcije (nerazmekšavajuća)	3,0	20-25	
E.	prevlaka od glinenih materijala, meka ili s niskim kutem trenja (diskontinualna prevlaka, 1-2mm ili manje debljine)	4,0	8-16	

4 Indeks alteracije pukotina		Ja	Približni rezidualni kut trenja ($^{\circ}$)
b) kontakt zidova pukotine prije posmika od 10 cm			
F.	pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline itd.	4,0	25-30
G.	jako prekonsolidirana nerazmekšavajuća glinovito mineralna ispuna (neprekinuta, <5mm debljine)	6,0	16-24
H.	srednja ili mala prekonsolidacija, razmekšana glinovito mineralna ispuna (neprekinuta <5mm debljine)	8,0	12-16
J.	bubriiva glinovita ispuna tj. montmorilonit (neprekinuta <5mm debljine). Vrijednosti Ja ovise o postotku bubrivih glinovitih čestica, pristupu vode itd.	8,0-12,0	6-12
c) nema kontakta zidova pukotina pri posmiku			
K,L,M	zone ili pojasevi dezintegrirane ili zdrobljene stijene i gline (vidi G, H i J za opis uvjeta u pogledu gline)	6,8 ili 8-12	6-24
N	zone ili pojasevi prašinate ili pjeskovite gline, mala frakcija gline (nerazmekšavajuća)	5,0	
O,P,R	debela neprekinuta zona ili pojas gline (vidi G, H i J za opis uvjeta u pogledu gline)	10, 13. ili 13-20	6-24

5. Faktor pukotinske vode		J_W	Približni tlak vode (bara)	1. faktori C i D su grubo određeni; Povećaj J_w ako je ugrađena drenaža 2. Nije razmatrano smrzavanje vode
A.	suhi iskop ili manji priliv (dotok<5l/min, lokalno)	1,00	<1	
B.	srednji priliv ili tlak (ispuna ponegdije isprana iz pukotina)	0,66	1,0-2,5	
C.	veliki priliv ili visoki tlak vode u zdravoj stijeni (pukotine bez ispune)	0,50	2,5-10,0	
D.	veliki priliv ili visoki tlak vode, značajno ispiranje ispune pukotina	0,33	2,05-10,0	
E.	iznimno veliki priliv ili tlak vode kod miniranja, opada s vremenom	0,2-0,1	>10	
F.	iznimno veliki priliv ili tlak vode koji se nastavlja bez zamjetljivog opadanja	0,1-0,05	>10	
6 Faktor redukcije naprezanja		SRF	1. Reduciraj ove vrijednosti SRF-a za 25-50% samo ako relevantne posmične zone ne presjecaju iskop 2. Za jako anizotropno polje naprezanja (ako je izmjereno): kada je $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reducirati σ_c i σ_t na $0,8 \sigma_c$ i $0,8 \sigma_t$	
a) oslabljene zone sijeku iskop što može uzrokovati rastresanje stijenske mase pri iskopu				
A.	učestala pojava rasjed zona koje sadrže glinu ili kem. raspadnutu stijenu, vrlo rastresena okolna stijena (sve dubine)	10,0		
B.	jedna rasjedna zona koja sadrži glinu ili kem. raspadnutu stijenu (dubina iskopa $\leq 50m$)	5,0		
C.	jedna rasjedna zona koja sadrži glinu ili kem. raspadnutu stijenu (dubina iskopa $\geq 50m$)	2,5		
D.	učestale rasjedne zone u zdravoj stijeni (bez gline) rastresena okolna stijena (sve dubine)	7,5		
E.	jedna rasjedna zona u zdravoj stijeni (bez gline, dubina iskopa $\leq 50m$)	5,0		
F.	jedna rasjedna zona u zdravoj stijeni (bez gline, dubina iskopa $> 50m$)	2,5		
G.	rastresene otvorene pukotine, jaka ispucanost itd. (sve dubine)	5,0		

- Osim napomena iz priloženih tablica pri odabiru pojedinih parametara potrebno je obratiti pažnju i na sljedeće detalje:
1. U nedostatku podataka dobivenih bušenjem, vrijednost RQD indeksa može se odrediti iz broja pukotina po jedinici volumena.
 2. Pri procjeni i odabiru parametra J_n koji predstavlja broj skupova pukotina, često se susreće s pojavom listanja, škriljavosti, plohama cijepanja i slojevitosti. Ova pojava mora se usvojiti kao skup pukotina. Ukoliko je vidljivo samo nekoliko takvih diskontinuiteta ili uslijed istih pojava dolazi do povremenih pojava pucanja jezgre, opravdano je iste usvojiti kao slučajne pukotine.

3. Parametri J_r i J_a , koji predstavljaju posmičnu čvrstoću pukotina, mjerodavni su za najslabiji skup pukotina ili glinom ispunjeni diskontinuitet. Ukoliko je isti skup pukotina ili diskontinuitet ispunjen glinom s obzirom na stabilnost pozitivno orijentiran, usvajaju se vrijednosti drugog skupa pukotina ili diskontinuiteta ispunjenog glinom, koji može imati veći utjecaj na stabilnost, iako ima veću vrijednost J_r/J_a .
4. Ukoliko stijenska masa sadrži glinu, faktor SRF usvaja se prema smanjenom opterećenju iz tablice 6.A. U tom slučaju je čvrstoća intaktne stijene od manjeg značaja. U suprotnom slučaju, kad je prisutnost pukotina mala i uz gotovo potpuno odsustvo glinovitog materijala u stijenskoj masi, čvrstoća intaktne stijene postaje mjerodavna, a stabilnost ovisi o odnosu naprezanja u stijenskoj masi i čvrstoće stijenske mase iz tablice 6.B.

5. Tlačna i vlačna čvrstoća intaktne stijene (s_c i s_t) treba biti ispitana u smjeru mjerodavnom za stabilnost stijenske mase. To je posebno važno u slučaju jake anizotropnosti stijenske mase. Nadalje, uzorci moraju biti saturirani u skladu sa sadašnjim ili budućim uvjetima u procijenjenoj stijenskoj masi. Konzervativna procjena čvrstoće stijenske mase nužna je u uvjetima kada stijenska masa u uvjetima vlaženja ili saturacije gubi svoje značajke čvrstoće.

Grimstad i Barton, 1993. godine predložili su tunnelske podgradne sustave u odnosu na Q indeks.

Barton i Grimstad, 1994. godine su na osnovi Q indeksa ustanovili:

- vezu s RMR klasifikacijom ($RMR = 9\ln Q + 44$),
- vezu s deformabilnosti stijenske mase,
- vezu s tlakom na podgradni sustav,
- vezu s brzinom posmičnih valova u stijenskoj masi.

Geološki indeks čvrstoće predstavlja pojednostavljeni klasifikacijski sustav određivanja čvrstoće stijenske mase.

- GSI se zasniva na procjeni litologije, strukture i uvjeta površine diskontinuiteta u stijenskoj masi i određuje se vizualnim ispitivanjem stijenske mase vidljive u zasjecima, u površinskim iskopima kao što su zasjeci za ceste, lica tunela i jezgre bušotina.
- Klasifikacijski postupak obavlja se procjenom dvaju osnovnih svojstava stijenske mase: blokovitosti i značajkama diskontinuiteta, čime se na terenu vrlo jednostavno dobiva indeksni pokazatelj koji je u velikoj mjeri ovisan o osnovnim geološkim značajkama stijena.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓	 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
		80				
	 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		70			
			60			
	 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			50		
				40		
	 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity				30	
					20	
	 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					10
	 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			

GSI na osnovu geoloških opažanja.

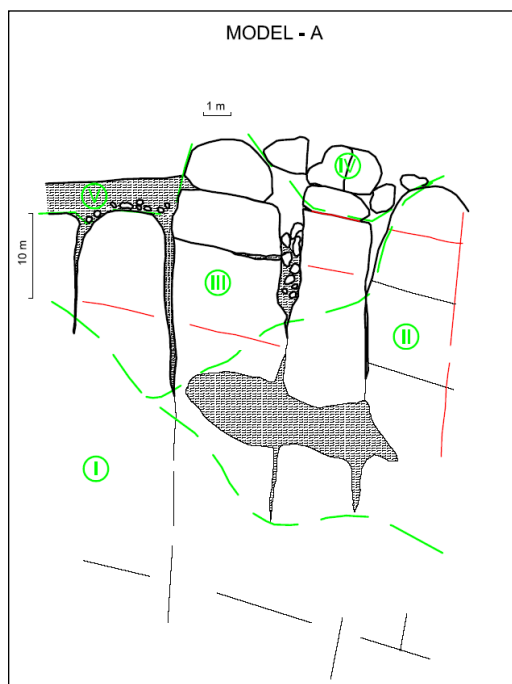
- RMR klasifikacija pretpostavlja da se trošenje stijenki diskontinuiteta povećava sukladno s povećanjem širine diskontinuiteta i debljine ispune.
- Međutim, to je u karbonatnim stijenama hrvatskog krša vrlo rijetko.
- Širina diskontinuiteta može se procesima trošenja značajno povećati otapanjem i korozijom.
- Opis trošnosti stijenki diskontinuiteta koji koristi RMR klasifikacija ne odgovara značajkama karbonatnih stijenskih masa i preporučuje se modificirani opis trošnosti stijenki diskontinuiteta

Trošnost stijenki diskontinuiteta za karbonatne stijene

Oznaka	Rastrošenost	Opis
CW ²	Potpuno	u zoni diskontinuiteta stijena je izrazito porozna, često dezintegrirana; prožeta žilama s glinom milimetarske ili centimetarske debljine; raspada se stiskom ruke
HW ³	Jako	izrazito trošenje, dolomitizacija i dedolomitizacija, snažna raspucanost; znatno povećanje poroznosti vidljivo je makroskopski; žilice ispunjene glinom debljine <1 mm prožimaju stijenu; jednim udarcem čekića se monolit se raspada
MW ⁴	Umjereno	trošenje, raspucanost ili dijagenetski procesi kompletno zahvaćaju stijenu uz diskontinuitet; izrazita rekristalizacija i dolomitizacija; povećanje poroznosti vidljivo je lupom; učestale prsline s glinovitom prevlakom; dubina napredovanja premašuje 20% razmaka diskontinuiteta
SW ⁵	Neznatno	mjestimično su vidljivi trošenje, prsline ili dijagenetski procesi uz diskontinuitet; povećanje poroznosti koje je vidljivo samo mikroskopom; prsline s karbonatnom ispunom; rekristalizacija; dubina napredovanja manja je od 20% razmaka diskontinuiteta
F ⁶	Nerastrošene	nema vidljivih znakova trošenja ili dijagenetskih procesa koji prate diskontinuitete; moguće su rijetke i zatvorene prsline

- U tablici za GSI klasifikaciju postoji procjena GSI vrijednosti u karbonatnim vapnenačkim stijenskim masama i područja u kojima bi se trebale nalaziti masivne, tankoslojevite ili brečaste vapnenačke stijenske mase.
- Međutim, na taj način nije moguće odrediti značajke ispune diskontinuiteta karakteristične za karbonatne stijene u kršu Hrvatske, ali i kvantificirati širine diskontinuiteta, koje se značajno povećavaju u trošnijim zonama karbonatnih stijena.
- Zbog toga je predložena modificirana GSI klasifikacija prilagođena hrvatskom kršu.

- U kršu Hrvatske mogu se izdvojiti dva sasvim različita i oprečna modela trošenja. Modeli su definirani značajkama intaktnog uzorka i veličinom osnovnog bloka:
- Model A – debelo slojevite, gotovo masivne, uglavnom vapnenačke stijene velikih i vrlo velikih blokova s gotovo neporemećenim i često izotropnim intaktnim uzorkom.



U modelu je definirano pet zona trošenja :

I - „svježa“ stijena (SV);

II - donja zona trošenja (DZT);

III - gornja zona trošenja (GZT);

IV - površinska zona trošenja (PZT);

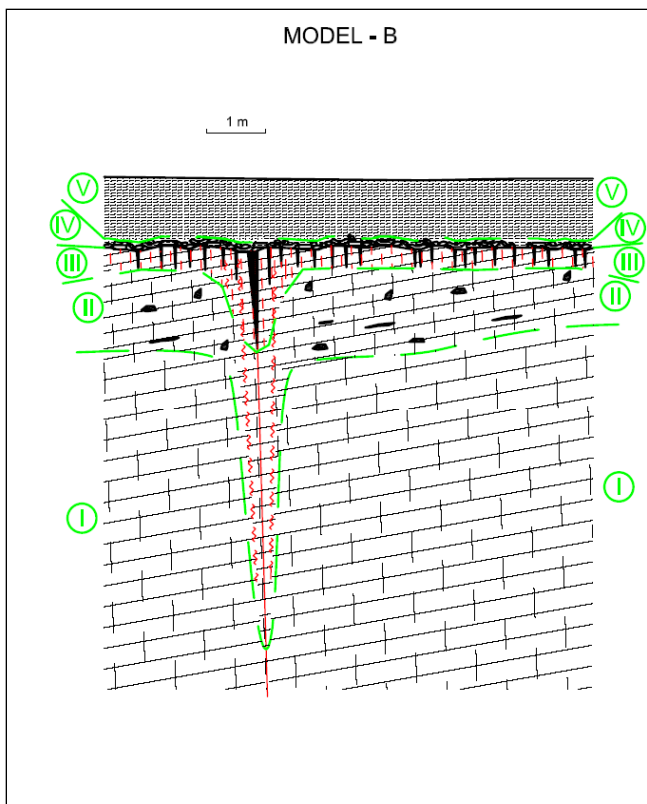
V - pokrivač:

- nevezani fragmenti stijene (blokovi, odlomci ili kršje),

- mješavina gline s fragmentima stijene iz podloge,

- glina.

- Model B – tanko slojevite do laminirane, razlomljene ili masivne vapnenačke stijene ili dolomiti s gustim rasporedom brojnih diskontinuiteta, intaktni uzorak često je anizotropan ili je oslabljen dijagenetskim procesima, brojnim prslinama i žilicama.



U modelu je definirano pet zona trošenja :

I - „svježa“ stijena (SV);

II - donja zona trošenja (DZT);

III - gornja zona trošenja (GZT);

IV - površinska zona trošenja (PZT);

V - pokrivač:

- nevezani fragmenti stijene (blokovi, odlomci ili kršje),

- mješavina gline s fragmentima stijene iz podloge,

- glina.

GEOLOŠKI INDEKS ČVRSTOĆE ZA VAPNENAČKE STIJENSKE MASE JKP Postupak procjene GSI. Odrediti: - približan raspon veličine blokova - razlomljenost - debljina slojeva - broj i pravilnost sustava disk. - dominantne značajke diskontinuiteta - hrapavost - širina - sastav ispune - debljina ispune Okršenost pomiče GSI vrijednosti dolje-desno. Prisutnost vode pomiče GSI vrijednosti desno. Tablica nije primjenjiva za nestabilnosti kontrolirane diskontinuitetima.	ZNAČAJKE DISKONTINUITETA					
		vrlo hrapavi zatvoreni bez ispune ili s kalcitnom prevlakom	hrapavi širina < 1 mm kalcitna ispuna, rjeđe glina	neznatno hrapavi širina nekoliko mm glinovita i kalcitna ispuna	glatki širina nekoliko cm glinovita ispuna, rijetko kalcit	skliski širina nekoliko dm glinovita ispuna ili bez ispune
VELIČINA BLOKA						
VRLO VELIKI BLOKOVI nerazlomljena, masivna do nepravilna stijenska masa s nekoliko široko razmaknutih nepravilno orijentiranih diskontinuiteta		90	80	70	60	
VELIKI BLOKOVI slabo razlomljena nepravilna ili debelo slojevita, blokovita stijenska masa s diskontinuitetima 3 sustava		90	80	70	60	50
SREDNJI BLOKOVI umjereno razlomljena stijenska masa s diskontinuitetima >3 sustava ili tanko slojevita i pločasta stijenska masa		90	80	70	60	50
MALI BLOKOVI jako razlomljena ili laminirana stijenska masa s brojnim sustavima diskontinuiteta		90	80	70	60	50
VRLO MALI BLOKOVI vrlo jako razlomljena ili zdrobljena slabo vezana stijenska masa		90	80	70	60	50
TLO nevezani blokovi, odlomci i kršje karbontih stijena i/ili prah, prašinasta glina i glina + mješavine navedenog u različitim omjerima		90	80	70	60	50

GSI vrijednosti prilagođene korištenju u okršnim stijenskim masama, s približnim i prosječnim GSI vrijednostima pojedinog modela i zone trošenja.



- Uspostavljen je sljedeći odnos između GSI i RMR:
 - Za $\text{RMR}_{76} > 18$ $\text{GSI} = \text{RMR}_{76}$
 - Za $\text{RMR}_{89} > 23$ $\text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$
- U obje verzije usvajaju se suhi uvjeti za stanje podzemne vode, a utjecaj orijentacije pukotina ne uzima se u obzir.
- Za manje vrijednosti od $\text{RMR}_{76} < 18$ i $\text{RMR}_{89} < 23$, korelacije s vrijednostima RMR klasifikacije nije moguće koristiti, već se predlaže korištenje Q klasifikacije.
- Pri tom se faktori redukcije pukotinske vode (J_w) i naprezanja (SRF) uzimaju s vrijednosti 1.
- Tada se tako modificirana vrijednost Q klasifikacije može korelirati s vrijednosti GSI kao:

$$\text{GSI} = \ln Q' + 44$$

Palmstrom, 1995.

Rock **M**ass **i**ndex – RMi

Rock Mass index (RMi) predstavlja volumometrijski parametar koji ukazuje na približnu vrijednost jednoosne čvrstoće stijenske mase.

Osim određivanja potrebnih podgradnih sustava za osiguranje stabilnosti tunelskih otvora, RMi klasifikacija može se koristiti i za određivanje čvrstoće i deformabilnosti stijenske mase.

Zasnovana je na selektivnim dobro utvrđenim geološkim parametrima stijenske mase dobivenim iz detaljiziranih terenskih opisa stijenske mase na izdancima i jezgrenog materijala iz bušotina te rezultata geofizičkih mjerenja.

Vrijednost Rock Mass indexa (RMi) definira se:

- za raspucalu stijensku masu

$$RMi = \sigma_c * JP$$

- za masivnu stijensku masu

$$RMi = \sigma_c * f_\sigma$$

σ_c - jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene mjerena na uzorcima promjera 50 mm

JP - parametar raspucalosti koji uključuje glavne karakteristike raspucalosti stijenske mase

Vrijednost JP se dobiva iz dijagrama ili iz izraza:

$$JP = 0.2 * (jC)^{0.5} Vb^D, \text{ gdje je } D=0.37 jC^{-0.2}.$$

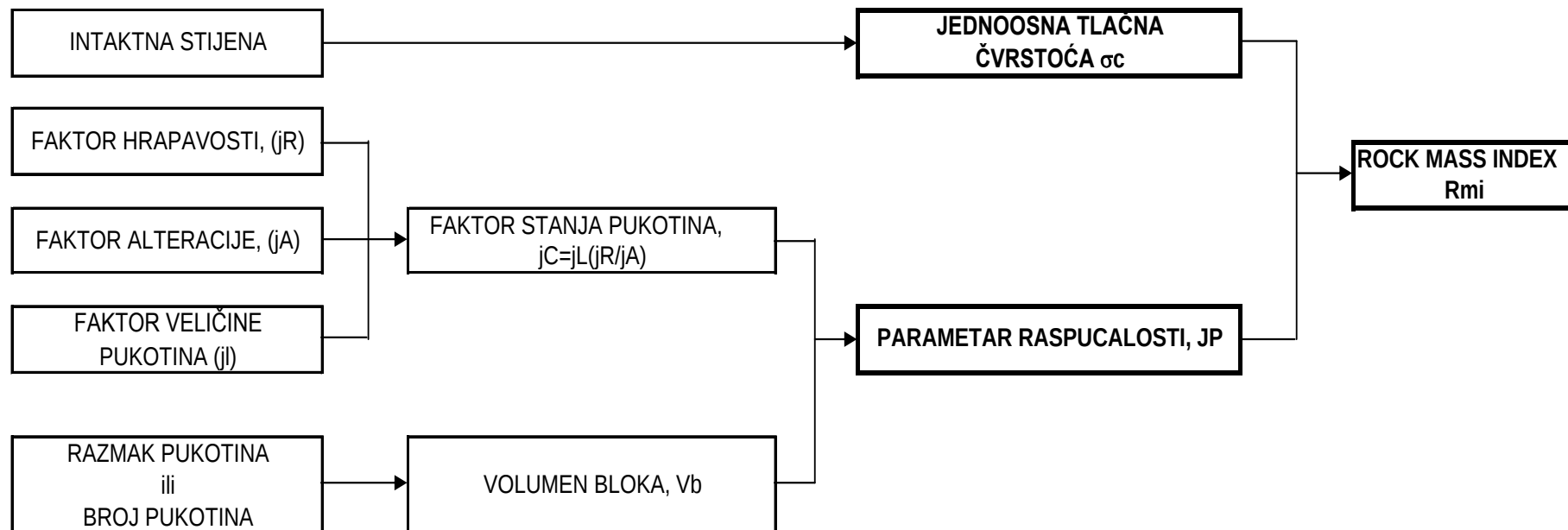
*jC - faktor stanja pukotina, dobiven kao kombinacija faktora veličine pukotina (jL), hrapavosti pukotina (jR) i alteracije (trošnosti) pukotina (jA) prikazan kao $jC = jL * (jR / jA)$.*

Vb - volumen bloka (m^3) za prosječnu vrijednost veličine bloka, vrijednost $Db=(Vb)^{0.33}$ predstavlja ekvivalentni promjer bloka (m).

f_{σ} - parametar masivnosti stijenske mase $f_{\sigma} = (0.05Db)^{0.2}$ i predstavlja parametar prilagodbe tlačne čvrstoće stijenske mase u ovisnosti o efektu veličine bloka za masivne stijene.

Pri tom se podrazumijeva da je masivna stijena onda kad je $Db > 2$ m za koju je $f_{\sigma} \sim 0.5$. Ukoliko je $JP < f_{\sigma}$ (vrijedi kada je $JP < 0.5$) primjenjuje se izraz za raspucalu stijensku masu.

Veze između ulaznih parametara u RMi klasifikaciji stijenske mase





RMi KLASIFIKACIJA

ZAVOD ZA GEOTEHNIKU

JEDNOOSNA TLAČNA ČVRSTOĆA, σ_c		vrijednost (MPa)		dobivena laboratorijskim ispitivanjem ili usvojena iz opisa stijenske mase	
VOLUMEN BLOKA, V_b		vrijednost (m3)		izmjerena in situ ili procijenjena iz jezgre bušotine	
FAKTOR STANJA PUKOTINA, J_c		$j_C = j_L * (j_R / j_A)$		vrijednost j_R , j_A i j_L iz tabele	
FAKTOR HRAPAVOSTI PUKOTINA (j_R) (vrijednost j_R zasnovana je na J_r u Q klasifikaciji)					
(za vrijednosti bold italic jednake su J_r)		Valovitost stijenke pukotine velikog razmjera			
Hrapavost pukotina u malom razmjeru	Vrlo hrapava	2	3	4	6
	Hrapava	1.5	2	3	4.5
	Glatka	1	1.5	2	3
	Uglačana do skliska*	0.5	1	1.5	2
	Za pukotine s ispunom $j_R=1$, za nepravilne pukotine $j_R=5$				
*) Za skliske površine vrijednost ovisi o mogućim pokretima po uslojenosti					
FAKTOR ALTERACIJE PUKOTINA, (j_A) (vrijednost j_A zasnovana je na J_a u Q klasifikaciji)					
Kontakt između zidova pukotine	Značajke zidova pukotina		Uvjeti		Kontakt zidova
	Pukotine bez ispune	Povezani zidovi	Ispuna kvarca, epidota i sl.		0.75
		Svježe razdvojeni zidovi	Bez presvlake ili ispune		
		Valoviti zidovi	Stupanj alteracije više od stijenske mase		
	Presvučene ili s tankom	Dva stupnja alteracije više od stijenske mase		4	
		Hrapavi materijal	Pijesak, kalcitni prah, i dr, bez sadržaja gline		3
Djelomičan ili bez kontakata zidova	Ispuna	Tip	Djelomičan kontakt		
			Tanka ispuna <5mm		Debela ispuna
	Hrapavi materijal	Pijesak, kalcitni prah i dr. (nije podložan omekšanju)			
	Gline podložne bubrenju				
FAKTOR VELIČINE PUKOTINA, (j_L)					
TIP	Dužina	Veličina			
Podložni ili uslojeni dijelovi	<0.5m	vrlo kratka		3	6
Pukotine	0.1-1m	kratka do mala		2	4
	1-10m	srednja		1	2
	10-30m	velika do vrlo velika		0.75	1.5
Spojna ili smičuća pukotina**	>30m	vrlo velika		0.5	1
*Završetak pukotina i masivne stijene		**Često rijetke i u tom slučaju se razmatraju odvojeno			

