

5. Klasifikacije stijenskih masa

- ❑ Osnove klasifikacija
- ❑ Razvoj klasifikacijskih sustava
- ❑ RMR ili Geomehanička klasifikacija
- ❑ Q klasifikacija
- ❑ RMi klasifikacija
- ❑ GSI klasifikacija



Osnove klasifikacija

- ❑ Podjela stijenske mase u grupe, kategorije ili klase sličnih karakteristika, pomoću kojih se pružaju osnove za razumijevanje interakcija između kvalitete i ponašanja stijenske mase
- ❑ Izražavanje kvantitativnim podatkom
- ❑ Osnova empirijskog pristupa u projektiranju i izvođenju inženjerskih objekata

Razvoj klasifikacijskih sustava

- ❑ Terzaghi (1946) je razvio klasifikaciju koja predstavlja prvi racionalni pristup procjene opterećenja podgradnih elemenata u tunelima
- ❑ Lauffer (1958) uvodi dvije veličine: vrijeme za koje će nepodgrađeni dio tunela biti stabilan i širina tunela ili raspon do podgrađenog dijela tunela
- ❑ Deere (1964) razvija indeks kvalitete jezgre RQD (Rock Quality Designation)
- ❑ Wickham, Tiedmann i Skinner (1972) razvijaju RSR koncept (Rock Structure Rating) koji se temelji na bodovanju pri ocjenjivanju geoloških i konstrukcijskih veličina
- ❑ RMR, Q, NATM, RMi, GSI

RMR (Rock Mass Rating) ili Geomehanička klasifikacija

- Bieniawski (1973, ...) je razvio klasifikaciju na temelju bodovanja šest karakterističnih veličina kojima se pridružuju različite numeričke vrijednosti
- Veličine koje se ocjenjuju:
 - Čvrstoća intaktnog materijala
 - RQD - indeks kvalitete jezgre
 - Razmak diskontinuiteta
 - Stanje diskontinuiteta
 - Stanje podzemne vode
 - Orijentacija diskontinuiteta

Veličine RMR klasifikacije

A KLASIFIKACIJSKE VELIČINE I NJIHOVE OCJENE VRIJEDNOSTI							
Veličina		Raspon vrijednosti					
1	Čvrstoća intaktnog materijala	FLT mlađe čvrstoće Jednosna tačna čvrstoća	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Preporuča se jedrosno ispitivanje
	Ocjena		15	12	7	4	5-25 1-5 <1
2	Indeks kvalitete jezgre RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %
	Ocjena		20	17	13	8	3
3	Razmak diskontinuiteta		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm
	Ocjena		20	15	10	8	5
4	Stanje diskontinuiteta	Vrlo hrapavo, nekontinuirane, zahvrene i nerastrosene stijenske	Neznatno hrapavo, zjjeva <1 mm, neznatno rastrosene stijenske	Neznatno hrapavo, zjjeva <1 mm, vrlo rastrosene stijenske	Glatke, kontinuirane stijenske, zjjeva 1-5 mm ili ispuna <5 mm debljine	Glatke, kontinuirane stijenske, zjjeva >5 mm ili ispuna >5 mm debljine	
			Ocjena	30	25	20	10
5	Stanje podzemne vode	Dotok na 10 m dužine tunela (Pritisak vode) / (gl. naprezanje) Ocjna stanje podzemne vode	Nema	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min
			Ocjena	15	10	7	4
		Potpuno suho	Vlažno	Mokro	Kapanje	Tečenje	

Veličine RMR klasifikacije

B KOREKCIJE VRIJEDNOSTI ZBOG ORIJENTACIJE DISKONTINUITETA						
Ocjena	Pružanje i pad	Vrlo povoljno	Povoljno	Dobro	Nepovoljno	Vrlo nepovoljno
	Tuneli	0	-2	-5	-10	-12
	Temelji	0	-2	-7	-15	-25
	Kosine	0	-5	-25	-50	-60

E SMJERNICE ZA OCJENU STANJA DISKONTINUITETA					
Postojanost	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Ocjena	6	4	2	1	0
Zijev	Bez	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
Ocjena	6	5	4	1	0
Hrapavost	Vrlo hrapavo	Hrapavo	Neznatno hrap.	Glatko	Zaglađeno
Ocjena	6	5	3	1	0
Ispuna	Bez	Tvrda <5 mm	Tvrda >5 mm	Meka <5 mm	Meka >5 mm
Ocjena	6	4	2	1	0
Tršnost	Nerastroseno	Neznatno trš.	Umjereno trš.	Izrazito trš.	Raspadnuto
Ocjena	6	5	3	1	0

Kategorije RMR klasifikacije

C KATEGORIJE STIJENSKE MASE UTVRĐENE NA TEMELJU UKUPNE OCJENE					
Ukupna ocjena	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Oznaka kategorije	I	II	III	IV	V
Opis	Vrlo dobra	Dobra	Povoljna	Slaba	Vrlo slaba
D ZNAČENJE KATEGORIJA					
Oznaka kategorije	I	II	III	IV	V
Prosječno vrijeme stajanja	10 g. za 15 m	6 mje. za 10 m	1 tjedan za 5 m	10 h za 2,5 m	30 min za 1 m
Kohezija stijenske mase (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Kut unutarnjeg trenja (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Q klasifikacija

- Barton, Lien, Lunde (1974) razvili su klasifikaciju za projekt podgrade podzemnih prostorija
- Temelji se na numeričkoj procjeni kvalitete stijenske mase preko šest veličina:
 - RQD – indeks kvalitete jezgre
 - J_n – broj familija pukotina
 - J_r – indeks hrapavosti pukotina
 - J_a – indeks izmijenjenosti pukotina
 - J_w – faktor redukcije pukotinske vode
 - SRF – faktor redukcije naprezanja

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

Veličine Q klasifikacije

BROJ SKUPOVA PUKOTINA	
Opis uvjeta	J_n
a) masivna stijena bez ili s nekoliko pukotina	0,5 – 1,0
b) jedan skup pukotina	2
c) jedan skup pukotina plus slučajne	3
d) dva skupa pukotina	4
e) dva skupa pukotina plus slučajne	6
f) tri skupa pukotina	9
g) tri skupa pukotina plus slučajne	12
h) četiri ili više skupova pukotina, slučajne, jako ispucale stijene	15
i) zdrobljena stijena, slična zemlji	20
Kod križista koristiti $3,0 \times J_n$	
Kod portala koristiti $2,0 \times J_n$	

Veličine Q klasifikacije

INDEKS HRAPAVOSTI PUKOTINA	
Opis uvjeta	J _r
A Kontakt stijjenki pukotine i	
B Kontakt stijjenki pukotine prije posmika od 10 cm	
a) diskontinualne pukotine	4
b) hrapave ili iregularne, valovite	3
c) glatke, valovite	2
d) skliske, valovite	1,5
e) hrapave ili iregularne, ravne	1,5
f) glatke, ravne	1,0
g) skliske, ravne	0,5
C Bez kontakta stijjenki pukotine pri smicanju	
h) glinovita mineralna ispunna dovoljne debljine da sprječi kontakt stijjenki pukotina (nominalno)	1,0
i) pjeskovita, šljunčana ili zdrobljena ispunna dovoljne debljine da sprječi kontakt stijjenki pukotina (nominalno)	1,0
Dodati 1,0 u slučaju ako je srednji razmak relevantnog skupa pukotina veći od 3 m	

Veličine Q klasifikacije

INDEKS IZMIJENJENOSTI PUKOTINA		
Opis uvjeta	J _s	φ (°)
A Kontakt stijjenki pukotina		
a) zbijena, zacjeljena, čvrsta pukotina, nerazmekšavajuća, nepropusna ispunna tj. kvarc ili epidot	0,75	-
b) nepromijenjene stijjenke pukotina, površina samo s mrljama	1,0	25 - 35
c) neznatno promijenjene stijjenke pukotina, nerazmekšavajuća mineralna prevlaka pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline itd.	2,0	25 - 30
d) prašinasta, ili pjeskovito-glinovita prevlaka, mali dio gline frakcije (nerazmekšavajuća)	3,0	20 - 25
e) meka ili s niskim kutom trenja prevlaka od gline materijala tj. kaolin, klorit, talk, gips i grafit itd. te male količine bujajućih gline (diskontinualna prevlaka, 1-2 mm ili manje debljine)	4,0	8 - 16
B Kontakt stijjenki pukotina prije smicanja od 10 cm		
f) pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline	4,0	25 - 30
g) jako prekonsolidirana nerazmekšavajuća glinovita mineralna ispunna (neprekinuta < 5 mm debljine)	6,0	16 - 24
h) srednja ili mala prekonsolidacija, razmekšana glinovito mineralna ispunna (neprekinuta < 5 mm)	8,0	12 - 16
i) bujajuća glinovita ispunna, tj. montmorilonit (neprekinuta < 5 mm debljine)	8,0 - 12,0	6 - 12
C Pri smicanju nema kontakta stijjenki pukotina		
j) zone ili pojasevi dezintegrirane ili zdrobljene stijene i gline (vidi g, h, j za opis uvjeta u pogledu gline)	8,0 - 12,0	6 - 24
k) zone ili pojasevi prašnaste ili pjeskovite gline, mala frakcija gline (nerazmekšavajuća)	5	-
l) debela neprekinuta zona gline	13 - 20	6 - 24
Vrijednosti φ predstavljaju aproksimativne vrijednosti mineralnog sastava produkta trošenja		

Veličine Q klasifikacije

FAKTOR REDUKCIJE PUKOTINSKE VODE		
Opis uvjeta	J _w	Pritisak (MPa)
a) suhi iskop ili manji priliv tj. < 5 l/min	1,0	< 0,1
b) srednji priliv ili pritisak, ponegdje isprana ispunna iz pukotina	0,66	0,10 - 0,25
c) veliki priliv ili visoki pritisak u zdravoj stijeni s pukotinama bez ispune	0,5	0,25 - 1,0
d) veliki priliv ili visoki pritisak uz značajno ispiranje ispune pukotina	0,33	0,25 - 1,0
e) iznimno veliki priliv ili vodeni pritisak kod miniranja koji ipak opada s vremenom	0,2 - 0,1	> 1,0
f) iznimno velik priliv ili pritisak vode ali bez značajnog opadanja	0,1 - 0,05	> 1,0
Vrijednosti faktora c) - f) su grubo procijenjene Posebni problemi uzrokovani smrznutim formacijama nisu razmatrani		

Veličine Q klasifikacije

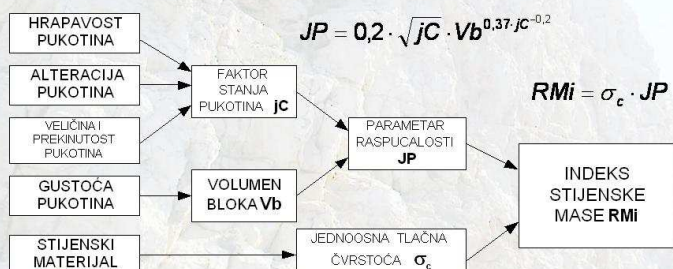
FAKTOR REDUKCIJE NAPREZANJA	
Opis uvjeta	SRF
A Oslabljene zone koje sijeku iskop što može uzrokovati rastresanje stijenske mase pri iskopu	
a) učestali slučaj oslabljenih zona koje sadrže glinu ili kemijski raspadnutu stijenu, vrlo rastresena okolina	10,0
b) jedna oslabljena zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu (dubina iskopa < 50 m)	5,0
c) jedna oslabljena zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu (dubina iskopa > 50 m)	2,5
B Zdrava stijena, problemi stjenjskog naprezanja	
d) učestale smične zone u zdravoj (bez gline) rastresena okolina stijena	7,5
e) jedna smična zona u zdravoj stijeni (bez gline, dubina iskopa < 50 m)	5,0
f) jedna smična zona u zdravoj stijeni (bez gline, dubina iskopa > 50 m)	2,5
g) rastresene i otvorene pukotine, epuzanost	5,0
C Zdrava stijena, problemi stjenjskog naprezanja	
h) malo naprezanje, blizu površine ($\sigma_3/\sigma_1 > 200$)	2,5
i) srednje naprezanje ($\sigma_3/\sigma_1 > 200-10$)	1,0
j) veliko naprezanje, vrlo zbijena struktura (obično povoljno za stabilnost ali može biti i ne ($\sigma_3/\sigma_1 > 10-5$))	0,5 - 2,0
k) gorski udari malog intenziteta (maksima stijena) ($\sigma_3/\sigma_1 < 5-2,5$)	5 - 10
l) gorski udari jakog intenziteta (maksima stijena) ($\sigma_3/\sigma_1 < 2,5$)	10 - 20
D Zdrava stijena, problemi stjenjskog naprezanja	
m) mali pritisak zgrječene stijene	5 - 10
n) veliki pritisak zgrječene stijene	10 - 20
E Bujajuće stijene	
o) mali pritisak bujajuće stijene	5 - 10
p) veliki pritisak bujajuće stijene	10 - 15
Smanjiti SRF vrijednosti za 25 - 50 % ako relevantna smična zona samo utječe ali ne i presjeca iskop	

RMi (Rock Mass indeks)

- Palmstrom (1995) je razvio RMi klasifikaciju koja se temelji na smanjenju tlačne čvrstoće intaktne stijene uzrokovane diskontinuitetima
- Osnovne veličine:
 - Jednoosna tlačna čvrstoća σ_c
 - Faktor raspucanosti JP
 - Faktor stanja pukotina jC
 - Volumen bloka Vb

Veličine RMi klasifikacije

$$jC = \frac{jL \cdot jR}{jA}$$



Veličine R_{Mi} klasifikacije

□ Faktor hrapavosti pukotina j_R

Hrapavost površine promatrana u malom mjerilu (j _s)	Valovitost površine diskontinuiteta promatrana u velikom mjerilu (j _w)				
	Ravna	Blago valovita	Jako valovita	Stepeničasta	Ukještena
Jako hrapava	3	4	6	7,5	9
Hrapava	2	3	4	5	6
Neznatno hrapava	1,5	2	3	4	4,5
Glatka	1	1,5	2	2,5	3
Glatka s ogrebotinama	0,6-1,5	1-2	1,5-3	2,4	2,5-5
Polirana	0,75	1	1,5	2	2,5

Za ispunjene diskontinuitete j_R=1 Za nepravilne diskontinuitete j_R=5

□ Faktor neprekinutost diskontinuiteta j_L

Dužina diskontinuiteta	Opis	Tip diskontinuiteta	Neprekinuti	Isprekidani
< 0,5 m	Vrlo kratak	Klivaž	j _L =3	6
0,1 – 1 m	Kratak	Diskontinuitet	2	4
1 – 10 m	Srednji	Diskontinuitet	1	2
10 – 30 m	Dugi	Diskontinuitet	0,75	1,5
> 30 m	Vrlo dugi	Rasjed	0,5	1

Veličine R_{Mi} klasifikacije

□ Faktor alteracije diskontinuiteta j_A

A KONTAKT IZMEĐU STIJKENKI DISKONTINUITETA			
Karakteristike stijenski diskontinuiteta		Opis	j _A
Čiste stijenske diskontinuiteta	Srasli diskontinuiteti	Nepropusna ispunna koja ne omekšava (kvarc, epid.)	0,75
	Čiste stijenske diskontinuiteta	Nema prevlake ili ispune diskontinuiteta	1
	Trošne stijenske diskontinuiteta	1. veći stupanj trošnosti stijenski od ostatka stijene 2. veći stupanj trošnosti stijenski od ostatka stijene	2 4
Stijenske s prevlakom	Materijal koji pruža otpor trenju	Pijesak, kalcitni prah i sl. bez udjela gline	3
	Kohezivan materijal	Materijal od gline, klorita, talka i sl.	4
B ISPUNJENI DISKONTINUITET S DJELOMIČNIM ILI BEZ KONTAKTA IZMEĐU STIJKENKI DISKONTINUITETA			
Vrsta ispune	Opis	Djelomičan tanka ispunna < 5 mm	Bez kontakta debela ispunna > 5 mm
Materijal koji pruža otpor trenju	Pijesak, kalcitni prah i sl. bez udjela gline	4	8
TVRDI KOHEZIVNI MATERIJAL	Zbijena glina, klorit, talk i sl.	6	10
MEKI KOHEZIVNI MATERIJAL	Srednje do malo prekonsolidirana glina, klorit i sl.	8	12
Bubreći glinoviti materijal	Materijal koji ima svojstva bubenja	8-12	12-20

GSI (Geological Strength Index)

□ Hoek, Brown (1995) razvili su jednostavnu klasifikaciju koja se u početku temeljila na vizualnom pregledu geološkog stanja stijenske mase, da bi kasnije bile uvedene numeričke veličine pri određivanju GSI-a

□ GSI relacije

- $GSI = RMR_{70}$, za $GSI > 18$
- $GSI = 9 \log Q'$, za $GSI < 18$

□ Osnovne veličine koje se promatraju

- Ocjena strukture stijene
- Ocjena stanja površine diskontinuiteta

Veličine GSI klasifikacije

- Ocjena strukture, SR
 - Broj pukotina po jedinici volumena, J_V

$$J_V = \sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i} + \frac{N_r}{5}$$

- Ocjena stanja površine diskontinuiteta, SCR
 - Ocjena hrapavosti, R_r
 - Ocjena trošnosti, R_w
 - Ocjena ispune, R_f

