

5. Klasifikacije stijenskih masa

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



P. Hrženjak

Mehanika stijena

1

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

P. Hrženjak

Mehanika stijena

2

Razvoj klasifikacijskih sustava

- Terzaghi (1946) je razvio klasifikaciju koja predstavlja prvi racionalni pristup procjene opterećenja podgradnih elemenata u tunelima
- Lauffer (1958) uводи 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

P. Hrženjak

Mehanika stijena

3

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
 - Orientacija diskontinuiteta

P. Hrženjak

Mehanika stijena

4

Veličine RMR klasifikacije

A KLASIFIKACIJSKE VELIČINE I NIJIHOVE OCJENE VRJEDNOSTI						
Veličina		Raspored vrijednosti				
1	Čvrstoća intaktnog materijala	PLT indeks čvrstoće Jednostrana tlačna čvrstoća	>10 MPa >250 MPa	4-10 MPa 100-250 MPa	2-4 MPa 50-100 MPa	1-2 MPa 25-50 MPa
	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 hrapave, nekontinuirane, zatvorene i nerastrolene stijenke	Nesmetano hrapave, zljeva <1 mm, nesmetano rastrošene stijenke	Nesmetano hrapave, zljeva <1 mm, vrlo rastrošene stijenke	Glatke kontinuirane stijenke, zljeva <5 mm ili ispruna <5 mm debeline	Glatke kontinuirane stijenke, zljeva <5 mm ili mješavina >5 mm debeline
	Ocjena	30	25	20	10	0
5	Stanje podzemne vode	Dotok na 10 m dubine tunela (Pritisak vode) / (gl. naprezanje)	Nema 0	<10 l/min <0,1	10-25 l/min 0,1-0,2	25-125 l/min 0,2-0,5
	Opće stanje podzemne vode	Potpuno suho	Vlažno	Mokro	Kapanje	Tečenje
	Ocjena	15	10	7	4	0

P. Hrženjak

Mehanika stijena

5

Veličine RMR klasifikacije

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

P. Hrženjak

Mehanika stijena

6

E SMJERNICE ZA OCJENU STANJA DISKONTINUITETA					
Postojanost	<1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	>20 m 0
Zljev	Bez 6	<0,1 mm 5	0,1-1 mm 4	1-5 mm 1	>5 mm 0
Hrapavost	Vrlo hrapavo 6	Hrapavo 5	Neznačno hrap. 3	Glatko 1	Zaglađeno 0
Ispuna	Bez 6	Tvrda <5 mm 4	Tvrda >5 mm 2	Meka <5 mm 2	Meka >5 mm 0
Trošnost	Nerastrošeno 6	Neznačno troš. 5	Umjereno troš. 3	Izrazito troš. 1	Raspadnuto 0

P. Hrženjak

Mehanika stijena

6

Kategorije RMR klasifikacije

C KATEGORIJE STIJENSKE MASE UTVRDENE NA TEMELJU UKUPNE OCJENE					
Ukupna ocjena	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Oznaka kategorije	I	II	III	IV	V
Opis	Vrla dobra	Dobra	Povoljna	Slaba	Vrla 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 krizišta koristiti $3,0 \times J_n$
Kod portalata koristiti $2,0 \times J_n$

Veličine Q klasifikacije

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

P. Hrženjak

Mehanika stijena

10

Veličine Q klasifikacije

INDEKS IZMJENJENOSTI PUKOTINA		
Opis uvjeta	J _w	φ (%)
A Kontakt stijenki pukotina		
a) zbijena, zaciđena, crvasta pukotina, nerazmekšavajuća, nepropusna ispuna tj. kvarc ili epidot	0,75	-
b) nepraviljene stijenke pukotina, površina samo s mlijama	1,0	25 - 35
c) neznačajno promjenjene stijenke pukotina, nerazmekšavajuća površina prevlaka pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline itd.	2,0	25 - 30
d) prašinasta, ili pjeskovito-glinovita prevlaka, mali dio gline i frakcije (nerazmekšavajuća)	3,0	20 - 25
e) mješava ili s neškim kutom trenja prevlaka od glinenih materijala tj. kaolin, klon, talk, gips i grafit itd. te male količine bujajućih gline (diskontinualna prevlaka, 1-2 mm ili manje debeline)	4,0	8 - 16
B Kontakt stijenki pukotina prije smicanja od 10 cm		
f) pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline	4,0	25 - 30
g) jako prekonolidirana nerazmekšavajuća glinovita mineralna ispuna (neprekinuta < 5 mm debeline)	6,0	16 - 24
h) srednja ili mala prekonolidacija, razmekšana glinovita mineralna ispuna (neprekinuta < 5 mm)	8,0	12 - 16
i) bujajuća glinovita ispuna, tj. montmorilonit (neprekinuta < 5 mm debeline)	8,0 - 12,0	6 - 12
C Pri smicanju nema kontakta stijenki pukotina		
j) zone ili pojasevi dezintegrirane ili zdrobljene stijene i gline (vidi g., h, i za opis uvjeta u pogledu gline)	8,0 - 12,0	6 - 24
k) zone ili pojasevi prašinaste ili pjeskovite gline, mala frakcija gline (nerazmekšavajuća)	5	-
l) debela neprekinuta zona gline	13 - 20	6 - 24

Vrijednosti φ predstavljaju aproksimativne vrijednosti mineralnog sastava proizvoda trošenja

P. Hrženjak

Mehanika stijena

11

Veličine Q klasifikacije

FAKTOR REDUKCIJE PUKOTINSKE VODE		
Opis uvjeta	J _w	Pritisak (MPa)
a) suhi iskop ili manji prliv tj. < 5 l/min	1,0	< 0,1
b) srednji prliv ili pritisak, ponegdje isprana ispuna iz pukotina	0,66	0,10 - 0,25
c) veliki prliv ili visoki pritisak u zdravoj stijeni s pukotinama bez ispune	0,5	0,25 - 1,0
d) veliki prliv ili visoki pritisak uz značajno ispiranje ispune pukotina	0,33	0,25 - 1,0
e) iznimno veliki prliv ili voden pritisak kod miniranja koji ipak opada s vremenom	0,2 - 0,1	> 1,0
f) iznimno veliki prliv 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

P. Hrženjak

Mehanika stijena

12

Veličine Q klasifikacije

FAKTOR REDUKCIJE NAPREZANJA	Opis mješavina	SRF
A	Ostaljene zone koje sijaku iskop što može uzrokovati rasresanje stijenske mase pri iskopu	
a)	učestal ali/ili ostaljena zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu,	10,0
b)	jedna ostaljena zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu (dubina iskopa > 50 m)	5,0
c)	jedna ostaljena zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu (dubina iskopa > 50 m)	2,5
d)	učestale smične zone u zdravoj (bez gline) rastresenoj okolini stijene	7,5
e)	jedna smična zona u zdravoj stjeni (bez gline, dubina iskopa < 50 m)	5,0
f)	jedna smična zona u zdravoj stjeni (bez gline, dubina iskopa > 50 m)	2,5
g)	rastresene i otvorene pukotine ispuštanost	5,0
B	Zdrava stijena, problemi stijenskog naprezanja	
h)	malo naprezanje, blizu površine ($\sigma_v/\sigma_c > 200$)	2,5
i)	srednje naprezanje ($\sigma_v/\sigma_c = 200-10$)	1,0
j)	veliko naprezanje, vrlo zbijena struktura (obično povoljno za stabilnost ali može biti i ne ($\sigma_v/\sigma_c < 10$))	0,5 - 2,0
k)	gorski udari malog intenziteta (masivna stijena) ($\sigma_v/\sigma_c = 5-2,5$)	5 - 10
l)	gorski udari jakog intenziteta (masivna stijena) ($\sigma_v/\sigma_c < 2,5$)	10 - 20
C	Zgrjećena stijena, plastični tok nekompetitne stijene pod utjecajem visokog stijenskog naprezanja	
m)	mali pritisak zgrjećene stijene	5 - 10
n)	veliki pritisak zgrjećene stijene	10 - 20
D	Bujajuće stijene	
o)	mali pritisak bujajuće stijene	5 - 10
p)	veliki pritisak bujajuće stijene	10 - 15
	Smanjeni SRF vrijednosti za 25 - 50 % ako relevantna smična zona samo ujčeđe ali ne i presjeca iskop	

P. Hrženjak

Mehanika stijena

13

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

P. Hrženjak

Mehanika stijena

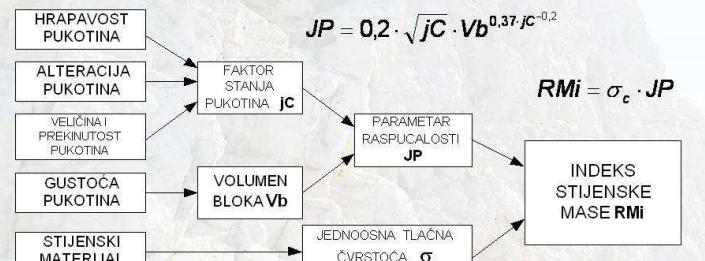
14

Veličine RMi klasifikacije

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

$$JP = 0,2 \cdot \sqrt{jC} \cdot Vb^{0,37} \cdot C^{-0,2}$$

$$RMi = \sigma_c \cdot JP$$



P. Hrženjak

Mehanika stijena

15

Veličine RMi klasifikacije

Faktor hrapavosti pukotina jR

Hrapavost površine promatrana u malom mjerilu (js)	Valovitost površine diskontinuiteta promatrana u velikom mjerilu (jw)				
	Ravn	Blago valovita	Jako valovita	Stepeničasta	Ukještena
Jako hrappa	3	4	6	7,5	9
Hrappa	2	3	4	5	6
Neznatno hrappa	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 jR=1	Za nepravilne diskontinuitete jR=5				

Faktor neprekinitost diskontinuiteta jL

Dužina diskontinuiteta	Opis	Tip diskontinuiteta	Neprekiniti	Isprekidani
< 0,5 m	Vrlo kratak	Klivaž	jL=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 RMi klasifikacije

Faktor alteracije diskontinuiteta jA

AKONTAKT IZMEĐU STIJENKI DISKONTINUITETA		Opis	jA
Čiste stijenke diskontinuiteta	Srasli diskontinuiteti	Nepropusna ispuna koja ne omekšava (kvarc, epid.)	0,75
	Čiste stijenke diskontinuiteta	Nema prevlake ili ispune diskontinuiteta	1
	Trošne stijenke diskontinuiteta	1. veći stupanj trošnosti stijenki od ostatka stijene 2. veći stupanj trošnosti stijenki od ostatka stijene	2 4
	Stijenke s prevlakom	Materijal koji pruža otpor trenju Kohezivni materijal	3 4
BISPUNJENI DISKONTINUITET S DJELOMIČNIM ILI BEZ KONTAKTA IZMEĐU STIJENKI DISKONTINUITETA			
Vrsta ispune	Opis	Djelomičan tanka ispuna < 5 mm	Bez kontakta debeli ispuna > 5 mm
Materijal koji pruža otpor trenju	Pijesak, kalcitni prah i sl. bez udjela gline	4	8
Tvrdi kohezivni materijal	Zbijena gлина, klorit, talk i sl.	6	10
Meki kohezivni materijal	Srednje do malo prekonsolidirana gлина, klorit i sl.	8	12
Bubreći glinoviti materijal	Materijal koji ima svojstva bubrežnja	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
 - $GSI = RMR_{76}$, 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

