

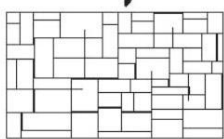
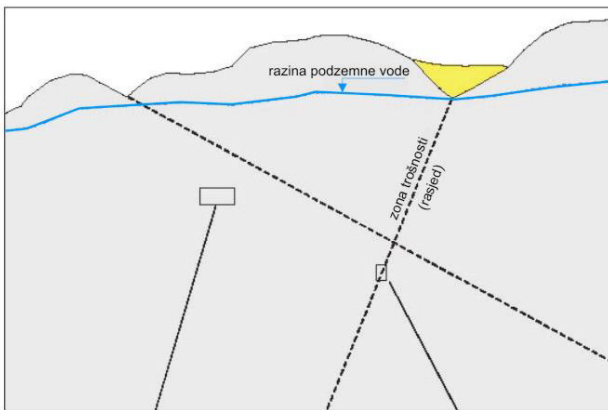
9 STIJENSKA MASA

Prilikom gradnje inženjerskih građevina (brana, tunela, zasjeka prometnica i površinskih kopova) radi se u velikom volumenu stijene, tj. u stijenjskim masama čije inženjerske značajke više ovise o diskontinuitetima nego o fizičkim značajkama intaktne stijene.

Fizičke značajke stijenske mase i intaktnog uzorka značajno se razlikuju.

Stabilnost i deformabilnost stijene ovisni su o čvrstoći i deformabilnosti stijenske mase. Stijenjska masa je obično heterogenija i anizotropnija od intaktne stijene.

Stijenjska masa je diskontinuirani agregat blokova, ploča ili nepravilnih geometrijskih volumena. Najvažnija značajka stijenske mase su **diskontinuiteti** (fizički prekidi u stijeni): plohe slojevitosti, pukotine, rasjedi i plohe folijacije u metamorfnim stijenama (ukoliko su dobro razvijene).



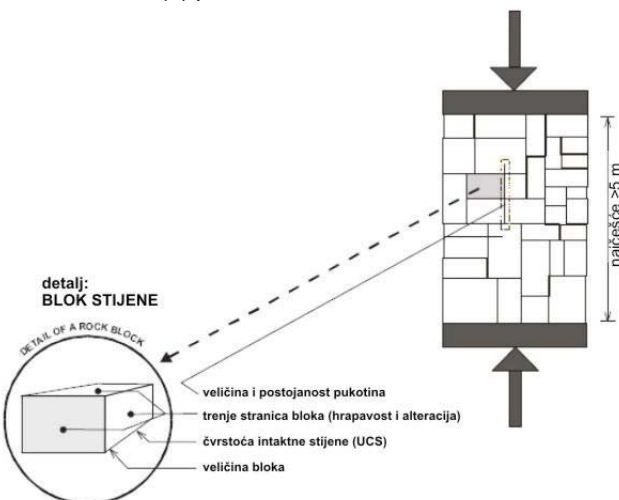
STIJENSKA MASA (IZMEĐU GRANICA ZONA) blokovi stijena različite veličine



TROŠNA ZONA (RASJED) složene strukture i sastava

DISKONTINUITETI U STIJENSKOJ MASI

Značajke diskontinuiteta koje utječu na čvrstoću i deformabilnost stijenske mase: (1) razmak diskontinuiteta; (2) hrapavost stijenske diskontinuiteta; (3) trošnost stijenske diskontinuiteta; (4) prisutnost vode.



Čvrstoća stijenske mase uveliko ovisi o gustoći, značajkama i veličini pukotina u njoj. U masi tla slom ne ovisi toliko o diskontinuitetima zbog toga što su stijene sa značajkama tla (npr. šejl) same po sebi slabe.

Čvrstoća stijenske mase također je u funkciji čvrstoće stijene, trošnosti i sadržaju vode.

GUSTOĆA DISKONTINUITETA

Diskontinuiteti u stijenama uključuju mikroprsline (razmak uglavnom 1 mm do 1 cm), pukotine (razmak 1 cm do 1 m) i rasjede (razmak >1m).

Također i pukotine slojevitosti, klivaž i škrikljavost.

Pukotine uzrokuju neelastičnu deformaciju i reduciraju čvrstoću stijenske mase od 1/5 do 1/10 u odnosu na čvrstoću intaktne stijene. Procjena gustoće pukotina je subjektivna (osim u slučaju RQD-a).

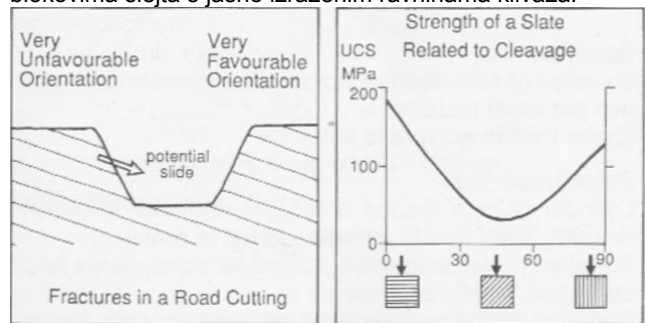
RQD (eng. Rock Quality Designation) predstavlja kvantifikaciju fraktura na jezgri bušotine >50 mm; mjeri se duljina komada jezgre na sljedeći način:

- $RQD = \Sigma(\text{duljina komada jezgre} > 10 \text{ cm}) \times 100 / \text{duljina bušotine}$. Vrijednost $RQD > 70$ je indikacija zdrave stijene.

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

Utjecaj orijentacije se procjenjuje subjektivno pomoću povoljnosti u odnosu na potencijalni slom klizanjem ili rotacijom na određenom lokalitetu.

Utjecaj orijentacije je ilustriran varijacijama UCS-a u blokovima slejta s jasno izraženim ravninama klivaža.



VRSTA DISKONTINUITETA

Hrapavost diskontinuiteta utječe na njihovu posmičnu čvrstoću. Smicanje na vrlo hrapavim diskontinuitetima iziskuje dilataciju stijenske mase budući da neravnine 'najahuju' jedne na druge.

Hrapavost je teško procijeniti i kvantificirati.

Ispuna diskontinuiteta uključuje tektonske sitnozmate materijale, glinu nastalu trošenjem, breče i kvarcnu/kalcitnu ispunu sa strijama.

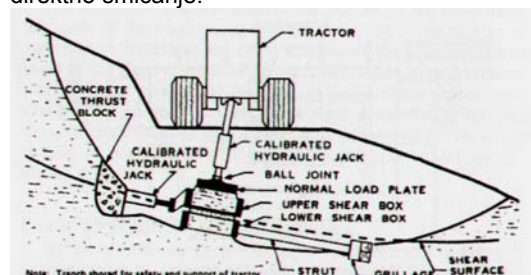
Karakteristični kutovi trenja (ϕ):	čista stijena	20-50°
	glinovita ispuna	10-20°
	breča	25-40°

Kohezija po diskontinuitetima varira u rasponu 0-500 KPa.

POSMIČNA ČVRSTOĆA DISKONTINUITETA

Tlačna čvrstoća intaktnog uzorka nije mjerodavna za značajke čvrstoće stijenske mase vezane za probleme stabilnosti; od primarne važnosti je posmična čvrstoća diskontinuiteta.

Posmična čvrstoća diskontinuiteta se određuje uređajem za direktno smicanje.



KVALITETA STIJENSKE MASE

Kvaliteta stijenske mase uzrokovana: (1) čvrstoćom intaktnih stijena; (2) orijentacijom i frekvencijom (razmakom) diskontinuiteta; (3) kemijskom trošnosti stijenske mase. Poteškoće pri određivanju modula deformacije dovele do razvoja jednostavnih i ekonomičnih metoda procjene kvalitete stijene pomoću **klasifikacije stijenske mase**. Njih je moguće korelirati sa čvrstoćom stijene, modulima deformacije.

Klasifikacija stijenske mase

Klasifikacije stijenske mase razvijene za određenu inženjersku primjenu: stabilnost stijenske mase u podzemnim prostorijama, zasjecima/usjecima i površinskim kopovima.

Klasifikacija stijenske mase je rezultat (ili funkcija) težinskih vrijednosti odabranih parametara.

Najpoznatije klasifikacije stijenske mase jesu:

geomehanički **RMR (eng. Rock Mass Rating) sustav** u kojemu se zbrajaju bodovi parametara, kao što je prikazano u tablici; RMR zbroj je osnova za klasificiranje stijenske mase u 1 od 5 klasa (od jako dobre do jako loše);

- norveški **Q sustav** u kojemu se bodovi množe;
- **sustav geološkog indeksa čvrstoće (GSI, eng. Geological Strength Index)**.

Neke se klasifikacije mogu primijeniti samo za određenu namjenu, a neke i šire.

Broj kriterija klasifikacija je različit.

Norveški Q sustav razvijen za potrebe tunelogradnje. U Q sustavu kvaliteta stijenske mase (Q) određuje se prema sljedećim kriterijima:

- mjera veličine bloka= RQD/J_n
- posmična čvrstoća među blokovima= J_r/J_a

- aktivno naprezanje na lokaciji= J_w/SRF
- Produkt ova tri omjera koristi se za određivanje Q vrijednosti:

$$Q = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a) \times (J_w/SRF)$$

Gdje su:

RQD	100-10
J_n = broj setova pukotina	1-20
J_r = faktor hrapavosti pukotine	4-1
J_a = alteracija pukotine i glinovita ispuna	1-20
J_w = voda u pukotini ili tlak	1-0.1
SRF = faktor redukcije naprezanja uslije iskapanja	1-20
Q vrijednosti kreću se u rasponu <0.01 do >100	

Primjer određivanja RMR-a:

Parameter	Value	Rating
UCS	153 MPa	5
Core quality RQD	90-94%	20
Spacing of joints	Set 1: 0.3-1 m Set 2: 0.3-0.6 m Set 3: 2 m	(20) (20) 22 (25)
Orientations of joints	Set 1: Horizontal Set 2: Vertical; parallel to tunnel axis Set 3: Vertical; perpendicular to tunnel axis	(6) (3) 8 (15)
Condition of joints	Separation < 1 mm Continuous joints	10 10
Ground water inflow	None	10
TOTAL — RMR		75

Source: Bieniawski, 1974.

Geomehanički sustav RMR klasifikacije stijenske mase (eng. Rock Mass Rating)

parametar	procjena vrijednosti i ocjena				
	>250	100-250	50-100	25-50	1-25
intaktna stijena UCS (MPa)					
ocjena	15	12	7	4	1
RQD (%)	>90	75-90	50-75	25-50	<25
ocjena	20	13	13	8	3
srednja udaljenost pukotina	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m
ocjena	20	15	10	8	5
stanje pukotina	hrapave i priljubljene	otvorene <1mm	trošne	ispuna <5mm	ispuna >5mm
ocjena	30	25	20	10	0
stanje podzemne vode	suho	vlažno	mokro	kaplje	teče
ocjena	15	10	7	4	0
orijentacija pukotina	vrlo povoljno	povoljno	zadovoljavajuće	nepovoljno	vrlo nepovoljno
ocjena	0	-2	-7	-15	-25

Kategorija stijenske mase RMR jednaka je zbroju ovih šest ocjena

Svojstva klasa stijenske mase

razred opis	I vrlo dobra stijena	II dobra stijena	III zadovoljavajuća stijena	IV loša stijena	V vrlo loša stijena
RMR	80-100	60-80	40-60	20-40	<20
Q vrijednost	>40	10-40	4-10	1-4	<1
kut trenja (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15
kohezija (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
SBP (MPa)	10	4-6	1-2	0.5	<0.2
siguran nagib zasjeka (°)	>70	65	55	45	<40
tunelska podgrada	nema	pojedinačna sidra	raster sidara	sidra i torkret	čelična rebra
vrijeme stabilnosti svoda tunela	20 godina za 15 m	1 godina za 10 m	1 tjedan za 5 m	12 sati za 2 m	30 min za 1 m