

4. Strukturne značajke

- ❑ Strukture i njihovi elementi
- ❑ Kvantitativni opis diskontinuiteta u stijenskim masama
- ❑ Posmična čvrstoća diskontinuiteta

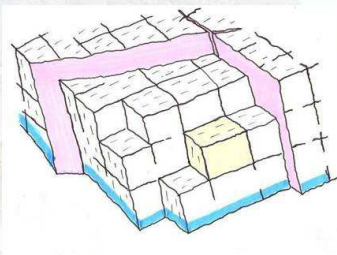


Vrste struktura

- ❑ Geološki kontakti – granice, plohe dodira između stijena različitog tipa
- ❑ Primarne strukture – strukture koje nastaju u stijeni tijekom njezina nastajanja
- ❑ Sekundarne strukture – strukture koje nastaju kod taložnih i magmatskih stijena u procesima nakon njihove litifikacije, a kod metamorfnih stijena za vrijeme i poslije njihova nastanka

Vrste lomova

- ❑ Prsline – manje pukotine
- ❑ Pukotine – lomovi, prekidi geološkog kontinuiteta, duž čijih ploha nije vidljiv pomak ili se može zanemariti (tlačne, vlačne, pukotine smicanja, relaksacijske)
- ❑ Rasjedi – lomovi ili zone loma duž kojih je vidljiv pomak koji se dogodio

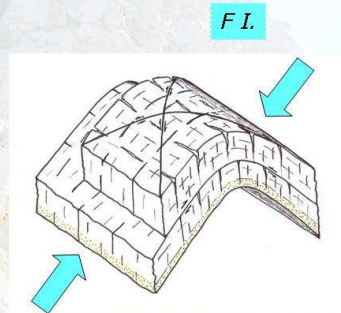


Diskontinuiteti

- ❑ Diskontinuitet – općeniti izraz kojim se obuhvaćaju svi prekidi, lomovi u stijenskoj masi na kojima je došlo do potpunog prekida međumolekularnih sila
- ❑ Familija (skup) diskontinuiteta – diskontinuiteti koji su međusobno paralelni, istog vremena nastanka, kinematike i porijekla
- ❑ Strukturni sklop (strukturna domena, tektonski sklop ili pukotinski sustav) – sve familije (skupovi) koje se međusobno presijecaju na promatranom području

Diskontinuiteti (osnovnog) strukturnog sklopa

- ❑ Slojevitost i međuslojni klivaž
- ❑ Aksijalne ravnine
- ❑ Pukotine okomite na strukturnu os "b"
- ❑ Dijagonalni rasjedi
- ❑ Vlačne pukotine



Primjeri strukturnog sklopa u stijenskim masama



Primjeri strukturnog sklopa u stijenskim masama

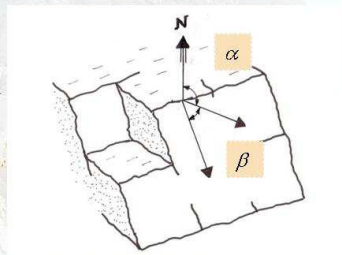


Kvantitativni opis diskontinuiteta u stijenskim masama

- Orijentacija
- Razmak
- Postojanost
- Hrapavost stijenki
- Čvrstoća stijenki
- Zijev
- Ispuna
- Procjeđivanje
- Broj familija
- Veličina i oblik bloka

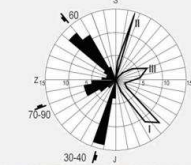
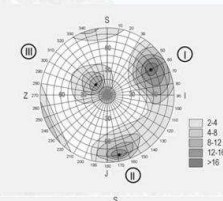
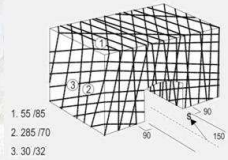
Orijentacija diskontinuiteta

- Prostorni položaj diskontinuiteta koji se definira azimutom horizontalne projekcije vektora pada α i kutom pada ravnine β
- Način određivanja
 - Geološkim kompasom
 - Laserskim teodolitom
 - Obradom stereoskopskih fotografija



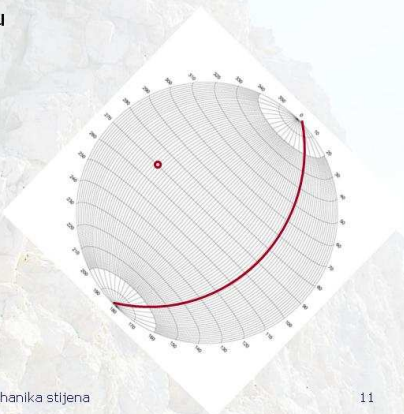
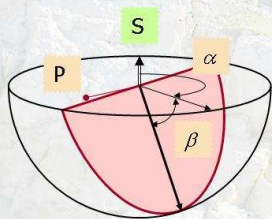
Način prikazivanja diskontinuiteta

- Dijagramima u sfernoj projekciji
 - Dijagram polova
 - Konturni dijagram
 - Dijagram tragova
- Blok dijagramom
- Rozetom pukotina



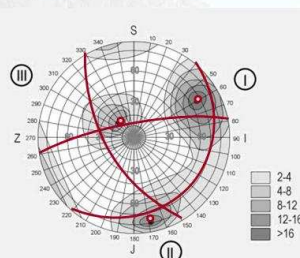
Prikaz diskontinuiteta u sfernoj projekciji

- Sferna projekcija na donju polovicu kugle



Obrada i prikaz podataka strukturnih značajki

- Sferna projekcija
 - Prikaz diskontinuiteta polovima normala
 - Pobrojavanje i određivanje klasa gustoće
 - Izdvajanje maksimuma
 - Prikaz izdvojenih maksimuma (familija) polovima normala i tragovima njihovih ravnina
- "Fuzzy Cluster" metoda
 - Određivanje pripadnosti svakog diskontinuiteta sa svojim značajkama određenoj grupi (clusteru)



“Fuzzy Cluster” metoda

- Picardov postupak iteracije za nalaženje minimuma objektne funkcije dane izrazom

$$J_m(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m d^2(X_j, \mathbf{v}_i)$$

- $d^2(X_j, \mathbf{v}_i)$ - predstavlja udaljenost između obilježja X_j i središte grupe \mathbf{v}_i
- u_{ij} - predstavlja stupanj pripadnosti određenog vektora određenoj grupi odnosno prototipu grupe
- m - predstavlja faktor neizrazitosti (fuzzyness). Što je faktor bliži 1 to je postupak grupiranja 'tvrđi', što znači oštrije granice između pripadnosti pojedinim grupama, a što je faktor veći od 1 to je postupak 'mekaniji', granice između pripadnosti nejasnije.

“Fuzzy Cluster” metoda

- Mjera udaljenosti između vektora orijentacije diskontinuiteta i vektora grupe (sferni prostor)

$$d^2(X_j, \mathbf{v}_i) = 1 - (X_j \cdot \mathbf{v}_i)^2$$

- Mjera udaljenosti između vektora ostalih obilježja diskontinuiteta (razmak, hrapavost, čvrstoća,...) i vektora grupe (Euklidski prostor)

$$d^2(X_j, \mathbf{v}_i) = \sum_{p=1}^p (X_{jp} - \mathbf{v}_{ip})^2$$

- Normalizacija vektora koji leže u Euklidskom prostoru

$$X_{jp} = \frac{(\ddot{X}_{jp} - \bar{X}_p)}{S_p}$$

“Fuzzy Cluster” metoda

- Prototipovi (središta grupa) za vektore koji leže u sfernom prostoru, računaju se svojstvenim analizama matrica orijentacija vektora, pri čemu vektor prototipa predstavlja svojstveni vektor s najvećom svojstvenom vrijednošću
- Za vektore koji leže u Euklidskom prostoru prototipovi (središta grupa) računaju se prema izrazu

$$\bar{\mathbf{v}}_i = \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m X_j}{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m}$$

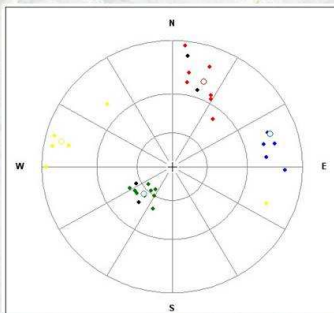
"Fuzzy Cluster" metoda

- Stupanj pripadnosti određenog vektora određenoj grupi odnosno prototipu grupe

$$u_{ij} = \left[\frac{1}{d^2(X_j, V_i)} \right]^{1/(m-1)} \cdot \left[\sum_{k=1}^K \left(\frac{1}{d^2(X_j, V_k)} \right)^{1/(m-1)} \right]^{-1}$$

- Proračun kreće od pretpostavljanja prototipova vektora, tj. reprezentativnih vektora za središta grupa, nakon čega se računaju udaljenosti, a zatim stupnjevi pripadnosti. Nakon toga računaju se novi prototipovi vektora pa novi stupnjevi pripadnosti te razlike između novih stupnjeva i starih. Ukoliko su razlike u dozvoljenim granicama postupak se zaustavlja, a ukoliko nisu postupak se ciklički nastavlja.

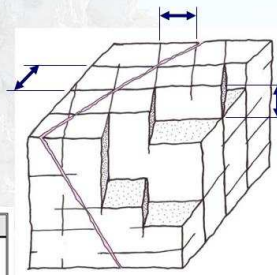
Primjer "Fuzzy Cluster" metode



Opis	Abnca (°)	Najb (cm)	Razmak (cm)	Prot (m)	Slav (cm)	Osnovna ispravna	Osnovna brojnost	Osnovna broj	JRC (MPa)	JCS (MPa)
Slapivost	45	34	34,21	7,53	2,51	5,46	4,89	2,79	3,00	45,09
	24,915	3,998	1,704	0,890	0,259	0,552	1,916	4,536		
SK1	251	77	55,85	6,04	3,68	4,57	3,86	2,66	0,81	53,96
	34,628	3,469	1,207	1,290	0,600	0,764	1,932	7,216		
SK2	200	71	49,67	1,89	2,07	5,46	4,77	3,47	10,07	59,04
	33,245	1,815	1,415	0,812	0,816	0,695	2,139	9,183		
	34,37	5,33	3,65	5,27	4,79	2,89	9,80	51,50		
	20,909	2,766	1,146	0,634	0,714	0,520	1,657	5,994		

Razmak diskontinuiteta

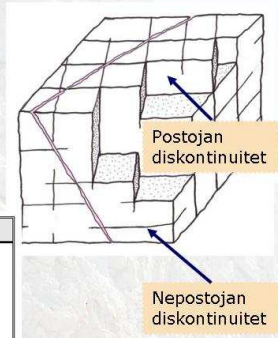
- Predstavlja okomitu udaljenost između susjednih ploha diskontinuiteta koji pripadaju istoj familiji (skupu)



Opis razmaka	Razmak (mm)
Ekstremno mali razmak	< 20
Vrlo mali razmak	20 – 60
Mali razmak	60 – 200
Srednji razmak	200 – 600
Veliki razmak	600 – 2000
Vrlo veliki razmak	2000 – 6000
Ekstremno veliki razmak	> 6000

Postojanost diskontinuiteta

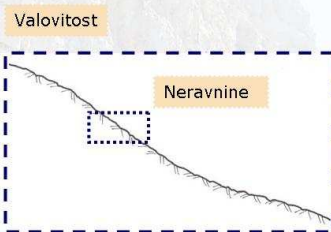
- Postojanost, kontinualnost ili perzistencija diskontinuiteta predstavlja prostorno prostiranje diskontinuiteta kao ravnine



Opis postojanosti	Postojanost (m)
Vrlo mala postojanost	< 1
Mala postojanost	1 – 3
Srednja postojanost	3 – 10
Velika postojanost	10 – 20
Vrlo velika postojanost	> 20

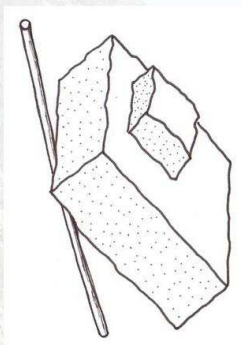
Hrapavost stijenki diskontinuiteta

- Predstavlja površinske neravnine u odnosu na srednju ravninu diskontinuiteta
- Opisuje se kroz dvije veličine
 - Valovitost – velika izbočenja na površini diskontinuiteta
 - Neravnine – mala izbočenja na površini diskontinuiteta



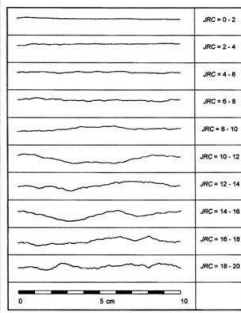
Hrapavost stijenki diskontinuiteta

- Mjere hrapavosti
 - JRC (Joint Roughness Coefficient) – koeficijent hrapavosti pukotine
 - Jr – hrapavost pukotine
- Način određivanja
 - Na temelju pokusa smicanja blokova
 - Vizualno, usporedbom sa standardnim profilima hrapavosti
 - Mjerenjem amplituda i izradom profila hrapavosti



Hrapavost stijenki diskontinuiteta

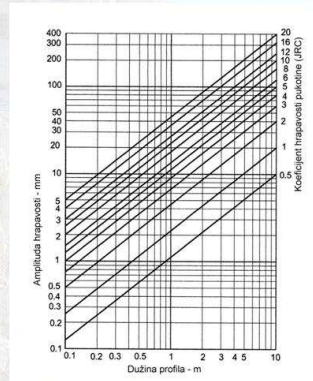
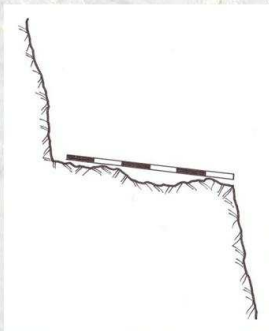
- Standardni profili hrapavosti



Usporedne vrijednosti koeficijenta hrapavosti Jr i JRC		Jr	JRC ₂₀	JRC ₁₀₀
I	Hrapavi	4	20	11
	Glaski			
	Zaglađeni			
STEPENICASTI				
IV	Hrapavi	3	14	9
	Glaski			
	Zaglađeni			
VALOVITI				
V	Hrapavi	2	11	8
	Glaski			
	Zaglađeni			
VII	Hrapavi	1.5	2.5	2.3
	Glaski			
	Zaglađeni			
RAVNI				
VIII	Hrapavi	1.0	1.5	0.9
	Glaski			
	Zaglađeni			
IX	Hrapavi	0.5	0.5	0.6
	Glaski			
	Zaglađeni			

Hrapavost stijenki diskontinuiteta

- Izrada profila hrapavosti



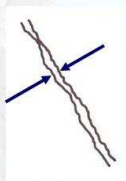
Čvrstoća stijenki diskontinuiteta

- Schmidtovim čekićem
- Određivanje čvrstoće priručnim sredstvima

Stupanj	Opis	Terenska identifikacija	Čvrstoća (MPa)
R0	Ekstremno slaba stijena	Para se noktom.	0,25 – 1,0
R1	Vrlo slaba stijena	Mrvni se pri jačem udarcu geološkim čekićem, može se parati nožićem.	1,0 – 5,0
R2	Slaba stijena	Materijal se teško može parati nožićem, čvrstim udarcem s vrhom geološkog čekića nastaju plitke udubine.	5,0 – 25,0
R3	Srednje čvrsta stijena	Ne može se rezati nožićem, uzorak se može razbiti udarcem geološkog čekića.	25,0 – 50,0
R4	Čvrsta stijena	Razbijanje uzorka zahtijeva više od jednog udarca geološkim čekićem.	50,0 – 100,0
R5	Vrlo čvrsta stijena	Razbijanje uzorka zahtijeva mnogo udaraca geološkim čekićem.	100,0 – 250,0
R6	Ekstremno čvrsta stijena	Uzorak se može samo odlomiti pomoću geološkog čekića.	> 250,0

Zijev diskontinuiteta

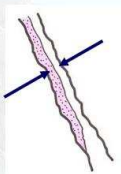
- Predstavlja okomiti razmak između stijenki diskontinuiteta
- Osnovna podjela
 - Zatvoreni (<5 mm)
 - Otvoreni (>5 mm)



Zijev (mm)	Opis zijeva	Diskontinuitet
< 0,1	Vrlo zatvoren	ZATVOREN
0,1 – 0,25	Zatvoren	
0,25 – 0,5	Djelomično zatvoren	
0,5 – 2,5	Otvoren	POLUOTVOREN
2,5 – 10	Srednje širok	
> 10	Širok	
10 - 100	Vrlo širok	OTVOREN
100 - 1000	Ekstremno širok	
> 1000	Kavernozan	

Ispuna diskontinuiteta

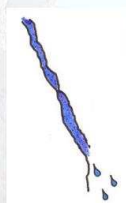
- Predstavlja materijal koji se nalazi u prostoru između stijenki diskontinuiteta
- Utvrđuje se debljina, sastav, sadržaj vode i propusnost



Stupanj	Opis stanja materijala ispune
W1	Materijal ispune je jako konsolidiran i suh, značajan protok nije vjerojatan zbog vrlo niske propusnosti
W2	Materijal ispune je vlažan, ali nema prisutnosti slobodne vode
W3	Materijal ispune je mokar, povremeno kapanje vode
W4	Materijal ispune ukazuje na ispiranje, mogući kontinuirani tok vode
W5	Materijal ispune lokalno ispran, tok vode po kanalima
W6	Materijal ispune ispran u potpunosti, vrlo velik pritisak vode

Procjeđivanje

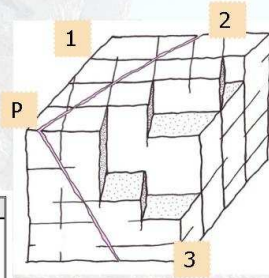
- Predstavlja prisutnost i priliv vode na promatranom diskontinuitetu ili familiji diskontinuiteta



Kategorija	Opis
I	Suhi zidovi, procjeđivanje se ne može utvrditi
II	Manje procjeđivanje, izdvojiti vlažan diskontinuitet
III	Srednji dotok vode, izdvojiti diskontinuitete s kontinuiranim tokom
IV	Veći dotok vode, izdvojiti diskontinuitete s jakim tokom (l/min/10 m duljine)
V	Iznimno velik dotok vode, locirati njegov izvor

Broj familija diskontinuiteta

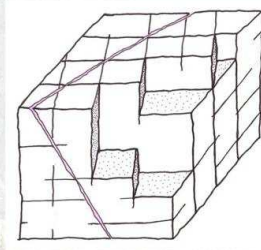
- Broj familija (skupova) i pojedinačnih diskontinuiteta koji se međusobno presijecaju na nekom promatranom području



Kategorija	Opis
I	Masivna, mjestimice pojedinačni diskontinuiteti
II	Jedna familija diskontinuiteta
III	Jedna familija plus pojedinačni diskontinuitet
IV	Dvije familije diskontinuiteta
V	Dvije familije plus pojedinačni diskontinuitet
VI	Tri familije diskontinuiteta
VII	Tri familije plus pojedinačni diskontinuitet
VIII	Četiri ili više familija diskontinuiteta
IX	Zdrobljena stijena, nalik na tlo

Veličina bloka

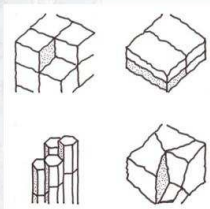
- Veličina bloka uglavnom je određena brojem familija, razmakom i postojanošću diskontinuiteta
- J_v – ukupni broj pukotina sadržan u jednom kubičnom metru



Opis	J_v (pukotina/m ³)
Vrlo veliki blokovi	< 1
Veliki blokovi	1 – 3
Srednje veliki blokovi	3 – 10
Mali blokovi	10 – 30
Vrlo mali blokovi	> 30

Oblik bloka

- Oblik bloka uglavnom određuje broj familija i razmak diskontinuiteta te međusobni položaj, orijentacija diskontinuiteta



Kategorija	Karakteristika	Opis
I	Masivna	Malo pukotina s vrlo širokim razmakom
II	Blokovita	Približno ekvidimenzionalni
III	Pločasta	Jedna dimenzija značajno manja od druge dvije
IV	Stupčasta	Jedna dimenzija značajno veća od druge dvije
V	Npravilna	Velika varijacija veličina i oblika blokova
VI	Zdrobljena	Jako raspucala

Posmična čvrstoća diskontinuiteta

- Slučaj neposrednog kontakta između stijenki diskontinuiteta
 - Posmična čvrstoća diskontinuiteta ovisi o površinskim uvjetima na plohama diskontinuiteta (hrapavost i čvrstoća stijenki)
 - Značajno nelinearno ponašanje
 - Bartonov kriterij čvrstoće
- Slučaj značajnije debljine ispune, koja onemogućava kontakt između stijenki diskontinuiteta pri smicanju blokova
 - Posmična čvrstoća diskontinuiteta ovisi o posmičnoj čvrstoći materijala ispune (kohezija i kut unutarnjeg trenja)
 - Coulombov kriterij čvrstoće

Posmična čvrstoća diskontinuiteta (Bartonov kriterij čvrstoće)

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \varphi_b \right)$$

- σ_n – normalno naprezanje na plohi diskontinuiteta
- JRC – koeficijent hrapavosti pukotine (Joint Roughness Coefficient)
- JCS – čvrstoća stijenki diskontinuiteta (Joint wall Compressive Strength)
- φ_b – bazni kut trenja

