Diskontinuiteti u stijenskim masama i njihova analiza u sklopu inženjerskogeoloških istraživanja

Sanković, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

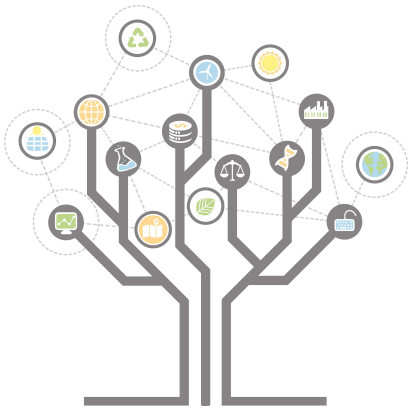
2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:310896

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 3.0

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Diskontinuiteti u stijenskim masama i njihova analiza u sklopu inženjerskogeoloških istraživanja

Sanković, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:310896

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-09**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

VEDRAN SANKOVIĆ

DISKONTINUITETI U STIJENSKIM MASAMA I NJIHOVA ANALIZA U SKLOPU INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DISKONTINUITETI U STIJENSKIM MASAMA I NJIHOVA ANALIZA U SKLOPU INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:
Vedran Sanković

MENTOR:
Doc. dr. sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2016.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Diskontinuiteti u stijenskim masama i njihova analiza u sklopu inženjerskogeoloških istraživanja

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Hrvoja Meaški.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovanoj ustanovi.

U Varaždinu, 30.06.2016.

Vedran Sanković
(Ime i prezime)

Vedran Sanković
(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK RADA:

Proučavanje i analiza diskontinuiteta od izuzetnog je značaja kod promatranja stijene kao materijala na kojem se gradi ili kod eksploatacije stijenske mase. Pod pojmom diskontinuiteta se naziva bilo koji prekid geološkog kontinuiteta u stijenskoj masi koji ima malu ili nikakvu vlačnu čvrstoću i kod kojeg dolazi do potpunog gubitka kohezije.

Analiza diskontinuiteta započinje njihovom podjelom s obzirom na procese njihova nastanka. Dio diskontinuiteta u stijenskim masama nastaje za vrijeme nastanka stijena i takvi se nazivaju primarnim diskontinuitetima, a dio kasnije, pod utjecajem tektonskih pokreta i nazivaju se sekundarnim diskontinuitetima. Zatim se diskontinuiteti opisuju kroz njihova zasebna svojstva poput orijentacije, razmaka i postojanosti diskontinuiteta, zijeva, materijalne ispune, filtracije, broja familija, veličine stijenskih blokova i značajki njihovih površina. Nakon dobivenih svojstava kreće se u obradu i kasnije prikazivanje podataka o diskontinuitetima kroz geološke karte, perspektivne skice, rozete dijagrame te točkaste i konturne dijagrame. Izrada modela mreže diskontinuiteta radi se sa svrhom pouzdanijeg definiranja veličine i oblika jediničnog bloka u stijenskoj masi. Proučavanje diskontinuiteta od velike je važnosti u raznim područjima primjene geološkog inženjerstva i neposredno utječe na smanjenje rizika prilikom geotehničkih zahvata u stijenskoj masi.

KLJUČNE RIJEČI:

Diskontinuiteti, stijenska masa, inženjerskogeološka analiza, statistička obilježja diskontinuiteta.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. KLASIFIKACIJA DISKONTINUITETA 3

2.1. PRIMARNI DISKONTINUITETI 3
2.2. SEKUNDARNI DISKONTINUITETI 5

3. PREGLED I ANALIZA OSNOVNIH ELEMENATA OPISIVANJA DISKONTINUITETA 9

3.1. ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA 9
3.2. RAZMAK DISKONTINUITETA 10
3.3. NEPREKINUTOST DISKONTINUITETA 11
3.4. HRAPAVOST STIJENKI DISKONTINUITETA 11
3.5. ČVRSTOĆA STIJENKI DISKONTINUITETA 13
3.6. ŠIRINA DISKONTINUITETA 14
3.7. ISPUNA DISKONTINUITETA 15
3.8. VODA U DISKONTINUITETIMA 15
3.9. BROJ GRUPA DISKONTINUITETA 16
3.10. VELIČINA STIJENSKIH BLOKOVA 17

4. PRIKAZIVANJE I STATISTIČKA OBRADA DISKONTINUITETA 18

4.1. SIMBOLI DISKONTINUITETA NA GEOLOŠKOJ KARTI 18
4.2. PERSPEKTIVNE SKICE DISKONTINUITETA 19
4.3. ROZETA DIJAGRAMI 19
4.4. STEREOGRAFSKA PROJEKCIJA DISKONTINUITETA 20

5. PRIMJERI DISKONTINUITETA U PRIRODI 23

6. ZAKLJUČAK 29

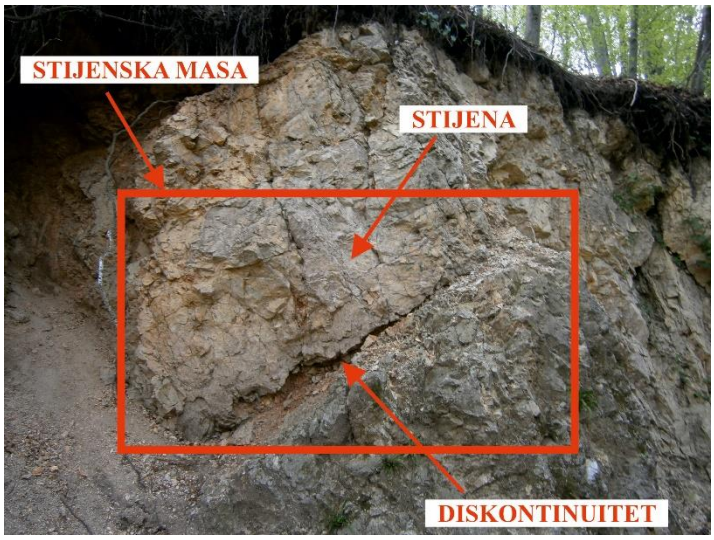
7. LITERATURA 30

Popis slika 32

Popis tablica 33

1. UVOD

Zbog složenosti, tehničkih ograničenja i visokih troškova mjerenja svojstava stijenske mase, u inženjerskoj praksi razvio se cijeli niz veličina i metoda kojima se kvantitativno određuje kvaliteta stijenske mase. Jedan od najvažnijih pokazatelja te kvalitete su diskontinuiteti. Njihovo proučavanje i analiza od izuzetnog su značaja kod promatranja stijene kao materijala na kojem se gradi ili kod eksploatacije stijenske mase. Stijenska masa je sustav koji se sastoji od intaktne stijene i diskontinuiteta (slika 1). Prema Međunarodnom udruženju za mehaniku stijena (ISRM – International Society for Rock Mechanics) diskontinuitet je opći naziva za bilo koji mehanički diskontinuitet u stijenskoj masi koji ima malu ili nikakvu vlačnu čvrstoću. To je zajednički termin za većinu tipova pukotina, ploha slojevitosti, ploha škriljavosti te oslabljenih zona i rasjeda. Pod intaktnom stijenom podrazumijeva se neispucani stijenski blok omeđen diskontinuitetima.



Slika 1. Prikaz stijenske mase

Tijekom geološke povijesti stijena je bila izložena orogenezi i procesima naprezanja što je rezultiralo njenim razlamanjem u blokove različitih veličina i oblika. Posljedice su vidljive kao pojave diskontinuiteta koji su se u stijeni javili ili za vrijeme ili nakon njenog postanka. Uzroci pojave ovakvih diskontinuiteta su djelovanje tektonskih sila, smanjenje volumena ili kontrakcija stijene uslijed hlađenja magme, skupljanje istaloženih masa uslijed sušenja, vlastita težina stijene na strmim kosinama, rasterećenje uslijed djelovanja erozije, djelovanje temperaturnih promjena i drugi. Osim prirodnih, postoje i antropogeni

uzroci pojave pukotina kada dolazi do oslobađanja naprezanja uslijed iskopa, miniranja i slično (Librić, 2011). Mnoga istraživanja u stijenskoj masi pokazala su da diskontinuiteti u stijenskoj masi nisu raspoređeni nasumce, već da u njihovom prostornom rasporedu postoje određene zakonitosti koje olakšavaju njihovo određivanje i analizu.

Zadatak u sklopu ovog završnog rada bio je proučiti obilježja stijenske mase koja se analiziraju kroz njezinu diskontinuiranost, s posebnim naglaskom na analizi najčešće mjerenih podataka o diskontinuitetima – orijentaciji diskontinuiteta. Diskontinuiteti su sastavni dijelovi stijenske mase koji posjeduju vlastite karakteristike. One se određuju posebnim metodama koje sam imao prilike provesti izravno na terenu uz prisustvo mentora. U radu se nalazi i pregled ostalih osnovnih elementa kojima se diskontinuiteti analiziraju i prikazuju nakon provedenih mjerenja, kao i primjeri ispitivanja diskontinuiteta u prirodi.

2. KLASIFIKACIJA DISKONTINUITETA

Dio diskontinuiteta u stijenskim masama nastaje za vrijeme nastanka stijena (primarni diskontinuiteti), a dio nakon postanka stijene i to uglavnom zbog djelovanja tektonskih pokreta (sekundarni diskontinuiteti). Ponekad se primarni i sekundarni diskontinuiteti nazivaju i integralni, odnosno mehanički diskontinuiteti. Integralni diskontinuiteti su oni koji se tek trebaju otvoriti pomoću kretanja i trošenja stijena. Oni imaju vlačnu čvrstoću, stoga je kod njih prisutna kohezija. Intaktne pukotine taloženja, folijacijske pukotine i čvrsto zacementirani spojevi pripadaju integralnim diskontinuitetima. Mehanički diskontinuiteti su otvoreni kao odgovor na naprezanja i trošenja stijena. Imaju malu ili nikakvu vlačnu čvrstoću, ali stvaraju posmičnu čvrstoću. Mogu se podijeliti na pukotine, lomove, klivaž, frakture, rasjede i zone smicanja (Price, 2009).

2.1. PRIMARNI DISKONTINUITETI

Primarni diskontinuiteti se formiraju već u vrijeme nastanka stijenskih masa te se zbog toga ponekad za njih koristi i naziv genetski diskontinuiteti. Zavisno o tome o kojoj se geološkoj vrsti stijena radi, način njihovog postanka će se razlikovati. Kod sedimentnih stijena ovi diskontinuiteti uobičajeno nastaju tijekom taloženja sedimenta, dok je kod magmatskih stijena to posljedica brzog hlađenja magmatske taljevine. Kod metamorfnih stijena se primarni diskontinuiteti javljaju uslijed promjene tlaka i/ili temperature kojima je izložena primarna stijena iz koje metamorfna stijena nastaje te ustvari predstavljaju sekundarne deformacije izvornih stijena. Svojstva primarnih diskontinuiteta uvijek ovise o ambijentalnim uvjetima stvaranja pojedinih vrsta stijena. Slojevitost, lučenje i različiti oblici folijacija su glavni primjeri nastanka primarnih diskontinuiteta.

Slojevitost nastaje u sedimentnim stijenama za vrijeme ili odmah nakon taloženja, ali i kompleksnim dijagenetskim procesima kojim je istaloženi materijal nakon toga izložen (slika 2). Rezultat tih procesa su međuslojni diskontinuiteti koji su uvjetovani promjenom granulometrijskog ili mineralnog sastava, orijentacijom, slaganjem sastojaka, prekidom sedimentacije. Uobičajeno se razlikuju vanjska i unutrašnja slojevitost (Tišljar, 1994).

Kada je pojedini sloj od svoje podine i krovine odvojen vidljivim diskontinuitetima koji ga odvajaju od drugih slojeva tada se radi o **vanjskoj slojevitosti**. To je ujedno i najznačajnija teksturna odlika sedimentnih stijena. Teksturne (strukturne) značajke unutar jednoga sloja uobičajeno se nazivaju **unutrašnjom slojevitošću**, a rezultat su uvjeta i okoliša taloženja. Najvažnije vrste unutrašnje slojevitosti su lisnatost (laminacija), horizontalna i kosa slojevitost, lećasta valovita i gradacijska slojevitost te strukture nastale istiskivanjem vode.



Slika 2. Slojevitost stijenske mase

Desikacijske pukotine ili pukotine isušivanja su pukotine koje nastaju u sitnozrnatim sedimentima zbog isparavanja vode u vršnom dijelu sloja. Kasnijim dijagenetskim procesima dolazi do petrifikacije ovakvih pojava, a ovakve pukotine onda mogu biti razlog anizotropije stijene. Često se mogu naći u glinama, laporima, vapnencima i dolomitima.

Lučenje je jedna od karakteristika magmatskih stijena koje nastaje u tijeku hlađenja i kristalizacije magme (slika 3). Tada dolazi do njenog stezanja sa smanjenjem volumena očvrsle stijene u odnosu na primarni volumen taljevine. Stezanjem nastaju tenzijske pukotine (pukotine lučenja) duž kojih se odvajaju veći ili manji stijenski blokovi. Postoje različiti oblici lučenja: pločasto (jednakomjernim hlađenjem eruptivnih stijena na velikim površinama), stupićasto (jednakomjernim hlađenjem oko više kristalizacijskih središta uz istodobno stezanje u svim smjerovima), paralelepipedno, kuglasto, nepravilno.



Slika 3. Lučenje magmatskih stijena (Park prirode Papuk, 2016)

Folijacije predstavljaju ravnomjerno, pravilno i paralelno svrstavanje planarnih strukturnih elemenata u stijenama. Pritom nastaju glatki i skliski diskontinuiteti u kojima su listićavi minerali (poput biotita, muskovita, klorita i drugih) paralelno svrstani. Folijacije sliče na pukotine, ali nisu fizički diskontinuitet. Stijene, u kojima su prisutne, odlikuju se odličnom kalavošću duž površina njihova paralelnog slaganja. Razlikuju se primarna i sekundarna folijacija (Tomljenović, 2015). Primarna se pojavljuje u obliku planarnog slaganja sedimentnih klasta kod sedimentnih stijena i listićavih struktura nastalih tokom hlađenja i kristalizacije magme kod magmatskih stijena (slika 4). Sekundarna folijacija se odnosi na klivaž koji je prisutan kod metamorfnih stijena.

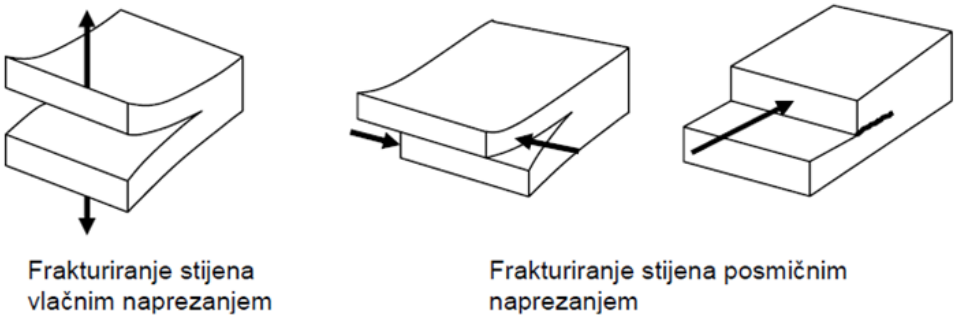


Slika 4. Primjer sedimentnih klasta (lijevo) i listićavih struktura (desno) (Narkive NewsGroup Archive, 2003) (Department of Earth and Planetary Sciences, 2015)

2.2. SEKUNDARNI DISKONTINUITETI

Stijena je nakon svojeg postanka podređena tektonskim zbivanjima te je u takvim uvjetima moguće formiranje sekundarnih diskontinuiteta. U prirodi su sve stijene pod utjecajem tektonskih pokreta borane, deformirane i raspucale bez obzira na njihovu

starost ili mehanička svojstva. Vlačnim naprezanjima nastaju pukotinski diskontinuiteti, dok posmičnim naprezanjima nastaju rasjedi (slika 5). Pritom se u stijenskoj masi najčešće formiraju vlačne (tenzijske) pukotine, tlačne (kompresijske) pukotine, ili smične (klizne) pukotine. Osnovni oblici sekundarnih diskontinuiteta su različiti oblici diskontinuiteta povezani s nastankom slojeva i klivaža, zatim različiti oblici lomova i pukotina, te rasjedi i zone smicanja.



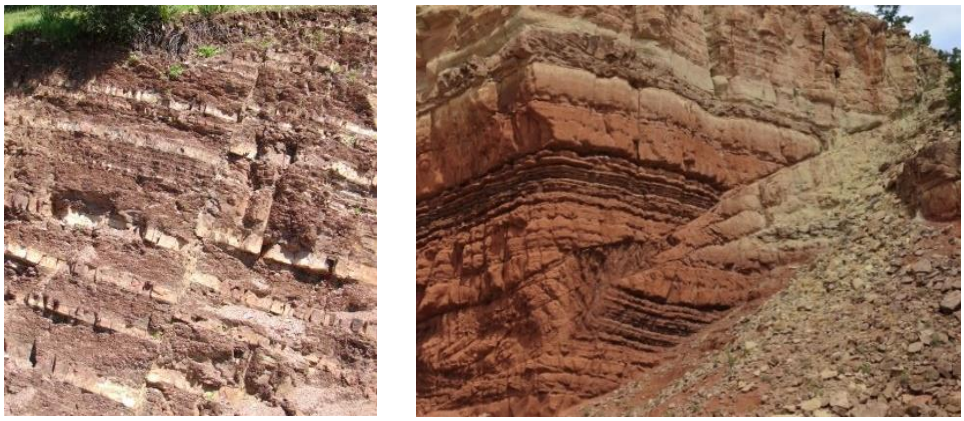
Slika 5. Nastajanje diskontinuiteta (Vrkljan, 2003)

Pukotine su planarne deformacijske strukture koje nastaju kao rezultat loma u stijenama i stijenskim tijelima, čime se bitno smanjuje njihov primarni fizički kontinuitet, odnosno kohezija. Generalno mogu biti otvorene ili zatvorene. Kod pukotina nisu vidljivi tragovi smicanja, a uobičajeno su uzrokovane tektonskim naprezanjima ili dijagenetskim procesima te vrlo često tvore predefinirane setove (familije) diskontinuiteta. Uobičajeno se razlikuju pukotine slojevitosti, folijacije, klivaža itd.

Lomovi su također planarne deformacijske strukture vrlo slične pukotinama, ali lomovi ne moraju nužno pripadati nekom definiranom setu pukotina. Rezultat su promjene naprezanja uzrokovanih antropogenim utjecajem (npr. uslijed miniranja, ali i geomorfoloških promjena, npr. puzanja ili klizanja terena (Price, 2009).

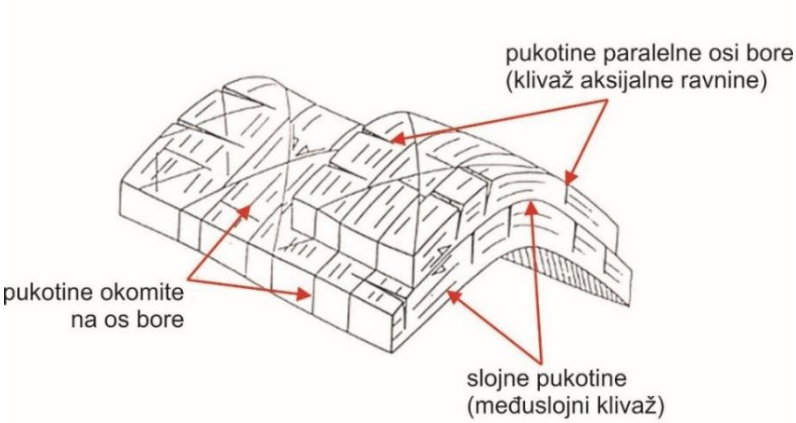
Klivaž nastaje kada između ili unutar pojedinih slojeva dolazi do međuslojnog kretanja u sklopu metamorfizma stijene. Naziva se i sekundarnom folijacijom, a njegove osobine određene su vrstom stijene te stupnjem deformacije i metamorfizma. Razlikujemo kontinuirani i rastavni klivaž. Kod kontinuiranog ili slejtnog klivaža mineralna zrna su ravnomjerno raspoređena, dok kod rastavnog klivaža folijacije nisu ravnomjerno raspoređene pa se jasno razlikuju u stijeni (Tomljenović, 2015).

Rasjedi i zone rasjedanja (smicanja) su posmične pukotine po kojim je ostvaren vidljiv pomak stijenskih blokova veći od par centimetara (slika 6). Rezultat su tektonskih ili geomorfoloških diferencijalnih naprezanja u Zemljinoj kori. Ako se radi o pomacima manjima od par centimetara tada se radi o posmičnim pukotinama ili mikrorasjedima (Tomljenović, 2015). Rasjedanje nastaje kada dolazi do izdizanja, spuštanja ili uzdužnog pomicanja dijelova Zemljine kore. Posljedica je gravitacije, razmicanja, tlačenja i zajedničkog djelovanja rasjednih područja. Ispune rasjeda često čini zdrobljeni stijenski materijal pomiješan s glinom koji nastaje ateriranjem stijena s obje strane rasjeda. Veličina pomaka može biti u rasponu od nekoliko decimetara pa do više stotina kilometara. S obzirom na položaj slojeva, rasjedi mogu biti normalni, reversni i transkurentni.



Slika 6. Primjeri rasjeda (Geodiversite, 2013) (Structural Geology Blog, 2013)

Glavne familije (sekundarnih) diskontinuiteta u stijenama se vrlo često mogu razlikovati zbog raznolikosti sekundarnih diskontinuiteta koja je određena načinom postanka i svojstvima tektonskih pokreta. Ono što je bitno za tektonski sklop je da se diskontinuiteti u njemu raspoređuju pravilno, sukladno regionalnom ili lokalnom naprezanju koje je bilo ili je još uvijek aktivno. Zbog toga se često u stijenskoj masi mogu razlikovati pojedine familije (setovi) diskontinuiteta. Slojne pukotine (međuslojni klivaž), diskontinuiteti paralelni klivažu aksijalne ravnine i pukotine okomite na regionalnu strukturnu os bore čine „osnovni tektonski sklop“ stijenske mase (slika 7).



Slika 7. Glavne familije sekundarnih diskontinuiteta u stijeni (Meaški, 2015)

Slojne pukotine ili međuslojni klivaž su specifični oblik pukotina koje se formiraju zbog samog procesa nastanka slojeva, ali vrlo često se u stijeni znaju razviti i setovi pukotina koji su međusobno paralelni.

Diskontinuiteti paralelni klivažu aksijalne ravnine borane strukture nastaju za vrijeme maksimalnih deformacija, a njihova presječnica sa slojevitosti određuje smjer lokalne ili regionalne strukturne osi bore. Diskontinuiteti su obično ravni i glatki. Duljina im je vrlo varijabilna, ali najčešće siječe cijele pakete naslaga, a u pojedinim slučajevima mogu biti i dominantni diskontinuiteti u stijenskim masama. Pojava znatno veće izraženosti ovih diskontinuiteta u odnosu na slojevitost, poznata je kod masivnih stijena.

Diskontinuiteti okomiti na lokalnu strukturnu os bore su tenzijski, po morfologiji najčešće hrapavi te također spadaju u diskontinuitete vezane uz bore. Duljina im je ograničena na jedan ili nekoliko slojeva, a njihov međusobni razmak je obično jednak ili nešto veći od razmaka između diskontinuiteta paralelnih aksijalnoj ravnini.

Znatno manje učestalosti, ali često većeg geotehničkog značaja pojavljuju se smični i reversni rasjedi. Kod promjene regionalnog stresa diskontinuiteti okomiti na os bore vrlo često prelaze u smične rasjede (Meaški, 2015).

3. PREGLED I ANALIZA OSNOVNIH ELEMENATA OPISIVANJA DISKONTINUITETA

Za inženjerskogeološki opis stijena potrebna je determinacija jezgri bušotina te klasifikacija i opis diskontinuiteta. Na terenu je dosta teško odrediti o kojoj se vrsti diskontinuiteta radi. Razlog tome mogu biti promjene polja naprezanja unutar stijene tijekom geološke povijesti i međusobno presijecanje diskontinuiteta različitih generacija i genetskih tipova (Vrkljan, 2003). Tako nastaje vrlo gusta mreža diskontinuiteta koji se mogu uvelike razlikovati duž stijenske mase.

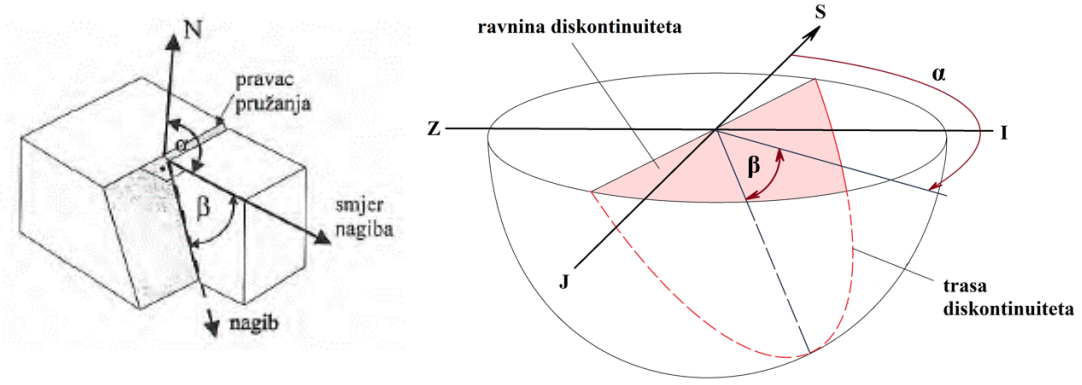
Za potrebe analize tektonskog sklopa potrebno je diskontinuitete opisivati tako da su njihova opisana svojstva razumljiva svima koji se bave inženjerskom geologijom, mehanikom stijena, geotehničkim projektiranjem, miniranjem ili eksploatacijom čvrstih mineralnih sirovina. U okviru normizacije laboratorijskih i terenskih testova Međunarodno društvo za mehaniku stijena je objavilo preporuke za kvantitativni opis diskontinuiteta u stijenskim masama (Ulusay i Hudson, 2007). Diskontinuiteti se opisuju kroz orijentaciju, razmak i postojanost diskontinuiteta, hrapavost i čvrstoću stijenki, zijev, materijalne ispune, filtraciju, broj familija i veličinu stijenskih blokova.

3.1. ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

Orijentacija je položaj diskontinuiteta u prostoru. Izražava se pomoću tri veličine: pravcem pružanja, smjerom i kutom nagiba (slika 8).

Pravac pružanja je presječnica ravnine diskontinuiteta s horizontalnom ravninom. Maksimalni nagib ravnine diskontinuiteta (β) mjeri se od pravca horizontalne ravnine prema pravcu ravnine diskontinuiteta. Smjer pada (α), odnosno azimut maksimalnog nagiba mjeri se u smjeru kazaljke na satu od stvarnog sjevera do horizontalne projekcije maksimalnog nagiba.

Za prikaz prostornog položaja diskontinuiteta u inženjerskoj geologiji, geotehnici i rudarstvu koristi se model polukugle. Presječnica ravnine diskontinuiteta s polukuglom određuje takozvani „veliki krug“, koji se u inženjerskoj geologiji zove trasom diskontinuiteta (slika 8).



Slika 8. Komponente orijentacije diskontinuiteta (lijevo) i „Veliki krug"- trasa diskontinuiteta (desno)

3.2. RAZMAK DISKONTINUITETA

Razmak između diskontinuiteta određuje se kao udaljenost između ravnina diskontinuiteta mjerena okomito na susjedne točke (slika 9). Obično se mjeri na izdancima vidljivim na terenu te je potrebno posebno mjerenje za svaki sustav diskontinuiteta. Mjerne vrijednosti se zatim preračunavaju ovisno o nagibu diskontinuiteta, a proračuni se statistički obrađuju i razmak se određuje kao srednja vrijednost.

Mali razmaci su kod okomite udaljenosti manje od 2 centimetara, dok se veći razmaci odnose na udaljenosti između diskontinuiteta veće od 60 centimetara. Međusobni razmak diskontinuiteta ima veliku ulogu kod razmatranja vodopropusnosti vezano uz injektiranje i konsolidaciju stijenske mase.



Slika 9. Razmak diskontinuiteta

3.3. NEPREKINUTOST DISKONTINUITETA

Duljina diskontinuiteta na plohi promatranja označava neprekinutost ili postojanost diskontinuiteta. Jedan je od najvažnijih parametara u opisu diskontinuiteta, ali i parametar koji je ili nemoguće ili najteže odrediti. Može se samo grubo pretpostaviti ako se mjeri postojanost samo na dostupnim izdancima na površini terena. Stoga su na širim zasjecima rezultati kvalitetniji (Vrkljan, 2003).

Prema duljini diskontinuiteta, mjereno i u smjeru njegovog pružanja i u smjeru pada, predložene su i grupe klasificiranih veličina (tablica 1). Ako je prosječna duljina diskontinuiteta manja od 1 metar, kažemo da je male ili niske neprekinutosti. Ako je prosječna duljina veća od 20 metara, radi se o velikoj neprekinutosti. Prema duljini diskontinuiteta može se odrediti i tip diskontinuiteta u stijenskoj masi.

Tablica 1. Odnos neprekinutosti i duljine diskontinuiteta. (ISRM, 1978)

Duljina [m]	**Opis**	**Tip**
< 0,1	Vrlo mala postojanost	Slojevitost / folijacija
0,1 – 1,0	Mala postojanost	Pukotina
1 - 10	Srednja postojanost	
10 - 30	Velika postojanost	
> 30	Vrlo velika postojanost	Ispunjene pukotine

3.4. HRAPAVOST STIJENKI DISKONTINUITETA

Hrapavost označava površinske neravnine u odnosu na srednju ravninu diskontinuiteta, a može se okarakterizirati kao valovitost i kao nejednakost malih dimenzija. O hrapavosti stijenki ovisi posmična čvrstoća i njihov odnos je obrnuto proporcionalan.

Za brzo i relativno točno terensko određivanje hrapavosti služe njeni tipizirani oblici i profili izraženi koeficijentom ili indeksom hrapavosti (JRC – Joint Roughness Coefficient). Postupak se svodi na vizualnu usporedbu hrapavosti diskontinuiteta za koji se želi odrediti posmična čvrstoća i karakterističnih profila (slika 13). Pri usporedbi je problematična reprezentativnost odabranog uzorka diskontinuiteta, što predstavlja glavni problem pri procjeni i usvajanju posmične čvrstoće diskontinuiteta. Mjerodavni diskontinuitet in situ može biti dugačak više metara ili desetina metara, a vrijednost JRC mora predstavljati cijelu duljinu diskontinuiteta.

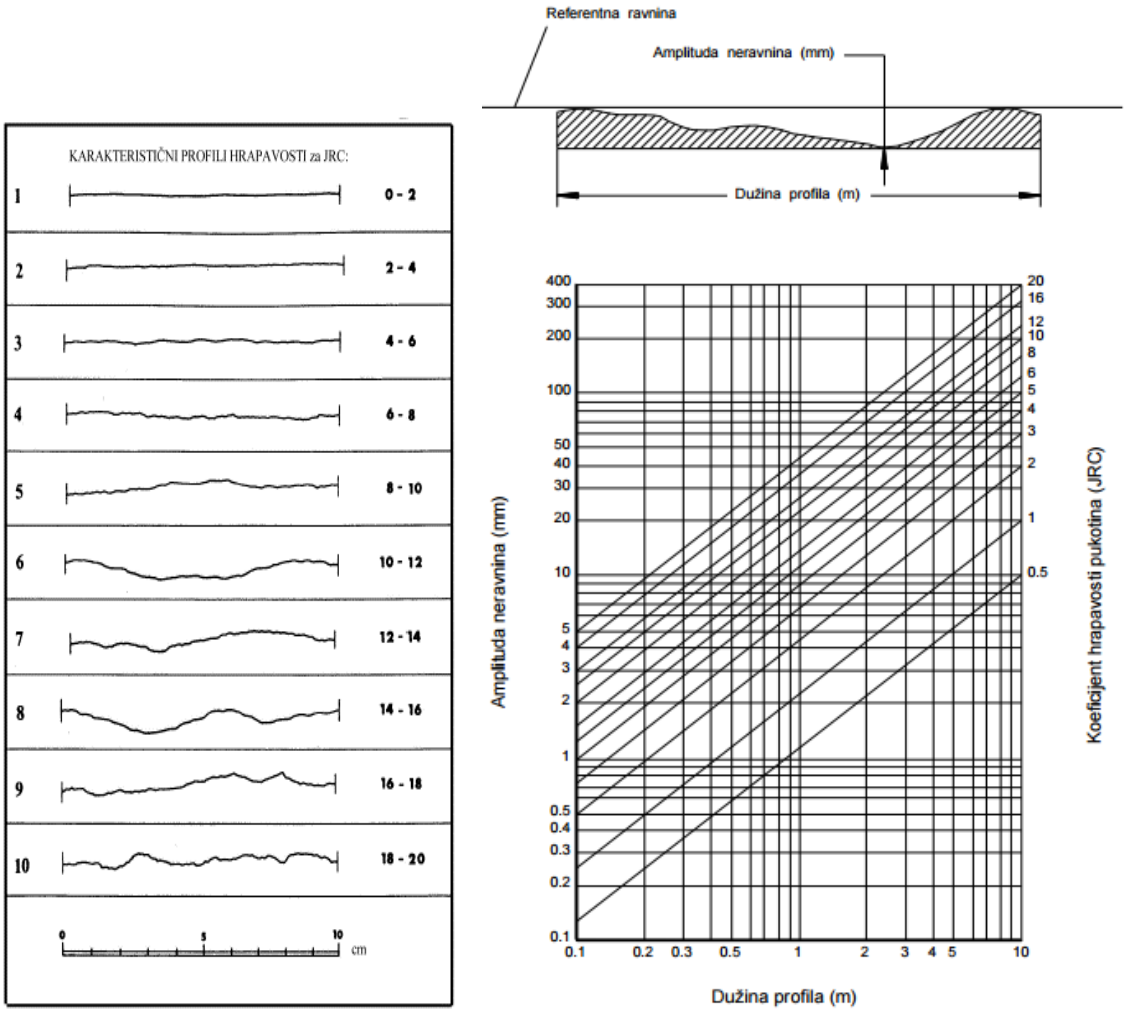
Tipizirani profili odnose se na 10-centimetarsko mjerilo i odgovarajućim se načinom mogu transponirati i u metarsko, pa i veće mjerilo. Temeljem mnogobrojnih ispitivanja pukotina Barton & Bandis su 1982. godine predložili korekciju za JRC koja uzima u obzir efekt mjerila:

$$JRC_n = JRC_0 \cdot \left(\frac{L_n}{L_0}\right)^{-0{,}02 \cdot JRC_0}$$

JRC_0 i L_0 (duljina skale) – vrijednosti koje se odnose na skalu od 10 centimetara

JRC_n i L_n (duljina u prirodi) - vrijednosti koje se odnose na veličinu bloka u prirodi

Postoji i alternativna metoda određivanja JRC koja se svodi na određivanje amplitude neravnine u odnosu na referentnu liniju diskontinuiteta i duljinu mjernog profila kojeg reprezentira određeni JRC (slika 10).

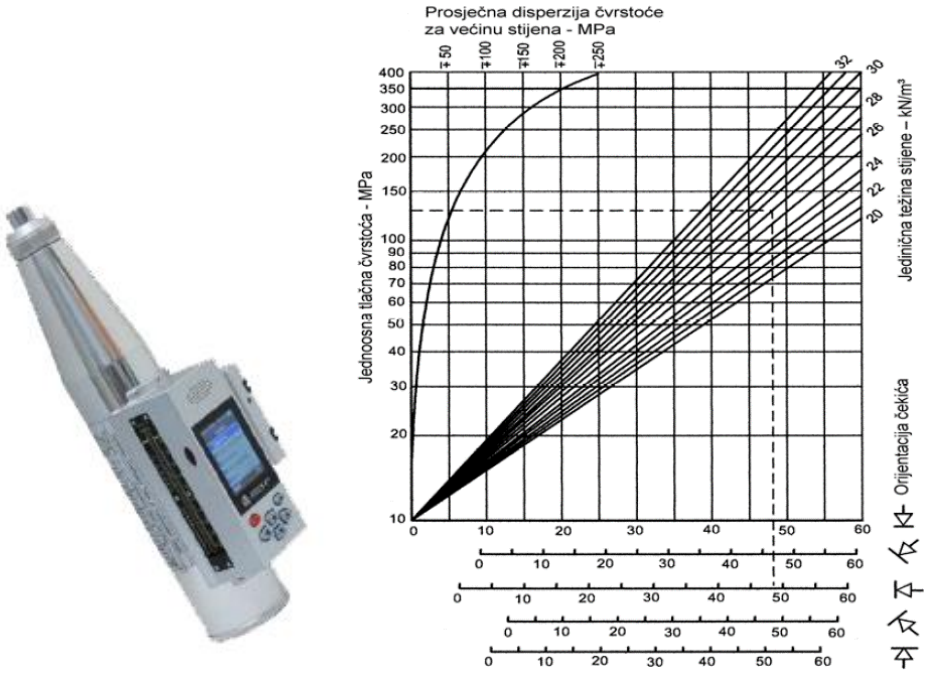


Slika 10. Profil hrapavosti i odgovarajući JRC prema Barton & Choubey, 1977 (lijevo) i alternativna metoda određivanja JRC prema Barton & Bandis, 1982 (desno)

3.5. ČVRSTOĆA STIJENKI DISKONTINUITETA

Tlačna čvrstoća stijenki važna je komponenta čvrstoće na smicanje i deformabilnost, naročito kod pukotina bez ispune gdje su stijenke u izravnom kontaktu. Ovisi o materijalu koji tvori stijenke i stupnju trošenja stijena. Procesi trošenja uvijek se odvijaju od površine prema dubini stijenske mase.

Čvrstoća diskontinuiteta se u praksi određuje terenskim „in situ“ testiranjem pomoću Schmidtovog čekića. Metoda se zasniva na broju i veličini odskoka Schmidtovog čekića kod udaranja na površinu diskontinuiteta. Najmanji broj odskoka čekića odgovara najslabijim materijalima, dok je najveći karakterističan za neizmijenjene i čvrste stijenke. Na osnovi mjernih rezultata i Müllerovog dijagrama izračunava se tlačna čvrstoća stijenke (slika 11).



Slika 11. Schmidtov čekić i Müllerov dijagram (Barton & Choubey, 1977)

Posmična čvrstoća potpuno ravnog diskontinuiteta linearna je funkcija normalnih naprezanja na plohi diskontinuiteta i odgovara Mohr-Coulombovom kriteriju čvrstoće:

$$\tau_f = c_j + \sigma_n \cdot tg\varphi_j$$

Gdje su: τ_f – vršna posmična čvrstoća

c_j – kohezija

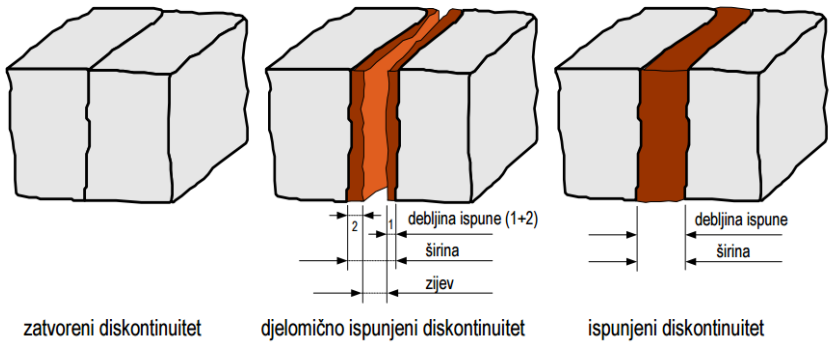
σ_n – naprezanje okomito na plohu diskontinuiteta

φ_j – kut trenja po površini stijenke diskontinuiteta

Posmična čvrstoća ovisi o trenju po plohi smicanja, tlačnoj čvrstoći stjenke diskontinuiteta, geometriji površine diskontinuiteta, postojanju ispune i njezinoj posmičnoj čvrstoći te o pritisku vode. Stvarna kohezija postoji jedino kod diskontinuiteta s ispunom koja posjeduje koheziju ili kod međuslojnih diskontinuiteta s cementnim vezivom. Kad se uslijed smicanja po diskontinuitetu dosegne vršna čvrstoća, posmična naprezanja padaju na vrijednost rezidualne posmične čvrstoće, uz pad vrijednosti kohezije na vrijednost nula (Meaški, 2015).

3.6. ŠIRINA DISKONTINUITETA

Okomiti razmak koji odvaja susjedne zidove otvorenog diskontinuiteta predstavlja širinu diskontinuiteta. Veliki otvori diskontinuiteta mogu nastati pomacima smicanja diskontinuiteta velike hrapavosti, zbog vlačnih pukotina, zbog ispiranja ili otapanja. Diskontinuiteti mogu biti otvoreni i zatvoreni pri čemu se kod otvorenih u međuprostoru može nalaziti zrak ili voda, a zijev im obično iznosi više od 5 milimetara. Diskontinuiteti s ispunom pripadaju skupini zatvorenih diskontinuiteta te se govori o širini zatvorenih diskontinuiteta ili debljini ispune. Onaj dio širine diskontinuiteta koji ne zauzima ispuna se naziva zijev diskontinuiteta (slika 12).



Slika 12. Širina diskontinuiteta u vezi s ispunom. (Zavod za geotehniku, 2012)

U većini podpovršinskih stijenskih masa širina diskontinuiteta je vrlo mala u usporedbi sa širinom diskontinuiteta nastalih ispiranjem ili drugim vanjskim ujecajima koji djeluju na stijenu. Standardne širine diskontinuiteta i njihovi opisi uobičajeno se definiraju prema ISRM kriterijima (tablica 2).

Tablica 2. Širina diskontinuiteta (ISRM, 1978)

Širina [mm]	**Opis**
< 0,1	Vrlo uski
0,1 – 0,25	Uski
0,25 – 0,5	Djelomično otvoreni
0,5 – 2,5	Otvoreni
2,5 - 10	Umjereno široki
> 10	Široki
1 - 100	Vrlo široki

3.7. ISPUNA DISKONTINUITETA

Kao ispunu proučavamo materijal koji se nalazi između susjednih stijenki diskontinuiteta. Taj materijal je u pravilu slabiji od okolne stijene i ima drugačiji sastav. Tipični materijali ispune su pijesak, prah, glina, breča, kalcit, limonit i dezintegrirana i rastrošena stijena.

Zbog velike raznolikosti ispune diskontinuiteta, područje fizikalnog ponašanja je vrlo široko posebno u pogledu čvrstoće na smicanje, deformabilnosti i vodopropusnosti. Zato je potrebno poznavati njihov mineraloški i granulometrijski sastav, stupanj prekonsolidacije, vlažnost i hidrauličku propusnost.

3.8. VODA U DISKONTINUITETIMA

U stijenskoj masi se voda pojavljuje i u porama stijene i u diskontinuitetima. Kako je poroznost intaktne stijene mala, tečenje vode u stijenskoj masi u najvećoj je mjeri povezano s tečenjem kroz diskontinuitete. Bitno je proučavanje vode kod stijenskih masa gdje je primarna hidraulička propusnost stijene daleko manja od procjeđivanja kroz diskontinuitete. Količina procjeđivanja ovisi o tome jesu li diskontinuiteti otvoreni ili zatvoreni, a ako su ispunjeni tada ovisi o vrsti materijala ispune. (tablica 3).

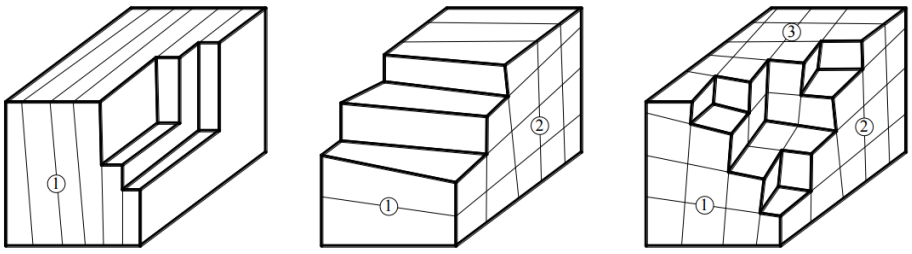
Prognoza razine i pritiska vode mogu često dati upozorenje o stabilnosti stijenske mase. Neujednačene razine podzemnih voda mogu se pojaviti u stijenskoj masi koja je ispresijecana nepravilnim strukturama.

Tablica 3. Ocjena stupnja procjeđivanja vode otvorenima i ispunjenima diskontinuitetima (ISRM, 1978)

Stupanj	OTVORENI DISKONTINUITET	ISPUNJENI DISKONTINUITET
I	Diskontinuitet je vrlo uzak i suh, tok vode duž diskontinuiteta ne čini se vjerojatnim	Materijal ispune je prekonsolidiran i suh, značajan protok nije vjerojatan
II	Diskontinuitet je suh bez naznaka tečenja vode	Materijal ispune je vlažan, ali nije prisutna slobodna voda
III	Diskontinuitet je suh, ali postoje naznake tečenja vode, npr. hrđave mrlje	Materijal ispune je mokar, povremene kapi vode
IV	Diskontinuitet je vlažan, ali nije prisutna slobodna voda	Materijal ispune pokazuje znakove ispiranja, kontinuiran protok vode (l/min)
V	Diskontinuitet ukazuje na procjeđivanje, prisutne povremene kapljice vode, ali nema kontinuiranog protoka	Materijal ispune lokalno je ispran, značajan protok vode uzduž ispranih kanala (l/min, pritisak: slab, srednji, visok)
VI	Prisutan je kontinuirani protok vode (procijeniti u l/min i opisati pritisak)	Materijal ispune potpuno je ispran, veliki pritisci vode (l/min)

3.9. BROJ GRUPA DISKONTINUITETA

Broj grupa ili familija diskontinuiteta određuje veličinu deformacije stijenske mase, a da pritom ne dođe do loma intaktne stijene. O broju grupa diskontinuiteta ovisi mehaničko ponašanje stijenske mase budući da određuje do koje mjere se stijenska masa može deformirati bez loma u samoj stijeni. Broj grupa može biti dominantan parametar za procjenu opće stabilnosti kosine. U slučaju velikog broja familija one mogu definirati način loma, odnosno stupanj odlamanja kod miniranja.



Slika 13. Primjer stijenske mase s jednim, dva i tri sustava diskontinuiteta (Zavod za geotehniku, 2012)

Određuje se snimanjem velikog broja diskontinuiteta na terenu i njihovim grupiranjem ovisno o orijentaciji (slika 13). Obično su prisutna tri sustava diskontinuiteta: slojevitost, klivaž aksijalne ravnine i klivaž okomit na os „B“ te ih treba razlikovati od pojedinih slučajnih diskontinuiteta koji se također mogu javiti u stijenskoj masi.

3.10. VELIČINA STIJENSKIH BLOKOVA

Veličina stijenskih blokova je izuzetno važan indikator ponašanja stijenskih masa. Dimenzije blokova su određene razmakom diskontinuiteta, brojem familija i postojanošću diskontinuiteta. Opisuje ih se ili njihovim prosječnim dimenzijama kroz indeks veličine bloka (I_b) ili brojem diskontinuiteta, to jest volumenskim brojem (J_v). Indeks veličine bloka (I_b) može se procijeniti vizualnim odabirom nekoliko tipičnih veličina blokova te uzimanjem prosječnih dimenzija tih blokova. Budući da indeks (I_b) može biti u rasponu od nekoliko milimetara do nekoliko metara, točnost mjerenja od 10% trebala bi biti dovoljna. Ako su poznati razmaci (S_1, S_2 i S_3) međusobno paralelnih diskontinuiteta, onda se izračun indeksa veličine bloka može izračunati prema sljedećem izrazu:

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

Volumetrijski broj pukotina (J_v) označava broj pukotina unutar jediničnog volumena stijenske mase. Na temelju tog broja mogu se klasificirati stijenski blokovi u određene kategorije (tablica 4). Volumetrijski broj se može izračunati ako su poznati razmaci međusobno paralelnih diskontinuiteta (S_1, S_2 i S_3):

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \cdots$$

Prirodna veličina blokova u funkciji je efikasnosti miniranja u kamenolomima ili u cestogradnji (Vrkljan, 2003). Izrada modela mreže diskontinuiteta omogućava pouzdanije definiranje veličine i oblika jediničnog bloka u stijenskoj masi, što je od velike važnosti u raznim područjima primjene geološkog inženjerstva i neposredno utječe na smanjenje rizika prilikom geotehničkih zahvata u stijenskoj masi (Navratil, 2011).

Tablica 4. Ovisnost stijenskih blokova o volumetrijskom broju pukotina (Vrkljan, 2003)

Opis	**J_v [pukotina/m^3]**
Vrlo veliki blokovi	< 1,0
Veliki blokovi	1 - 3
Srednji blokovi	3 - 10
Mali blokovi	10 - 30
Vrlo mali blokovi	> 30
Razlomljena stijenska masa	> 60

4. PRIKAZIVANJE I STATISTIČKA OBRADA DISKONTINUITETA

Diskontinuiteti se vrlo rijetko pojavljuju kao pojedinačne strukture i obično čine sustave diskontinuiteta. Ravnine koje ih označavaju u prirodi nisu idealno paralelne pa je potrebno statistički obraditi cijeli niz mjernih diskontinuiteta. Deskriptivna strukturna analiza služi za određivanje vrste primarnih i naročito sekundarnih deformacijskih struktura u stijenama ili stijenskim tijelima, njihovih morfoloških značajki, orijentacije i prostornog rasporeda. Provodi se kroz postupke prepoznavanja i definiranja struktura i strukturnih elemenata, mjerenja orijentacije i veličine što je moguće većeg broja strukturnih elemenata i prikaza tih izmjerenih elemenata na kartama i na strukturnim dijagramima (Tomljenović, 2015). Time se omogućava prostorna analiza strukturnih elemenata i procjena geometrijskog reda sastavnih elemenata u promatranoj stijeni, stijenskom tijelu ili području istraživanja. Za obradu i kasnije prikazivanje podataka o diskontinuitetima u praksi se koriste simboli ucrtani u geološke karte, perspektivne skice, rozete dijagrame diskontinuiteta te u točkaste i konturne dijagrame.

4.1. SIMBOLI DISKONTINUITETA NA GEOLOŠKOJ KARTI

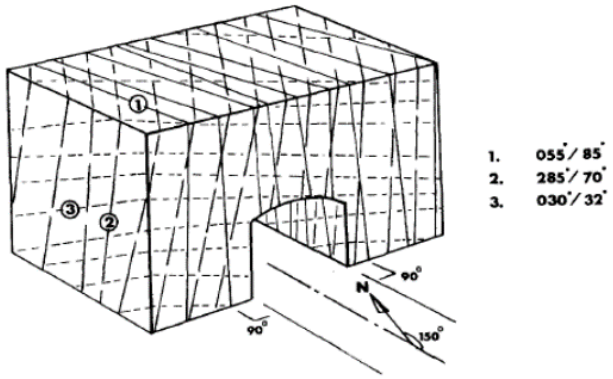
Diskontinuiteti se označavaju na geološkim kartama pomoću njihovih simbola (tablica 5). Glavni problem kod ovog načina prikazivanja je ograničenost prostora na geološkoj karti pa se na taj način ograničava broj diskontinuiteta koji se mogu prikazati.

Tablica 5. Primjeri simbola za ucrtavanje diskontinuiteta na geološke karte (Zavod za geotehniku, 2012)

Simbol diskontinuiteta	Opis
	Predstavlja pukotine s nagibom od 45° i pravcem pružanja diskontinuiteta kako je prikazano linijom. Smjer nagiba prikazan je simbolom
	Predstavlja slojevitost istih orijentacijskih karakteristika kao i prethodni
	Predstavlja folijaciju istih orijentacijskih karakteristika kao i prethodni primjeri
	Predstavlja horizontalni diskontinuitet
	Predstavlja vertikalni diskontinuitet s pravcem pružanja prikazanim linijom

4.2. PERSPEKTIVNE SKICE DISKONTINUITETA

Diskontinuiteti se mogu prikazivati i pomoću perspektivnih skica (slika 14). Mnogi dijelovi inženjerskih konstrukcija kao što su portali tunela, poprečni presjeci tunela ili velikih kaverni, stijenski pokosi, upornjaci brana se mogu prikazati na ovakav idealizirani način. Na perspektivnim skicama je potrebno numerirati svaku grupu diskontinuiteta, prikazati orijentaciju relativno u odnosu na sjever, te upisati nagib i smjer nagiba pokraj skice. Ovi parametri diskontinuiranosti se mogu prikazati i na fotografijama diskontinuiteta.



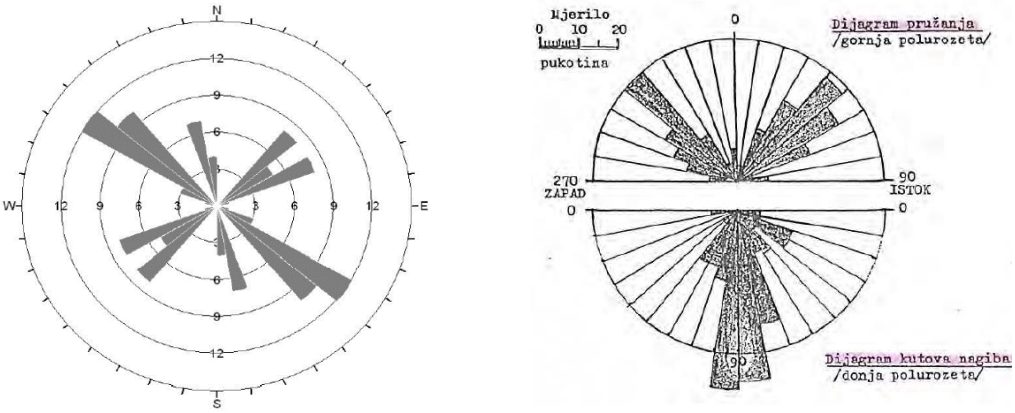
Slika 14. Perspektivna skica za prikaz diskontinuiteta (Zavod za geotehniku, 2012)

U slučaju kada se na pojedinim lokacijama ili u nekom dijelu područja istraživanja izmjeri veći broj strukturnih podataka, koje zbog formata i mjerila karte, profila ili crteža nije moguće sve prikazati, koriste se različite vrste dijagrama kao što su dijagrami u stereografskoj projekciji (stereogrami), rozeta dijagrami, histogrami i slično. Ovi dijagrami se često koriste u kombinaciji s kartama, profilima i crtežima kao dodatna informacija o orijentaciji strukturnih elemenata u pojedinim domenama područja istraživanja (Arbanas, 2015).

4.3. ROZETA DIJAGRAMI

Uobičajena metoda prikaza orijentacija velikog broja diskontinuiteta je pomoću rozeta. Mjerenja se prikazuju na jednostavnoj ruži kompasa, označenoj od 0° do 360°. Broj opažanja ili postotak opažanja od ukupnog broja promatranih diskontinuiteta prikazan je uzduž radijalnih osi, koristeći se numeriranim koncentričnim kružnicama (Hrženjak i Briševac, 2009). Prikaz može biti sastavljen i od dva polukružna dijagrama gdje gornji polukrug predstavlja pružanje, a donji nagib diskontinuiteta (slika 15). U svakom isječku

se označi koliko ima pukotina koje odgovaraju tom intervalu idući od središta prema periferiji.

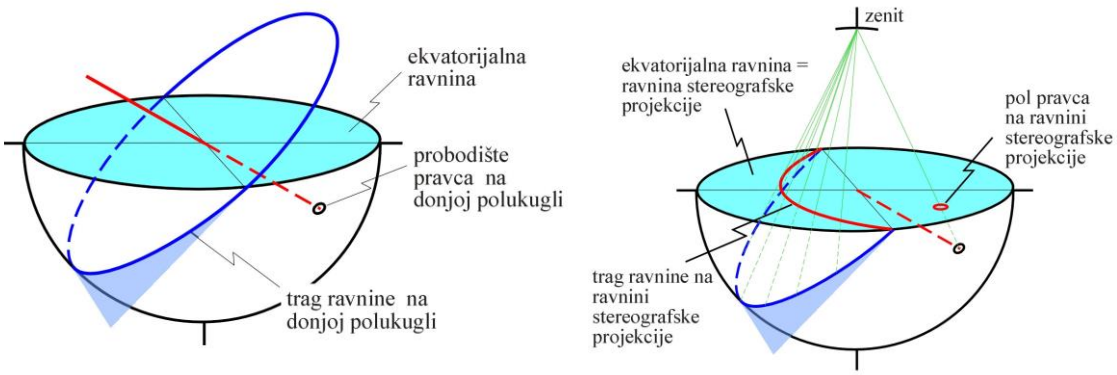


Slika 15. Primjeri rozeta dijagrama (Meaški, 2015)

4.4. STEREOGRAFSKA PROJEKCIJA DISKONTINUITETA

Stereografska projekcija je grafička metoda koja se najčešće koristi za prikaz orijentacija velikog broja izmjerenih podataka vezanih uz strukture i strukturne elemente. Podaci su prikupljeni u trodimenzionalnom prostoru, a prikazuju se u dvodimenzionalnoj ravnini stereografske projekcije. Pomoću ove metode se mogu brzo i jednostavno rješavati problemi trodimenzionalne geometrije i geometrijskih odnosa među strukturnim elementima kao što su prividni i stvarni kutovi nagiba ravnina i pravaca.

Da bi se pravac ili ravnina prikazali u stereografskoj projekciji, potrebno ih je položiti u središte polukugle (slika 16). U tako zamišljenom položaju, ravnina na donjoj polukugli ostavlja trag u obliku polukružnice, dok pravac ostavlja trag u točki ili probodištu pravaca i polukugle.

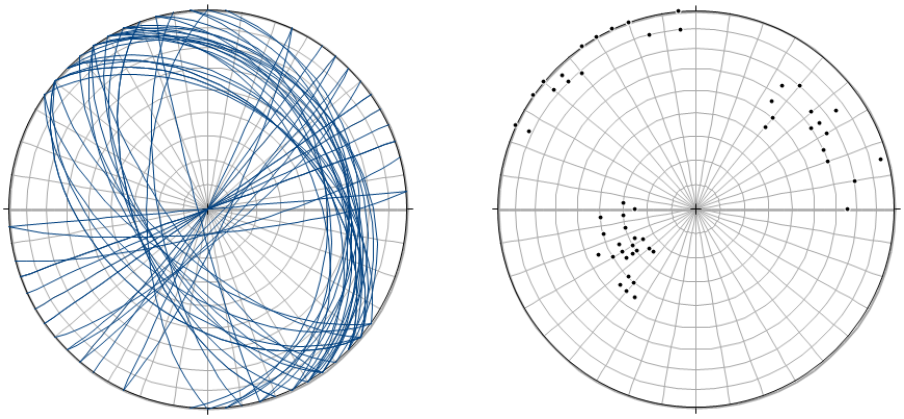


Slika 16. Prikaz pravca i ravnine na modelu polukugle (Tomljenović, 2015)

Na mjestima gdje zrake projiciranja iz zenita probadaju ekvatorijalnu ravninu, odnosno ravninu stereografske projekcije, nalazi se pol što predstavlja odgovarajući pravac, odnosno trag ravnine što predstavlja odgovarajuću ravninu. Na taj način se orijentacija pravca i ravnine iz 3D prostora reducira i prikazuje u 2D prikazu u obliku točkastih i konturnih dijagrama kojima se prikazuju pravci i ravnine diskontinuiteta.

Trag ili trasa ravnine se koristi ograničeno jer ako postoji više podataka, slika postaje nepregledna. Zbog toga se često ravnina ili ploha diskontinuiteta prikazuje u obliku točkastih dijagrama na kojima se prikazuju polovi pravaca nagiba ravnine ili normale ravnina (probodišta pravca okomitog na ravninu diskontinuiteta) (slika 17).

Međutim, u slučaju velikog broja podataka i prikaz pomoću točkastih dijagrama mogu postati nepregledni te se tada uobičajeno podaci prikazuju pomoću konturnih dijagrama kako bi se istaknuli samo glavni i najčešći sustavi diskontinuiteta.

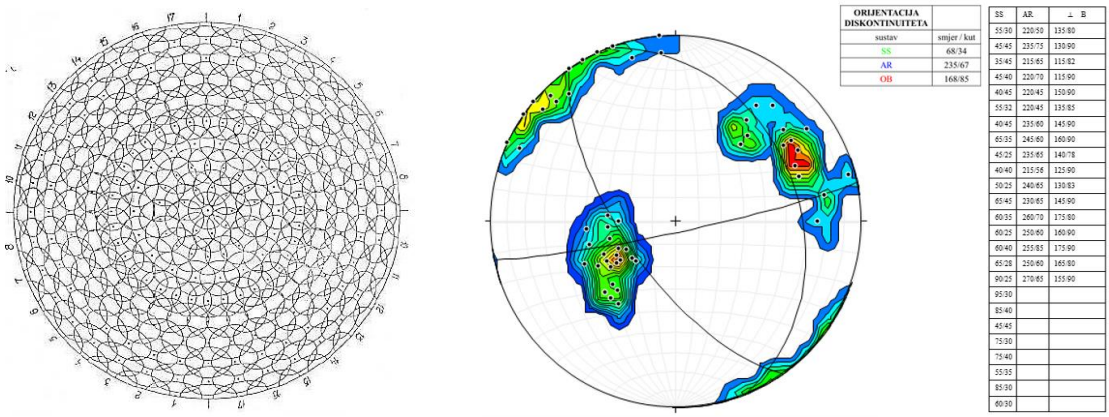


Slika 17. Prikaz tragova ravnina (lijevo) i njihov prikaz pomoću normala ravnina (desno)

Konturni dijagrami se dobivaju iz točkastih dijagrama na kojima se uočavaju područja različite gustoće podataka. Dodatno se za njihovu jasniju predodžbu mogu iscrtati izolinije gustoća koje odjeljuju zone s istim postotkom točaka na jedinicu površine dijagrama.

Konturni dijagrami se koriste za prikaz velikog broja podataka za neki inženjerskogeološki strukturni blok ili cjelinu, a za njihovu izradu su se nekad koristile brojačke ručice ili brojačke mreže (slika 18). Međutim, danas se zbog velike brzine

obrade podataka koriste isključivo računalni programi poput Stereonet (slika 18), Georient, Rockworks i drugih (Meaški, 2015).



ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA	
sustav	smjer / kut
SS	68/34
AR	235/67
OB	168/85

SS	AR	⊥ B
55/30	220/50	135/80
45/45	235/75	130/90
35/45	215/65	115/82
45/40	220/70	115/90
40/45	220/45	150/80
55/32	220/45	135/85
40/45	235/60	145/90
65/35	245/60	160/90
45/25	235/65	140/78
40/40	215/56	125/90
50/25	240/65	130/83
65/45	230/65	145/90
60/35	260/70	175/80
60/25	250/60	160/90
60/40	255/85	175/90
65/28	250/60	165/80
90/25	270/65	155/90
95/30		
85/40		
45/45		
75/30		
75/40		
55/35		
85/30		
60/30		

Slika 18. Brojačka mreža (lijevo) i konturni dijagram u programu Stereonet (desno) (Meaški, 2015)

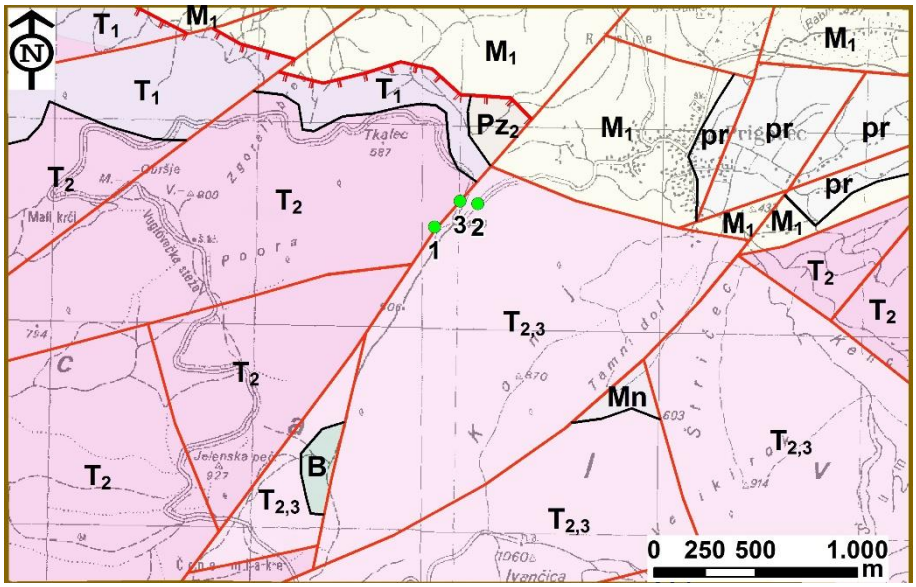
5. PRIMJERI DISKONTINUITETA U PRIRODI

Zadatak u sklopu završnog rada je bio i izravno mjerenje nekoliko stvarnih geoloških izdanaka na terenu te pokušaj da se statističkom obradom izvuku određeni zaključci vezani za raspodjelu diskontinuiteta u stijenskoj masi.

Odabrano je područje u blizini Ivanca, u podnožju Ivančice (slika 19). Šire promatrano područje Ivančice je izgrađeno od naslaga pretežito trijaske starosti (Šimunić et al., 1978) unutar kojih se razlikuju sljedeće pojave: i) pijesci, šejlovi, lapori, vapnenci i dolomiti donjotrijaske starosti (T_1); ii) dolomiti, vapnenci i dolomitne breče srednjotrijske starosti (T_2), iii) dolomiti i dolomitne breče s gromadama vapnenaca srednje do gornjotrijaske starosti ($T_{2,3}$).

Od ostalih naslaga se na širem području kao najstarije naslage mogu naći izdanci gonjopaleozojske starosti (Pz_2) koje karakteriziraju krupnozrnati pješčenjaci, šejlovi i niskometamorfni škriljci te prodori bazalta također trijaske starosti (β). Najmlađe naslaga su pješčenjaci, konglomerati, škriljci, lapori i gline miocenske starosti (M_1) te naslage proluvija (pr).

Odabrane lokacije istraživanja su na karti prikazane brojkama 1, 2 i 3 (slika 19).



Slika 19. Prikaz lokacija na geološkoj podlozi (shematizirano prema Šimunić et al., 1978)

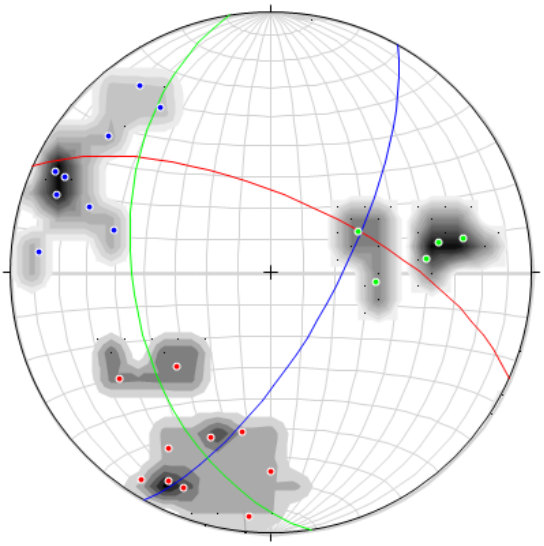
LOKACIJA 1

Radi se o dolomitima srednjotrijaske starosti (T_2) koji se na terenu pojavljuju u obliku strmog izdanka, vjerojatno nastalog kao posljedica regionalnog rasjedanja na ovom području. Uočavaju se slojevi dosta strmog nagiba, generalno u smjeru sjevera (slika 20).



Slika 20. Pogled na prvu lokaciju

STEREOGRAM:



Podaci za stereografsku projekciju:

SMJER NAGIBA	KUT NAGIBA
10	52
20	57
32	83
0	65
5	83
30	67
26	78
55	60
45	42
22	78
115	80
115	76
95	78
110	76
110	63
130	70
145	76
105	52
146	65
245	30
275	33
260	64
260	55
265	50

Slika 21. Statistička obrada podataka vezanih za orijentaciju diskontinuiteta na prvoj lokaciji

Iz stereograma (slika 21) se može zaključiti da se na prvoj lokaciji generalno mogu izdvojiti tri skupine (familije) diskontinuiteta označene različitim bojama. S obzirom na njihov položaj, geološku osnovu i procjenu na terenu (slika 22), utvrđeno je da se radi o: i) slojnim pukotinama (1) (crvena boja) srednje vrijednosti smjera i kuta nagiba 24/66; ii) pukotinama paralelnih regionalnoj strukturnoj osi boranja (2) (plava boja) srednje

vrijednosti smjera i kuta nagiba 119/70; iii) pukotinama okomitima na regionalnu strukturnu os boranja (3) (zelena boja) srednje vrijednosti smjera i kuta nagiba 261/46. Srednje vrijednosti stereografskih podataka iz tablice su prikazane na stereogramu (slika 21) tragovima ravnina u korespodentnim bojama.



Slika 22. Detalji s prve lokacije s naznačenim glavnim familijama diskontinuiteta

Zaključak

Duljina diskontinuiteta varira od desetak centimetara do nekoliko metara pa su s obzirom na neprekinutost, srednje postojanosti. Stijena je vrlo malo rastrošena i promjena boje ukazuje na početak trošenja. Prevladavaju vrlo uski, gotovo zatvoreni diskontinuiteti bez ispune zbog čega nije vjerojatan značajan protok vode.

LOKACIJA 2

Izdanak se pruža u obliku zasjeka uz cestu koja prati smjer regionalnog rasjedanja. Radi se pretežito o dolomitnim brečama srednje do gornjotrijaske starosti ($T_{2,3}$). Za razliku od lokacije 1, na ovoj lokaciji se ne mogu odmah tako dobro uočiti glavne familije diskontinuiteta (slika 23).

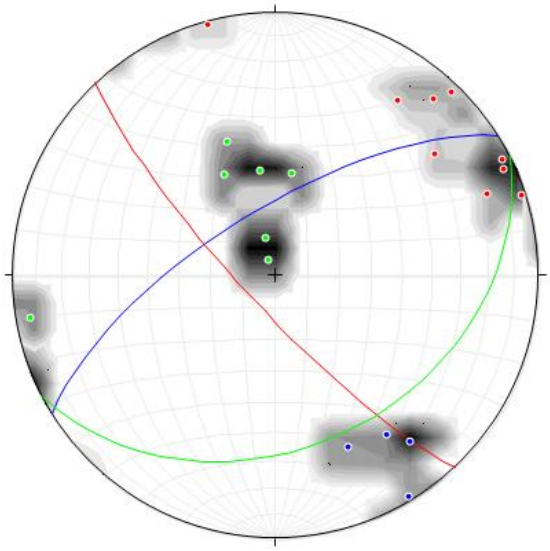


Slika 23. Pogled na drugu lokaciju

Iz stereograma (slika 24) se može vidjeti da se na drugoj lokaciji također mogu izdvojiti tri skupine (familije) diskontinuiteta, ali koje se ne ističu tako dobro kao one na prvoj

lokaciji zbog povećane trošnosti površinske zone izdanka. Iznimke su pojedine pojave gromada vapnenaca u kojima se dosta dobro mogu odrediti smjerovi i kutovi nagiba pojedinih diskontinuiteta.

STEREOGRAM:

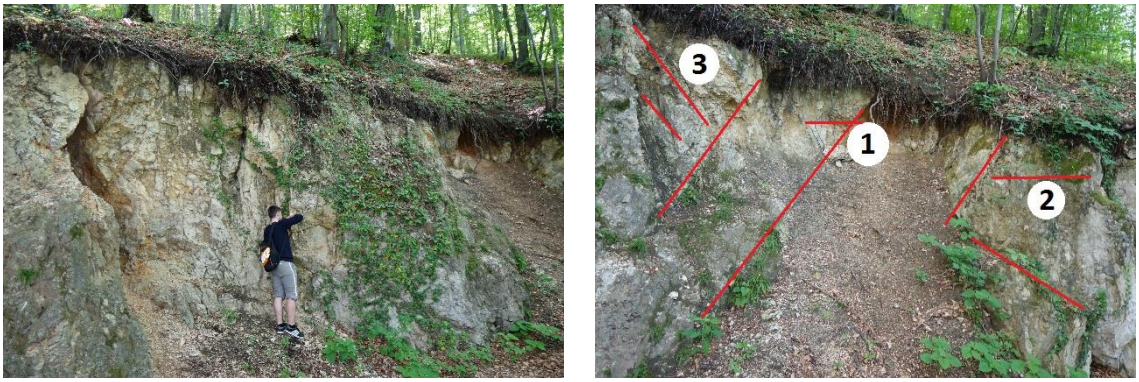


Podaci za stereografsku projekciju:

SMJER NAGIBA	KUT NAGIBA
222	79
233	65
245	85
243	86
252	88
165	88
215	70
224	86
249	75
329	88
321	70
325	63
337	60
172	33
189	32
160	45
80	84
165	12
153	5

Slika 24. Statistička obrada podataka vezanih za orijentaciju diskontinuiteta na drugoj lokaciji

Orijentacije diskontinuiteta koje su izmjerene na terenu prikazane su uz pomoć stereograma (slika 24) te su izdvojene sljedeće familije glavnih diskontinuiteta (slika 25): i) slojne pukotine (1) (plava boja) srednje vrijednosti 328/70; ii) pukotine paralelne osi bore (2) (crvena boja) srednje vrijednosti 227/80; iii) pukotine okomite na os bore (3) (zelena boja) srednje vrijednosti 153/35. Srednje vrijednosti stereografskih podataka iz tablice su prikazane na stereogramu (slika 24) tragovima ravnina u korespodentnim bojama.



Slika 25. Detalji s druge lokacije s naznačenim glavnim familijama diskontinuiteta

Zaključak

Postojanost diskontinuiteta je mala jer je srednja duljina diskontinuiteta desetak centimetara. Stijena je srednje rastrošena. Prevladavaju uski diskontinuiteti s ponegdje prisutnom ispunom od praha i dezintegriranog materijala. Materijal ispune je suh pa nije moguć značajniji protok vode.

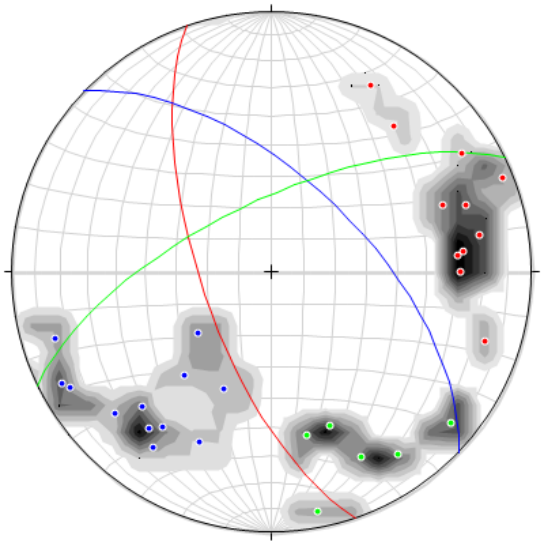
LOKACIJA 3

Lokacija se nalazi 50-ak metar od izvora Žgano vino, a predstavlja zasjek duljine oko 100 metara uz cestu koja vodi prema vrhu Ivančice (slika 26). Radi se o dolomitima srednjotrijaske starosti (T_2), ali se primjećuje razlika u litologiji u odnosu na lokaciju 1.



Slika 26. Pogled na treću lokaciju

STEREOGRAM

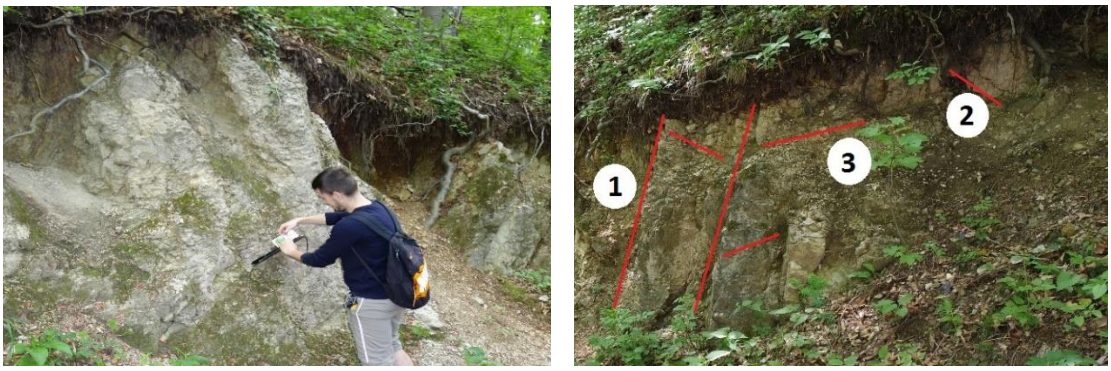


Podaci za stereografsku projekciju:

SMJER NAGIBA	KUT NAGIBA
260	70
264	63
265	61
249	60
238	75
270	62
288	75
248	85
220	62
208	70
23	60
22	40
38	65
48	70
35	62
34	70
62	80
60	78
73	76
40	43
348	54
325	74
349	83
339	53
310	79

Slika 27. Statistička obrada podataka vezanih za orijentaciju diskontinuiteta na trećoj lokaciji

Iz stereograma se može zaključiti da se na trećoj lokaciji također nalaze tri skupine diskontinuiteta (slika 28). Utvrđena je orijentacija: i) slojnih pukotina (1) (crvena boja) srednje vrijednosti smjera i kuta nagiba 251/68; ii) pukotine paralelne osi bore (2) (plava boja) srednje vrijednosti smjera i kuta nagiba 44/61; iii) pukotine okomite na os bore (3) (zelena boja) srednje vrijednosti smjera i kuta nagiba 334/68. Posebno su naglašene slojne pukotine i pukotine okomite na os bore što je vidljivo u konturnom dijagramu. Srednje vrijednosti stereografskih podataka iz tablice su prikazane na stereogramu (slika 27) tragovima ravnina u korespodentnim bojama.



Slika 28. Detalji s treće lokacije s naznačenim glavnim familijama diskontinuiteta

Zaključak

Postojanost diskontinuiteta je mala do vrlo mala jer su prisutni diskontinuiteti duljine desetak centimetara i manje. Stijena je dosta rastrošena. Manje od polovice materijala je rastrošeno ili dezintegrirano. Prevladavaju uski diskontinuiteti s ponegdje prisutnom ispunom od praha i dezintegriranog materijala. Materijal ispune je suh pa nije moguć značajniji protok vode.

6. ZAKLJUČAK

Stijenska masa predstavlja kompleksnu prirodnu sredinu koja se najčešće sastoji od blokova intaktnog stijenskog materijala i diskontinuiteta. Diskontinuiteti međusobno odvajaju blokove, ali i omogućavaju određenu interakciju blokova unutar same stijenske mase. Stijenska masa zbog toga u pravilu nije kontinuirana, već je diskontinuirana sredina unutar koje postoji veliki broj planarnih i djelomično planarnih diskontinuiteta koji variraju u svojim prostornim orijentacijama, razmacima i učestalošću, postojanošću kao i značajkama njihovih površina. Da bi se razumio i kvantificirao utjecaj diskontinuiteta na ponašanje stijenske mase, potrebno je detaljno snimiti i kvantitativno opisati relevantne značajke diskontinuiteta koji tvore kompleksnu trodimenzionalnu građu mehaničkih prekida u stijenskoj masi. Takva građa naziva se mreža diskontinuiteta ili struktura stijene. Nakon prikupljanja podataka na terenu slijedi odvajanje setova diskontinuiteta pomoću konturnih dijagrama i metoda grupiranja te statističke analize orijentacija i razmaka izdvojenih setova diskontinuiteta. Pod statističkim analizama podrazumijeva se određivanje prikladnih parametarskih modela, nepristranih procjena smjerova srednjih vrijednosti orijentacije i srednjih vrijednosti razmaka diskontinuiteta. Izrada modela mreže diskontinuiteta omogućava pouzdanije definiranje veličine i oblika jediničnog bloka u stijenskoj masi (Navratil, 2011), što je od velike važnosti u raznim područjima primjene geološkog inženjerstva i neposredno utječe na smanjenje rizika prilikom geotehničkih zahvata u stijenskoj masi.

Tijekom inženjerskogeoloških istraživanja nastoje se uvesti novi postupci i metode prikupljanja i obrade podataka. Nabavljaju se noviji i suvremeniji instrumenti za in-situ mjerenja, uzorkovanja i ispitivanja. Napretkom instrumenata i proučavanjem diskontinuiteta osigurava se visoka statistička pouzdanost obrade i interpretacije osnovnih geometrijskih značajki diskontinuiteta koje su važne za mnoge znanstvene discipline.

7. LITERATURA

Arbanas, Ž. (2015): *Opservacijske metode pri projektiranju i izvođenju građevnih jama u stijenskoj masi u urbanim sredinama*. Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci.

Barton, N., Bandis, S.C. (1982): Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. *Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill and rock masses: Problems and some solution.*Volume 5, pp 249-261.

Barton, N., Choubey, V. (1977): Rock Mechanics. *The shear strength of rock joints in theory and* practice. Volume 10, pp 1-54.

Department of Earth and Planetary Sciences (2015): *Effects of metamorphism* [Online] Dostupno na : http://eps.mcgill.ca/~hinsberg/Metamorphic/lectures_files/Metamorphic5 .pdf. [25.06.2016.]

Geodiversite, Franck Bouttemy (2013): *Faille dans les terrains Carbonifère.* [Online] Dostupno na: http://www.geodiversite.net/media1015 [20.06.2016.]

Hrženjak, P., Briševac, Z. (2009): *Upute i predlošci za laboratorijske vježbe i programe iz mehanike tla.* Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Librić, L. (2011): *Opis i karakterizacija diskontinuiteta u stijenskom inženjerstvu*. Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Meaški, H. (2015): *Materijali s predavanja iz inženjerske geologije u ak. godini 2014./2015.*. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.

Narkive NewsGroup Archive (07.10.2003.). *Stone foliation.* [Online]. Dostupno na: http://opera.mail-news.narkive.com/bhNz6OpK/a-strange-rss-feed-behaviour. [19.04.2016.]

Navratil, D. (2011): *Statistički model osnovnih geometrijskih značajki diskontinuiteta u mezozojskim karbonatnim stijenama.* Doktorska disertacija. RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 208 str.

Park prirode Papuk (2016): *Geologija*. [Online] Dostupno na: http://pp-papuk.hr/geologija/ [20.06.2016.]

Price, D.G. (2009): *Principels of Engineering Geology*. Springer, Berlin, 450 str.

Structural Geology Blog (2013): *Reverse faults*. [Online]. Dostupno na: https://structuralgeo.wordpress.com/2013/07/17/reverse-faults/. [19.04.2016.]

Šimunić, A., Pikija, M, Hećimović, I. (1978): Osnovna geološka karta M 1:100 000, list Varaždin L 33-69. HGI-CGS, Zagreb

Tišljar J. (1994): *Sedimentne stijene*. Školska knjiga, Zagreb, 32 str.

Tomljenović, B. (2015): *Materijali s predavanja iz strukturne geologije*. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Ulusay, R., Hudson, J.A. (2007): *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*, 1st part. International Society for Rock Mechanics, Commission on Testing Methods.

Vrkljan, Ivan (2003): Inženjerska mehanika stijena. Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Institut građevinarstva Hrvatske d.d. Zagreb

Zavod za geotehniku (2012): *Geotehničko inženjerstvo: Opis i čvrstoća diskontinuiteta* [Online] Dostupno na: http://www.grad.unzig.hr/_download/repository/GI_7.predavanje_Cvrstoca_diskontinuiteta.pdf [23.04.2016.]

Popis slika

Slika 1. Prikaz stijenske mase
Slika 2. Slojevitost stijenske mase
Slika 3. Lučenje magmatskih stijena
Slika 4. Oblici primarne folijacije
Slika 5. Nastajanje diskontinuiteta
Slika 6. Primjeri rasjeda
Slika 7. Glavne familije sekundarnih diskontinuiteta u stijeni
Slika 8. Komponente orijentacije diskontinuiteta i „Veliki krug“- trasa diskontinuiteta
Slika 9. Razmak diskontinuiteta
Slika 10. Profil hrapavosti i odgovarajući JRC i alternativna metoda određivanja JRC.
Slika 11. Schmidt-ov čekić i Müllerov dijagram
Slika 12. Širina diskontinuiteta u vezi s ispunom
Slika 13. Primjer stijenske mase s jednim, dva i tri sustava diskontinuiteta
Slika 14. Perspektivna skica za prikaz diskontinuiteta
Slika 15. Primjeri rozeta dijagrama
Slika 16. Prikaz pravca i ravnine na modelu polukugle
Slika 17. Prikaz tragova ravnina i njihov prikaz pomoću normala ravnina
Slika 18. Brojačka mreža i konturni dijagram u programu Stereonet
Slika 19. Prikaz lokacija na shematiziranoj geološkoj podlozi
Slika 20. Pogled na prvu lokaciju
Slika 21. Statistička obrada podataka vezanih za orijentaciju diskontinuiteta na prvoj lokaciji
Slika 22. Detalji s prve lokacije s naznačenim glavnim familijama diskontinuiteta
Slika 23. Pogled na drugu lokaciju
Slika 24. Statistička obrada podataka vezanih za orijentaciju diskontinuiteta na drugoj lokaciji
Slika 25. Detalji s druge lokacije s naznačenim glavnim familijama diskontinuiteta
Slika 26. Pogled na treću lokaciju
Slika 27. Statistička obrada podataka vezanih za orijentaciju diskontinuiteta na trećoj lokaciji
Slika 28. Detalji s treće lokacije s naznačenim glavnim familijama diskontinuiteta

Popis tablica

Tablica 1. Odnos neprekinutosti i duljine diskontinuiteta
Tablica 2. Širina diskontinuiteta
Tablica 3. Ocjena stupnja procjeđivanja vode otvorenima i ispunjenima diskontinuitetima
Tablica 4. Ovisnost stijenskih blokova o volumetrijskom broju pukotina
Tablica 5. Primjeri simbola za ucrtavanje diskontinuiteta na geološke karte