

Inženjerski opis stijenske mase u pokosima grada Kastva

Marfan, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:157:261039>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

Filip Marfan

Inženjerski opis stijenske mase u pokosima grada Kastva

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Preddiplomski stručni studij
Građevinarstvo
Primijenjena geologija**

**Filip Marfan
JMBAG: 0114027120**

Inženjerski opis stijenske mase u pokosima grada Kastva

Završni rad

Rijeka, rujan 2019.

ZAVRŠNI/DIPLOMSKI ZADATAK

(ispunjava mentor, preuzima se u Referadi - mora biti ispisan na memorandumu Fakulteta)

IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Filip Marfan

U Rijeci, 13. rujna 2019.

Inženjerski opis stijenske mase u pokosima grada Kastva

Sažetak

U ovom radu opisane su inženjerskogeološke značajke stijenske mase u pokosima na širem području grada Kastva. U tu svrhu provedena je inženjerska prospekcija i prospekcijsko kartiranje. Odabrane su četiri lokacije, a stijensku masu izgrađuje vapnenačko-dolomitna breča kredne starosti. Za svaku lokaciju najprije su utvrđene geometrijske značajke pokosa te njegova orijentacija, a zatim su opisane značajke diskontinuiteta iz utvrđenih setova, relevantne za procjenu stanja stabilnosti stijenske mase u pokosima.

Ključne riječi: breča, diskontinuiteti, značajke diskontinuiteta, orijentacija, pokos, inženjerskogeološka zona

Engineering rock mass description in road cuts of the city of Kastav

Abstract

This paper describes the engineer-geological characteristic of rock mass in the slopes of the city Kastav. In the purpose of the description engineering prospection and mapping prospection is conducted. Four sites were selected and the rock mass is made out of limestone-dolomite breccia cretaceous age. For each site firstly there were described the geometrical features of the slopes and its orientation and then the discontinuity features from the established sets relevant to determine the stability state of the rock mass in the described slopes.

Key words: breccia, discontinuities, characteristics of discontinuities, orientation, slope, engineering geological zone

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKA OSNOVA.....	1
2.1 Općenito o stijenskoj masi	1
2.2 Diskontinuiteti.....	6
2.2.1 Orijentacija diskontinuiteta	7
2.2.2 Razmak diskontinuiteta.....	10
2.2.3 Postojanost diskontinuiteta	11
2.2.4 Hrapavost diskontinuiteta	11
2.2.5 Čvrstoća stijenki diskontinuiteta.....	13
2.2.6 Zijev i širina diskontinuiteta	14
2.2.7 Voda u diskontinuitetima	16
2.2.8 Broj setova diskontinuiteta	16
2.2.9 Veličina blokova	17
3. OSNOVNE LITOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANE LOKACIJE	18
4. INŽENJERSKI OPIS ISTRAŽIVANE STIJENSKE MASE.....	19
4.1 Uvod.....	19
4.2 Istraživačka lokacija T1	20
4.3 Istraživačka lokacija T2	22
4.4 Istraživačka lokacija T3	23
4.5 Istraživačka lokacija T4	25
4.5.1 Inženjerskogeološka zona I.....	26
4.5.2 Inženjerskogeološka zona II	26
4.5.3 Inženjerskogeološka zona III	27
4.5.4 Inženjerskogeološka zona IV	27
5. ZAKLJUČAK	28
6. LITERATURA	30

Popis slika

Slika 1. Detalj izgleda stijenske mase s istaknutim materijalom stijene te brojnim diskontinuitetima (Fotografija: Filip Marfan).....	2
Slika 2. Primjer načina trošenja stijene: (a) biološko trošenje; (b) mehaničko i kemijsko trošenje, koje rezultira pojavom kaverne (Fotografije: Filip Marfan).	4
Slika 3. Shematski prikaz inženjerskih značajki diskontinuiteta u stijenskoj masi (preuzeto iz Miščević, 2015).....	7
Slika 4. Prikazivanje orijentacije diskontinuiteta u prostoru, α – kut smjera nagiba, β – kut nagiba (preuzeto iz Miščević, 2015).	7
Slika 5. Prikaz blok dijagrama i orijentacije pomoću istog (preuzeto iz ISRM, 1978).	8
Slika 6. Prikaz rozeta dijagrama.	9
Slika 7. Prikaz stereografske projekcije (Miščević, 2015).	9
Slika 8. Razmak između diskontinuiteta (fotografija: Filip Marfan).....	10
Slika 9. Karakteristični profili hrapavosti diskontinuiteta (ISRM, 1978).....	13
Slika 10. Primjeri širine (a) i zijeve (b) diskontinuiteta u stijenskoj masi (fotografije: Filip Marfan). Primjer na slici a) Prikaz širine diskontinuiteta označen žutom strelicom, slika b) prikaz zijeve bijelom strjelicom (Fotografija: Filip Marfan).....	15
Slika 11. Detalj izgleda vapnenačko-dolomite breče kredne starosti s područja grada Kastva (fotografija: Filip Marfan).	18
Slika 12. (a) Geografski položaj istraživnog područja; (b) prostorna raspodjela istraživačkih lokacija (Izvor: Google Maps).....	19
Slika 13. Prikaz lokacija istraživanja (fotografije: Filip Marfan).	20
Slika 14. Prosječne dimenzije istraživnog stijenskog pokosa na lokaciji T1 (fotografija: Filip Marfan).	21
Slika 15. Detalj značajki diskontinuiteta na lokaciji T1. Vidljiva je glinovita ispuna, te relativno glatka stijenka diskontinuiteta (Fotografija: Filip Marfan).	21
Slika 16. Geometrijske značajke stijenskog pokosa na lokaciji T2 (Fotografija: Filip Marfan).	22

Slika 17. Detalj izgleda diskontinuiteta na lokaciji T2. Diskontinuitet je ispunjen debelom glinovitom ispunom. Vidljiva je glatka površina stijenke diskontinuiteta (Fotografija: Filip Marfan).	23
Slika 18. Stijenski pokos na lokaciji T3 (Fotografija: Filip Marfan).	24
Slika 19. Detalji ispune i hrapavosti diskontinuiteta (Fotografija: Filip Marfan).	24
Slika 20. Fotografija stijenskog pokosa na lokaciji T4 sa skicom izdvojenih inženjerskogeoloških zona (Fotografija: Filip Marfan).	25
Slika 21. Prikaz detalja zijeve te hrapavosti površine diskontinuiteta 225/41. Ustanovljen je manji odronjeni blok. (Fotografija: Filip Marfan).	27
Slika 22. Detalj mjesta mogućeg trošenja (Fotografija: Filip Marfan).	28

Popis tablica

Tablica 1. Tipovi sloma u stijenskoj masi (modificirano prema Dugonjić Jovančević, 2016).	5
Tablica 2. Prikaz i opis simbola orijentacije diskontinuiteta na karti.	8
Tablica 3. Opis razmaka diskontinuiteta s obzirom na raspone vrijednosti razmaka (prema de Vallejo i Ferrer, 2011).	11
Tablica 4. Podjela hrapavosti s pripadajućim opisima (prema de Vallejo i Ferrer, 2011). ..	12
Tablica 5. Ocjena stupnja trošnosti stijenke diskontinuiteta (modificirano prema Miščević, 2015).	14
Tablica 6. Terminologija za opis zija diskontinuiteta (ISRM 1978).	15
Tablica 7. Opisno stanje procjeđivanja u podzemnom otvoru (ISRM, 1978).	16
Tablica 8. Terminologija za opis broja setova (ISRM, 1978).	17
Tablica 9. Opisno stanje veličine blokova određeno volumetrijskim brojem pukotina (ISRM, 1978).	18

1. UVOD

Stijenska masa je stijena kakva se javlja in-situ, uključujući njene strukturne diskontinuitete (ISRM, 1975). Stijenske mase u prirodi su najčešće heterogene i izotropne sredine. Inženjerski problemi uvjetovani su diskontinuitetima na stijenskim masama. Diskontinuiteti označavaju oslabljenje u strukturi stijenske mase čija je vlačna čvrstoća, okomito na smjer plohe koju formira oslabljenje, praktično jednaka nuli (Mišćević, 2015).

Diskontinuiteti u inženjerstvu jedni su najvažnijih faktora kada dolazi do projektiranja radova, jer su oni ti koji uvjetuju čvrstoću i deformabilnost. Upravo zbog tih razloga bitno je definirati značajke diskontinuiteta.

U prvom dijelu ovog rada definirani su pojmovi stijene i stijenske mase, a zatim su navedena njezina svojstva i karakteristike stijenske mase. Detaljno su opisane inženjerske značajke diskontinuiteta, definirane od strane Međunarodnog društva za mehaniku stijene (eng. International Society for Rock Mechanics, ISRM) (ISRM, 1978), koje su od presudnog značaja za inženjersko ponašanje stijenskih masa, odnosno projektiranje u geotehnici.

U drugom dijelu ovog rada detaljno su opisane inženjerskogeološke značajke stijenska masa u pokosima uz prometnice na području grada Kastva, na temelju inženjerske prospekcije i kartiranja. Na četiri odabrane lokacije izdvojene su inženjerskogeološke zone, te definirane najvažnije inženjerske značajke diskontinuiteta u stijenskoj masi.

2. TEORIJSKA OSNOVA

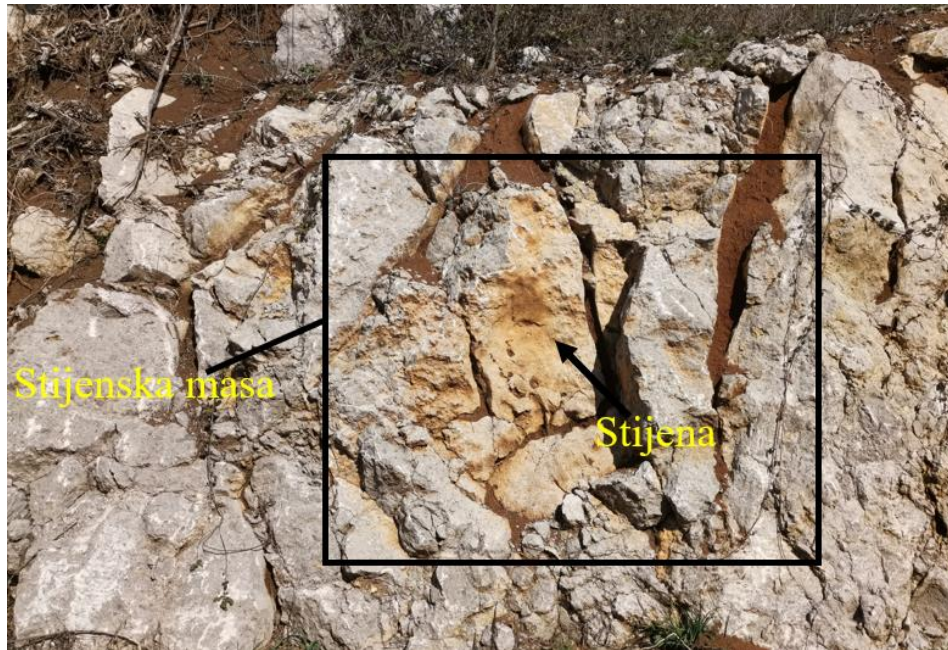
2.1 Općenito o stijenskoj masi

Stijena je prirodni mineralni agregat nastao određenim geološkim procesom (de Vallejo i Ferrer, 2011). Prema načinu postanka stijene se dijele na magmatske, sedimentne i metamorfne. Načinom postanka uvjetovana su osnovna fizička svojstva. Neka od tih svojstva su: *gustoća*, ona je pokazatelj mineraloškog pokazatelja skeleta stijene, *porozitet*,

opisuje odnos volumena skeleta i pora, *hidraulička propusnost*, opisuje povezanost sustava pora, *trošnost* i još mnogo drugih.

Stijenska masa je stijena kakva se javlja in-situ, uključujući njene strukturne diskontinuitete (ISRM, 1978). Detalj izgleda vapnenačke stijenske mase prikazan je na slici 1. Stijensku masu nalazimo u prirodi kao heterogenu, anizotropnu, raspucalu i prirodno napregnutu. Cjelokupni volumen stijenske mase sastoji se od: materijala stijene, on je vrlo često omeđen diskontinuitetima koji u stijenskoj masi formiraju blokove, diskontinuiteta i njihove ispune te zraka ili vode koji se nalaze unutar materijala stijene ili diskontinuiteta.

Svaka stijenska masa ima svoja oslabljenja, pod oslabljenjima primarno se podrazumijevaju diskontinuiteti, a zatim okršenost i stupanj trošenja. Sva oslabljenja nastala u stijenskoj masi mogu biti posljedica prirodnih djelovanja, poput tektonskih sila, hlađenja magme, erozije, temperaturnih promjena, te mogu biti i posljedica ljudskog rada, a to zbog iskopavanja ili miniranja.



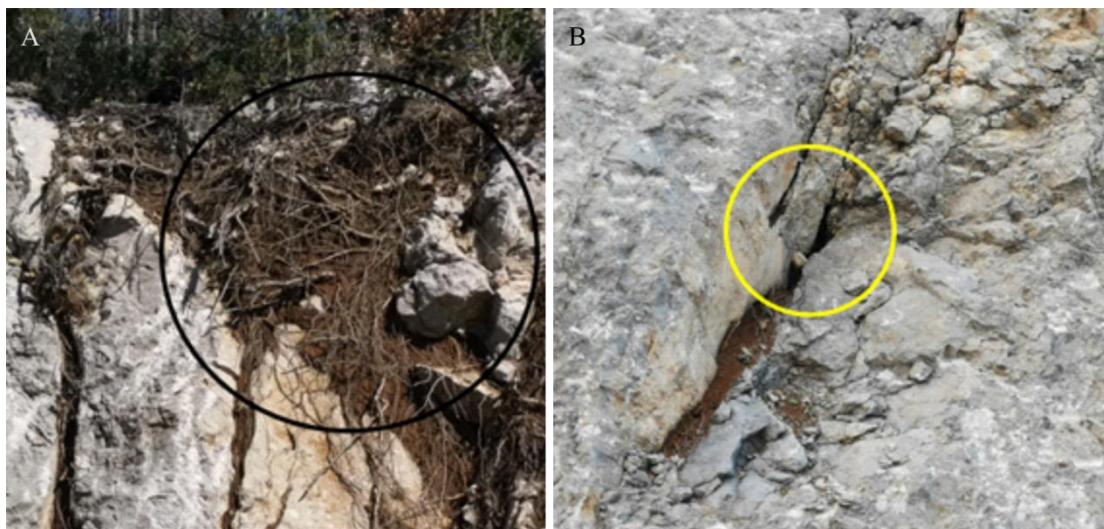
Slika 1. Detalj izgleda stijenske mase s istaknutim materijalom stijene te brojnim diskontinuitetima (Fotografija: Filip Marfan).

Većina problema stijenskog inženjerstva uspješno je riješena u zadnjih 30 godina, ali još uvijek ostaje nekoliko otvorenih problema. Ladanyi (1982), kao jedne od glavnih

problema mehanike stijene ističe: nemogućnost direktnog mjerenja osnovnih svojstva stijenske mase, efekt vremena i modeliranje. Osnovna svojstva neke stijenske mase nije moguće direktno izmjeriti zbog ograničavajućih faktora mjerila, vremena i novca. „*Ne možemo mjeriti, ali ako dovoljno pažljivo promatramo, razvijamo konceptijske modele, radimo povratne analize, utvrđujemo okvire i klasifikacijske sisteme neprestano promatramo i poboljšavamo ih tijekom dovoljno dugog perioda, možemo se nadati da ćemo eventualno moći utvrditi ova svojstva stijenske mase dovoljno točno za potrebe projektiranja*“ (Vrkljan, 2013).

Stijenska masa ispod Zemljine površine izložena je naprezanjima koja su posljedica mase gornjih slojeva i tektonskih aktivnosti u Zemljinoj kori (Vrkljan, 2013). Takva naprezanja su primarna naprezanja ili *in-situ* naprezanja. Ako se u stijenskoj masi vrši podzemni ili površinski iskop, u njegovoj blizini dolazi do promjene primarnih naprezanja, tj. dolazi do pojave sekundarnih naprezanja. Sva naprezanja koja su djelovala tokom geološke prošlosti uzrokovali su stvaranje diskontinuiteta u stijenskoj masi. Diskontinuiteti su zapravo posljedica svih mehaničkih, toplinskih i kemijskih djelovanja na stijensku masu. Jedan od važnih utjecaja na ponašanje stijenske mase imaju i podzemne vode koje su prisutne u porama, a veći dio je prisutan u diskontinuitetima. Sama pojava podzemne vode u stijenskoj masi smanjuje njezinu stabilnost te smanjuje čvrstoću stijenske mase, a tečenjem kroz diskontinuitete povećava fizičko i kemijsko trošenje stijenske mase.

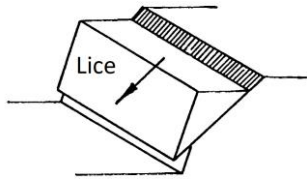
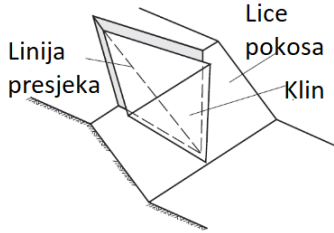
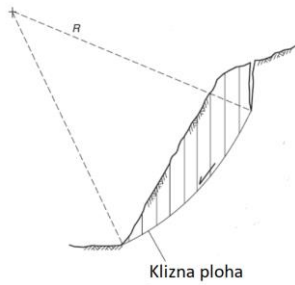
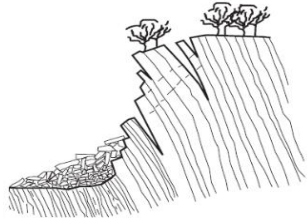
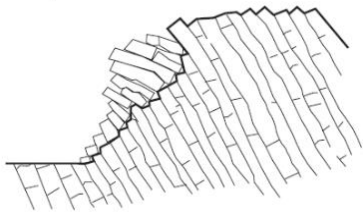
Mehaničko ili fizičko trošenje uzrokuje daljnje otvaranje već prisutnih diskontinuiteta ili čak i stvaranje novih prilikom sloma u stijenskoj masi. Trošenjem stijene prelazi u rezidualno tlo. Intenzitet trošenja neke stijenske mase ovisi o tipu klime, o vremenskom izloženosti procesu trošenja te o tipu stijene. Primjeri trošenja stijene prikazani su na slici 2.



Slika 2. Primjer načina trošenja stijene: (a) biološko trošenje; (b) mehaničko i kemijsko trošenje, koje rezultira pojavom kaverne (Fotografije: Filip Marfan).

Pri izgradnji i projektiranju veliku važnost ima stabilnost stijenske mase. Način na koji će se određeni projekt izvoditi, koja će se vrsta temelja odabrati ili na koji će se način zaštititi određena stijenska masa ovisi o stabilnosti same stijenske mase. Podloga je stabilna ukoliko naprezanja u ili na njoj ne premašuju njezin ukupni otpor naprezanju, tj. ne postižu graničnu vrijednost naprezanja (Vrkljan, 2013). Ukoliko naprezanja premašuju ukupni otpor, dolazi do sloma, a tipovi sloma u stijenskoj masi prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Tipovi sloma u stijenskoj masi (modificirano prema Dugonjić Jovančević, 2016).

Tipovi sloma stijenske mase		
Ravninski slom	Tip sloma u kojem dolazi do klizanja lica po jednoj ravnini	
Klinasti slom	Tip sloma u kojem dolazi do klizanja na presjeku dviju ravnina diskontinuiteta koje formiraju klin	
Rotacijski slom	Tip sloma u kojem dolazi do klizanja po kliznoj plohi zaobljenog oblika, a tijekom gibanja dolazi do rotacije pokrenutog materijala oko zamišljene osi	
Slom prevrtanjem	Tip sloma prevrtanja, rotacija prema naprijed pokrenutog materijala oko točke smještene u bazi pokosa, izdanka	
Slom prevrtanjem	Tip sloma prevrtanjem, nastalog zbog savijanja blokova uzrokovano brojnim poprečnim diskontinuitetima	

2.2 Diskontinuiteti

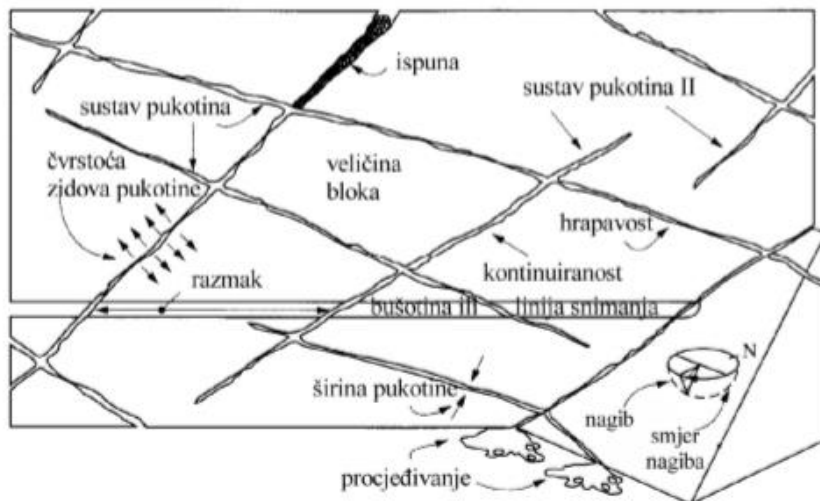
Diskontinuiteti čine mehaniku stijena jedinstvenom znanstvenom disciplinom. Diskontinuitet označava oslabljenje u strukturi stijenske mase čija je vlačna čvrstoća, okomito na smjer plohe koju formira oslabljenje, praktično jednaka nuli (Mišćević, 2015). To je općeniti naziv za sve mehaničke prekide u stijenama, a uglavnom se odnosi na pukotine, rasjede i slojne plohe kod uslojenih sedimentnih stijena. Diskontinuiteti nastali u stijenskoj masi posljedica su mehaničkih, toplinskih i kemijskih djelovanja koja su se odvijala kroz geološku povijest. Deformabilnost, čvrstoća i propusnost uvjetovani su diskontinuitetima, zbog tih razloga bitno je poznavati geometrijska, mehanička i hidraulička svojstva diskontinuiteta.

U inženjerstvu se diskontinuiteti opisuju na temelju deset osnovnih značajki (ISRM, 1978).

To su:

- orijentacija
- razmak
- postojanost (neprekinutost)
- hrapavost stijenki
- čvrstoća stijenki
- širina
- ispuna
- voda u diskontinuitetu
- broj setova diskontinuiteta
- veličina bloka

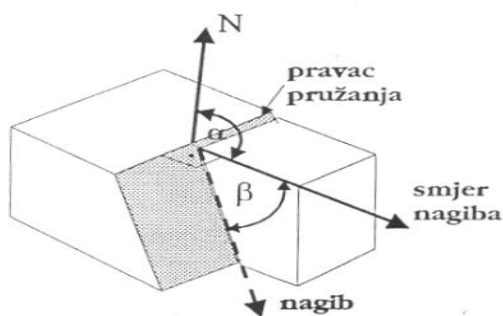
Shematski prikaz stijenske mase s navedenim značajkama diskontinuiteta prikazan je na slici 3 (preuzeto iz Mišćević, 2015).



Slika 3. Shematski prikaz inženjerskih značajki diskontinuiteta u stijenskoj masi (preuzeto iz Mišćević, 2015).

2.2.1 Orijentacija diskontinuiteta

Orijentacija diskontinuiteta definirana je smjerom nagiba, kutom nagiba te pružanjem, kako je prikazano na slici 4 (ISRM, 1978). Utvrđuje se na izdanku mjerenjem geološkim kompasom. Orijentaciju je poželjno više puta mjeriti kako bi se definirala prosječna orijentacija po setovima, što su rezultati mjerenja sličniji to se smanjuje broj mjerenja. Srednja orijentacija glavnog diskontinuiteta može se dobiti „metodom tri točke“, za koju su potrebna mjerenja triju točaka koje leže na plohi diskontinuiteta, te se njima odredi aritmetička sredina.

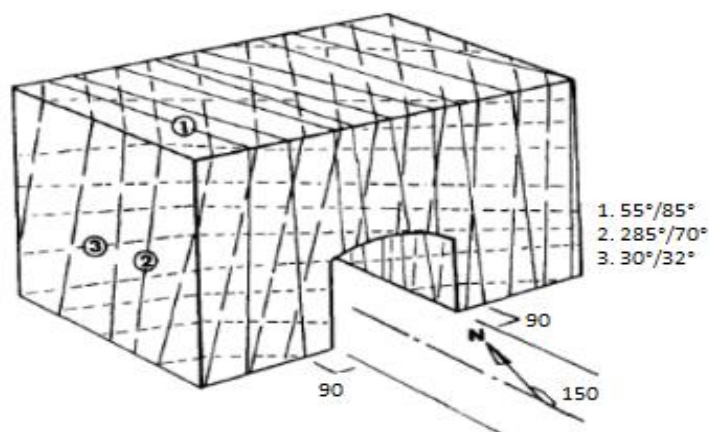


Slika 4. Prikazivanje orijentacije diskontinuiteta u prostoru, α – kut smjera nagiba, β – kut nagiba (preuzeto iz Mišćević, 2015).

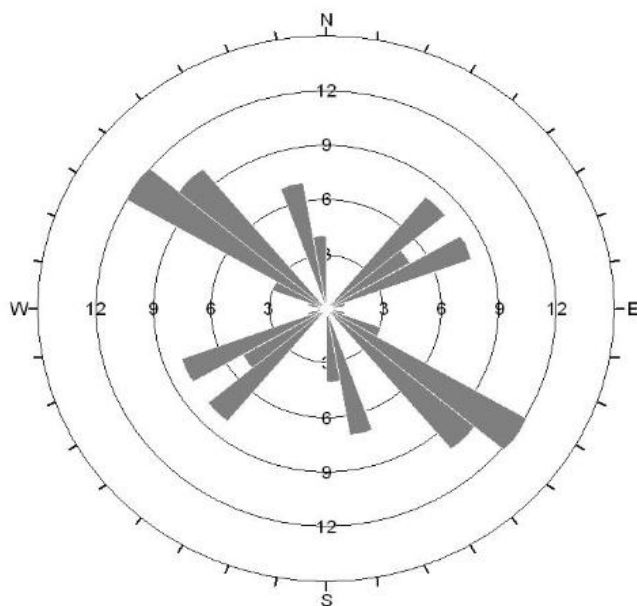
Rezultati mjerenja orijentacije diskontinuiteta uobičajeno se prikazuju standardnim kartografskim simbolima na geološkim i inženjerskogeološkim kartama (tablica 2), zatim pomoću blok dijagrama (slika 5), rozeta dijagrama (slika 6) ili u stereografskoj projekciji (slika 7).

Tablica 2. Prikaz i opis simbola orijentacije diskontinuiteta na karti.

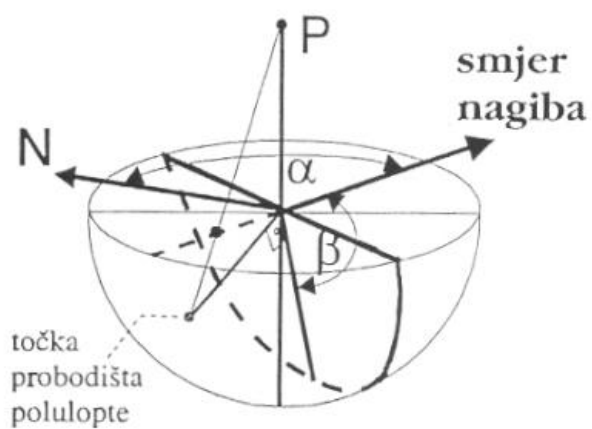
Simbol diskontinuiteta	Definicija
	Simbol predstavlja pukotine s nagibom od 45°, pružanje je predloženo orijentacijom linije, a smjer nagiba crnim pravokutnikom
	Simbol za horizontalni diskontinuitet
	Simbol za vertikalni diskontinuitet pružanja predloženo orijentacijom linije simbola



Slika 5. Prikaz blok dijagrama i orijentacije pomoću istog (preuzeto iz ISRM, 1978).



Slika 6. Prikaz rozeta dijagrama.



P – pol snimanja

Slika 7. Prikaz stereografske projekcije (Mišćević, 2015).

2.2.2 Razmak diskontinuiteta

Razmak diskontinuiteta, najčešće pukotina, se određuje kao udaljenost između ravnina pukotina mjerena okomito na susjedne ravnine (ISRM, 1978). To je udaljenost između dva diskontinuiteta. Udaljenost se mjeri na izdancima na površini terena pomoću mjerne vrpce, a izmjerene vrijednosti je potrebno preračunati s obzirom na nagib podloge. Za svaki set diskontinuiteta potrebno je odrediti minimalni, prosječni i maksimalni razmak. U inženjerstvu se definirani standardni opisi razmaka diskontinuiteta s obzirom na definirane vrijednosti razmaka (tablica 3).



Slika 8. Razmak između diskontinuiteta (fotografija: Filip Marfan).

Tablica 3. Opis razmaka diskontinuiteta s obzirom na raspone vrijednosti razmaka (prema de Vallejo i Ferrer, 2011).

Razmak diskontinuiteta	
Opis	Razmak
Iznimno mali razmak	< 2 cm
Vrlo mali razmak	2 – 6 cm
Mali razmak	6 – 20 cm
Srednji razmak	20 – 60 cm
Veliki razmak	60 – 200 cm
Vrlo veliki razmak	200 – 600 cm
Iznimno veliki razmak	> 600 cm

2.2.3 Postojanost diskontinuiteta

Postojanost diskontinuiteta predstavlja duljinu diskontinuiteta na plohi promatranja (ISRM, 1978). Ona pokazuje koliko je diskontinuitet velik, koliko se proteže, stoga je to jedan od najvažnijih parametara stijenske mase. Postojanost velikih diskontinuiteta nije moguće odrediti na malim izdancima. Setove diskontinuiteta potrebno je opisati na relativnu postojanost, a razlikuju se postojani i nepostojani setovi. Postojani setovi pukotina odvajaju monolite u potpunosti, a nepostojani odvajaju dijelove stijenske mase koji nisu potpuno odvojeni diskontinuitetima.

2.2.4 Hrapavost diskontinuiteta

Hrapavost stjenke služi za procjenu ili proračun posmične čvrstoće i dilatacije. Hrapavost se može okarakterizirati pomoću dva obilježja: valovitosti i neravnina (ISRM, 1978). Valovitosti su izbočenja i uleknuća na površini diskontinuiteta koja uzrokuju

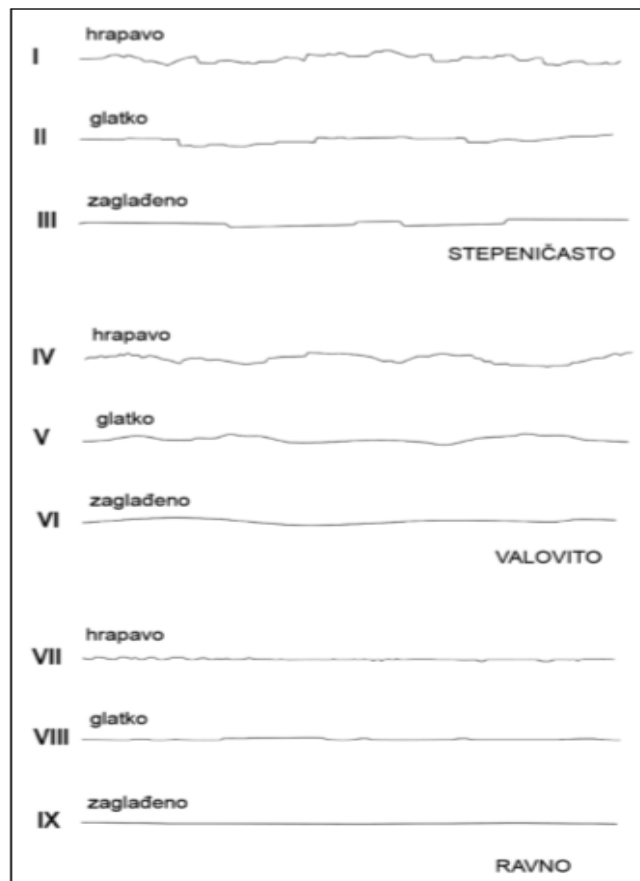
dilataciju tijekom smicanja, pri čemu dolazi do njihova slamanja ako su preveliki. Neravnine su mala izbočenja i uleknuća na površini diskontinuiteta koja imaju tendenciju oštećivanja prilikom smicanja. Valovitost utječe na početni smjer posmičnog pomaka u odnosu na glavnu ravninu diskontinuiteta, a neravnine utječu na posmičnu čvrstoću koja se određuje u laboratoriju ili *in situ* direktnim pokusom smicanja. Ukoliko je vidljiv i poznat smjer potencijalnog klizanja, hrapavost se određuje snimanjem linearnih profila paralelnih tom smjeru.

Promatranjem pukotine može se odrediti tip hrapavosti. Tipovi hrapavosti i njihovi opisi prikazani su u tablici 4. Profil pukotine dijeli se na stepenasti, valoviti i ravninski, pri čemu se oblik površine svakog tipa može opisati kao hrapav, gladak ili sklizak. Tablicom koeficijenta hrapavosti pukotine JRC (eng. joint roughness coefficient), može se iskustveno procijeniti posmični otpor pukotine.

Tablica 4. Podjela hrapavosti s pripadajućim opisima (prema de Vallejo i Ferrer, 2011).

Tip hrapavosti	Opis
Vrlo hrapavo	Na površini diskontinuiteta su prisutne gotovo okomite stepenice i bridovi
Hrapavo	Nekoliko bridova i blažih stepenica, neravnine su jasno izražene, površina diskontinuiteta je na opip vrlo hrapava
Neznatno hrapavo	Vidljive su i opipljive manje neravnine na površini diskontinuiteta
Glatko	Površina diskontinuiteta je na izgled i opip glatka
Sklisko	Vidljivi su tragovi poliranja plohe

Karakteristični profili hrapavosti diskontinuiteta prikazani su na slici 9.



Slika 9. Karakteristični profili hrapavosti diskontinuiteta (ISRM, 1978).

2.2.5 Čvrstoća stijenki diskontinuiteta

Pod pojmom čvrstoća stijenke uobičajeno se podrazumijeva tlačna čvrstoća gradiva koji gradi stijenske pukotina (ISRM, 1978). Tlačna čvrstoća stijenskog materijala koji čini „zidove“ diskontinuiteta značajno utječe na posmičnu čvrstoću i deformabilnost diskontinuiteta, posebno kada je pukotina zatvorena bez ispune. Čvrstoća stijenske pukotine ovisi o materijalu koji gradi stijenske i o stupnju trošenja stijene. Trošenje se odvija od površine prema dubini mase, pa uzorak iz dubine mase ne mora odgovarati onoj sa stijenske.

Tablica 5. Ocjena stupnja trošnosti stijenke diskontinuiteta (modificirano prema Miščević, 2015).

Naziv	Opis	Stupanj
Svježe	Nema vidljivih znakova trošenja	I
Vrlo malo trošno	Promjena boje ukazuje na početak trošenja	II
Srednje trošno	Manje od polovine materijala je potrošen i/ili dezintegrirano u materijal tla	III
Izrazito trošno	Manje od polovine materijala je potrošen i/ili dezintegrirano u materijal tla	IV
Potpuno trošno	Cijeli materijal je potrošen i/ili dizintegriran u materijal tla, a izvorna struktura stijenske mase još je uvijek sačuvana	V
Rezidualni materijal	Cijeli materijal je potrošen i/ili dezintegriran u materijal tla, struktura stijene je uništena, postoji značajna promjena volumena, ali nije došlo do većeg transporta	VI

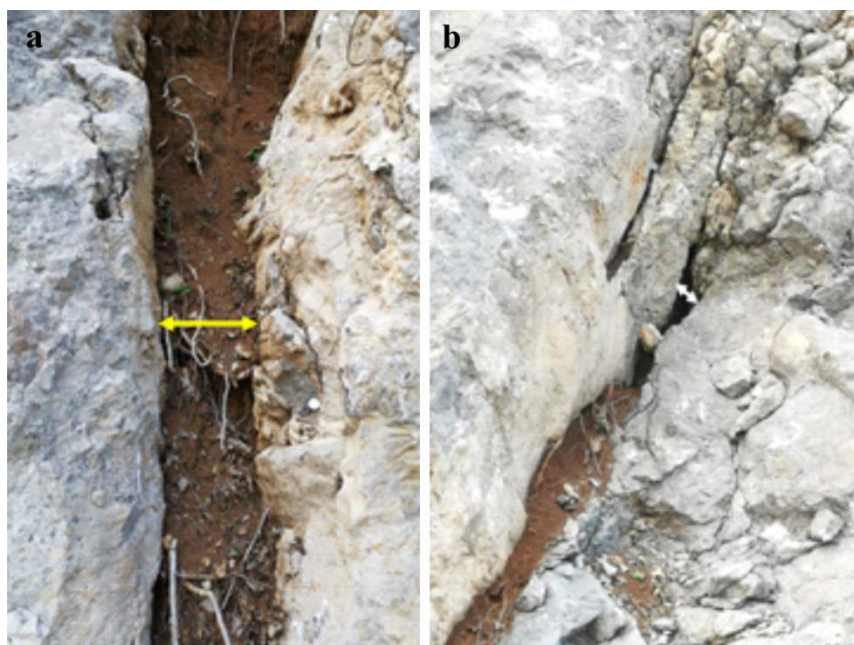
2.2.6 Zijev i širina diskontinuiteta

Zijev diskontinuiteta je razmak između stijenki otvorenog diskontinuiteta, mjereno je okomito na stijenske, s tim da je prostor između stijenki ispunjen zrakom ili vodom (ISRM, 1978). Širina diskontinuiteta je razmak između stijenki ispunjenog diskontinuiteta, mjereno okomito na stijenske. Opisi zijeva diskontinuiteta (ISRM, 1978) na temelju vrijednosti izmjerenih vrijednosti navedeni su u tablici 6.

Tablica 6. Terminologija za opis zija diskontinuiteta (ISRM 1978).

Zijev (mm)	Opis	Tip diskontinuiteta
< 0,1	Vrlo stisnut	Zatvoren
0,1 – 0,25	Stisnut	
0,25 – 0,5	Djelomično uzak	
0,5 – 2,5	Uzak	Poluotvoren
2,5 – 10	Srednje širok	
> 10	Širok	
10 – 100	Vrlo širok	Otvoren
100 – 1000	Ekstremno širok	
> 1000	Kavernozni	

Detalji stijenske mase s prikazom širine i zijeva diskontinuiteta prikazani su na slici 10.



Slika 10. Primjeri širine (a) i zijeva (b) diskontinuiteta u stijenskoj masi (fotografije: Filip Marfan). Primjer na slici a) Prikaz širine diskontinuiteta označen žutom strelicom, slika b) prikaz zijeva bijelom strjelicom (Fotografija: Filip Marfan).

2.2.7 Voda u diskontinuitetima

Procjeđivanje vode koje se nalazi u stijenskoj masi uglavnom su rezultat tečenja po diskontinuitetima, tj. rezultat su sekundarne propusnosti stijenske mase. Procjeđivanje ovisi o različitim faktorima, ovisi o tome da li je pukotina otvorena ili zatvorena, ako je ispunjena ovisi i o vrsti materijala ispune, također ovisi i o tlakovima u stijenskoj masi oko pukotine, otpornosti materijala ispune na unutrašnju erozije, te o tlaku vode. Prema ISRM-u (1978) opisano je stanje procjeđivanja u podzemnom otvoru (tablica 7).

Tablica 7. Opisno stanje procjeđivanja u podzemnom otvoru (ISRM, 1978).

Stupanj procjeđivanja	Opis
I	Zidovi su suhi, nema uočljivog procjeđivanja
II	Neznatno procjeđivanje kroz pojedinačne pukotine
III	Srednji dotok, potrebno je odrediti pukotine kroz koje se uočava kontinuirani dotok
IV	Značajan dotok, potrebno je odrediti pukotine sa izrazitim dotokom
V	Izrazito veliki dotokom, potrebno je odrediti izvor dotoka

2.2.8 Broj setova diskontinuiteta

Mehaničko ponašanje stijenske mase izrazito ovisi o broju i položaju sustava diskontinuiteta. Setovi određuju do koje mjere se stijenska masa može deformirati bez loma u samoj stijeni (Mišćević, 2015). Broj setova i položaj može biti dominantno obilježje prilikom određivanja stabilnosti kosina u stijenama, pri čemu je od primarnog značaja orijentacija diskontinuiteta u odnosu na lice kosine. Diskontinuiteti razdvajaju stijensku masu na setove, te veličina i broj setova opisan je u tablici 8.

Tablica 8. Terminologija za opis broja setova (ISRM, 1978).

Kategorija	Opis
I	Masivna, mjestimice pojedinačni diskontinuiteti
II	Jedan set diskontinuiteta
III	Jedan set diskontinuiteta plus pojedinačni
IV	Dva seta diskontinuiteta
V	Dva seta diskontinuiteta plus pojedinačni
VI	Tri seta diskontinuiteta
VII	Tri set diskontinuiteta plus pojedinačni
VIII	Četiri ili više setova diskontinuiteta
IX	Zdrobljena stijena, nalik na tlo

2.2.9 Veličina blokova

Veličina blokova na koje diskontinuiteti odvajaju stijensku masu iznimno je važan indikator ponašanja stijenske mase. Veličine blokova (tablica 9) definirane su razmakom diskontinuiteta, brojem setova i postojanošću diskontinuiteta koji omeđuju potencijalne blokove. Oblik blokova određen je brojem setova i njihovom orijentacijom, a približno ga se može opisati kao kocka, romboedar, tetraedar, ploča i slično. Pravilni geometrijski oblici su rijetki, te najpravičnije oblike blokova obično daju diskontinuiteti u sedimentnim stijenama. Stijenske mase koje se sastoje od velikih blokova manje su deformabilne, a u podzemnim radovima povoljnije su zbog stvaranja svodova i uklještenja. Veličina blokova može se opisati pomoću prosječne dimenzije karakterističnih blokova, najčešće opisuje prema broju sustava pukotina. Može se opisati volumetrijskim brojem pukotina (J_v) odnosno zbrojem broja pukotina po jednom prostornom metru, svih pukotinskih sustava.

Tablica 9. Opisno stanje veličine blokova određeno volumetrijskim brojem pukotina (ISRM, 1978).

Opis	J_v (broj pukotina / m ³)
Vrlo veliki blokovi	< 1.0
Veliki blokovi	1 – 3
Blokovi srednje veličine	3 – 10
Mali blokovi	10 – 30
Vrlo mali blokovi	> 30

3. OSNOVNE LITOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANE LOKACIJE

Šire područje grada Kastva, kao i predmetna lokacija, izgrađeno je od vapnenačko-dolomitne breče kredne starosti (Šikić i dr., 1967). Na istraživanom području naslage breče tvore izdanke sa slabo izraženom slojevitošću. Detalj izgleda breče s područja grada Kastva prikazan je na slici 11.



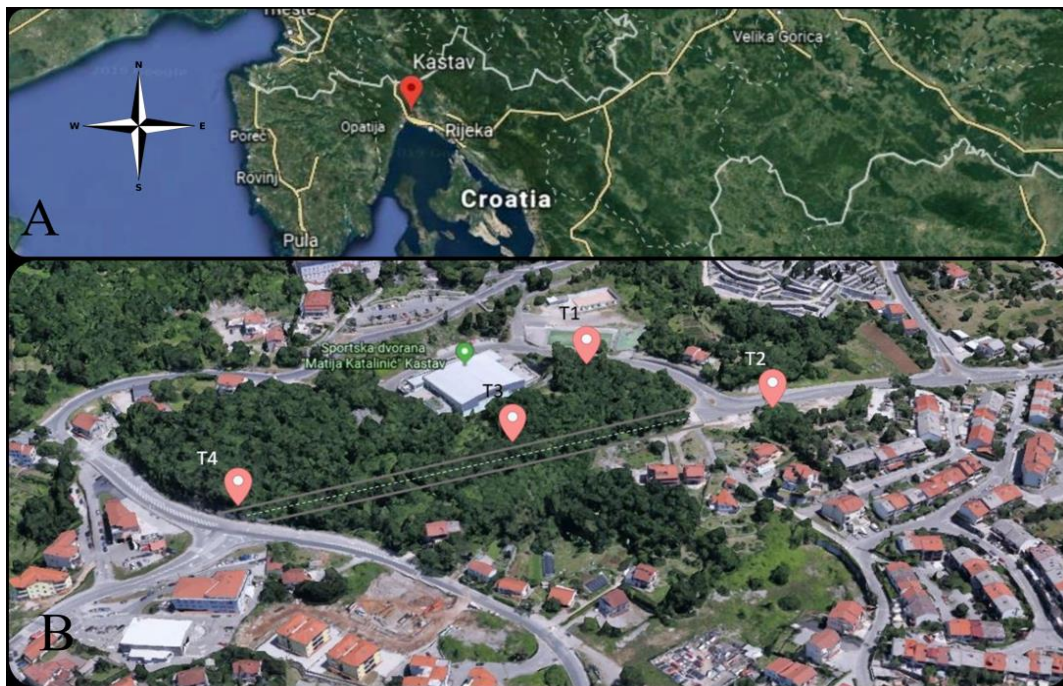
Slika 11. Detalj izgleda vapnenačko-dolomite breče kredne starosti s područja grada Kastva (fotografija: Filip Marfan).

Klasti breče čvrsto su vezani vapnenačko-dolomitnim vezivom, koje mjestimično može biti laporovito. U breči se mogu nalaziti i leće tamnosivih vapnenaca, debljine u rasponu od 30 do 40 cm. Vapnenački ulomci su pretežno kalcilutiti i kalkareniti sa 90,70% do 97,50% udjela kalcijevog karbonata (CaCO_3).

4. INŽENJERSKI OPIS ISTRAŽIVANE STIJENSKE MASE

4.1 Uvod

Provedena je inženjerskogeološka analiza 4 stijenskih pokosa na različitim lokacijama na području grada Kastva. Odabrani pokosi nalaze se između sportske dvorane „Matija Katalinić“ i bočališta (T1), na raskrižju između dva kružna toka na novo izgrađenoj cesti „Rubeši“ (T2), na samoj cesti „Rubeši“ prema kružnom toku (T3) te na kružnom toku također uz cestu „Rubeši“ (T4). Svi pokosi iste su vrste, breče. Pokosi su udaljeni od nogostupa manjim razmakom, 0,5 – 1 metar, te su ograđeni kamenim zidom. U nastavku na slikama prikazane su lokacije istraživanja



Slika 12. (a) Geografski položaj istraživanog područja; (b) prostorna raspodjela istraživačkih lokacija (Izvor: Google Maps).



Slika 13. Prikaz lokacija istraživanja (fotografije: Filip Marfan).

4.2 Istraživačka lokacija T1

Pokos T1 nalazi se na lokaciji između sportske dvorane „Matija Katalinić“ i bočališta. Nalazi se na cesti iznad nogostupa te je ograđen kamenim zidom. Stijenska masa visoka je oko 3.5 metara, a široka je oko 12.5 metara (slika 14). Prosječna orijentacija stijenskog pokosa je 52/73. Stijenska masa je uglavnom masivna duž istraživanog pokosa, koji je pri vrhu prekriven vegetacijom. Prospekcijskim kartiranjem utvrđen je set diskontinuiteta generalne orijentacije 212/72. Stijena je pretežno svježa do neznatno trošna. Razmak između diskontinuiteta u prosjeku je vrlo velik, spada pod klasu razmaka 200 – 600 cm, površina stijenki je zaglađna, te pretežno valovita. Prosječna širina diskontinuiteta je u rasponu je između 0,5 i 2,5 cm. . Ispuna utvrđenih diskontinuiteta je glinovita, a mjestimično je prisutna i vegetacija. Ispuna je mjestimično isprana pa su pojedini diskontinuiteti poluotvoreni. Stijenska masa je tijekom prospekcijskog kartiranja bila suha.



Slika 14. Prosječne dimenzije istraživane stijenskega pokosa na lokaciji T1 (fotografija: Filip Marfan).



Slika 15. Detalj značajki diskontinuiteta na lokaciji T1. Vidljiva je glinovita ispuna, te relativno glatka stijenka diskontinuiteta (Fotografija: Filip Marfan).

4.3 Istraživačka lokacija T2

Stijenska masa nalazi se na novo izgrađenom raskrižju na cesti „Rubeši“, smještena je uz nogostup te je ogradena zaštitnim kamenim zidom. Procijenjena visina stijenskog pokosa je oko 7 metara, a procijenjena širina je oko 12.5 metara (slika 16). Orijentacija stijenskog pokosa je 258/60. Površina pokosa je prekrivena gustom vegetacijom.



Slika 16. Geometrijske značajke stijenskog pokosa na lokaciji T2 (Fotografija: Filip Marfan).

Stijenska masa je masivna, razdijeljena u nekoliko vrlo velikih blokova koji su međusobno odijeljeni diskontinuitetima prosječne orijentacije 78/72. Osim ovog najizraženijeg seta diskontinuiteta (slika 17), utvrđena su još dva seta diskontinuiteta, orijentacije 72/67 te 84/76. Razmak između diskontinuiteta u prosjeku je velik, u prosjeku razmaci između diskontinuiteta iznose ~3.5 metra. Stijenska masa pokrivena je vegetacijom većim dijelom pri vrhovima te su diskontinuiteti ispunjeni glinovitom ispunom iz koje također raste vegetacija. Površina diskontinuiteta je relativno glatka, te valovita. Širina diskontinuiteta je vrlo široka, u prosjeku širine diskontinuiteta su ~20 cm. Vode i mjesta procjeđivanja nema.. U podnožju pokosa, iza kamenog zida izgrađenog uz nogostup, utvrđeni su pojedinačni manji stijenski blokovi koji ukazuju na procese odronjavanja stijene, odnosno na njezino fizičko trošenje.



Slika 17. Detalj izgleda diskontinuiteta na lokaciji T2. Diskontinuitet je ispunjen debelom glinovitom ispunom. Vidljiva je glatka površina stijenske diskontinuiteta (Fotografija: Filip Marfan).

4.4 Istraživačka lokacija T3

Stijenska masa nalazi se na novo izgrađenoj cesti „Rubeši“ između lokacije T2 i kružnog toka. Smještena je uz nogostup i ograđena zaštitnim kamenim zidom. Generalna orijentacija stijenskog pokosa je 145/74. Visina stijenske mase na najvišoj točki iznosi ~4 metra, a širina iznosi ~12 metara (slika 18).

Stijenska masa je pretežno blokovita, s relativno velikim blokovima koji su međusobno odijeljeni diskontinuitetima prosječne orijentacije 286/83. Lijevi dio stijenskog pokosa je masivan. Razmak između diskontinuiteta u prosjeku je vrlo velik, u prosjeku razmaci između diskontinuiteta su ~2.5 metra. Stijenska masa pokrivena je vegetacijom većim dijelom pri vrhovima te su diskontinuiteti ispunjeni glinovitom ispunom iz koje na određenim mjestima raste vegetacija. Površina diskontinuiteta je glatka, promatranjem je utvrđena stepeničasta hrapavost. Širina diskontinuiteta je kategorizirana kao vrlo široka, u prosjeku širina diskontinuiteta je ~15-20 cm. Vode i mjesta procjeđivanja nema te se

stijenska masa može kategorizirati pod broj I u opisnom stanju procjeđivanja. Diskontinuitet je ispunjen debelom glinovitom ispunom vidljivo na slici 19. U podnožju pokosa, iza kamenog zida izgrađenog uz nogostup, utvrđeni su pojedinačni manji stijenski blokovi koji ukazuju na procese odronjavanja stijene, odnosno na njezino fizičko trošenje.



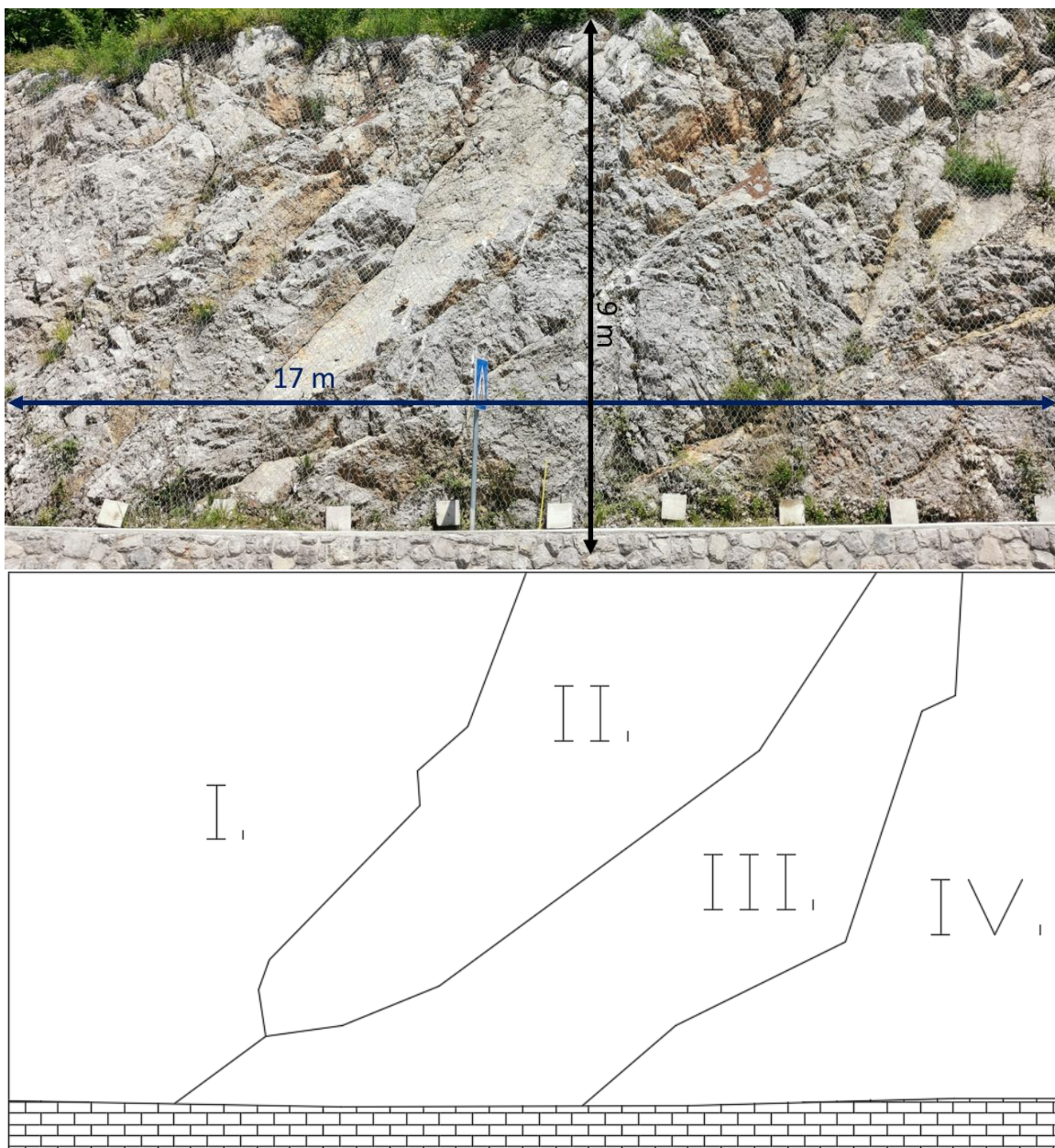
Slika 18. Stijenski pokos na lokaciji T3 (Fotografija: Filip Marfan).



Slika 19. Detalji ispune i hrapavosti diskontinuiteta (Fotografija: Filip Marfan).

4.5 Istraživačka lokacija T4

Na lokaciji T4 su duž pružanja pokosa izdvojene četiri inženjerskogeološke zone. Stijenska masa nalazi se uz nogostup, od kojeg je odijeljena kamenim zidom, te je zaštićena zaštitnom mrežom. Visina stijenske mase je oko 9 metara, a širina promatranog pokosa je oko 17 metara (slika 20).



Slika 20. Fotografija stijenskog pokosa na lokaciji T4 sa skicom izdvojenih inženjerskogeoloških zona (Fotografija: Filip Marfan).

4.5.1 Inženjerskogeološka zona I

Stijenska masa u inženjerskogeološkoj zoni I ima generalnu orijentaciju 189/64. Stijenska masa je vrlo blokovita. Čine ju manji, nepravilni, koji postaju nešto veći prema vrhu stijenskog pokosa. Izostaju jasno izraženi setovi diskontinuiteta. Stijenska masa pokrivena je vegetacijom većim dijelom pri vrhovima te na određenim mjestima iz stijenske mase raste vegetacija. Blokovi su uglavnom decimetarske veličine. Površine diskontinuiteta su pretežno hrapave, Uočljiva je glinovita ispuna. Vode i mjesta procjeđivanja nema te se stijenska masa može kategorizirati pod broj I u opisnom stanju procjeđivanja. Duž površine pokosa utvrđeni su pojedinačni manji olabavljeni blokovi. U podnožju pokosa, iza kamenog zida izgrađenog uz nogostup, utvrđeni su pojedinačni manji stijenski blokovi koji ukazuju na procese odronjavanja stijene, odnosno na njezino fizičko trošenje.

4.5.2 Inženjerskogeološka zona II

Inženjerskogeološka zona I i inženjerskogeološka zona II međusobno su odvojene izraženim, glatkim i zaravnjenim diskontinuitetom orijentacije 225/41. Stijenska masa u IG zoni II je vrlo blokovita, s blokovima decimetarskih veličina. Blokovi su pretežno odvojeni diskontinuitetima milimetarskih zijevova, iz kojih je isprana glinovita ispuna. Pri vrhu pokosa blokovi su odijeljeni diskontinuitetima ispunjenim glinovitom ispunom. Vode i mjesta procjeđivanja nema te se stijenska masa može kategorizirati pod broj I u opisnom stanju procjeđivanja. U podnožju pokosa, iza kamenog zida izgrađenog uz nogostup, utvrđeni su pojedinačni manji stijenski blokovi koji ukazuju na procese odronjavanja stijene, odnosno na njezino fizičko trošenje. Također je utvrđen manji odronjeni blok zaustavljen zaštitnom mrežom protiv odrona (slika 21). Na slici 21 se također može uočiti zijev diskontinuiteta 225/41 koji razdvaja IG zone I i II, duž kojega potencijalno može doći do ravninskog sloma dijela stijenske mase u IG zoni I.



Slika 21. Prikaz detalja zijeva te hrapavosti površine diskontinuiteta 225/41. Ustanovljen je manji odronjeni blok. (Fotografija: Filip Marfan).

4.5.3 Inženjerskogeološka zona III

Stijenska masa u zoni III je pretežno masvina u donjem dijelu pokosa, a prema vrhu postaje blokovita. Stijenska masa pokrivena je vegetacijom većim dijelom pri vrhovima te na određenim mjestima iz stijenske mase raste vegetacija. Generalna orijentacija stijenske mase je 162/74. Vode i mjesta procjeđivanja nema te se stijenska masa može kategorizirati pod broj I u opisnom stanju procjeđivanja. Vidljivo je par pojedinačnih manjih diskontinuiteta te stijenska masa spada u kategoriju I. Pri vrhu su vidljivi znakovi trošenja, a u podnožju pokosa, iza kamenog zida izgrađenog uz nogostup, utvrđeni su pojedinačni manji stijenski blokovi koji ukazuju na procese odronjavanja stijene.

4.5.4 Inženjerskogeološka zona IV

Stijenska masa u zoni IV je blokovita do vrlo blokovita, s centimetarskim i decimetarskim blokovima. Stijenska masa ima orijentaciju 184/78. Stijenska masa pokrivena je vegetacijom većim dijelom pri vrhovima te na određenim mjestima iz stijenske mase raste vegetacija. Vode i mjesta procjeđivanja nema te se stijenska masa

može kategorizirati pod broj I u opisnom stanju procjeđivanja. Vidljivo je par pojedinačnih manjih diskontinuiteta te stijenska masa spada u kategoriju I. Pri vrhu su vidljivi znakovi trošenja, a u podnožju pokosa, iza kamenog zida izgrađenog uz nogostup, utvrđeni su pojedinačni manji stijenski blokovi koji ukazuju na procese odronjavanja stijene.



Slika 22. Detalj mjesta mogućeg trošenja (Fotografija: Filip Marfan).

5. ZAKLJUČAK

Stijensku masu na predmetnim lokacijama izgrađuje vapnenačko-dolomitna breča kredne starosti. Sve istraživane lokacije nalaze se neposredno uz nogostup i prometnicu te svojim značajkama mogu utjecati na njezinu sigurnost. Upravo iz tih razloga provedeno je istraživanje i opis stijenskih masa na odabranim lokacijama u gradu Kastvu. Na svakoj od lokacija provedena je inženjerska prospekcija stijenskih masa.

. Stijenska masa na lokacijama T1, T2 i T3 je pretežno masivna do blokovita, s relativno velikim blokovima koji svojom orijentacijom ne ugrožavaju stanje stabilnosti. Iako na tim lokacijama postoje pojedinačni manji blokovi utvrđeni pri vrhovima pokosa, prisutna vegetacija na svim lokacijama može povoljno utjecati na njihovu stabilnost. S druge strane, stijenska masa na lokaciji T4 je znatno više razlomljena te su prisutni manji blokovi, pretežno decimetarskih dimenzija, do čijeg ispadanja može doći zbog višeg

stupnja trošnosti stijene, odnosno zbog ispiranja glinovite ispune iz diskontinuiteta kojima su odvojeni. U prilog tome su i odronjeni pojedinačni blokovi utvrđeni u podnožju pokosa, iza kamenog zida uz nogostup. Najnepovoljniji uvjeti na svim istraživanim lokacijama su na području između inženjerskogeološke zone I i inženjerskogeološke zone II, zbog relativno nepovoljne orijentacije diskontinuiteta 225/41 te značajki njegove površine, duž koje može doći do pojave ravninskog sloma dijela stijenske mase u inženjerskogeološkoj zoni I.

Inženjerski opis stijenske mase važan je dio projektiranja zaštite stijenskih pokosa, i takav postupak provodi se s ciljem klasifikacije stijenske mase, koje su u pravilu prilagođene procjeni određenih mehaničkih svojstava te omogućavaju predviđanje njezinog ponašanja.

6. LITERATURA

Dugonjić Jovančević S. (2016./17.): Inženjerska mehanika stijena (skripta), Građevinski fakultet u Rijeci, 210 pp.

Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M. (2011): Geological Engineering. Taylor and Francis Group, London, UK.

ISRM, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test, (1978): ISRM Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 15, No. 6, 320 – 363

Miščević P. (2015.): Inženjerska mehanika stijena, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 1 – 6, 9 – 31, 46 – 71

Vrkljan I. (2013.): Inženjerska mehanika stijena, Građevinski fakultet u Rijeci

Šikić D., Pleničar M. (1975.): Osnovna geološka karta 1 : 100 000, Tumač za list Ilirska Bistrica, Beograd, 15 pp.

Google maps,

<https://www.google.com/maps/place/Kastav/@45.3744902,14.336609,14z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x4764a60af9f92e03:0xebf4091255fc80a8!8m2!3d45.3715797!4d14.3504236>