

Inženjerskogeološko istraživanje stijenske mase na pokosu županijske ceste ŽC 6055 (dionica Oklaj-Kistanje)

Martinko, Mariana

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:608623>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE STIJENSKE MASE NA
POKOSU ŽUPANIJSKE CESTE ŽC 6055 (DIONICA OKLAJ-KISTANJE)**

Diplomski rad

Mariana Martinko

GI 230

Zagreb, 2017

**INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE STIJENSKE MASE NA POKOSU ŽUPANIJSKE
CESTE ŽC 6055 (DIONICA OKLAJ-KISTANJE)**
MARIANA MARTINKO

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Zadatak diplomskog rada je određivanje kvalitete stijenske mase i zona podložnosti s obzirom na nestabilnost kosina na pokosu zasjeka i prirodnom pokosu stijenske mase uz županijsku cestu ŽC 6055 (dionica Oklaj-Kistanje), kraj jezera Brljan u Šibensko-kninskoj županiji. Na temelju inženjerskogeološkog kartiranja stijenske mase, odnosno na temelju homogenosti litoloških i strukturnih značajki te promjene orijentacije osi ceste i pokosa zasjeka, istraživani pokos zasjeka i prirodni pokos su podijeljeni na 6 inženjerskogeoloških zona. Zbog različitih morfoloških uvjeta, odnosno zbog različitih kutova nagiba pokosa zasjeka i prirodnog pokosa stijenske mase, svaka zona je dodatno podijeljena na dvije podzone. Unutar svake zone identificirani su i opisani setovi diskontinuiteta. Na temelju prikupljenih podataka određene su RMR klasifikacija i GSI kategorizacija stijenske mase. Kvaliteta stijenske mase s obzirom na RMR klasifikaciju je slaba do povoljna, a prema GSI kategorizaciji raspadnuta do blokovita. Za sve zone su provedene i kinematičke analize stabilnosti. Kinematičkim analizama stabilnosti određeni su potencijalni tipovi sloma unutar stijenske mase (planarni ili klinasti slom, prevrtanje i prevrtanje savijanjem) za svaku inženjerskogeološku zonu. Na temelju rezultata analiza stabilnosti za svaku zonu je određena podložnost stijenske mase s obzirom na nestabilnost.

Ključne riječi: RMR, GSI, kinematička analiza stabilnosti, planarni slom, klinasti slom, prevrtanje blokova, prevrtanje savijanjem, karta podložnosti

Diplomski rad sadrži: 68 str., 14 tablica, 36 slika, 34 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Martin Krkač, docent RGNF
Pomoć pri izradi: Marin Sečanj, mag. ing. geol., asistent RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Martin Krkač, docent RGNF
Dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Željko Arbanas, redoviti profesor, GF UniRi

Datum obrane: 01. rujna 2017

Engineering geological investigation of rock mass on county road ŽC 6055 (Oklaj-Kistanje)
MARIANA MARTINKO

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Engineering Geology
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

The aim of this thesis was the determination of the rock mass quality and susceptibility zones related to the instability of a rock mass outcrop on the ŽC 6055 county road (Oklaj-Kistanje) near Lake Brljan, in Šibensko-kninska County. Based on the engineering geology mapping of the rock mass outcrop, i.e. on the homogeneity of its lithological and structural features and orientation change of the road and cut, the rock mass was divided into 6 engineering geological zones. Because of the different dip and dip directions of the cut and natural slope of the rock mass, each zone was additionally divided into two subzones. Discontinuity sets were determined and categorized for each zone, based on which RMR and GSI classifications were carried out. RMR classification defines the rock mass as poor to fair, while GSI defines the rock mass as disintegrated to very blocky. Graphic analyses were implemented for each zone and potential types of instability were determined (planar failure, wedge failure, direct toppling and flexural toppling). The susceptibility of rock mass was defined for each zone based on the results of the graphic analysis.

Key words: RMR, GSI, graphic stability analysis, plane failure, wedge failure, direct toppling, flexural toppling, susceptibility map

Thesis contains: 68 pages, 14 tables, 36 figures and 34 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of faculty of mining, geology and petroleum engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Martin Krkač, Assistant Professor

Technical support and assistance: MEng Marin Sečanj, Assistant

Reviewers: PhD Martin Krkač, Assistant Professor
PhD Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor
PhD Željko Arbanas, Full Professor

Date of defense: September 1, 2017

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	2
2.1. Geografski položaj i geomorfološke značajke.....	2
2.2. Geološka građa	4
2.3. Seizmičke značajke šireg područja	7
2.4. Hidrološke i hidrogeološke značajke	9
3. METODE INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA	11
3.1.1. Jednoosna tlačna čvrstoća (σ_c)	14
3.1.2. Indeks kvalitete jezgre.....	15
3.1.3. Razmak diskontinuiteta	18
3.1.4. Stanje diskontinuiteta	18
3.1.5. Orijentacija diskontinuiteta	19
3.1.6. Stanje podzemne vode.....	19
3.2. Geološki indeks čvrstoće	19
3.3. Kinematička analiza stabilnosti	22
4. REZULTATI INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA.....	30
4.1. Inženjerskogeološka zona I.....	31
4.1.1. Klasifikacija stijenske mase	32
4.1.2. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu I.....	33
4.2. Inženjerskogeološka zona II	36
4.2.1. Klasifikacija stijenske mase	36

4.2.2.	Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu II	38
4.3.	Inženjerskogeološka zona III	41
4.3.1.	Klasifikacija stijenske mase	41
4.3.2.	Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu III.....	42
4.4.	Inženjerskogeološka zona IV	46
4.4.1.	Klasifikacija stijenske mase	46
4.4.2.	Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu IV.....	48
4.5.	Inženjerskogeološka zona V	50
4.5.1.	Klasifikacija stijenske mase	51
4.5.2.	Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu V	52
4.6.	Inženjerskogeološka zona VI.....	55
4.6.1.	Klasifikacija stijenske mase	55
4.6.2.	Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu VI.....	57
4.7.	Karta podložnosti stijenske mase na nestabilnosti.....	60
5.	DISKUSIJA.....	61
6.	ZAKLJUČAK	63
7.	POPIS LITERATURE	65

Popis slika:

- Slika 2.1. Geografski položaj istraživanog pokosa (pokos je označen crnom bojom, dok je istraživana dionica pokosa označena crvenom bojom) prikazan na ortofoto karti (preuzeto s www.maps.google.com)..... 3
- Slika 2.2. Isječak iz Osnovne geološke karte SFRJ, M 1:100.000 – listovi Knin, Drniš, Oborovo i Šibenik (istraživani pokos prikazan je ljubičastom linijom) (modificirano prema Grimani i dr., 1972, Ivanović i dr., 1972, Ivanović i dr., 1967, Mamužić i dr., 1965)..... 5
- Slika 2.3. Vapnenački konglomerati na istraživanoj dionici pokosa zasjeka na županijskoj cesti ŽC 6055..... 6
- Slika 2.4. Shematski prikaz seizmičnosti Hrvatske (Herak, 1996., preuzeto s <http://www.gfz.hr/seismap.php>). Žutom točkom je označeno područje istraživanja 7
- Slika 2.5. Isječak iz Karte potresnih područja Republike Hrvatske za povratno razdoblje $T_p=95$ godina (a) i povratno razdoblje $T_p=475$ godina (b) (Herak 2011, preuzeto s <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>)..... 9
- Slika 3.1. Laboratorijsko ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće na intaktnom uzorku stijene a) prije sloma b) poslije sloma (modificirano prema https://www.researchgate.net/publication/281401817_Prediction_of_Uniaxial_Compressive_Strength_from_well_log_data_in_Jh) 14
- Slika 3.2. Graf koji povezuje visinu odskoka, gustoću stijenske mase i jednoosnu tlačnu čvrstoću (modificirano prema <http://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/barton-bandis-parameters-01/>)..... 15
- Slika 3.3. Procedura za mjerenje i izračun RQD-a, pri čemu je L ukupna duljina jezgre, a l dijelovi jezgre veći od 10 cm (modificirano prema Deree i dr., 1967) 16
- Slika 3.4. Shematski prikaz parametara koji opisuju diskontinuitete u stijenskoj masi (modificirano prema Vallejo i Ferrer, 2011) 18
- Slika 3.5. Sustav GSI klasifikacije (modificirano prema Sonmez i Ulusay 2002)..... 21

Slika 3.6. Glavni tipovi sloma stijenske mase i njihove stereografske projekcije: a) planarni slom nastao pukotinama paralelnim s pokosom zasjeka/prirodnim pokosom u stijenskoj masi; b) klinasti slom nastao presijecanjem dvaju diskontinuiteta; c) prevrtanje u stijenskoj masi uzrovano pružanjem diskontinuiteta koji je paralelan (+/- 10°) kosini ali suprotnog nagiba (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005).....	22
Slika 3.7. Shematski presjek koji prikazuje položaj klizne plohe nastale planarnim slomom (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005) (a) i shematski prikaz stereografske projekcije planarnog sloma (b) (modificirano prema http://www.dipanalyst.com/Kinematic%20Analysis/Kinematic%20Analysis.html).....	23
Slika 3.8. Stereografska projekcija za planarni slom (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Planar_Sliding.htm).....	24
Slika 3.9. Geometrijski uvjeti potrebni za nastanak klinastog sloma: a) shematski prikaz klinastog sloma u stijenskoj masi, b) stereografski prikaz dvaju setova diskontinuiteta koji tvore klinasti slom; c) shematski presjek koji prikazuje položaj klizne plohe nastale klinastim slomom (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005).....	25
Slika 3.10. Stereografska projekcija za klinasti slom (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Wedge_Sliding.htm).....	26
Slika 3.11. Shematski prikaz prevrtanja: a) prevrtanje nastalo kombinacijom dvaju približno okomitih setova diskontinuiteta i b) prevrtanje savijanjem nastalo jednom setom diskontinuiteta (b) (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005).....	27
Slika 3.12. Stereografska projekcija za prevrtanje (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Direct_Toppling.htm).....	28
Slika 3.13. Stereografska projekcija za prevrtanje savijanjem (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Flexural_Toppling.htm).....	29
Slika 4.1. Dionica županijske ceste ŽC 6055 (Okalj-Kistanje) podijeljena na inženjerskogeološke zone. Zone A obuhvaćaju pokos zasjeka stijenske mase, dok zone B obuhvaćaju prirodni pokos stijenske mase	31
Slika 4.2. Pogled na inženjerskogeološku zonu I (preuzeto s www.maps.google.com)	32

Slika 4.3. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IA	34
Slika 4.4. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IB	35
Slika 4.5. Pogled na inženjerskogeološku zonu II (preuzeto s www.maps.google.com)....	37
Slika 4.6. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IIA.....	39
Slika 4.7. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IIB	40
Slika 4.8. Pogled na inženjerskogeološku zonu III (preuzeto s www.maps.google.com)...	42
Slika 4.9. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IIIA.....	44
Slika 4.10. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu IIIB ...	45
Slika 4.11. Pogled na inženjerskogeološku zonu IV (preuzeto s www.maps.google.com ..	47
Slika 4.12. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IVA	49
Slika 4.13. Pogled na inženjerskogeološku zonu V (preuzeto s www.maps.google.com ...)	51
Slika 4.14. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu VA.....	53
Slika 4.15. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu VB	54
Slika 4.16. Pogled na inženjerskogeološku zonu VI (preuzeto s www.maps.google.com)	56
Slika 4.17. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu VIA...)	58
Slika 4.18. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu VIB.....	59

Popis tablica:

Tablica 3-1. Sustav bodovanja za RMR klasifikaciju (modificirano prema Bieniawski, 1989).....	13
Tablica 3-2. Odnos između RQD-a i kvalitete stijenske mase (preuzeto iz Mišćević, 2004)	17

Tablica 4-1. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone IA.....	32
Tablica 4-2. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IA	33
Tablica 4-3. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone IIA	36
Tablica 4-4. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IIA	37
Tablica 4-5. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone IIIA.....	41
Tablica 4-6. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IIIA.....	42
Tablica 4-7. Značajke setova diskontinuiteta za inženjerskogeološku zonu IVA.....	46
Tablica 4-8. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IVA.....	47
Tablica 4-9. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone VA.....	50
Tablica 4-10. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu VA.....	51
Tablica 4-11. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone VIA.....	55
Tablica 4-12. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu VIA.....	56

Popis priloga :

- Prilog 1. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IA
- Prilog 2. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IIA
- Prilog 3. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IIIA
- Prilog 4. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IVA i VA
- Prilog 5. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu VIA
- Prilog 6. Karta podložnosti stijenske mase na nestabilnosti u mjerilu 1:500

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I ODGOVARAJUĆIH SI JEDINICA

VELIČINA	OZNAKA	JEDINICA
Poredbeno maksimalno ubrzanje u tlu tipa A	a_{gR}	m/s^2
Faktor važnosti građevine	γ_I	
Jednoosna tlačna čvrstoća	σ_c	N/m^2
Indeks kvalitete jezgre	RQD	%
Sila	F	N
Poprečni presjek	A	m^2
Volumetrijski broj pukotina	J_v	m^3
Razmak između diskontinuiteta	S	m
Dužina	L/l	m
Hrapavost stijenki diskontinuiteta	R_r	
Ispuna stijenki diskontinuiteta	R_f	
Hrapavost stijenki diskontinuiteta	R_w	
Pravac pružanja pokosa zasjeka/ prirodnog pokosa	α_f	
Smjer pomaka stijenske mase	α_s	
Smjer pomaka blokova	α_t	
Pravac pružanja presječnosti dviju ravnina	α_i	
Kut nagiba kosine	ψ_f	°
Kut nagiba klizne plohe	ψ_p	°
Kut unutarnjeg trenja	Φ	°

1. UVOD

Lokalne i globalne nestabilnosti česta su pojava na prirodnim i umjetnim pokosima stijenske mase, a nastaju kao posljedica nepovoljnih svojstava stijenske mase, erozije i trošenja, intenzivnih oborina te antropogenog utjecaja. Kako bi se analiziralo ponašanje stijenske mase i predvidjeli mogući slomovi, potrebno je poznavati značajke stijenske mase. Značajke stijenske mase posljedica su značajki intaktne stijene, odnosno jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene, ali i značajki diskontinuiteta, odnosno njihovih svojstava kao što su hrapavost, trošnost, ispuna, zijev, razmak, postojanost, orijentacija te procjeđivanje vode. Osim samih svojstava diskontinuiteta, na kvalitetu stijenske mase utječe i broj setova diskontinuiteta, koji definira stupanj razlomljenosti, veličinu i oblik blokova te trošnost stijenske mase.

Cilj ovog diplomskog rada je određivanje zona podložnosti s obzirom na nestabilnost stijenske mase na dionici županijske ceste ŽC 6055, dionica Oklaj-Kistanje. Istraživana dionica se nalazi kraj jezera Brljan, u Nacionalnom parku Krka, u Šibensko-kninskoj županiji. Duž istraživane dionice prometnice nalazi se pokos zasjeka i prirodni pokos stijenske mase, čija je stabilnost ugrožena zbog mogućih planarnih i klinastih slomova, prevrtanja te prevrtanja savijanjem.

Inženjerskogeološka istraživanja nestabilnosti na umjetnom pokosu zasjeka i prirodnom pokosu dijela dionice županijske ceste ŽC 6055 sastojala su se od kabinetskog i terenskog prikupljanja podataka, njihove obrade i interpretacija. Kabinetski rad se sastojao od proučavanja postojeće literature, izrade podloga i provedbe analiza, a terenski rad od inženjerskogeološkog kartiranja stijenske mase. Na temelju provedenog kartiranja, zasjeci i pokosi istraživane dionice prometnice podijeljeni su na inženjerskogeološke zone. Zone su podijeljene na temelju homogenosti, litoloških i strukturno-geoloških značajki te orijentacije prometnice i pokosa zasjeka stijenske mase. Unutar svake zone identificirani su dominantni setovi diskontinuiteta, određena je njihova orijentacija te su opisane značajke diskontinuiteta i intaktne stijenske mase. Na temelju navedenih podataka prikupljenih terenskim inženjerskogeološkim istraživanjem provedena je RMR klasifikacija (eng. *Rock Mass Rating*) i GSI kategorizacija (eng. *Geological Strength Index*) stijenske mase. Na temelju podataka o orijentaciji diskontinuiteta provedene su i kinematičke analize stabilnosti. Kinematičkim analizama stabilnosti određene su vrste potencijalnih slomova

unutar stijenske mase te stupanj podložnost stijenske mase s obzirom pojavu različitih vrsta slomova unutar svake pojedine zone. Krajnji rezultat istraživanja je Karta podložnosti stijenske mase s obzirom na nestabilnost kosina u mjerilu 1:500.

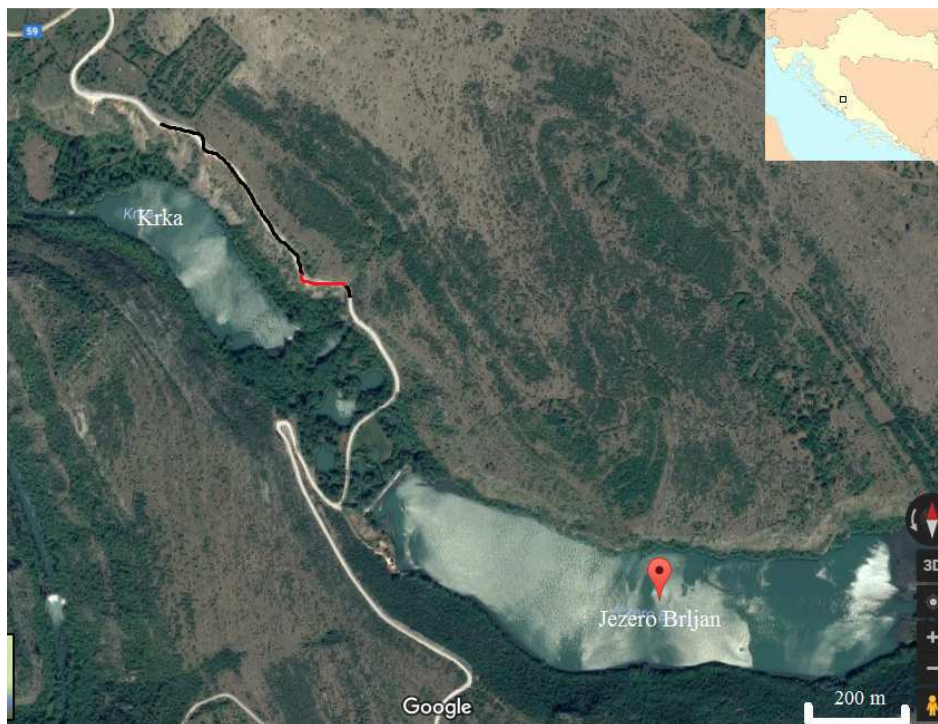
2. PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Prirodne značajke istraživanog područja obuhvaćaju geografski položaj, geomorfološke značajke istraživanog područja, geološku građu, seizmičke značajke šireg područja te hidrološke i hidrogeološke uvjete. Navedene značajke su bitne za određivanje inženjerskogeoloških uvjeta.

2.1. Geografski položaj i geomorfološke značajke

Istraživana stijenska masa, koja se sastoji od pokosa zasjeka i prirodnog pokosa se nalazi na županijskoj cesti ŽC 6055 (Okalj-Kistanje), 7 km sjeveroistočno od mjesta Kistanje, u Nacionalnom parku Krka. Ukupna duljina pokosa zasjeka iznosi 900 m, a istraživana dionica pokosa zasjeka iznosi 120 m. Pokos zasjeka je udaljen od rijeke Krke 80 m zračne udaljenosti, a od jezera Brljan 500 m zračne udaljenosti (slika 2.1).

S obzirom na morfološke i litološke karakteristike, istraživani teren ima značajke krša. Prema Grimani i dr., (1975) u ovom području česta je pojava vrtača u nizu duž rasjeda i pukotina. Također, pojavljuju se brojni ponori i pećine malih dimenzija, dok se na površini vapnenaca javljaju škrape. Od vegetacije prevladava trava i nisko raslinje.



Slika 2.1. Geografski položaj istraživanog pokosa (pokos je označen crnom bojom, dok je istraživana dionica pokosa označena crvenom bojom) prikazan na ortofoto karti (preuzeto s www.maps.google.com)

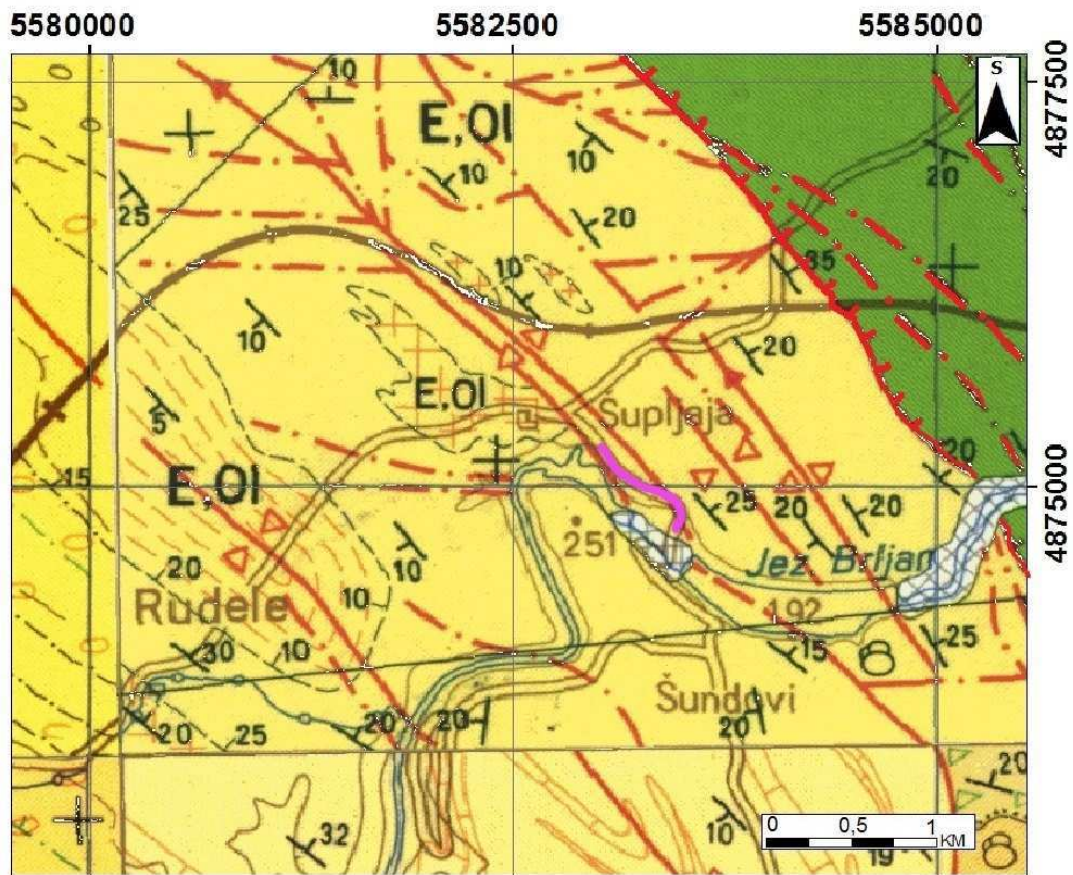
Prema Arbanas i dr. (2015), orijentacija padine na kojoj se nalazi pokos zasjeka i prirodni pokos je sjeverozapad-jugoistok te je nagnuta prema jugozapadu. Nadmorska visina na početku padine iznosi 250 m n.m., a na kraju padine 195 m n.m. Visina umjetnog pokosa zasjeka iznosi od 5 do 20 m, a visina prirodnog pokosa iznosi od 6 do 63 m te se postupno povećava u smjeru jugoistoka. Kutovi nagiba pokosa zasjeka variraju od 60° do 90° , dok kutovi nagiba prirodnog pokosa variraju od 30° do 60° . Iznad prirodnog pokosa nalazi se visoravan, obrasla travom i niskim raslinjem te s čestim izdancima stijena. Nagib padine ispod istraživanja prometnice varira od 30° do 60° te se na njoj mjestimice nalazi sipar. Od aktivnih geomorfoloških procesa zastupljene su lokalne nestabilnosti stijenske mase, odnosno planarni i klinasti slomovi te prevrtanje i prevrtanje savijanjem.

Dio pokosa zasjeka na kojem je provedeno detaljno inženjerskogeološko kartiranje, inženjerskogeološka klasifikacija i kategorizacija stijenske mase za potrebe ovog diplomskog rada započinje na stacionaži 0+620 m od početka pokosa zasjeka na sjeverozapadu i završava na stacionaži 0+740 m. Visina pokos zasjeka na toj dionici iznosi od 9 do 20 m, s nagibima od 80° do 90° . Ukupna visina prirodnog pokosa iznad pokosa zasjeka iznosi oko 33 m, a kutovi nagiba prirodnog pokosa variraju od 40° do 55° .

2.2. Geološka građa

Prema Osnovnoj geološkoj karti SFRJ M 1:100.000 – list Knin (Grimani i dr., 1972) i pripadajućem tumaču lista Knin (Grimani i dr., 1975), šire područje istraživanja izgrađeno je od naslaga kredne ($K_2^{1,2}$), paleogenske (2E_2 , E,OI) i kvartarne starosti (Q) (slika 2.2). Sjeveroistočno od istraživanog područja, prema Grimani i dr. (1975), nalaze se naslage gornje kredne starosti (cenoman-turon) koje su predstavljene sivim i bijelim gromadastim vapnencima, svijetlosmeđim tanko uslojenim vapnencima, sivim brečolikim vapnencima te smeđim pločastim i laminiranim vapnencima. Prema sedimentološkim analizama (Grimani i dr., 1975), prije navedene naslage predstavljaju izmjenu biokalkarenita i biokalcilitita, a vezivo je sitnozrnasti organski detritus ili mikrokristalasti kalcit. Starost naslaga određena je na temelju superpozicije i fosilnog sadržaja. Prema geološkom stupu prikazanom na listu Knin (Grimani i dr., 1972) debljina krednih naslaga iznosi otprilike 750 metara.

Paleogenske naslage, u rasjednom kontaktu sa starijim krednim naslagama, zastupljene su s vapnenačkim konglomeratima, lećama vapnenca uloženim u konglomerat i vapnenačkim laporima s ulošcima sitnozrnastog lapora (Grimani i dr., 1975). Ove naslage se još nazivaju i prominske naslage. Ukupna debljina prominskih naslaga, prema geološkom stupu prikazanom na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ M 1:100.000 – list Knin (Grimani i dr., 1972) iznosi oko 80 m. Terenskim inženjerskogeološkim kartiranjem, provedenim u studenom 2016. godine, utvrđeno je da stijensku masu istraživanog pokosa zasjeka stijenske mase čine vapnenački konglomerati (slika 2.3). Tekstura stijenske mase je homogena, s prosječnom veličinom valutica od oko 5 cm. Boja konglomerata je sivosmeđe boje, dok je matriks sive boje. Prema Grimani i dr. (1975), matriks čini mikrokristalasti kalcit ili kalkarenit. Duž istraživane dionice pokosa zasjeka stupanj trošnosti varira od umjerene do jako trošne stijenske mase. Umjereno trošni dijelovi stijenske mase su sivosmeđe boje, a jako trošni dijelovi su narančasto žuto boje.



Tumač oznaka:

 sedra	 vapneni lapor s ulošcima sitnozrnatog konglomerata	 leće vapnenaca uložene u konglomerat
 vapnenački konglomerati i breče	 vapnenačke breče	 uslojeni i gromadasti vapnenci s ulošcima dolomita
 os uspravne ili kose antiklinale ili sinklinale	 rasjed bez oznake karaktera, promatran ili aproksimativno određen	 fotogrametrijski utvrđen rasjed
 vertikalni sloj	 normalni sloj	 zasjek na županijskoj cesti ŽC 6055 (dionica Oklaj-Kistanje)
 čelo navlake		

Slika 2.2. Isječak iz Osnovne geološke karte SFRJ, M 1:100.000 – listovi Knin, Drniš, Oborovo i Šibenik (istraživani pokos prikazan je ljubičastom linijom) (modificirano prema Grimani i dr., 1972, Ivanović i dr., 1972, Ivanović i dr., 1967, Mamužić i dr., 1965)



Slika 2.3. Vapnenački konglomerati na istraživanoj dionici pokosa zasjeka na županijskoj cesti ŽC 6055

Kod mjesta Šupljaje, 500 m sjeverno od istraživane lokacije, unutar jezgre antiklinale pružanja SI–JZ, nalazi se leća vapnenaca uloženi u konglomerat. Po sedimentno-petrografskim karakteristikama leće vapnenaca odgovaraju litokalkarenitima, a sadrže 95-97% CaCO_3 (Grimani i dr., 1975). Unutar naslaga vapnenačkih konglomerata i leća vapnenaca uloženi u konglomerat nisu nađeni provodni fosili, no na temelju litoloških karakteristika svrstani su u prominske naslage, gornjo eocenske do donjo oligocenske starosti. Kod mjesta Rudele, 1 km zapadno od istraživane lokacije, u jezgri sinklinale pružanja SI–JZ nalazi se vapnenački lapor s ulošcima sitnozrnatih konglomerata, žutosmeđe i sive boje. Unutar naslaga su pronađeni su fosilni ostaci listova paprati te im je pretpostavljena donje oligocenska starost.

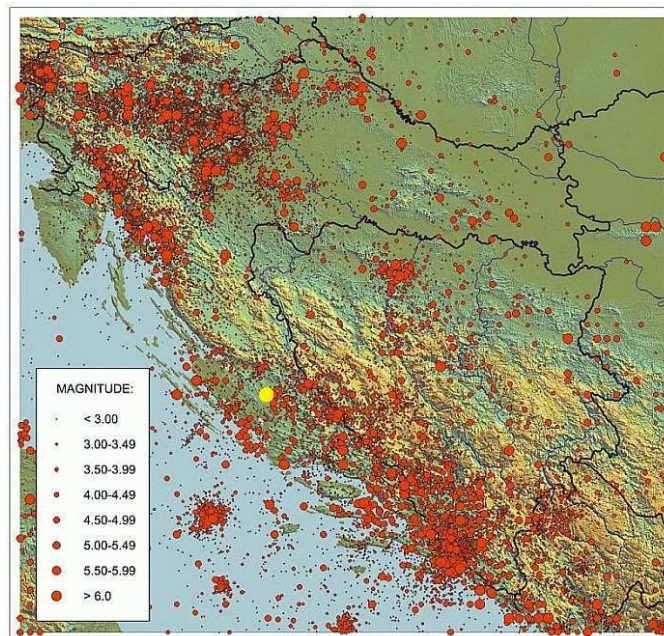
Aluvijalne naslage rijeke Krke i sedra predstavljaju naslage kvartarne starosti, a nalaze se u koritu rijeke Krke i u jezeru Brljan.

Prema Grimani i dr. (1975), strukturno-geološka građa je složena uslijed boranja i rasjedanja tokom geološke prošlosti. Na širem području nalazi se nekoliko bora i rasjeda, klasičnog dinaridskog pružanja, SZ–JI. Cesta na kojoj se nalazi pokos paralelna je s osi antiklinale pružanja SZ–JI (slika 2.2) što zajedno sa rasjednom zonom u blizini upućuje na mogućnost jače raspucanosti stijenske mase na istraživanom području. S obzirom na smjer

nagiba slojeva, slojevi se mogu podijeliti u dvije osnovne grupe: slojevi sa smjerom nagiba prema J, tj. JZ te slojevi sa smjerom nagiba prema SI. Kutovi nagiba slojeva u oba slučaja iznose od 10° do 30° .

2.3. Seizmičke značajke šireg područja

Područje istraživanja nalazi se u seizmički aktivnom području. Potresi su uzrokovani kretanjem afričke ploče prema euroazijskoj, odnosno podvlačenjem jadranske mikroploče pod Dinaride. Na shematskom prikazu seizmičnosti Hrvatske (Herak, 1996), prikazani su epicentri potresa u zadnjih 2000 godine (slika 2.4). Na istraživanom području najveća izmjerena jačina potresa iznosi oko 5° po Richterovoj ljestvici što odgovara intenzitetu potresa do IX. stupnja po Mercali-Cancani-Siebergovoj ljestvici.



Slika 2.4. Shematski prikaz seizmičnosti Hrvatske (Herak, 1996., preuzeto s <http://www.gfz.hr/seismap.php>). Žutom točkom je označeno područje istraživanja

Prema Karti potresnih područja Republike Hrvatske, približnog mjerila 1:800.000 (Herak i dr., 2011), koja prikazuje horizontalno poredbeno vršno ubrzanje (a_{gR}) tla tipa A (stijena ili druga geološka formacija poput stijene, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini) s vjerojatnošću promašaja 10% u 10 godina za povratno razdoblje od 95 godina, odnosno vjerojatnošću promašaja 10% u 50 godina za povratno razdoblje

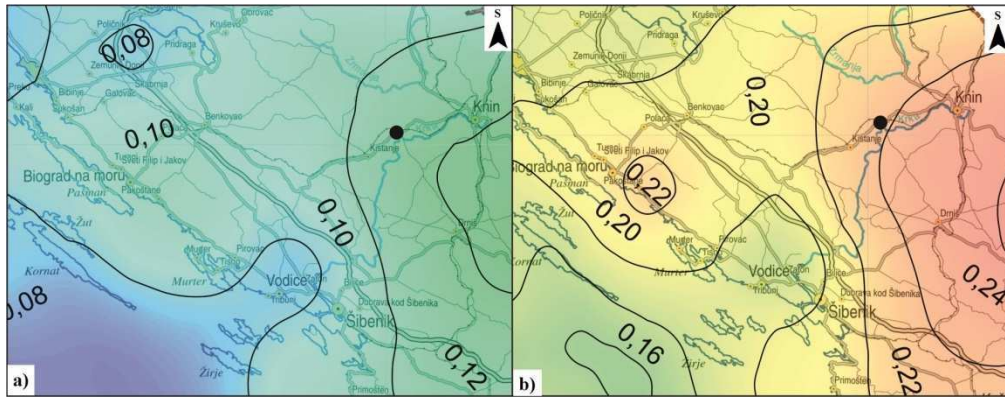
475 godina, područje istraživanja se nalazi unutar područja s visokim vrijednostima horizontalne komponente akceleracije tla (slika 2.5). Povratna razdoblja služe za procjenu ukupnog broja potresa koji se mogu očekivati tijekom nekog duljeg razdoblja (Herak i dr., 2011). Poredbeno vršno ubrzanje izraženo je u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g (1 g=9,81 m/s²). Za definiranje elastičnih i projektnih spektara pri proračunu konstrukcije na potres, koristi se vrijednost a_g projektnog ubrzanja u tlu razreda A. Jednadžba koju propisuje Eurokod 8 (2004) glasi:

$$a_g = a_{gR} * \gamma I. \quad (2-1)$$

gdje je:

- a_{gR} -poredbeno maksimalno ubrzanje u tlu razreda A
- γI -faktor važnosti građevine čije su vrijednosti dane u HRN EN 1998-1:2008 i kreću se od 1,40 za građevine od vitalne važnosti neposredno nakon potresa (bolnice, vatrogasne postaje, energetska postrojenja, itd.) do vrijednosti od 0,80 za građevine malog utjecaja na javnu sigurnost.

Područje istraživanja nalazi se u prostoru s vrijednošću poredbenog vršnog ubrzanja $a_{gR}=0,12$ g za $T_p=95$ godine, tj $a_{gR}=0,22$ g za $T_p=475$ godina (slika 2.5). Faktor važnosti građevine, γI , za ŽC 6055 na kojoj se nalazi predmetni pokos zasjeka i prirodni pokos iznosi 0,80. Uvrštavanjem poznatih vrijednosti u formulu, dobivene su vrijednosti projektnog ubrzanja u tlu razreda A. Za $T_p=95$ godina a_g iznosi 0,096 g, a za $T_p=475$ godina a_g iznosi 0,176 g.



Slika 2.5. Isječak iz Karte potresnih područja Republike Hrvatske za povratno razdoblje $T_p=95$ godina (a) i povratno razdoblje $T_p=475$ godina (b) (Herak 2011, preuzeto s <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>)

2.4. Hidrološke i hidrogeološke značajke

Po Köppenovoj klasifikaciji klime (DHMZ, 2017), koja u obzir uzima srednju godišnju temperaturu zraka i srednju godišnju količinu oborina, područje istraživanja nalazi se u pojasu umjereno toplo vlažne klime s vrućim ljetom. Ovakvu klimu karakteriziraju vruća ljeta (središnja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca iznosi više od 22°C) i visoka godišnja količina oborina. Prema Zaninović i dr., (2008), na području istraživanja srednja godišnja temperatura zraka iznosi 15°C , a središnja godišnja količina oborina iznosi 1100-1200 mm. Prema istim autorima najveća količina oborina padne na tlo za vrijeme zime (400-500 mm) i jeseni (300-400 mm), dok su proljeća (100-200 mm) i ljeta suha (0-100 mm). Klimatski uvjeti koji vladaju na istraživanoj lokaciji utječu na mehaničko trošenje stijenske mase. Visoka količina oborine tokom zimskih i jesenskih mjeseci uzrokuje površinske tokove koji ispiru čestice materijala unutar postojećih diskontinuiteta stijenske mase te ih proširuju.

Istraživani pokos zasjeka nalazi se u neposrednoj blizini rijeke Krke i jezera Brljan. Predmetna lokacija nalazi se u srednjem dijelu sliva rijeke Krke, izgrađenom od propusnih vapnenaca i prominskih naslaga (Bačani, 2015). U ovom dijelu sliva rijeka Krka je usječena u kanjon i nema stalnih pritoka. Nizvodno od istraživanog pokosa zasjeka rijeka Krka se proširuje u jezero Brljan. Nastanak jezera Brljan vezano je uz prirodne i antropogene procese. Prirodni procesi su vezani uz rast sedrene barijere slapa Brljan, a antropogeni procesi su vezani uz izgradnju umjetne akumulacije za potrebe hidroelektrane "Miljacke" (Nacionalni park Krka, 2017).

Hidrogeološki uvjeti na području istraživanja uvjetovani su litološkom građom, strukturnim odnosima i stupnjem trošnosti. Prema hidrogeološkim karakteristikama, vapnenački konglomerati eocensko–oligocenske starosti imaju malu primarnu poroznost i nisku propusnost. Prema Arbanas i dr. (2015), duž istraživane dionice pokosa zasjeka raspucanost i okršenost stijenske mase se mijenja, a s njihovim povećanjem sekundarna poroznost i propusnost rastu. Prema istim autorima, zbog varijacija u raspucanosti i okršenosti, stijenska masa koja sačinjava pokos zasjeka je anizotropna i heterogena s obzirom na propusnost.

Za vrijeme izrade diplomskog rada podaci o razini podzemne vode na predmetnoj lokaciji nisu bili dostupni budući da u okviru istraživanja nije provedeno istraživačko bušenje i instalacija piezometara te da se u bližoj okolini nigdje ne mjeri razina podzemne vode. Međutim, pretpostavlja se da razina podzemne vode na istraživanoj lokaciji dionici značajno varira vremenski i prostorno, što je posljedica heterogenosti i anizotropije stijenske mase i meteoroloških uvjeta, ali je duboko ispod površine i nema utjecaja na stabilnost analiziranih pokosa.

3. METODE INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Svrha inženjerskogeoloških istraživanja je određivanje inženjerskogeoloških uvjeta koji mogu utjecati na projektiranje, gradnju i životni vijek određenog objekta. Prema Mihalić Arbanas i Bernat (2013), inženjerskogeološko istraživanje se sastoji od: (a) formuliranja istraživanja, (b) prikupljanja podataka i (c) interpretacije podataka. Prema istim autorima, formuliranjem istraživanja definiraju se ciljevi istraživanja, veličina istraživanog područja te količina i detaljnost podataka. Prikupljanje podataka se odvija u kabinetu i na terenu. Kabinetski rad uključuje pregled dosad objavljenih geoloških i inženjerskogeoloških karata i izvještaja te proučavanje avionskih i satelitskih snimaka. Kabinetskim radom nastoji se stvoriti predodžba o istraživanom terenu radi kvalitetnijeg planiranja istraživačkih radova. Terenskim istraživačkim radovima prikupljaju se podaci o geološkoj građi, inženjerskogeološkim uvjetima, značajkama stijena i tala, hidrogeološkim uvjetima, geomorfološkim uvjetima te geodinamičkim pojavama i procesima. Nakon terenskih istraživačkih radova u kabinetu se interpretiraju i analiziraju podaci na način da su jasni i razumljivi budućim korisnicima koji često nisu geološke struke.

Cilj ovog diplomskog rada je klasifikacija stijenske mase te kinematičke analize stabilnosti na dijelu pokosa zasjeka i prirodnog pokosa stijenske mase koji započinje na stacionaži 0+620 m od početka pokosa zasjeka, a završava na stacionaži 0+740 m. S tim ciljem provedeno je terensko inženjerskogeološko geološko kartiranje stijenske mase koje je obuhvatilo: 1) podjelu pokosa zasjeka na IG zone na temelju trošnosti i raspucanosti stijenske mase te s obzirom na promjenu odnosa relativne orijentacije osi ceste i pokosa zasjeka, 2) mjerenje značajki diskontinuiteta i njihovih orijentacija, 3) određivanje indeksa kvalitete jezgre (eng. *Rock Quality Designation*; RQD) i 4) određivanje jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene i diskontinuiteta (σ_c). Zbog nepristupačnog terena, odnosno zbog velikog kuta nagiba pokosa zasjeka stijenske mase, opisani su samo setovi diskontinuiteta koji se nalaze na nižim dijelovima pokosa zasjeka. Zbog toga su RMR klasifikacija i GSI kategorizacija napravljene samo za inženjerskogeološke zone IA, IIA, IIIA, IVA, VA i VIA, odnosno zone neposredno uz prometnicu.

3.1. Geomehanička klasifikacija

Geomehaničku ili RMR (eng. *Rock Mass Rating*) klasifikaciju razvio je Bieniawski tijekom 1970-ih godina prošlog stoljeća (Bieniawski, 1989) sa svrhom klasifikacije stijenske mase tijekom projektiranja podgradnog sustava za tunele, tj. sa svrhom procjene čvrstoće stijenske mase. Tijekom godina klasifikacija je mijenjana na temelju rezultata primjene na većem broju građevina u različitim geološkim sredinama te je modificirana i za primjenu na kosinama te u svrhu temeljenja (Wyllie i Mah, 2005). Kako bi se RMR klasifikacija mogla primijeniti, stijensku masu je potrebno podijeliti na inženjerskogeološke zone na temelju litoloških i/ili strukturnih značajki, a granice između zona često su strukturni elementi poput rasjeda, dajka, zona smicanja i slično (Bieniawski, 1989). Nakon podjele na zone, unutar svake zone potrebno je opisati sljedeće parametre:

- 1) jednoosnu tlačnu čvrstoću intaktne stijene
- 2) indeks kvalitete jezgre
- 3) razmak diskontinuiteta
- 4) stanje diskontinuiteta
- 5) orijentacija diskontinuiteta
- 6) stanje podzemne vode

Svakom parametru dodjeljuju se bodovi prema tablici 3-1. Budući da prije navedeni parametri nemaju jednaku utjecaj na klasifikaciju stijenske mase, za svaki parametar postoji različit broj maksimalnih bodova. Prema toj klasifikaciji, stijenska masa je podijeljena na pet kategorija na temelju RMR bodova, odnosno stijenska masa može biti klasificirana kao vrlo dobra (RMR 100-81), dobra (RMR 80-61), povoljna (RMR 60-41), slaba (RMR 40-21) i vrlo slaba (RMR < 21). Ukoliko unutar jedne zone postoji više setova diskontinuiteta, za svaki pojedinačni set diskontinuiteta računa se RMR, a konačna vrijednost RMR-a je aritmetička sredina bodova za svaki pojedinačni set.

Tablica 3-1. Sustav bodovanja za RMR klasifikaciju (modificirano prema Bieniawski, 1989)

Parametar		Raspon vrijednosti							
1	Čvrstoća materijala stijene	PLT / MPa	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	-		
		σ_c / MPa	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1
		bodovi	15	12	7	4	2	1	0
2	Indeks kvalitete jezgre	RQD / %	90 -100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
		bodovi	20	17	13	8	3		
3	Razmak diskontinuiteta	razmak / cm	> 200	60 - 200	20 - 60	6 - 20	< 6		
		bodovi	20	15	10	8	5		
4	Stanje diskontinuiteta	stanje diskontinuiteta (vidi tablicu E)	vrlo hrapave površine, nekontinuirane, zatvorene, svježe stijenske	neznatno hrapave površine, širina < 1 mm, neznatno trošne stijenske	neznatno hrapave površine, širina < 1 mm, vrlo trošne stijenske	skliske površine ili ispuna < 5 mm ili širina 1-5 mm, kontinuirane	meka ispuna debljine > 5 mm, ili širina > 5 mm, kontinuirane		
		bodovi	30	25	20	10	0		
5	Podzemna voda	dotok vode na 10 m tunela (l/m)	nema	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		pritisak vode u disk. / glavno naprezanje	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		opće stanje	suho	vlažno	mokro	kapanje	tečenje		
		bodovi	15	10	7	4	0		
B. BODOVANJE UTJECAJA ORIJENTACIJE DISKONTINUITETA (vidi F)									
odnos orijentacije diskontinuiteta i objekta	orijentacija diskontinuiteta	vrlo povoljna	povoljna	dobra	nepovoljna	vrlo nepovoljna			
	bodovi	tuneli i rudnici	0	-2	-5	-10	-12		
		temelji	0	-2	-7	-15	-25		
	kosine	0	-5	-25	-50				
C. KATEGORIJE STIJENSKE MASE ODREĐENE ZBROJEM BODOVA									
bodovi		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21			
oznaka kategorije		I	II	III	IV	V			
opis stijenske mase		vrlo dobra	dobra	povoljna	slaba	vrlo slaba			
D. ZNAČENJE KATEGORIJA STIJENSKE MASE									
oznaka kategorije		I	II	III	IV	V			
prosječno trajanje stabilnosti tunela		20 god. za otvor 15 m	1 god. za otvor 10 m	1 tjed. za otvor 5 m	10 sati za otvor 2.5 m	30 min. za otvor 1 m			
kohezija stijenske mase / kPa		> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100			
kut unutrašnjeg trenja stijenska mase / °		> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15			
E. BODOVANJE ZNAČAJKI DISKONTINUITETA									
postojanost / m		< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20			
bodovi		6	4	2	1	0			
širina / mm		zatvoreni	< 0.1	0.1 - 1	1 - 5	> 5			
bodovi		6	5	4	1	0			
hrapavost		vrlo hrapavi	hrapavi	neznatno hrapavi	glatki	skliski			
bodovi		6	5	3	1	0			
ispuna / mm		bez ispune	tvrd < 5	tvrd > 5	meka < 5	meka > 5			
bodovi		6	4	2	2	0			
trošnost		svježi	neznatno trošni	umjereno trošni	jako trošni	potpuno trošni			
bodovi		6	5	3	1	0			

3.1.1. Jednoosna tlačna čvrstoća (σ_c)

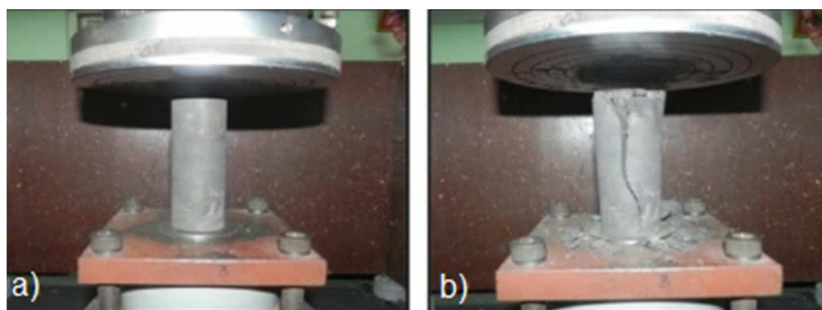
Jednoosna tlačna čvrstoća (σ_c) predstavlja maksimalno naprezanje po jednoj osi koji intaktni uzorak stijene može podnijeti bez toga da dođe do sloma uzorka. Jednoosna tlačna čvrstoća može odrediti u laboratoriju, na intaktnom uzorku stijene, ili na terenu pomoću *Schmidtovog* čekića. Ukoliko se vrijednosti (σ_c) određuju u laboratoriju, potreban je intaktni uzorak stijene, u obliku pravilne prizme ili valjka, s odnosom visine i promjera od 2,5-3,0:1 (Hrženjak i Briševac, 2009). Uzorak se ispituje na način da se postavi između dvije čelične ploče, a opterećenje se nanosi s konstantnim prirastom (slika 3.1). Jednoosna tlačna čvrstoća dobije se dijeljenjem sile kod kojeg je došlo do sloma s površinom poprečnog presjeka

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (3-1)$$

gdje je:

F – maksimalna sila kod koje nastupa slom (N),

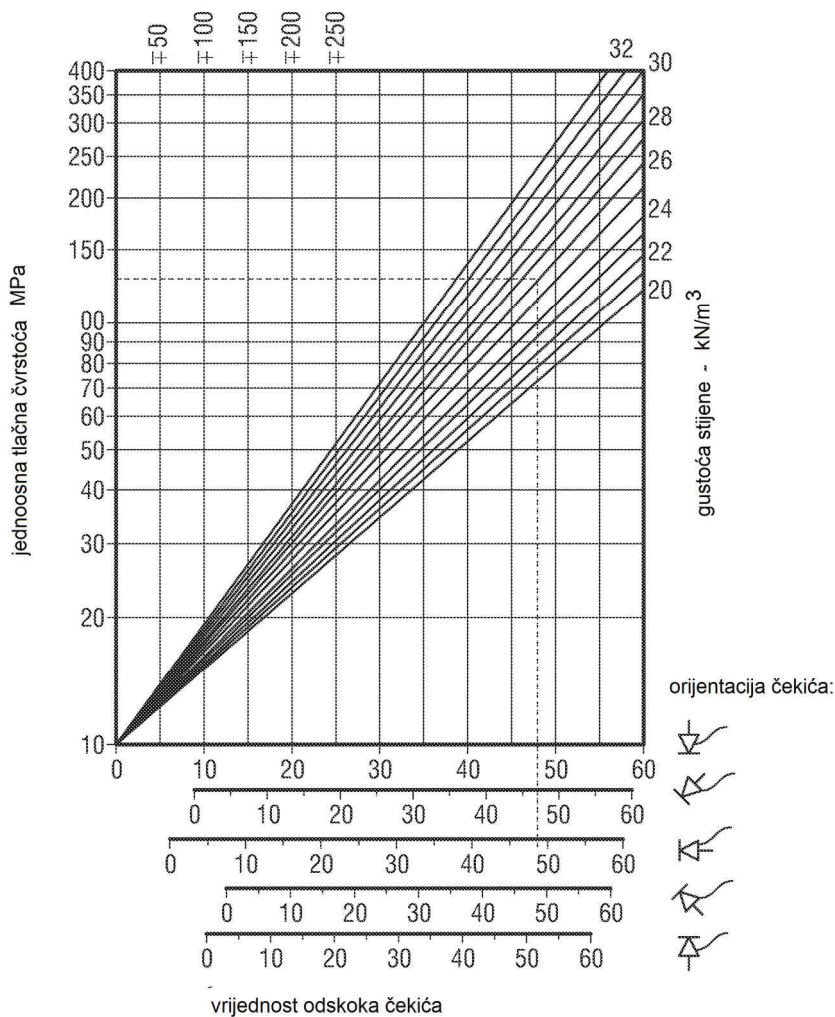
A – površina poprečnog presjeka uzorka (m²)



Slika 3.1. Laboratorijsko ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće na intaktnom uzorku stijene a) prije sloma b) poslije sloma (modificirano prema https://www.researchgate.net/publication/281401817_Prediction_of_Uniaxial_Compressive_Strength_from_well_log_data_in_Jh)

Schmidtov čekić sastoji se od utega koji uslijed oprugom akumulirane energije udara u čelični klip koji je u kontaktu s površinom ispitivanog materijala (ISRM, 1978b). Prije samog mjerenja na terenu, uređaj je potrebno kalibrirati pomoću čeličnog nakovnja za kalibraciju. Tijekom mjerenja, čekić mora biti postavljen okomito u odnosu na ispitivanu površinu. Pritiskom na gornji dio čekića opruga se opušta te zabilježi vrijednost odskoka

opruge. Na svakom čekiću nalazi se graf koji povezuje gustoću stijene, visinu odskoka opruge i jednoosnu tlačnu čvrstoću (slika 3.2). Budući da na oprugu djeluje gravitacijska sila, provode se korekcije s obzirom na položaj čekića. Poznavanjem gustoće stijene i vrijednosti odskoka opruge dobiva se vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće.



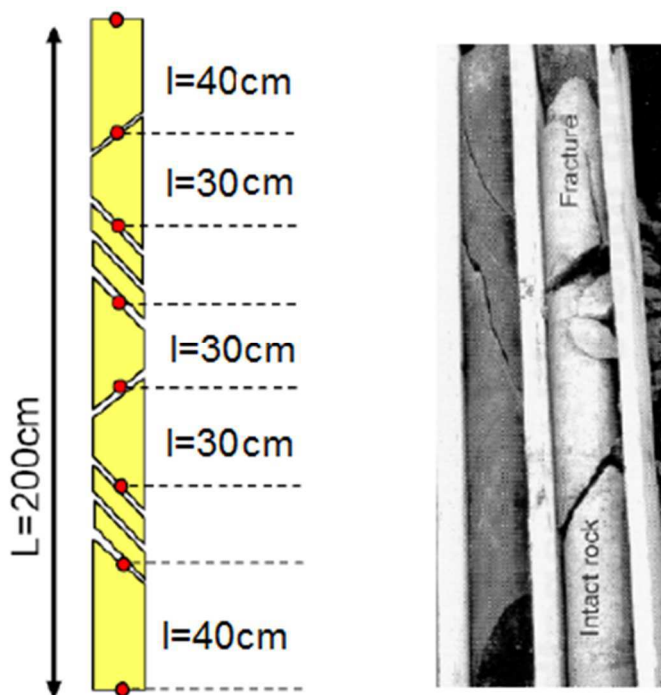
Slika 3.2. Graf koji povezuje visinu odskoka, gustoću stijenske mase i jednoosnu tlačnu čvrstoću (modificirano prema <http://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/barton-bandis-parameters-01/>)

3.1.2. Indeks kvalitete jezgre

Indeks kvalitete jezgre ili skraćeno RQD, određuje se kao postotak jezgre izvađene prilikom istražnog bušenja u stijenskoj masi koju čine dijelovi jezgre dulji od 10 cm, a ukupna dužina jezgre ne smije biti kraća od 100 cm (Deree i dr., 1967) (slika 3.3). Ukoliko

su svi dijelovi jezgre kraći od 10 cm, ukupna vrijednost RQD-a je 0%, a ukoliko su svi komadi jezgre dulji od 10 cm, vrijednost RQD-a iznosi 100%.

$$RQD = \frac{\text{dijelovi jezgre} > 10 \text{ cm}}{\text{ukupna dužina jezgre}} * 100\% \quad (3-2)$$



Slika 3.3. Procedura za mjerenje i izračun RQD-a, pri čemu je L ukupna dužina jezgre, a l dijelovi jezgre veći od 10 cm (modificirano prema Deree i dr., 1967)

Prema Price (2009) postoje tri glavna nedostatka RQD-a. Prvi nedostatak se odnosi na to da ukoliko su svi dijelovi jezgre manji veličine 9 cm, ukupni RQD iznositi će 0%, a ukoliko su svi dijelovi jezgre veličine 10 cm RQD će iznositi 100%. Drugi nedostatak se odnosi na bušenje jezgre paralelno sa setovima diskontinuiteta i okomito na setove diskontinuiteta. Ako je bušenje provedeno okomito na set diskontinuiteta čiji razmak iznosi 9 cm ili manje, RQD će biti 0%, a ukoliko se buši paralelno da setom diskontinuiteta RQD će iznositi 100%. Ako u obzir uzmemo da u prvom slučaju RMR bodovi za taj parametar iznose 3 boda, a u drugom 20, a ne postoji velika razlika u kvaliteti jezgre, postavlja se pitanje pouzdanosti njegovog određivanja. Treći nedostatak se odnosi na vlažnost jezgre. Ako unutar jezgre postoji proslojak gline/praha, u slučaju vlažnog proslojka komadi jezgre će biti povezani i samim time su veće šanse da dijelovi jezgre budu veći od 10 cm. U

slučaju suhog proslojka, komadi jezgre neće biti povezani te su veće šanse da dijelovi jezgre budu manji od 10 cm.

Ukoliko bušenje nije izvedeno, RQD može se izračunati na temelju volumetrijskog broja pukotina, J_v . Za izračun volumetrijskog broja pukotina potrebno je odrediti dominantne setove diskontinuiteta i njihov razmak.

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n} \quad (3-2)$$

pri čemu je:

J_v -broj diskontinuiteta u 1 m^3

S-razmak između setova diskontinuiteta

Na temelju volumetrijskog broja pukotina RQD se računa prema sljedećoj jednadžbi:

$$RQD = 115 - 3.3J_v \quad (3-3)$$

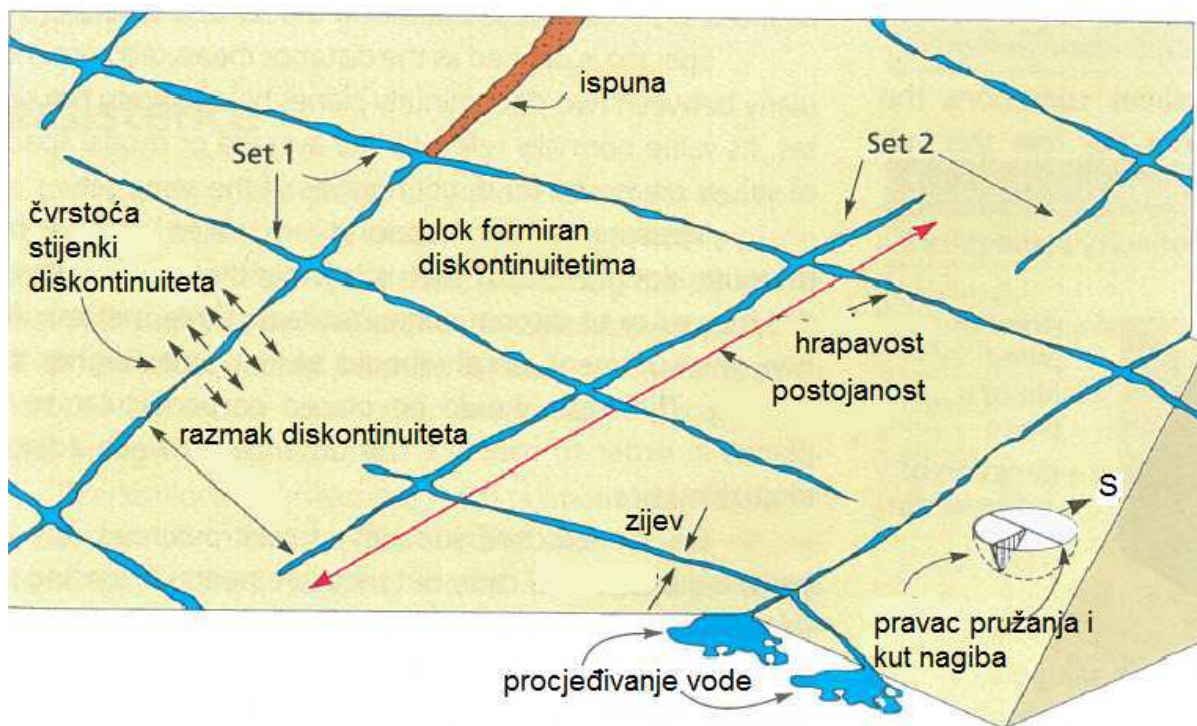
Više vrijednosti RQD-a ukazuju na stijensku masu kvalitetnijih geomehaničkih svojstava, a odnosi između RQD-a i kvalitete stijenske mase prikazani su u tablici 3-2.

Tablica 3-2. Odnos između RQD-a i kvalitete stijenske mase (preuzeto iz Miščević, 2004)

RQD	KVALITETA STIJENSKE MASE
<25	vrlo loša
25-50	loša
50-75	prihvatljiva
75-90	dobra
90-100	izvrsna

3.1.3. Razmak diskontinuiteta

Razmak diskontinuiteta se odnosi na okomitu udaljenost između dva susjedna diskontinuiteta koji pripadaju istom setu (slika 3.4). Razmak diskontinuiteta određuje veličinu i oblik blokova unutar stijenske mase, a ima utjecaj na čvrstoću stijenske mase (mali razmak između diskontinuiteta negativno utječe na čvrstoću) te na propusnost stijenske mase i procjeđivanje podzemne vode (Wyllie i Mah, 2005).



Slika 3.4. Shematski prikaz parametara koji opisuju diskontinuitete u stijenskoj masi (modificirano prema Vallejo i Ferrer, 2011)

3.1.4. Stanje diskontinuiteta

Stanje diskontinuiteta se odnosi na postojanost, zijev, ispunu, hrapavost i trošnost diskontinuiteta (tablica 3-1). Postojanost diskontinuiteta se odnosi na dužinu diskontinuiteta unutar stijenske mase (slika 3.4) te definira veličinu blokova u stijenskoj masi i dužinu potencijalne klizne plohe (Wyllie i Mah, 2005). Zijev diskontinuiteta je okomita udaljenost između stijenki diskontinuiteta, ispunjena zrakom ili vodom, koja se obično smanjuje idući od površine stijenske mase prema unutrašnjosti. Ispuna se odnosi na materijal koji se nalazi u diskontinuitetu, a može biti tvrda (< 5 mm i > 5 mm) ili meka (< 5 mm i > 5 mm), pri čemu najnepovoljniji slučaj je ukoliko je ispuna meka i deblja od 5

mm. Hrapavost diskontinuiteta se odnosi na valovitost stijenki diskontinuiteta i na nepravilnosti milimetarskim dimenzija na stijenkama diskontinuiteta. Hrapavost je bitna za posmičnu čvrstoću stijenske mase, povećanom hrapavosti povećava se i posmična čvrstoća stijenske mase. Trošnost diskontinuiteta je bitna za posmičnu čvrstoću stijenske mase, s povećanjem trošnosti smanjuje se posmična čvrstoća diskontinuiteta.

3.1.5. Orijentacija diskontinuiteta

Orijentaciju diskontinuiteta se opisuje kutom nagiba i smjerom nagiba (slika 3.4), koji se mjere na terenu geološkim kompasom. Orijentacija se najčešće prikazuje na stereografskoj projekciji u obliku polova diskontinuiteta te se na projekciji provode daljnje analize (ručno ili pomoću računalnih programa) kako bi se odredio utjecaj orijentacije diskontinuiteta na nestabilnosti u stijenskoj masi.

3.1.6. Stanje podzemne vode

Preme Bieniawskom (1989), stanje podzemne vode može se opisati definirati kao suho, vlažno, mokro, kapanje i tečenje. Dotok vode na 10 m tunela, mjerenih kao l/m, varira od 0 (za suho stanje) do >125 (za stanje tečenja). Osim što voda negativno utječe na čvrstoću stijenske mase budući da uzrokuje porni pritisak unutar diskontinuiteta, ona djeluje erozivno, tj. uzrokuje trošenje stijenki diskontinuiteta što doprinosi smanjenu čvrstoće stijenske mase.

3.2. Geološki indeks čvrstoće

Geološki indeks čvrstoće, ili skraćeno GSI (eng. *Geological Strength Indeks*) su uveli Hoek i Brown 1997. godine. Geološki indeks čvrstoće procjenjuje stanje stijenske mase preko dva osnovna parametra: veličine blokova i stanja diskontinuiteta (slika 3.5). Osim što ne uzima utjecaj vode i orijentacije diskontinuiteta na kvalitetu stijenske mase, nedostatak GSI kategorizacije je to što je subjektivna i iskustvena. Iz tog su razloga Sonmez i Ulusay, (2002) modificirali GSI odredbe na način da su uveli bodovanje za oba osnovna parametra, veličinu blokova i stanje diskontinuiteta. Za određivanje GSI-a potrebno je izračunati ocjenu strukture (SR) i ocjenu stijenki diskontinuiteta (SCR). Ocjena strukture (SR) određuje se na temelju veličine blokova, koji se određuje pomoću volumetrijskog broja pukotina, J_v (jednadžba 3-1). Dobivene vrijednosti J_v unose se u dijagram prikazan na slici 3.5 te se očitavaju vrijednosti ocjene strukture (SR).

Stanje diskontinuiteta određuje se pomoću ocjene stanja stijenki diskontinuiteta (SCR) koje se računa po sljedećoj jednadžbi (bodovne vrijednosti za parametre su prikazane na slici 3.5):

$$SCR = R_r + R_w + R_f. \quad (3-4)$$

pri čemu je:

R_r – hrapavost stijenki diskontinuiteta

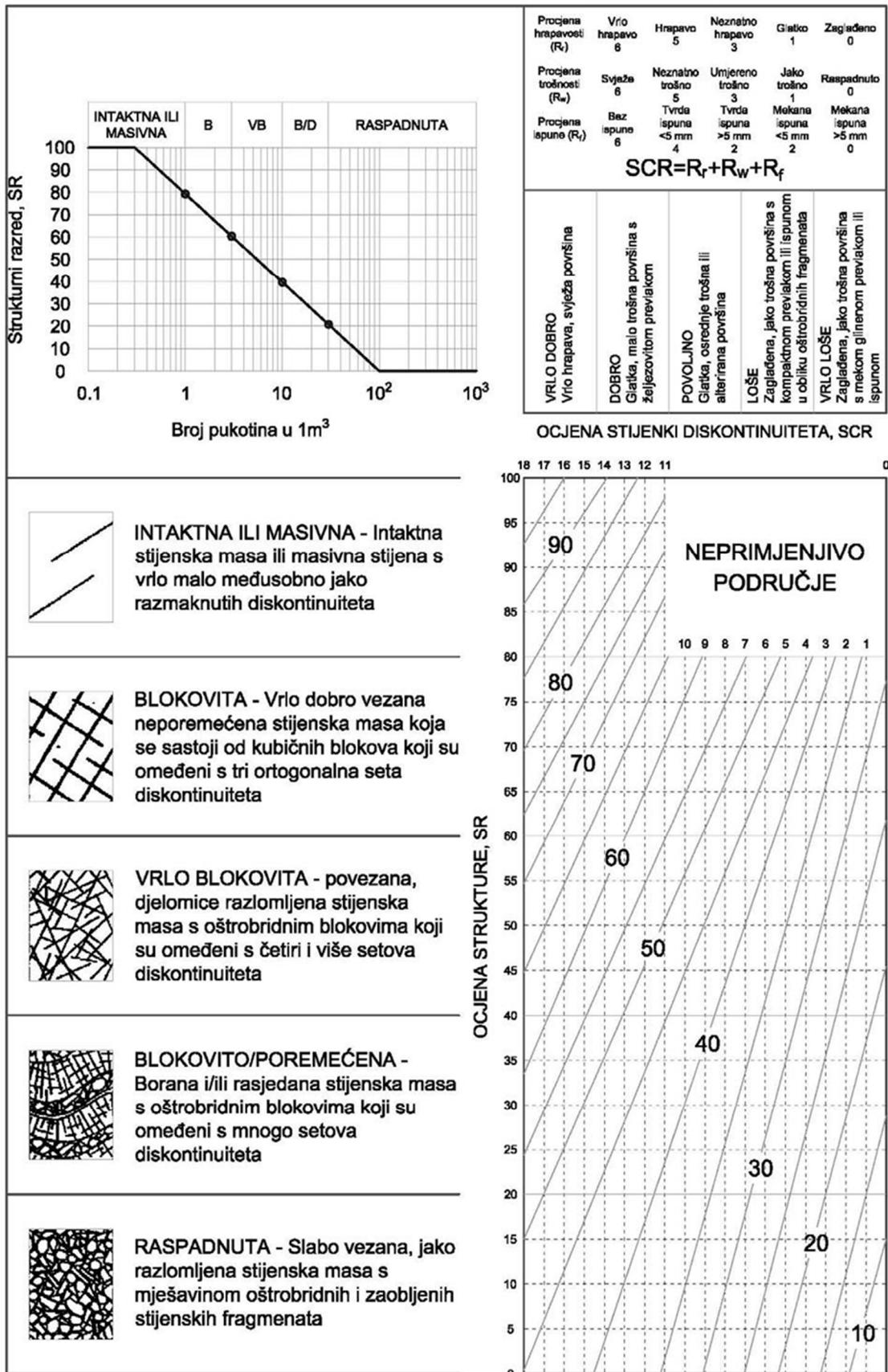
R_w – trošnost stijenki diskontinuiteta

R_f – ispuna stijenki diskontinuiteta

Vrijednosti SR i SCR unose se tablicu prikazanoj na slici 3.5 te se na taj način određuje raspon GSI vrijednosti istraživane stijenske mase.

Veza između RMR klasifikacije i GSI kategorizacije definirana je jednadžbom 3-5, a vrijedi ukoliko je vrijednost RMR-a veća od 23.

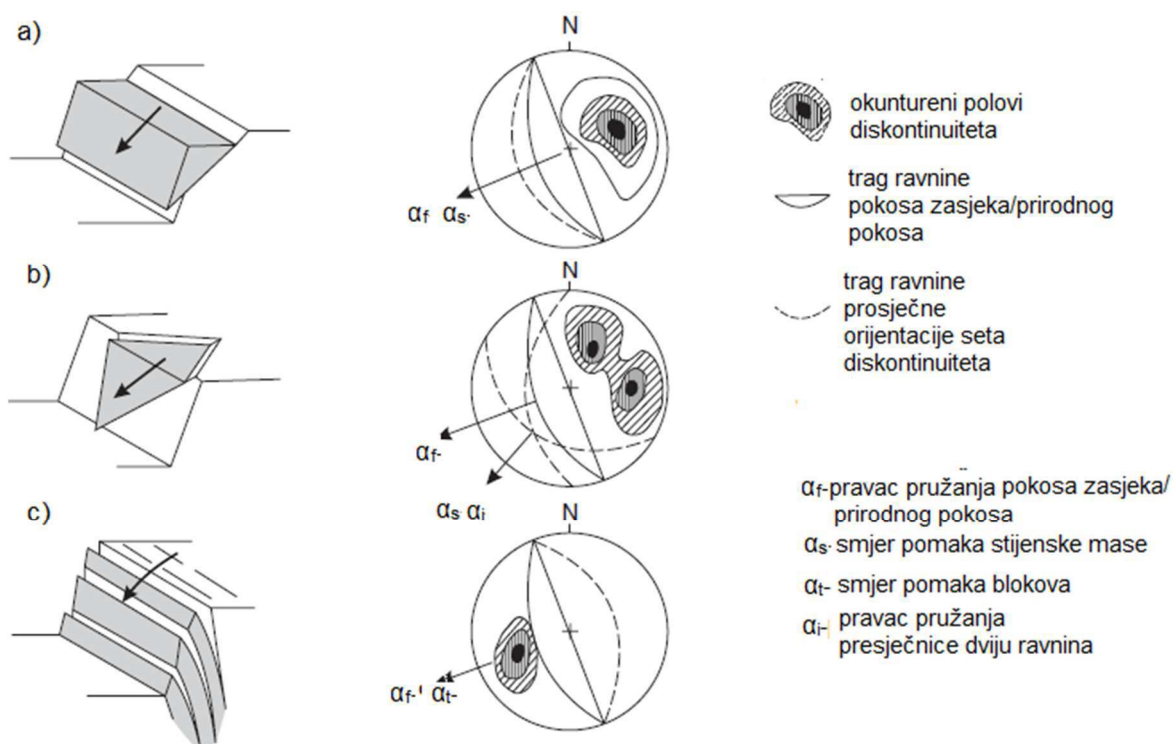
$$GSI = RMR - 5 \quad (3-5)$$



Slika 3.5. Sustav GSI klasifikacije (modificirano prema Sonmez i Ulusay 2002)

3.3. Kinematička analiza stabilnosti

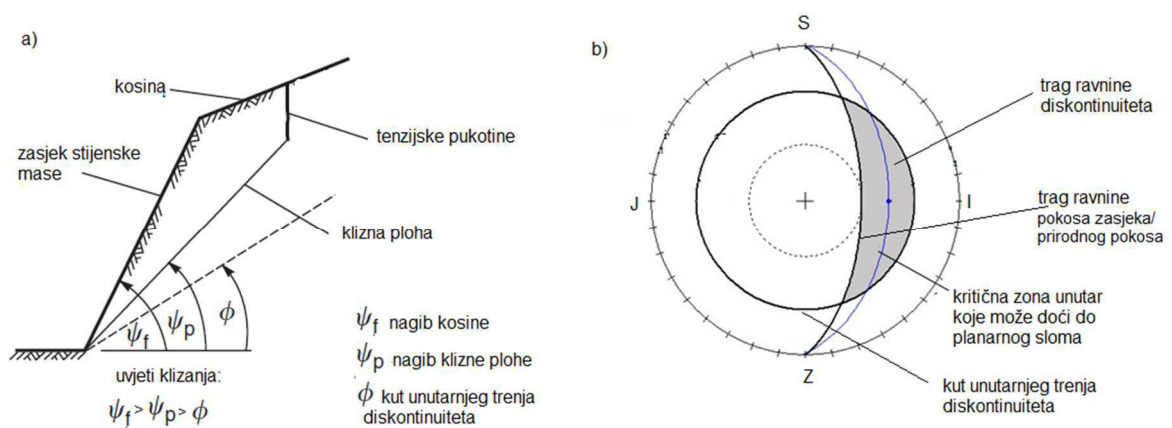
Kako se odredila vrsta potencijalnog sloma (planarni, klinasti ili prevrtanje) i smjer kretanja blokova nastalih slomom, koristi se metoda kinematičke analize. Kinematička analiza započinje ucrtavanjem polova orijentacije svih diskontinuiteta na stereografsku projekciju, a zatim se na temelju njih određuje prosječna orijentacija svakog seta diskontinuiteta. Prosječne orijentacije setova diskontinuiteta prikazane su na stereografskoj projekciji kao tragovi i polovi ravnina. Za određivanje utjecaja diskontinuiteta na stabilnost stijenske mase, na istom dijagramu potrebno je ucrtati tragove ravnine setova diskontinuiteta i pokosa zasjeka/lica stijenske mase. Na temelju odnosa koje tvore tragovi ravnina setova diskontinuiteta i trag ravnine pokosa zasjeka/stijenske mase, moguće je odrediti tip sloma (slika 3.6 a, b i c).



Slika 3.6. Glavni tipovi sloma stijenske mase i njihove stereografske projekcije: a) planarni slom nastao pukotinama paralelnim s pokosom zasjeka/prirodnim pokosom u stijenskoj masi; b) klinasti slom nastao presijecanjem dvaju diskontinuiteta; c) prevrtanje u stijenskoj masi uzrokovano pružanjem diskontinuiteta koji je paralelan ($\pm 10^\circ$) kosini ali suprotnog nagiba (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005)

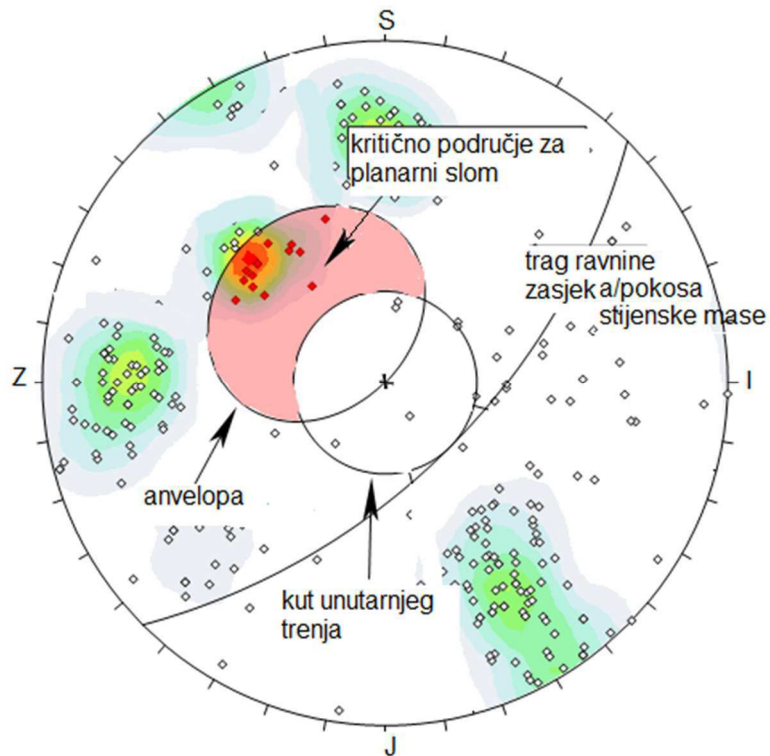
Planarni slom u stijenskoj masi se pojavljuje duž određenog geološkog diskontinuiteta (rasjed, ploha slojevitosti, pukotina itd.). Da bi došlo do planarnog sloma

sljedeći uvjeti moraju biti zadovoljeni (slika 3.7, a, b): 1) pružanje plohe po kojoj dolazi do klizanja mora biti paralelno ili približno paralelno ($\pm 20^\circ$) pružanju promatrane kosine, 2) kut nagiba klizne plohe mora biti manji od kuta nagiba kosine ($\psi_p < \psi_f$), 3) kut nagiba klizne plohe mora biti veći od kuta unutarnjeg trenja diskontinuiteta ($\psi_p > \Phi$) (slika 3.7 a) (Wyllie i Mah, 2005). U crtavanjem tragova ravnine diskontinuiteta, traga ravnine pokosa zasjeka/pokosa stijenske mase i kuta unutarnjeg trenja na stereografsku projekciju, moguće je odrediti kritičnu zonu kao i smjer klizanja stijenske mase (slika 3.7 b).



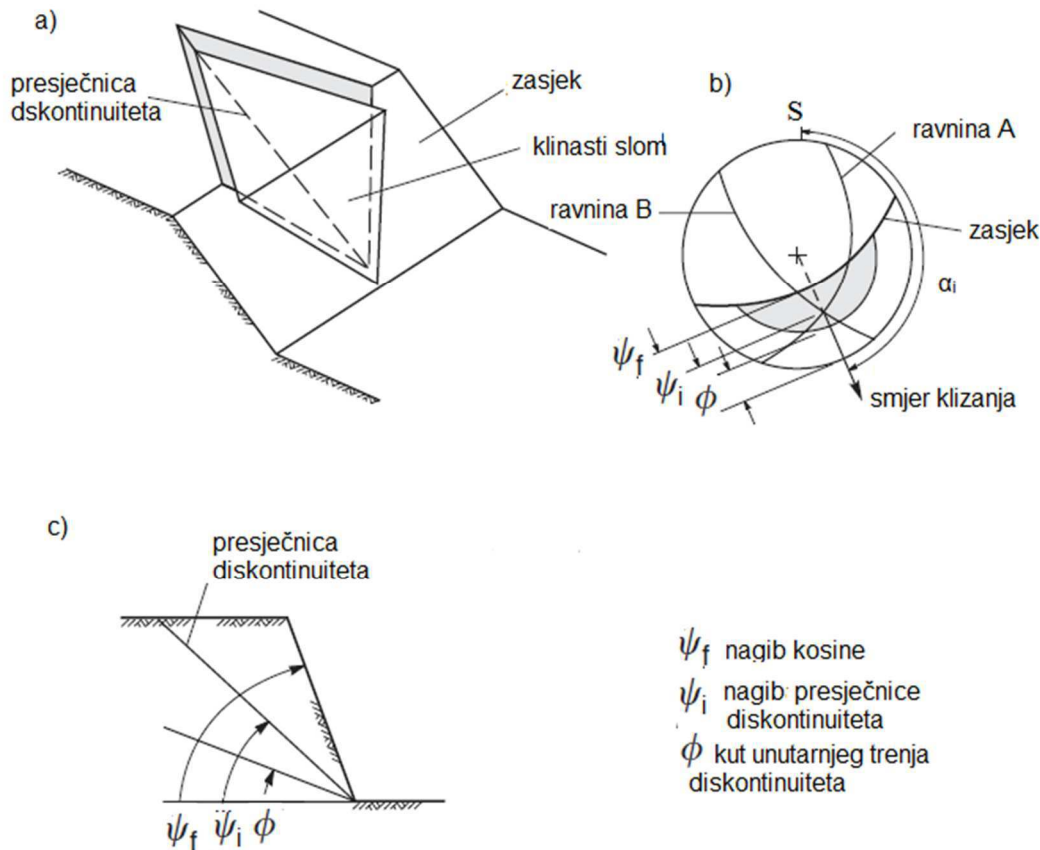
Slika 3.7. Shematski presjek koji prikazuje položaj klizne plohe nastale planarnim slomom (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005) (a) i shematski prikaz stereografske projekcije planarnog sloma (b) (modificirano prema <http://www.dipanalyst.com/Kinematic%20Analysis/Kinematic%20Analysis.html>)

Na slici 3.8 prikazano je kako se određuje planarni slom preko polova seta diskontinuiteta u programu DIPS tvrtke Rocscience (www.rocscience.com), u kojemu su provedene analize za potrebe ovog rada. Na stereografskoj projekciji prikazan je trag ravnine pokosa zasjeka, odnosno prirodnog pokosa stijenske mase, orijentacije 135/60, polovi setova diskontinuiteta (toplja boja ukazuje na veću gustoću polova), kut unutarnjeg trenja, $\Phi=30^\circ$, anvelopa konstruirana pod kutom od 90 stupnjeva u odnosu na trag kosine (eng. *Daylight Envelope*), te kritično područje za planarni slom. Kut unutarnjeg trenja definira stabilnost na trenje (eng. *frictional stability*), a na stereografsku projekciju se ucrtava idući od središta prema rubu kružnice. Kritično područje se nalazi unutar anvelope i izvan kuta unutarnjeg trenja. Ukoliko se pol određenog seta diskontinuiteta nalazi u kritičnom području, onda je po istom diskontinuitetu moguć planarni slom.



Slika 3.8. Stereografska projekcija za planarni slom (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Planar_Sliding.htm)

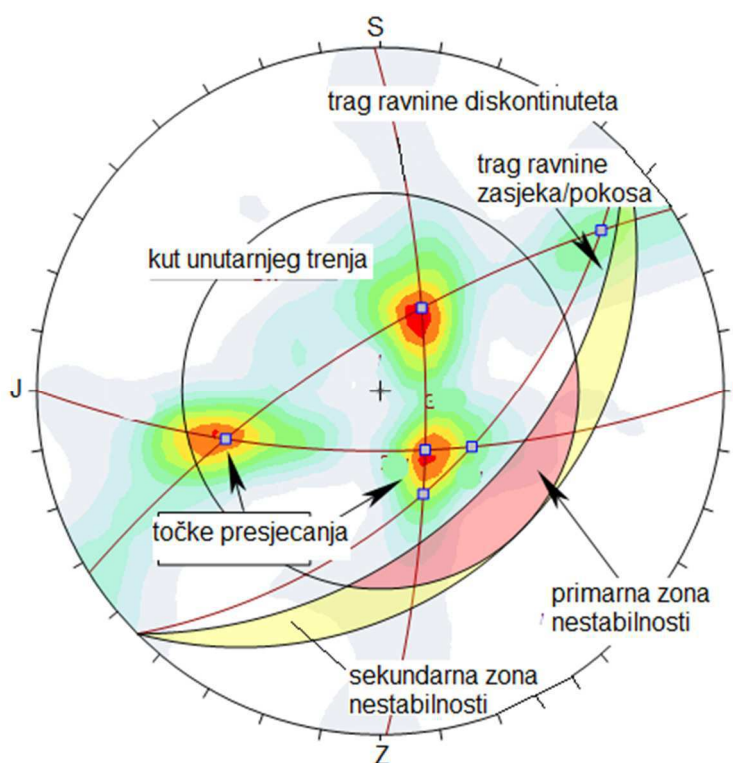
Klinasti slom u stijenskoj masi se pojavljuje duž dva diskontinuiteta koji se nalaze pod određenim kutom u odnosu na lice pokosa, a nastali blok stijenske mase klizi prema iskopu po presječnici ravnina tih diskontinuiteta (slika 3.9 a). Ucertavanjem orijentacije diskontinuiteta na stereomrežu mogu se odrediti geometrijske značajke klinastog sloma, orijentacija linije presijecanja i smjer klizanja stijenske mase (slika 3.9 b). Prema Wyllie i Mah (2005), da bi došlo do klinastog sloma, sljedeći uvjeti moraju biti zadovoljeni: 1) kut nagiba presječnica dviju ravnina mora biti manji od kuta nagiba kosine i veći od kuta unutarnjeg trenja promatranih diskontinuiteta ($\psi_{fi} > \psi_i > \Phi$), 2) presječnica dva diskontinuiteta mora biti nagnuta u smjeru nagiba kosine (slika 3.9 c).



Slika 3.9. Geometrijski uvjeti potrebni za nastanak klinastog sloma: a) shematski prikaz klinastog sloma u stijenskoj masi, b) stereografski prikaz dvaju setova dskontinuiteta koji tvore klinasti slom; c) shematski presjek koji prikazuje položaj klizne plohe nastale klinastim slomom (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005)

Na slici 3.10 prikazano je kako se određuje klinasti slom preko polova seta dskontinuiteta u programu DIPS tvrtke Rocscience (www.rocscience.com). Na stereografskoj projekciji prikazan je trag ravnine pokosa zasjeka, odnosno prirodnog pokosa stijenske mase, orijentacije 135/45, polovi setova dskontinuiteta (toplja boja ukazuje na veći gustoću polova), tragovi ravnina setova dskontinuiteta i njihove presječnice, kut unutarnjeg trenja, $\Phi=30^\circ$ te primarna i sekundarna zona nestabilnosti. Kut unutarnjeg trenja ucrtava se na stereografsku projekciju idući od ruba kružnice prema središtu kružnice. Primarna zona nestabilnosti nalazi se izvan traga ravnine pokosa zasjeka/pokosa i unutar kuta unutarnjeg trenja. Ukoliko se pol presječnice setova dskontinuiteta nalazi unutar primarne zone nestabilnosti može doći do klinastog sloma po presječnici tih dskontinuiteta. Ovisno o geometrijskom obliku koji tvori presječnicu, klinasti slom se može dogoditi i dominantno po jednom setu dskontinuiteta, pri čemu drugi set zapravo predstavlja plohe popuštanja (eng. *release plane*). Do ovakvog sloma može doći unutar

zone primarne nestabilnosti, ali i ukoliko se pol presječnice setova diskontinuiteta nalazi unutar sekundarne zone nestabilnosti. Ova zona nalazi se izvan kuta unutarnjeg trenja, a unutar traga ravnine pokosa zasjeka/pokosa i traga ravnine čiji smjer nagiba je jednak smjeru nagiba pokosa zasjeka/pokosa, a kut nagiba je jednak kutu unutarnjeg trenja. Unutar sekundarne zone nestabilnosti nagib presječnice diskontinuiteta je manji od kuta trenja, dok je kut nagiba jednog od dvaju setova diskontinuiteta veći od kuta unutarnjeg trenja.



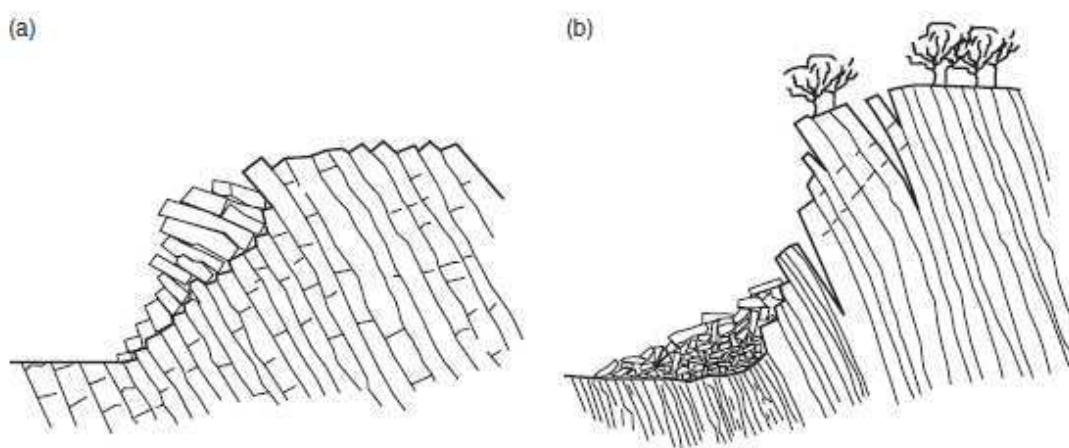
Slika 3.10. Stereografska projekcija za klinasti slom (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Wedge_Sliding.htm)

Prevrtnje je tip sloma kod kojeg se blokovi rotiraju oko nepomične baze (Wyllie i Mah, 2005). Razlikuju se dva glavna tipa prevrtanja: prevrtanje (eng. *direct toppling*) i prevrtanje savijanjem (eng. *flexural toppling*). Kako bi moglo doći do prevrtanja, potrebna su dva međusobno okomita seta. Prvi set diskontinuiteta, koji definira širinu blokova, je okomit ili približno okomit, na pokos zasjeka/ prirodni pokos stijenske mase, a drugi set diskontinuiteta, koji definira dužinu blokova je paralelan ili približno paralelan sa pokosom zasjeka/prirodnim pokosom (slika 3.11 a). Kod sloma prevrtanjem, dovoljan je jedan set diskontinuiteta koji je okomit ili približno okomit na pokos zasjeka/prirodni pokos

stijenske mase (slika 3.11b). Kako bi prevrtanje savijanjem bilo moguće, sljedeća uvjet mora biti zadovoljen (Hudson, 1997):

$$\psi \geq 90 + \Phi - \beta \quad (3-6)$$

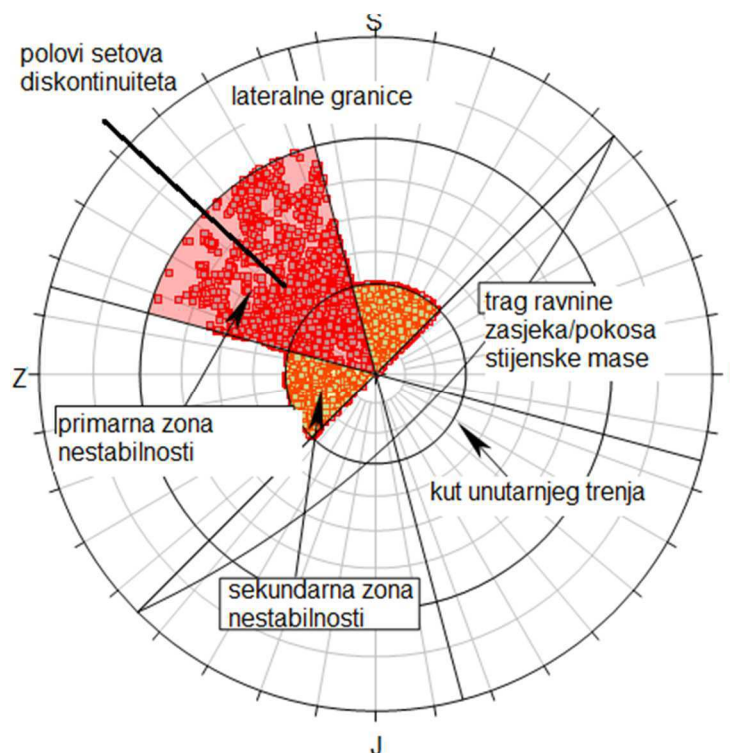
pri čemu je:
 ψ -kut nagiba pokosa zasjeka/prirodnog pokosa
 Φ -kut unutarnjeg trenja
 β -kut nagiba diskontinuiteta



Slika 3.11. Shematski prikaz prevrtanja: a) prevrtanje nastalo kombinacijom dvaju približno okomitih setova diskontinuiteta i b) prevrtanje savijanjem nastalo jednom setom diskontinuiteta (b) (modificirano prema Wyllie i Mah, 2005)

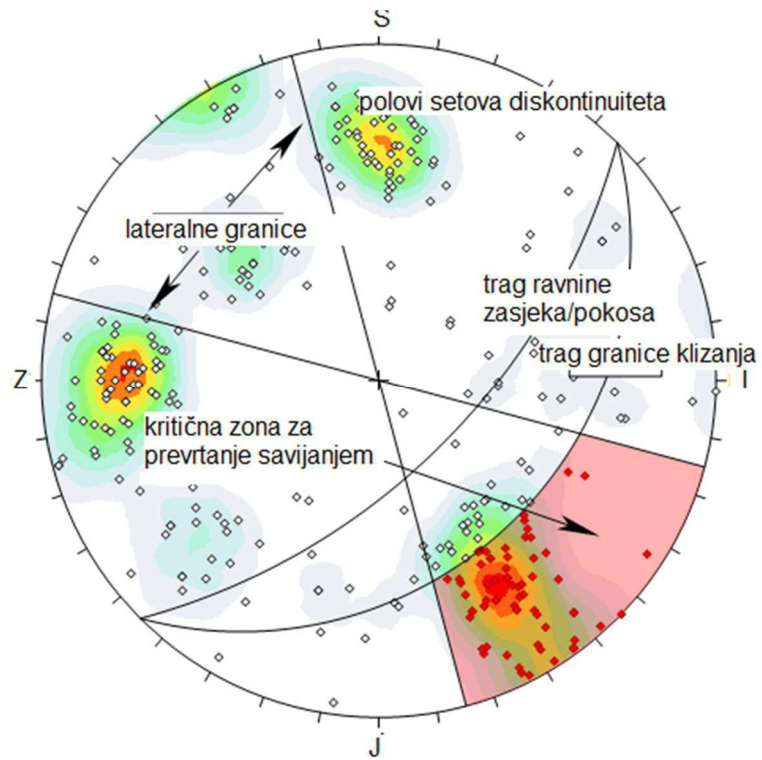
Na slici 3.12 prikazano je kako se određuje prevrtanje preko polova seta diskontinuiteta u programu DIPS tvrtke Rocscience (www.rocscience.com). Da bi došlo do prevrtanja potrebna su tri seta diskontinuiteta koji moraju zadovoljiti dva uvjeta. Presječnica dva seta diskontinuiteta mora biti nagnuta u smjeru suprotnom od nagiba pokosa. Ova presječnica omogućava nastanak pojedinačnih blokova stijenske mase. Treći set diskontinuiteta predstavlja gotovo horizontalne plohe. Ovaj set predstavlja ili plohe popuštanja ili plohe po kojima može doći do klizanja pojedinačnih blokova. Lateralne granice predstavljaju teorijsku granicu unutar koje je moguće prevrtanje, a definirane su kao dvije ravne linije koje prolaze kroz središte kružnice, a njihova vrijednost ovisi o smjeru nagiba pokosa zasjeka/pokosa. Njihova vrijednost najčešće iznosi između 20° i 30° u odnosu na smjer nagiba pokosa. Kut unutarnjeg trenja se nanosi idući od centra kružnice prema rubu kružnice i u ovom slučaju iznosi 30° . Primarna zona nestabilnosti je određena

lateralnim granicama te kružnicom koja se nanosi od ruba stereograma prema središtu, a čija vrijednost iznosi 90° -kut nagiba pokosa zasjeka/pokosa. Na taj način je definirana gornja granica prevrtanja i osigurano je da je kut između pokosa zasjeka/pokosa i blokova stijenske mase uvijek manji ili jednak 90° . Kako bi prevrtanje bilo moguće, presječna dvaju setova diskontinuiteta mora biti unutar kritične zone. Sekundarna zona nestabilnosti obuhvaća kut unutarnjeg trenja koji nije unutar lateralnih granica. Ako su presječnice tragova ravnine vertikalne, ili približno vertikalne, postoji veća mogućnost za prevrtanje te iz tog razloga nisu u obzir uzete lateralne granice.



Slika 3.12. Stereografska projekcija za prevrtanje (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Direct_Toppling.htm)

Na slici 3.13 prikazano je kako se određuje prevrtanje preko polova seta diskontinuiteta u programu DIPS tvrtke Rocscience (www.rocscience.com). Ključni elementi za provedbu analize su trag ravnine pokosa zasjeka/prirodnog pokosa, trag granice klizanja (eng. *Slip Limit*) i lateralne granice. Granica klizanja predstavlja trag kosine čiji je nagib umanjen za kut unutarnjeg trenja. Kritična zona obuhvaća područje izvan traga granica klizanja i područje unutar lateralnih granica. Ukoliko se pol seta diskontinuiteta nalazi unutar kritične zone, može doći do pojave prevrtanja savijanjem.



Slika 3.13. Stereografska projekcija za prevrtanje savijanjem (modificirano prema https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Flexural_Toppling.htm)

4. REZULTATI INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Inženjerskogeološko kartiranje dijela pokosa zasjeka na ŽC 6055 (Oklaj-Kistanje) provedeno je 19.11.2016. godine. Za potrebe kartiranja korištena je posebna geodetska podloga u mjerilu 1:1000 snimljena u veljači 2014. godine. Kartiranje je započelo na stacionaži 0+620 m, a završilo na stacionaži 0+740 m. Prvi korak kod kartiranja je bila podjela stijenske mase na 6 inženjerskogeoloških zona na temelju trošnosti i raspucanosti stijenske mase te promjene relativne orijentacije osi prometnice i pokosa zasjeka (slika 4.1). Zbog različitih morfoloških uvjeta, odnosno zbog različitog smjera nagiba i kuta nagiba, svaka inženjerskogeološka zona je dodatno podijeljena na zone A i B. Zona A obuhvaća pokos zasjeka, a zona B prirodni pokos stijenske mase (slika 4.1). Inženjerskogeološka zona IV je podijeljena na zone IVA i IVB, pri čemu zona IVB obuhvaća jarugu. Nakon podjele stijenske mase na inženjerskogeološko zone, unutar zona IA, IIA, IIIA, IVA, VA i VIA (donji dio pokosa zasjeka stijenske mase) identificirani su i opisani dominantni setovi diskontinuiteta. Za svaki set diskontinuiteta je određena jednoosna tlačna čvrstoća pomoću *Schimdovog* čekića, razmak, stanje i orijentacija diskontinuiteta te stanje podzemne vode, a unutar svake zone određen je RQD. RMR i GSI klasifikacija provedene su samo za zone koje obuhvaćaju pokos zasjeka stijenske mase (zone A). Kinematičke analize stabilnosti napravljene su za pokos zasjeka (zone A) ali i za prirodni pokos (zone B). Analize u zonama B načinjene su na temelju setova diskontinuiteta identificiranih i opisanih na pokosu zasjeka stijenske mase (u zonama A).

Kinematičke analize stabilnosti provedene su u softveru DIPS tvrtke Rocscience (www.rocscience.com). DIPS omogućava analizu i vizualizaciju strukturnih podataka na temelju orijentacije setova diskontinuiteta i pokosa zasjeka stijenske mase. Prvi korak kod provedbe analize je unošenje vrijednosti orijentacije setova diskontinuiteta u program. Unesene vrijednosti prikazane su u obliku polova na stereografskoj projekciji. Na temelju gustoće polova određuje se prosječna orijentacija setova diskontinuiteta te se ucrtavaju tragovi ravnine tih polova. Odabirom opcije *kinetic analysis*, te zatim tipa sloma (planarni ili klinasti slom, prevrtanje i prevrtanje savijanjem), na stereogramu se prikazuju kritične zone, obojane crvenom bojom. Ukoliko prosječna orijentacija setova diskontinuiteta ili njihovih presječnica upada u kritične zone, postoji mogućnost za nastanak sloma u stijenskoj masi (slika 3.8, 3.10 i 3.12). Vrijednosti kuta unutrašnjeg trenja stijenki diskontinuiteta preuzete su iz Arbanas i dr. (2015) te iznosi $\Phi=38^\circ$.



Slika 4.1. Dionica županijske ceste ŽC 6055 (Oklaj-Kistanje) podijeljena na inženjerskogeološke zone. Zone A obuhvaćaju pokos zasjeka stijenske mase, dok zone B obuhvaćaju prirodni pokos stijenske mase

4.1. Inženjerskogeološka zona I

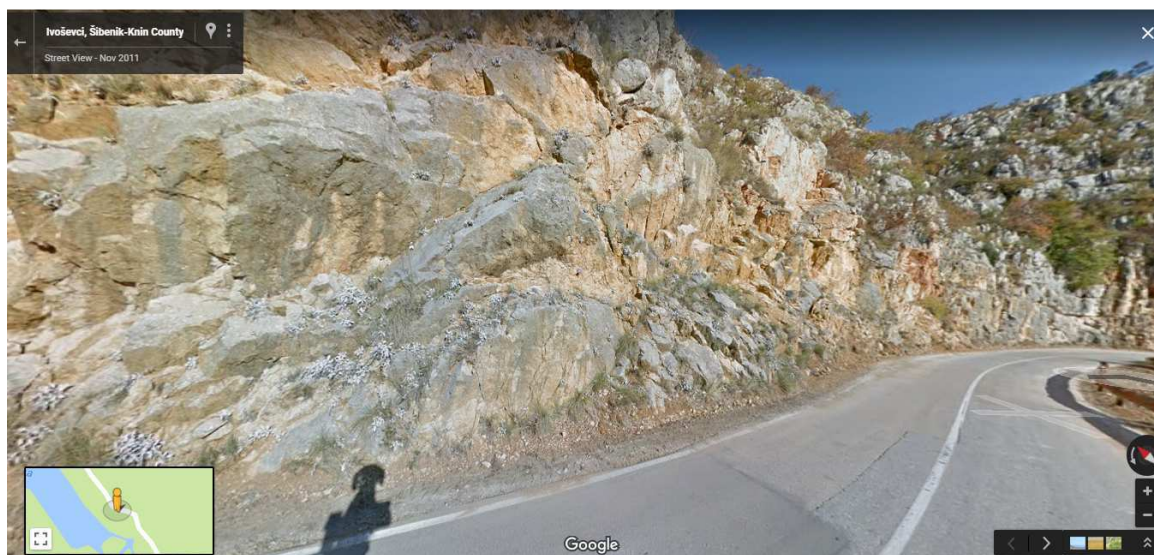
Inženjerskogeološka zona I nalazi se na stacionaži dionice ceste 0+620 do 0+642 m. Na temelju morfoloških značajki, odnosno s obzirom na kut nagiba i pravac pružanja pokosa zasjeka i prirodnog pokosa, stijenska masa je podijeljena na zone IA i IB. Unutar zone IA pokos zasjeka stijenske mase je visine 9 m i prosječne orijentacije 188/80. Zona je mjestimice prekrivena niskim raslinjem što doprinosi mehaničkom trošenju stijene i pogoduje nastanku lokalne nestabilnosti koje se uočavaju u obliku čestih odrona manjih blokova stijenske mase na prometnicu. Prirodni pokos stijenske mase (zona IB) je visine 32 m i prosječne orijentacije 211/40. Na prirodnom pokosu identificirani su mjestimični izdanci stijenske mase. Od vegetacije prevladava visoka trava, a mjestimice se pojavljuje nisko raslinje. Unutar inženjerskogeološke zone IA identificirano je i opisano 5 dominantnih setova diskontinuiteta (tablica4-1).

Tablica 4-1. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone IA

DISKONTINUITET	S ₁ (358/73)	S ₂ (249/39)	S ₃ (241/66)	S ₄ (179/53)	S ₅ (207/85)
razmak (cm)	20-100	15-100	100-150	15-50	20-50
širina (cm)	zatvorene	zatvorene	zatvorene	1	zatvorene
hrapavost	hrapave	neznatno	hrapave	hrapave	neznatno
trošnost	neznatno	neznatno	umjereno	umjereno	umjereno
ispuna	nema	nema	nema	meka	nema
orijentacija	dobra	povoljna	povoljna	povoljna	nepovoljna
postojanost (m)	2	1-3	1.5	2	0.2-1
RMR ukupni:	46				

4.1.1. Klasifikacija stijenske mase

Inženjerskogeološkim kartiranjem stijenske mase i značajki diskontinuiteta prikazanih u tablici 4-1 određeni su parametri nužni za ocjenu RMR klasifikacije. Vrijednost RMR bodova iznosi od 14 do 61 bod, a srednja vrijednost RMR je 46 bodova (tablica 4-2). Vrijednost RMR-a ukazuje da zonu IA predstavlja povoljna stijenska masa (slika 4.2).



Slika 4.2. Pogled na inženjerskogeološku zonu I (preuzeto s www.maps.google.com)

Tablica 4-2. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IA

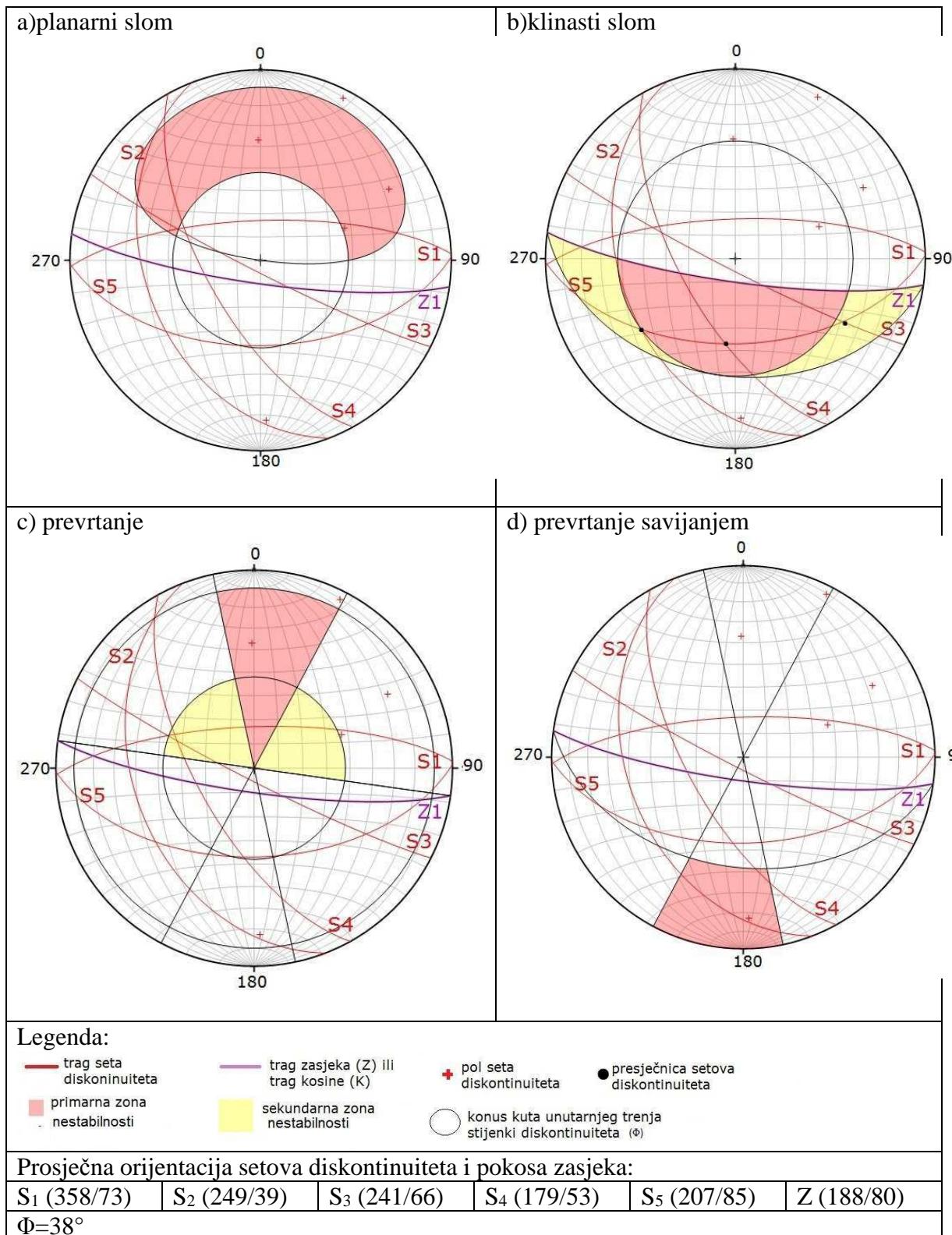
SET:1							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	26	-5	61
SET:2							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	16	-5	51
SET:3							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	24	-5	59
SET:4							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	12	-5	47
SET:5							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	24	-50	14

Stijenska masa zone IA je s obzirom na ocjenu strukture, u GSI klasifikaciji, klasificirana kao blokovito/poremećena do vrlo blokovita masa ($SR=25-47$), dok su diskontinuiteti s obzirom na ocjenu stijenki diskontinuiteta procijenjeni kao povoljni do vrlo dobri ($SCR=8-16$). S obzirom na ocjenu strukture i stijenki diskontinuiteta, GSI vrijednost zone IA iznosi od 35 do 62 (prilog 1).

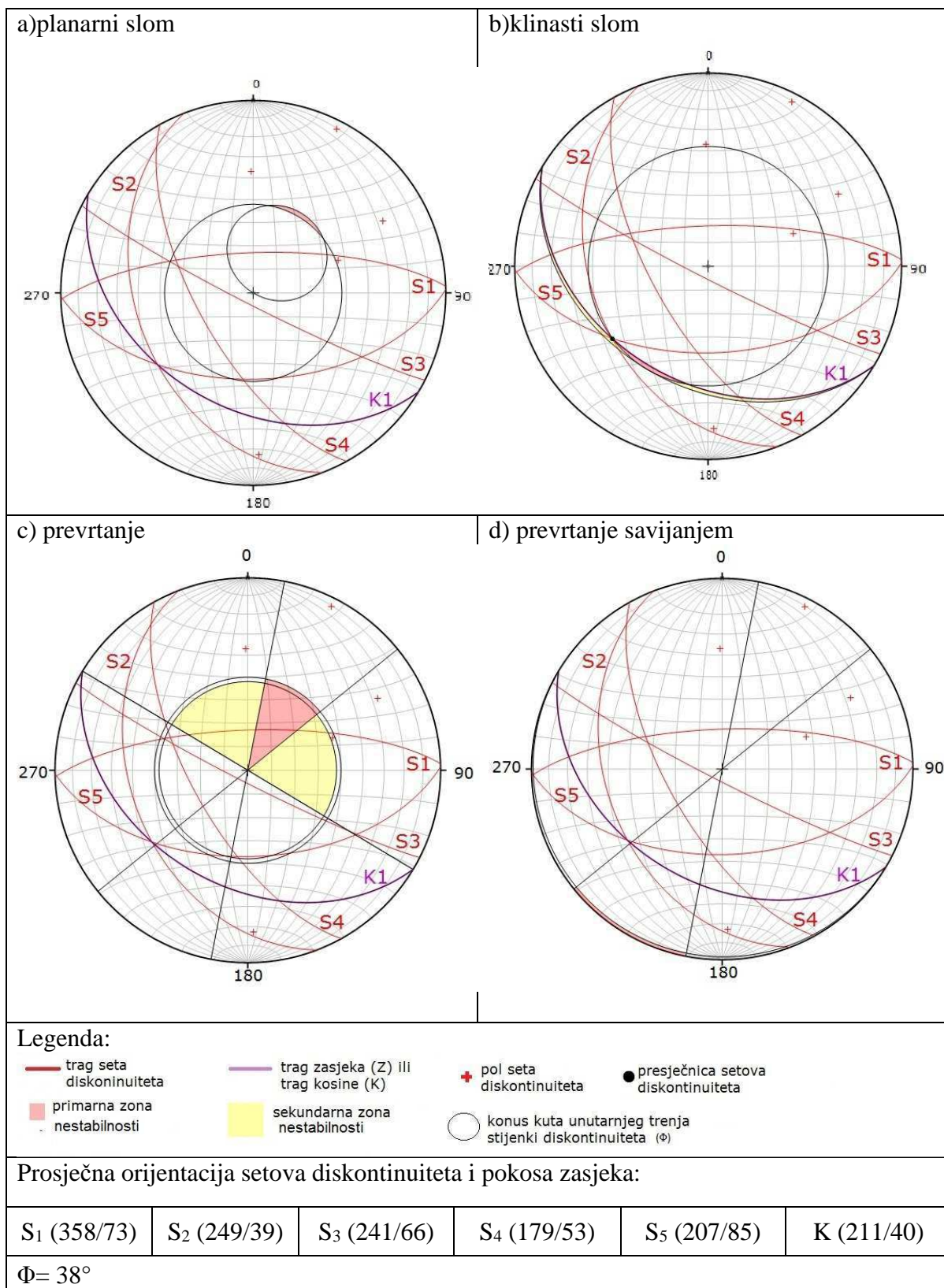
4.1.2. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu I

Rezultati kinematičke analize stabilnosti prikazani su na slici 4.3. S obzirom na rezultate analize u zoni IA moguć je planarni slom po plohama setova diskontinuiteta S_2 (249/39), S_4 (179/53) i S_5 (207/85). Klinasti slom je moguć po presječnici seta diskontinuiteta S_5 (207/85) sa setovima diskontinuiteta S_2 (249/39), S_3 (241/66) i S_4 (179/53). Po presječnici seta diskontinuiteta S_4 (179/53) sa setovima diskontinuiteta S_1 (207/85) i S_3 (241/66) moguće je prevrtanje, a po setu diskontinuiteta S_1 (358/73) moguće je prevrtanje savijanjem.

Prema rezultatima kinematičke analize stabilnosti (slika 4.4), unutar zone IB moguć je klinasti slom po presječnici setova diskontinuiteta S_2 (249/39) i S_5 (207/85). Kinematičkom analizom nije utvrđena mogućnost planarnog sloma, prevrtanja i prevrtanja savijanjem.



Slika 4.3. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IA



Slika 4.4. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IB

4.2. Inženjerskogeološka zona II

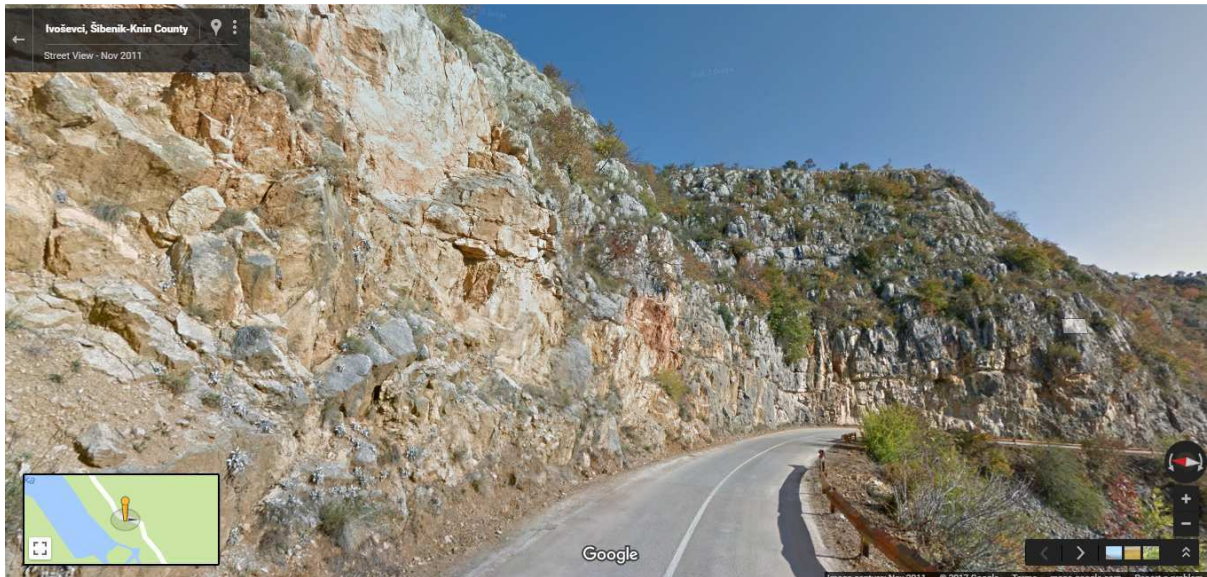
Inženjerskogeološka zona II nalazi se na stacionaži dionice ceste 0+642 do 0+675 m. Na temelju morfoloških značajki, odnosno s obzirom na kut nagiba i pravac pružanja pokosa zasjeka i prirodnog pokosa, stijenska masa je podijeljena na zone IIA i IIB. Unutar zone IIA pokos zasjeka stijenske mase je visine 9 m i prosječne orijentacije 188/80. Zona je mjestimice prekrivena niskim raslinjem što doprinosi mehaničkom trošenju stijene i pogoduje nastanku lokalne nestabilnosti koje se uočavaju u obliku čestih odrona manjih blokova stijenske mase na prometnicu. Prirodni pokos stijenske mase (zona IIB) je visine 32 m i prosječne orijentacije 200/40. Na prirodnom pokosu uočeni su mjestimični izdanci stijenske mase. Od vegetacije prevladava visoka trava, a mjestimice se pojavljuje nisko raslinje. Unutar inženjerskogeološke zone IIA identificirano je i opisano 5 dominantnih setova diskontinuiteta te jedan pojedinačni diskontinuitet (tablica 4-3).

Tablica 4-3. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone IIA

DISKONTINUITET	S ₁ (85/1)	S ₂ (161/43)	S ₃ (239/45)	S ₄ (270/82)	S ₅ (188/30)
razmak (cm)	20-100	10-50	20-100	30-100	40-150
širina (cm)	do 1	1	zatvorene	1	1
hrapavost	hrapave	neznatno	hrapave	hrapave	neznatno
trošnost	umjereno	neznatno	neznatno	neznatno	neznatno
ispuna	nema	nema	nema	meka >5	nema
orijentacija	dobra	nepovoljna	nepovoljna	povoljna	nepovoljna
postojanost (m)	4	2	0.5-2	2	2
RMR ukupni:	22				

4.2.1. Klasifikacija stijenske mase

Inženjerskogeološkim kartiranjem stijenske mase i značajki diskontinuiteta prikazanih u tablici 4-3 određeni su parametri nužni za ocjenu RMR klasifikacije. RMR bodovi iznose od 6 do 55, a srednja vrijednost RMR bodova iznosi 22 (tablica 4-4). Vrijednost RMR-a ukazuje da zonu IIA predstavlja slaba stijenska masa (slika 4.5).



Slika 4.5. Pogled na inženjerskogeološku zonu II (preuzeto s www.maps.google.com)

Tablica 4-4. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IIA

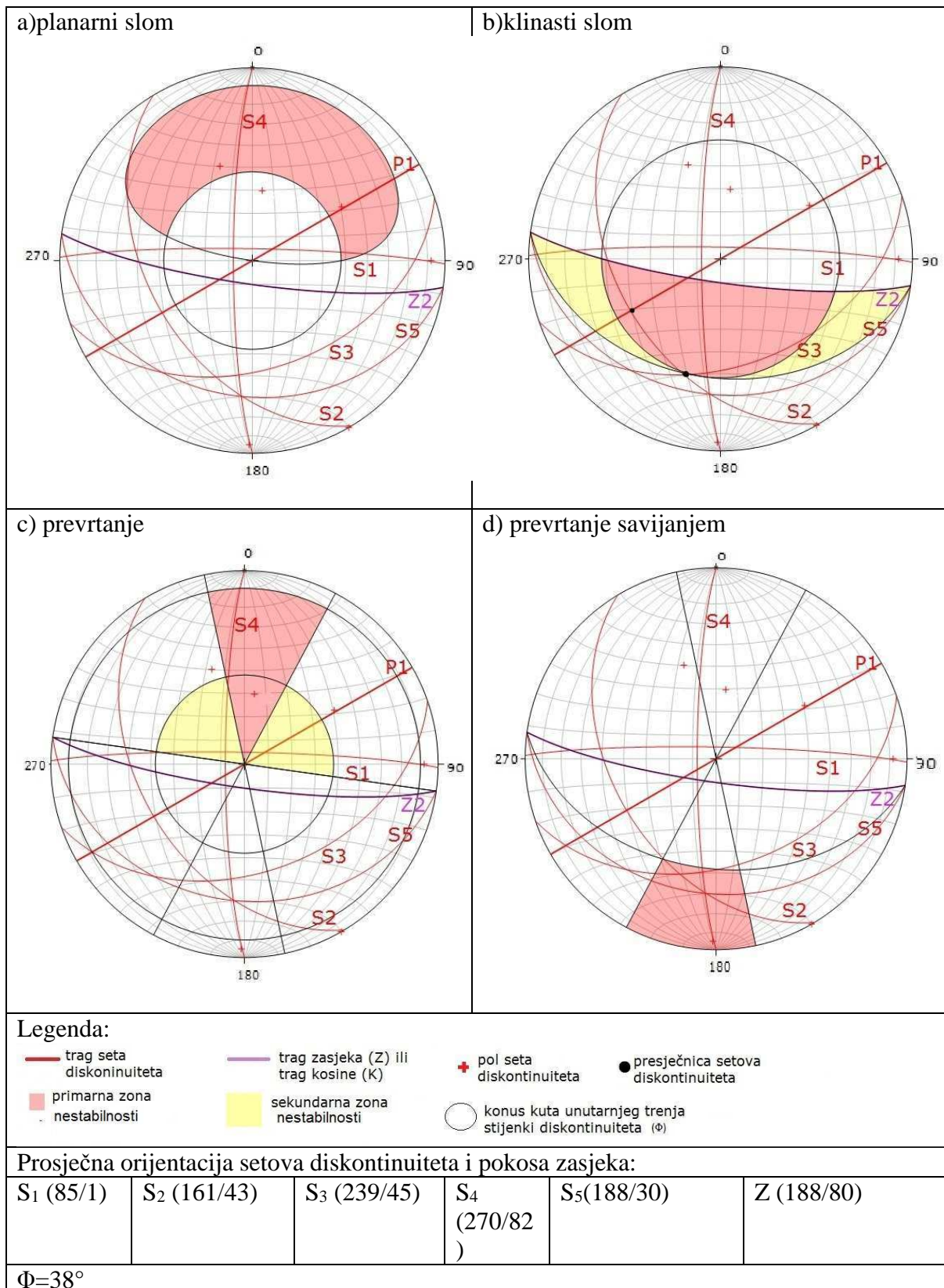
SET:1							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	10	-25	25
SET:2							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	16	-50	6
SET:3							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	26	-50	16
SET:4							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	20	-5	55
SET:5							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	13	15	8	20	-50	10

Stijenska masa zone IIA je s obzirom na ocjenu strukture, prema GSI klasifikaciji, klasificirana kao blokovito/poremećena do vrlo blokovita masa ($SR=21-50$), dok su diskontinuiteti s obzirom na ocjenu stijenki diskontinuiteta procijenjeni kao loši do vrlo dobri ($SCR=6-10$). S obzirom na ocjenu strukture i stijenki diskontinuiteta GSI vrijednost zone II iznosi od 29 do 63 (prilog 2).

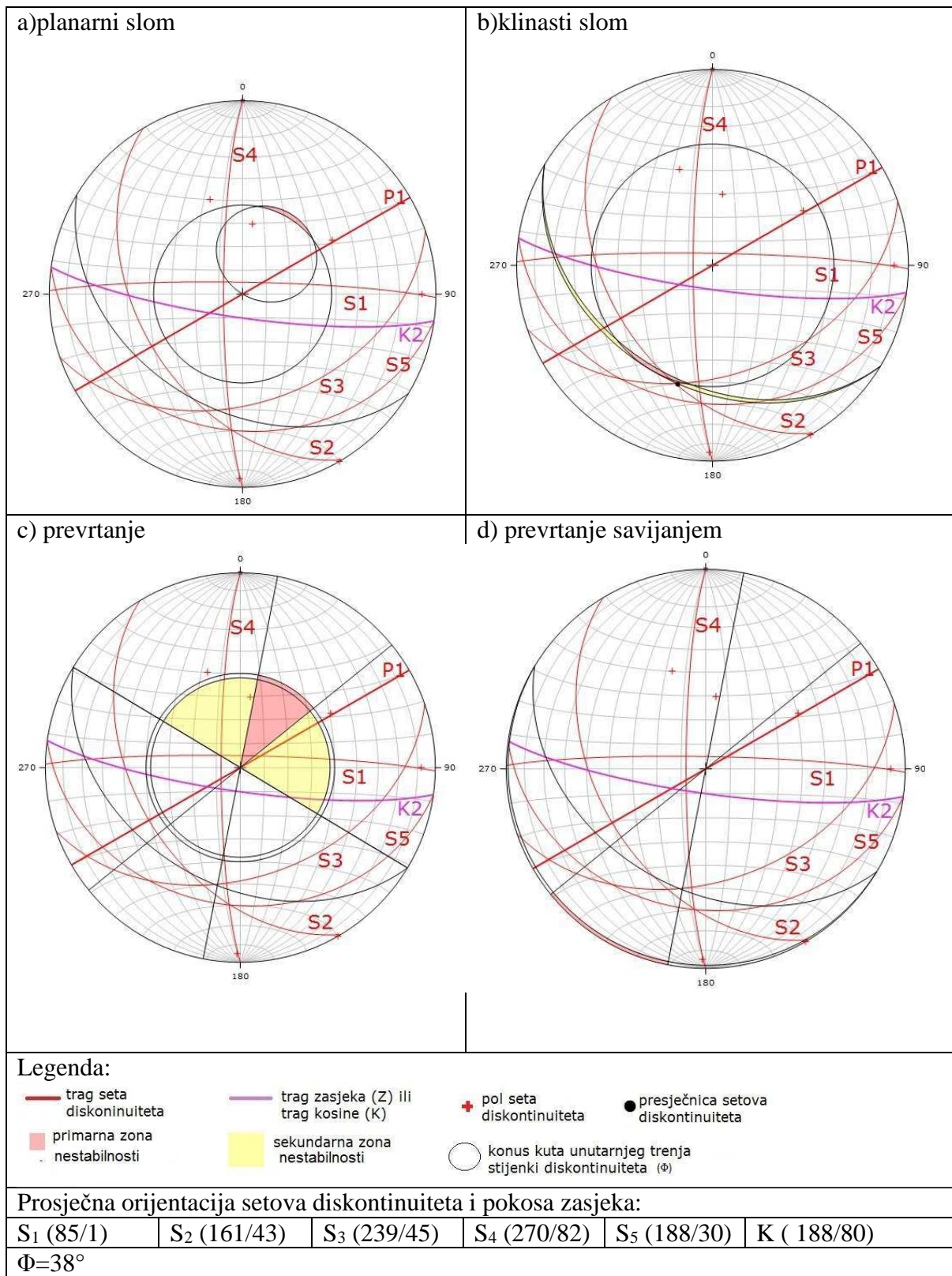
4.2.2. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu II

Prema kinematičkim analizama stabilnosti (slika 4.6) unutar zone IIA, moguć je planarni slom po plohama seta diskontinuiteta S_2 (161/43) i S_3 (239/45). Klinasti slom je moguć po presječnici seta diskontinuiteta S_2 (161/43) sa setom diskontinuiteta S_3 (239/45) i pojedinačnim diskontinuitetom P_1 (330/90). Po presječnici setova diskontinuiteta P_1 (330/90) i S_1 (1/85) moguće je prevrtanje, a po setu diskontinuiteta S_1 (1/85) moguće je prevrtanje savijanjem.

Kinematičke analize stabilnosti za zonu IIB ukazuju na mogućnost klinastog sloma po presječnici setova diskontinuiteta S_2 (161/43) i S_3 (239/45) te mogućnost prevrtanja presječnici setova diskontinuiteta P_1 (330/90) i S_1 (1/85) (slika 4.7). Kinematičkom analizom nije utvrđena mogućnost planarnog sloma i prevrtanja savijanjem.



Slika 4.6. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IIA



Slika 4.7. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IIB

4.3. Inženjerskogeološka zona III

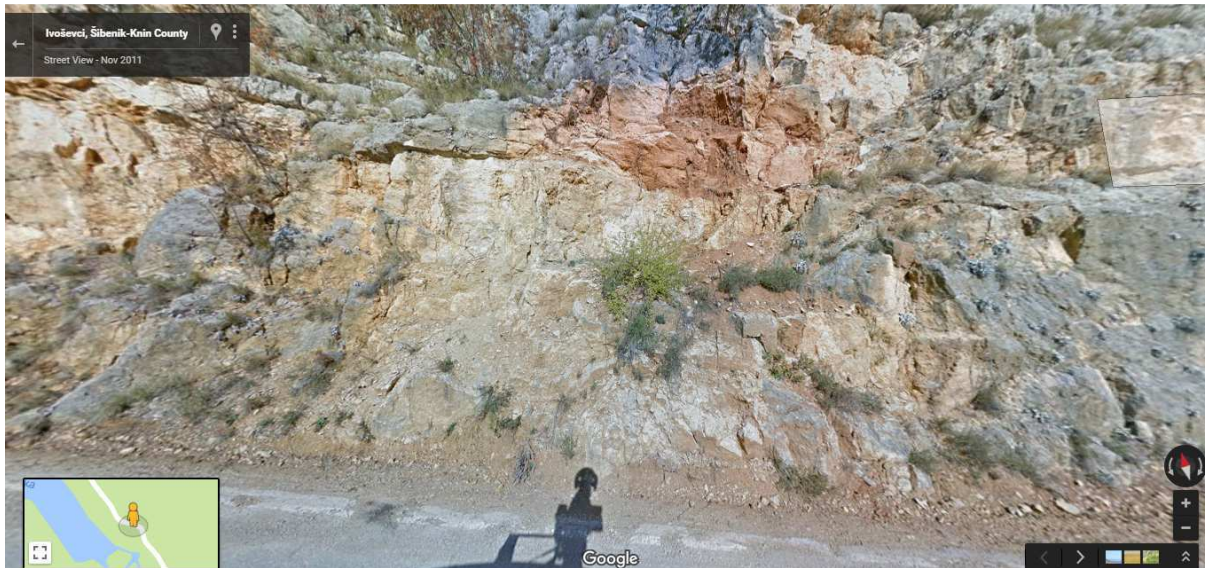
Inženjerskogeološka zona III nalazi se na stacionaži dionice ceste 0+675 do 0+700 m. Na temelju morfoloških značajki, odnosno s obzirom na kut nagiba i pravac pružanja pokosa zasjeka i prirodnog pokosa, stijenska masa je podijeljena na zone IIIA i IIIB. Unutar zone IIIA pokos zasjeka stijenske mase je visine 10 m i prosječne orijentacije 280/80. Zona je mjestimice prekrivena niskim raslinjem što doprinosi mehaničkom trošenju stijene i pogoduje nastanku lokalne nestabilnosti koje se uočavaju u obliku čestih odrona manjih blokova stijenske mase na prometnicu. Prirodni pokos stijenske mase (zona IIIB) je visine 33 m i prosječne orijentacije 205/55. Unutar prirodnog pokosa identificirani su mjestimični izdanci stijenske mase. Od vegetacije prevladava visoka trava, a mjestimice se pojavljuje nisko raslinje. Unutar inženjerskogeološke zone IIIA identificirana su i opisana dva dominantna seta diskontinuiteta te jedan pojedinačni diskontinuitet (tablica 4-5). Unutar zone, na otprilike 3 m visine, nalazi se proslojak nekonsolidiranog materijala koji se s povremenim prekidima proteže do inženjerskogeološke zone VI. Voda koja se procjeđuje kroz proslojak tokom kišnih i snježnih dana utječe na ubrzano mehaničko trošenje stijene. Granicu između inženjerskogeološke zone III i IV predstavlja rasjed.

Tablica 4-5. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone IIIA

DISKONTINUITET	S ₁ (86/6)	S ₂ (264/37)
razmak (cm)	50-70	50-60
širina (cm)	0.1-5	zatvorene
hrapavost	neznatno	glatke
trošnost	neznatno	svježe
ispuna (mm)	meka > 5	nema
orijentacija	nepovoljna	dobra
postojanost (m)	0.2-3	1-3
RMR ukupno:	27	

4.3.1. Klasifikacija stijenske mase

Inženjerskogeološkim kartiranjem stijenske mase i značajki diskontinuiteta prikazanih u tablici 4-5 određeni su parametri nužni za ocjenu RMR klasifikacije. RMR bodovi iznose od 11 do 47 bodova, a srednja vrijednost RMR-a iznosi 27 bodova (tablica 4-6). Vrijednost RMR-a ukazuje da zonu IIIA predstavlja slaba stijenska masa (slika 4.8).



Slika 4.8. Pogled na inženjerskogeološku zonu III (preuzeto s www.maps.google.com)

Tablica 4-6. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IIIA

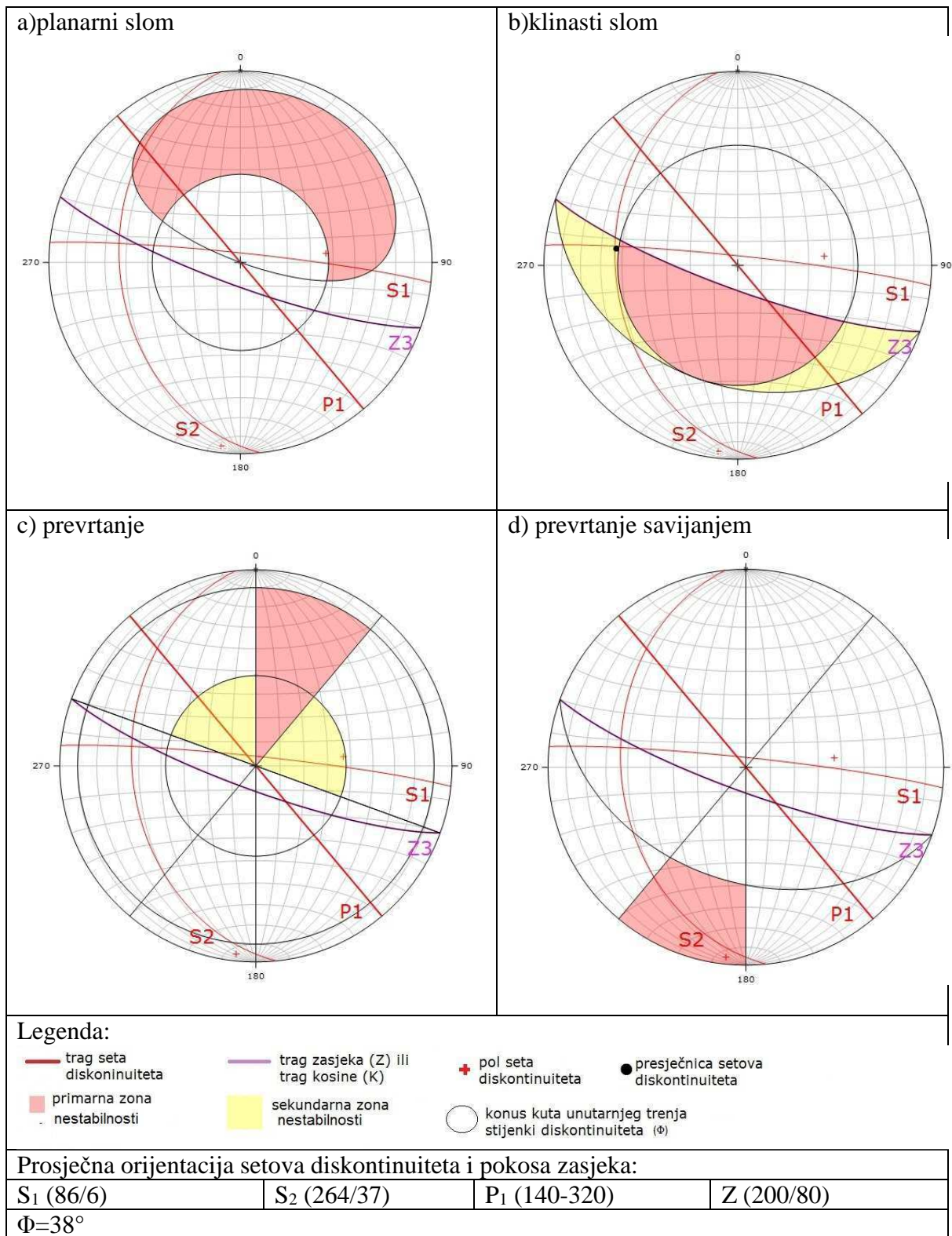
SET:1							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	20	15	10	12	-50	11
SET:2							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	20	15	10	23	-25	47

Stijenska masa zone IIIA je s obzirom na ocjenu strukture, u GSI klasifikaciji, klasificirana kao vrlo blokovita masa ($SR=55-60$), dok su diskontinuiteti s obzirom na ocjenu stijenki diskontinuiteta procijenjeni kao povoljni do dobri ($SCR=8-13$). S obzirom na ocjenu strukture i stijenki diskontinuiteta, GSI vrijednost zone III iznosi od 45 do 65 (prilog 3).

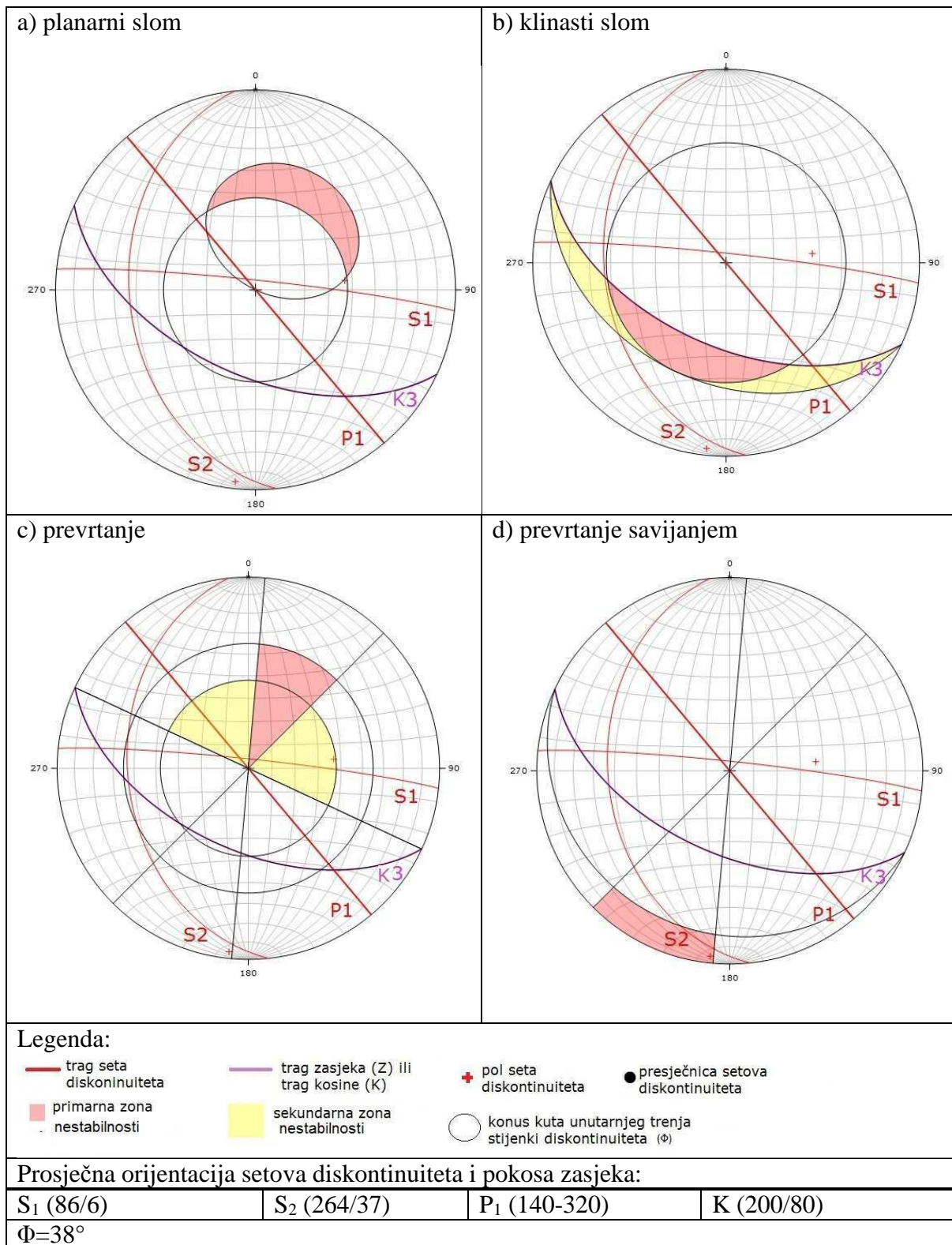
4.3.2. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu III

Prema kinematičkim analizama stabilnosti (slika 4.9) unutar zone IIIA moguć je planarni slom po plohi diskontinuiteta S_2 (264/37). Klinasti slom je moguć po presječnicama setova diskontinuiteta i S_2 (264/37). Po setu diskontinuiteta S_1 (86/6) moguće je prevrtanje savijanjem, a po presječnici seta diskontinuiteta S_1 (86/6) s diskontinuitetom P_1 (140-320) prevrtanje.

Kinematičke analize stabilnosti za zonu IIIB ukazuju na mogućnost planarnog sloma po plohi seta diskontinuiteta S_2 (264/37), prevrtanja po presječnici seta diskontinuiteta S_1 (86/6) s diskontinuitetom P_1 (140-320) i prevrtanja savijanjem po setu diskontinuiteta S_1 (86/6) (slika 4.10). Kinematičkom analizom nije utvrđena mogućnost klinastog sloma.



Slika 4.9. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IIIA



Slika 4.10. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu IIIB

4.4. Inženjerskogeološka zona IV

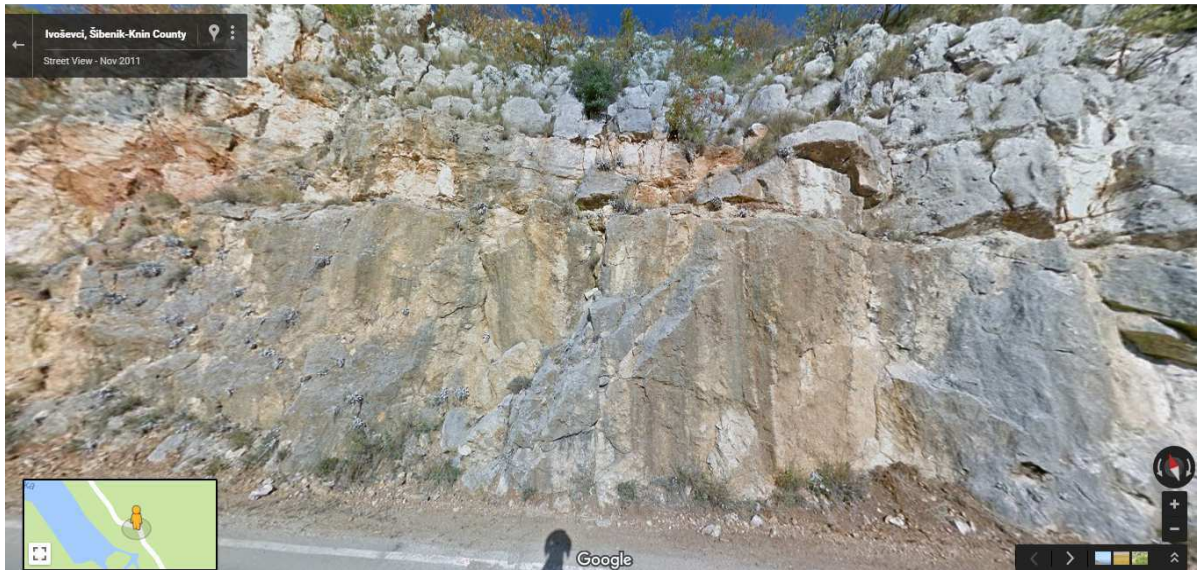
Inženjerskogeološka zona IV nalazi se na stacionaži dionice ceste 0+700 do 0+712 m. Na temelju morfoloških značajki, odnosno s obzirom na kut nagiba i pravac pružanja pokosa zasjeka i prirodnog pokosa, stijenska masa je podijeljena na zone IVA i IVB. Unutar zone IVA pokos zasjeka stijenske mase je visine 15 m i prosječne orijentacije 225/85. Unutar zone nije zabilježena vegetacija, no unatoč tome stijenska masa je okršena i trošna te su uočena mjesta na kojima je došlo do odrona stijenskog materijala na prometnicu. Prirodni pokos stijenske mase (zona IVB) obuhvaća sjeveroistočni dio pokosa u kojem je smještena jaruga. Jaruga je u potpunosti obrasla niskim raslinjem te za nju nije provedena kinematička analiza stabilnosti zbog nedostatka podataka o kutu nagiba, no polazi se od pretpostavke da vegetacija pozitivno utječe na stabilnost. Unutar inženjerskogeološke zone IVA identificirana su i opisana 4 dominantna seta diskontinuiteta (tablica 4-7).

Tablica 4-7. Značajke setova diskontinuiteta za inženjerskogeološku zonu IVA

DISKONTINUITET	S ₁ (14/85)	S ₂ (275/67)	S ₃ (224/44)	S ₄ (78/64)
razmak (cm)	10-100	20-50	10-20	10-20
širina (cm)	0.5-10	zatvorene	1-5	0.5
hrapavost	glatke	glatke	glatke	glatke
trošnost	neznatno	neznatno	neznatno	trošne
ispuna	meka >5	nema	meka >5	nema
orijentacija	povoljna	nepovoljna	izrazito nepovoljna	dobra
postojanost (m)	10	2-5	1.5	0.4
RMR ukupni:	24			

4.4.1. Klasifikacija stijenske mase

Inženjerskogeološkim kartiranjem stijenske mase i značajki diskontinuiteta prikazanih u tablici 4-4 određeni su parametri nužni za ocjenu RMR klasifikacije. Vrijednosti RMR bodova iznose od 0 do 47 bodova (tablica 4-8), a srednja vrijednost RMR bodova iznosi 24. Vrijednost RMR-a ukazuje da zonu IVA predstavlja slaba stijenska masa (slika 4.11).



Slika 4.11. Pogled na inženjerskogeološku zonu IV (preuzeto s www.maps.google.com)

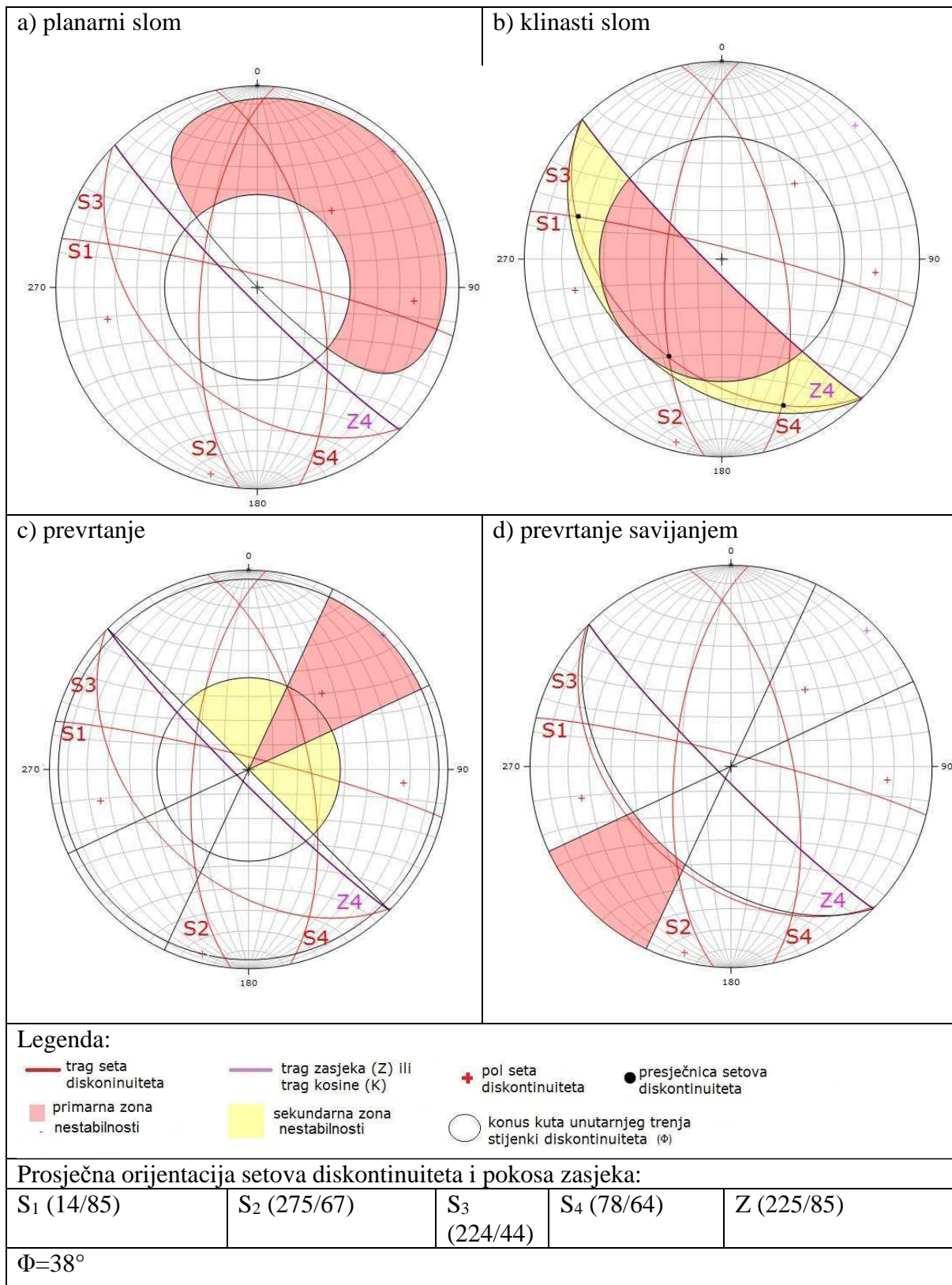
Tablica 4-8. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu IVA

SET:1							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	8	7	-5	37
SET:2							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	8	24	-50	9
SET:3							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	5	16	-50	0
SET:4							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	8	17	-5	47

Stijenska masa zone IVA je s obzirom na ocjenu strukture, u GSI klasifikaciji, klasificirana kao raspadnuta do vrlo blokovita masa ($SR=19-40$), dok su diskontinuiteti s obzirom na ocjenu stijenci diskontinuiteta procijenjeni kao loši do dobri (6-12). S obzirom na ocjenu strukture i stijenci diskontinuiteta GSI vrijednost zone IV iznosi od 28 do 50 (prilog 4).

4.4.2. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu IV

Rezultati kinematičke analize stabilnosti prikazani su na slici 4.12. S obzirom na rezultate analize u zoni IVA moguć je planarni slom po plohama seta diskontinuiteta S_2 (275/67), S_3 (224/44) i S_4 (78/64). Klinasti slom je moguć po presječnici setova diskontinuiteta S_1 (14/85) i S_2 (275/67) te po presječnici seta diskontinuiteta S_3 (224/44) sa setovima diskontinuiteta S_1 (14/85), S_2 (275/67) i S_4 (78/64). Prevrtnje moguće je po presječnici seta diskontinuiteta S_1 (14/85) sa setom diskontinuiteta S_4 (78/64). Kinematičkom analizom nije ustanovljena mogućnost prevrtanja savijanjem.



Slika 4.12. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu IVA

4.5. Inženjerskogeološka zona V

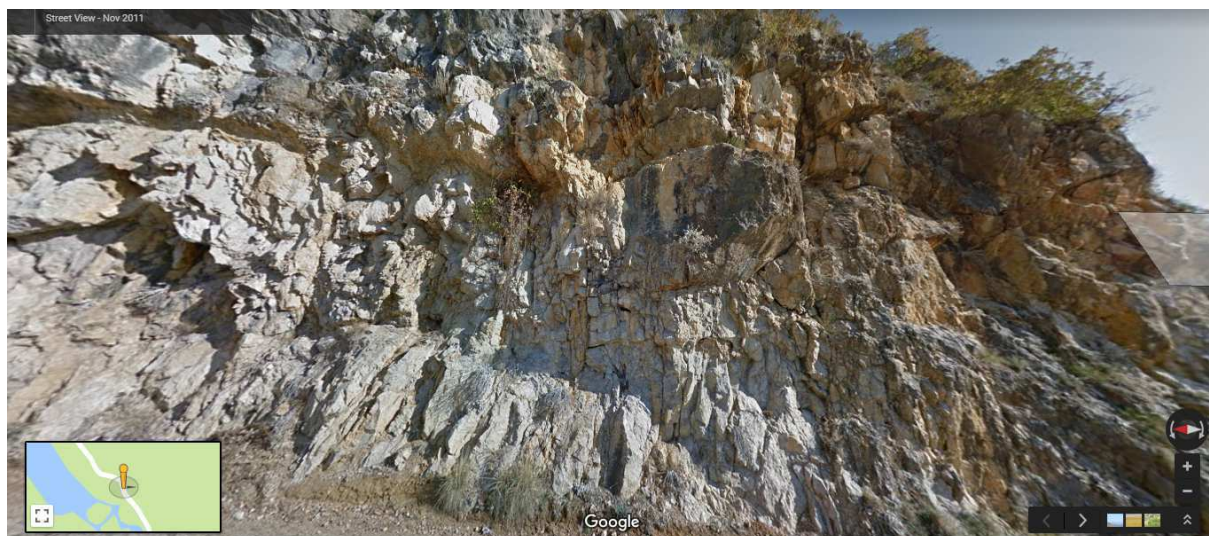
Inženjerskogeološka zona V nalazi se na stacionaži dionice ceste 0+712 do 0+725 m. Na temelju morfoloških značajki, odnosno s obzirom na kut nagiba i pravac pružanja pokosa zasjeka i prirodnog pokosa, stijenska masa je podijeljena na zone VA i VB. Unutar zone VA pokos zasjeka stijenske mase je visine 15 m i prosječne orijentacije 275/85. Unutar zone nije zabilježena vegetacija, no unatoč tome stijenska masa je okršena i trošna te su uočena mjesta na kojima je došlo do odrona stijenskog materijala na prometnicu. Prirodni pokos stijenske mase (zona VB) prosječne je visine oko 14 m i prosječne orijentacije 276/50. Na gornjem dijelu prirodnog pokosa identificirani su brojni izdanci stijenske mase, a od vegetacije zastupljeno je nisko raslinje koje pozitivno djeluje na lokanu stabilnost stijenske mase. Unutar inženjerskogeološke zone VA identificirano je i opisano 4 dominantnih setova diskontinuiteta, koji su identični setovima diskontinuiteta opisanih u inženjerskogeološkoj zoni IV (tablica 4-9). Razlog podjele na dvije inženjerskogeološke zone je nagla promjena orijentacije osi pokosa zasjeka stijenske mase i prometnice.

Tablica 4-9. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone VA

DISKONTINUITET	S ₁ (14/85)	S ₂ (275/67)	S ₃ (224/44)	S ₄ (78/64)
razmak (cm)	10-100	20-50	10-20	10-20
širina (cm)	0.5-10	zatvorene	1-5	0.5
hrpavost	glatke	glatke	glatke	glatke
trošnost	neznatno	neznatno	neznatno	trošne
ispuna	meka >5	nema	meka >5	nema
orijentacija	povoljna	nepovoljna	izrazito nepovoljna	dobra
postojanost (m)	10	2-5	1.5	0.4
RMR ukupni:	24			

4.5.1. Klasifikacija stijenske mase

Inženjerskogeološkim kartiranjem stijenske mase i značajki diskontinuiteta prikazanih u tablici 4-9 određeni su parametri nužni za ocjenu RMR klasifikacije. Vrijednosti RMR bodova iznose od 0 do 47 bodova, a srednja vrijednost RMR bodova iznosi 24 (tablica 4-10). Vrijednost RMR-a ukazuje da zonu IVA predstavlja slaba stijenska masa (slika 4.13).



Slika 4.13. Pogled na inženjerskogeološku zonu V (preuzeto s www.maps.google.com)

Tablica 4-10. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu VA

SET:1							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	8	7	-5	37
SET:2							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	8	24	-50	9
SET:3							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	5	16	-50	0
SET:4							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	4	8	15	8	17	-5	47

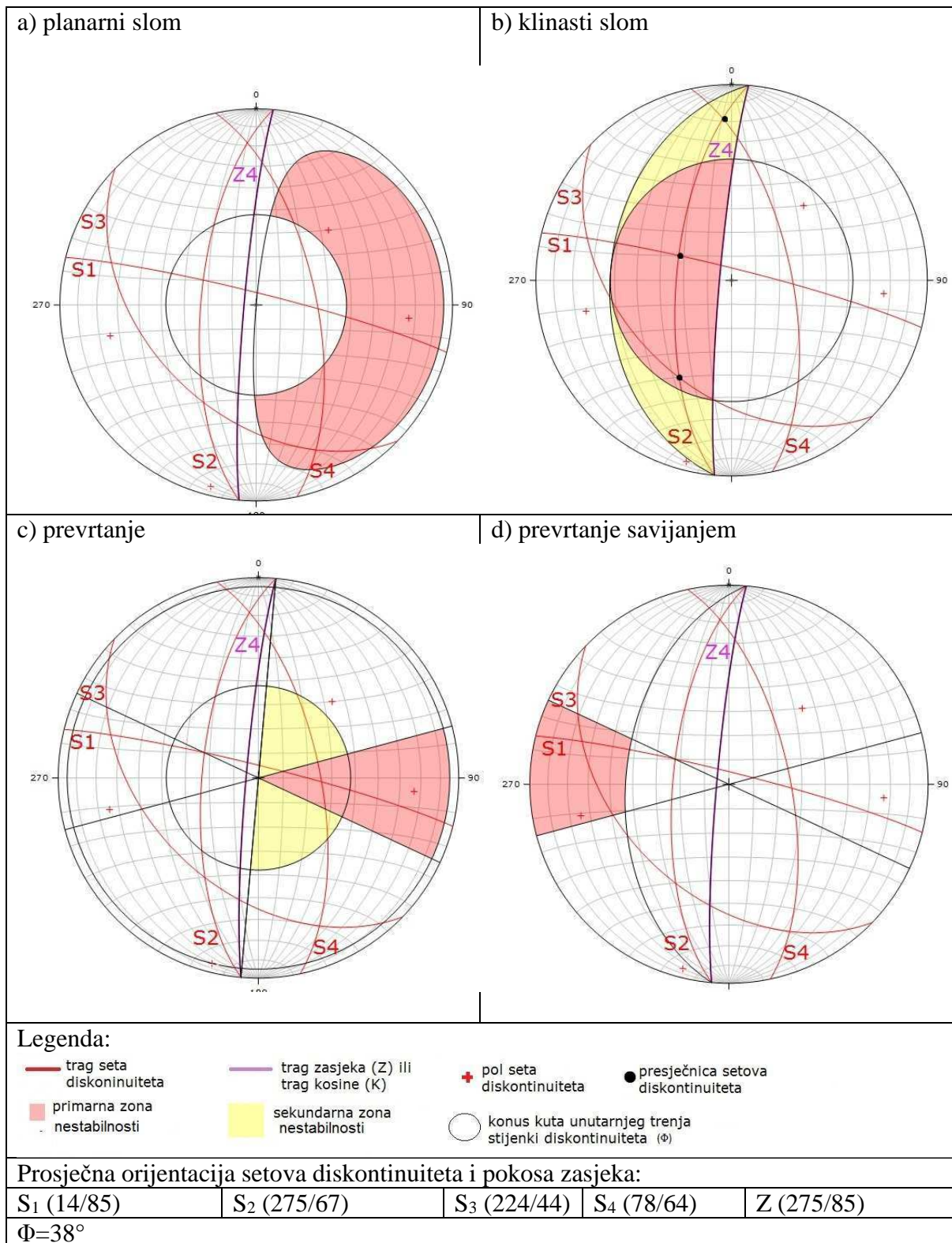
Stijenska masa zone VA je s obzirom na ocjenu strukture, u GSI klasifikaciji, klasificirana kao raspadnuta do vrlo blokovita masa (SR=19-40), dok su diskontinuiteti s

obzirom na ocjenu stijenki diskontinuiteta procijenjeni kao loši do dobri (SCR=6-12). S obzirom na ocjenu strukture i stijenki diskontinuiteta GSI vrijednost zone IV iznosi od 28 do 50 (prilog 4).

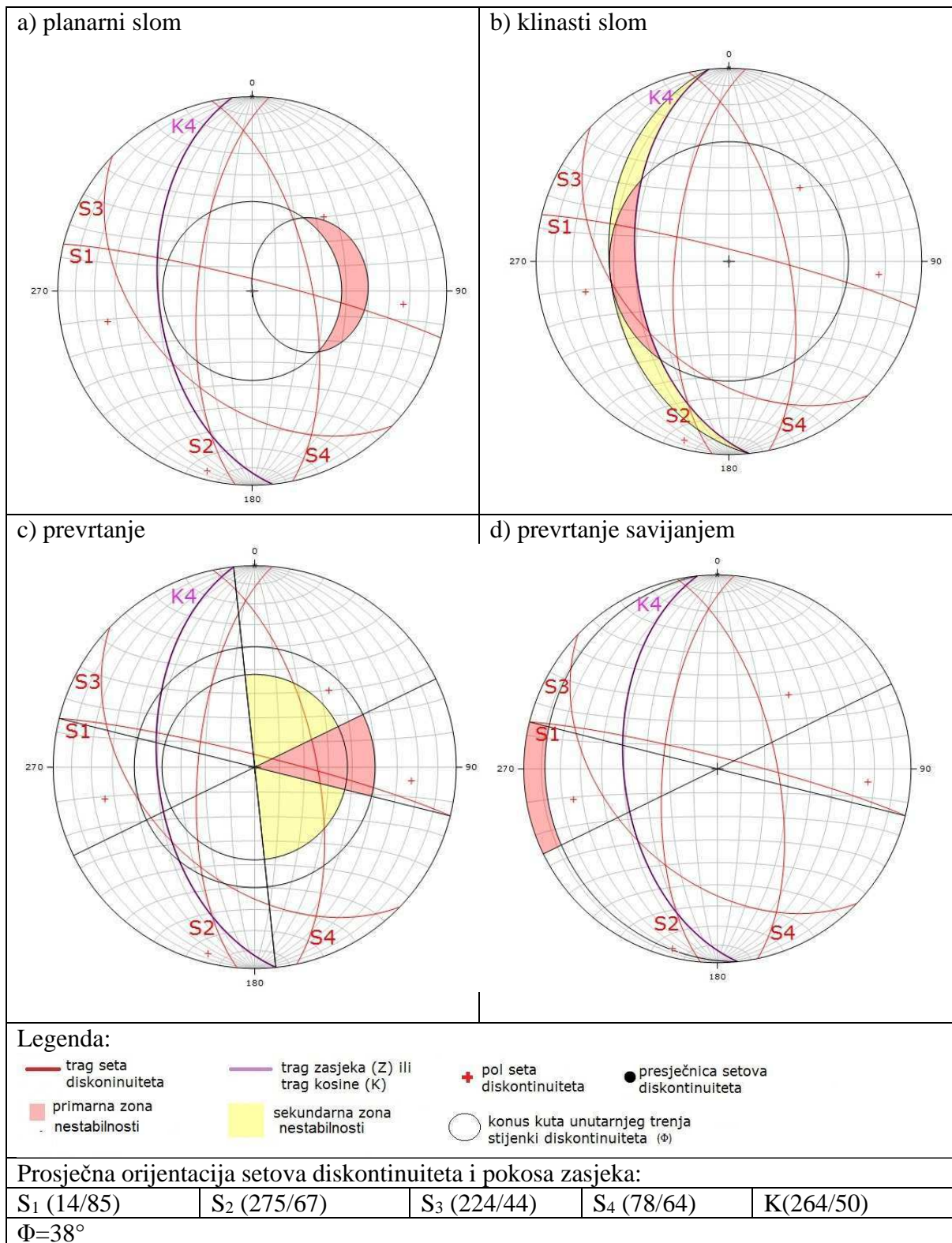
4.5.2. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu V

Prema rezultatima kinematičkih analiza (slika 4.14) unutar zone VA moguć je planarni slom po setovima diskontinuiteta S_2 (275/67) i S_3 (224/44). Klinasti slom je moguć po presječnici seta diskontinuiteta S_2 (275/67) sa setovima diskontinuiteta S_1 (14/85), S_3 (224/44) i S_4 (78/64). Prevrtnje je moguće po presječnici setova diskontinuiteta S_1 (14/85) sa setom diskontinuiteta S_4 (78/64), a po setu diskontinuiteta S_4 (78/64) prevrtanje savijanjem.

Prema rezultatima kinematičke analize, unutar inženjerskogeološke zone VB moguće je prevrtanje je moguće po presječnici setova diskontinuiteta S_1 (14/85) sa setom diskontinuiteta S_4 (78/64), no nije utvrđena mogućnost planarnog i klinastog sloma kao ni mogućnost prevrtanja i prevrtanja savijanjem (slika 4.15).



Slika 4.14. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu VA



Slika 4.15. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu VB

4.6. Inženjerskogeološka zona VI

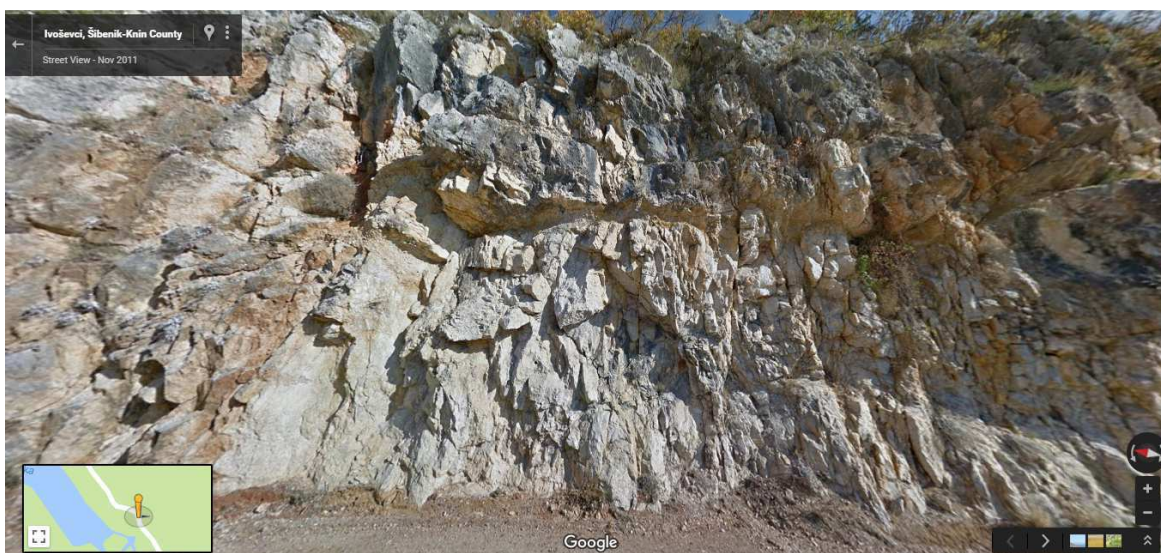
Inženjerskogeološka zona VI nalazi se na stacionaži dionice ceste 0+725 do 0+740 m. Na temelju morfoloških značajki, odnosno s obzirom na kut nagiba i pravac pružanja pokosa zasjeka i prirodnog pokosa, stijenska masa je podijeljena na zone VIA i VIB. Unutar zone VIA pokos zasjeka stijenske mase je visine 15 m i prosječne orijentacije 276/85. Na pokosu zasjeka nije zabilježena vegetacija, a stijenska masa je okršena i trošna te su uočena mjesta na kojima je došlo do odrona stijenske mase na prometnicu. Prirodni pokos stijenske mase (zona VIB) je visine 34 m i prosječne orijentacije 264/55. Na prirodnom pokosu stijenske mase uočeni su mjestimični izdanci stijenske mase. Od vegetacije prevladava visoka trava, a mjestimice se pojavljuje nisko raslinje. Unutar inženjerskogeološke zone VIA identificirano je i opisano 5 dominantnih setova diskontinuiteta (tablica 4-11).

Tablica 4-11. Značajke setova diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke zone VIA

DISKONTINUITET	S ₁ (287/40)	S ₂ (188/85)	S ₃ (256/85)	S ₄ (71/30)	S ₅ (71/30)
razmak (cm)	20-100	10-50	5-40	10-30	30-50
širina (cm)	zatvorene	zatvorene	zatvorene	zatvorene	zatvorene
hrapavost	umjereno glatke	glatke	glatke	glatke	glatke
trošnost	neznatno	slabo	umjereno	umjereno	umjereno
ispuna	nema	nema	nema	nema	nema
orijentacija	dobra	nepovoljna	povoljna	povoljna	nepovoljna
postojanost (m)	2	1-3	1.5	2	3-5
RMR ukupni:	26				

4.6.1. Klasifikacija stijenske mase

Inženjerskogeološkim kartiranjem stijenske mase i značajki diskontinuiteta prikazanih u tablici 4-11 određeni su parametri nužni za ocjenu RMR klasifikacije. RMR bodovi iznose od 0 do 47, a srednja vrijednost RMR klasifikacije iznosi 26 (tablica 4-12). Vrijednost RMR-a ukazuje da zonu VIA predstavlja slaba stijenska masa (slika 4.16).



Slika 4.16. Pogled na inženjerskogeološku zonu VI (preuzeto s www.maps.google.com)

Tablica 4-12. RMR bodovi za inženjerskogeološku zonu VIA

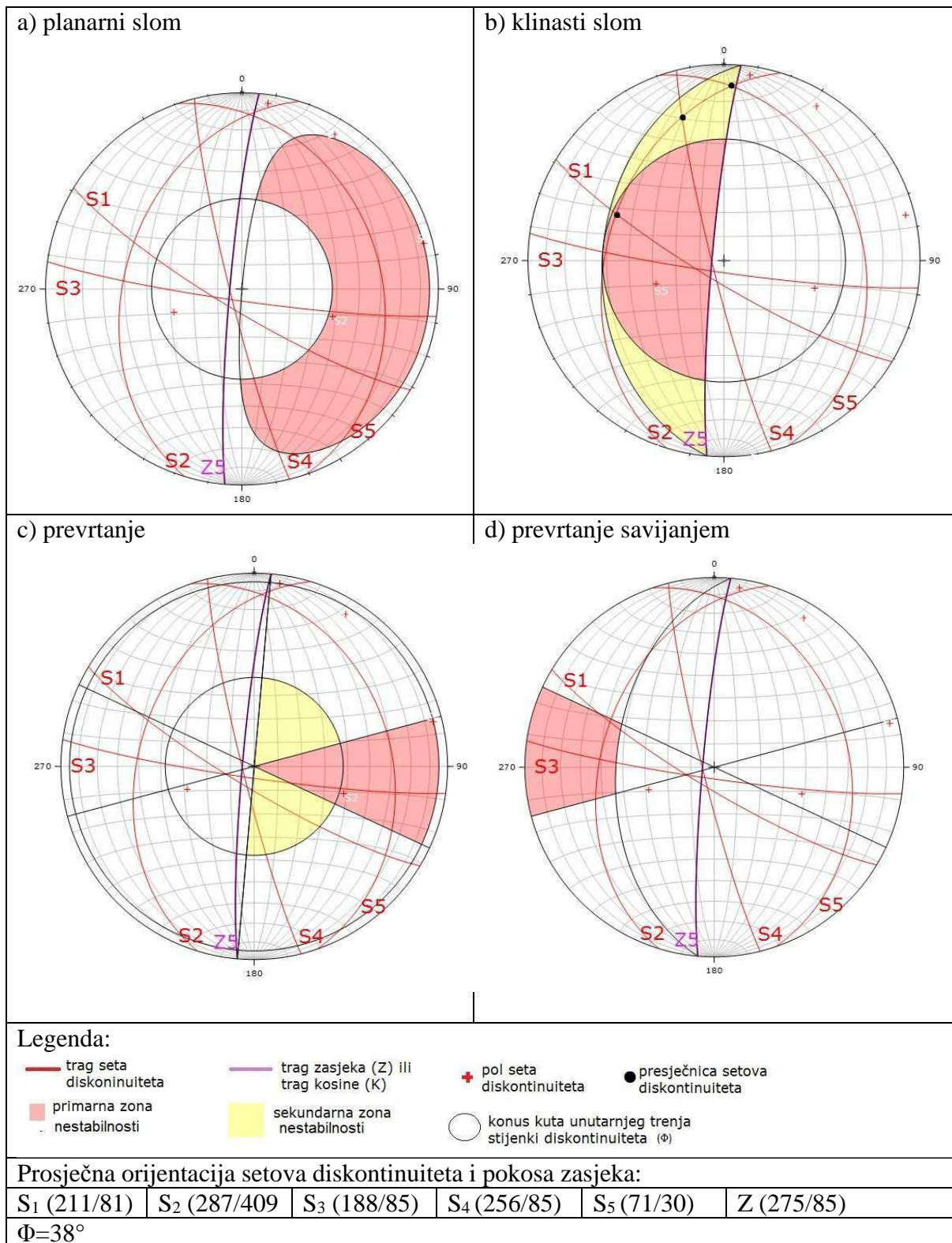
SET:1							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	2	3	15	8	24	-5	47
SET:2							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	2	3	15	8	24	-50	2
SET:3							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	2	3	15	8	18	-5	41
SET:4							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	2	3	15	5	18	-5	38
SET:5							
BODOVI:	σ_c	RQD	P.V.	RAZMAK	STANJE	ORIJENTACIJA	RMR
	2	3	15	8	18	-50	0

Stijenska masa zone VIA je s obzirom na ocjenu strukture, u GSI klasifikaciji, klasificirana kao raspadnuta do blokovito/poremećena masa (SR=12-40), dok su diskontinuiteti s obzirom na ocjenu stijenci diskontinuiteta procijenjeni kao povoljni do dobri (SCR=10-12). S obzirom na ocjenu strukture i stijenci diskontinuiteta GSI vrijednost zone VI iznosi od 36 do 46 (prilog 5).

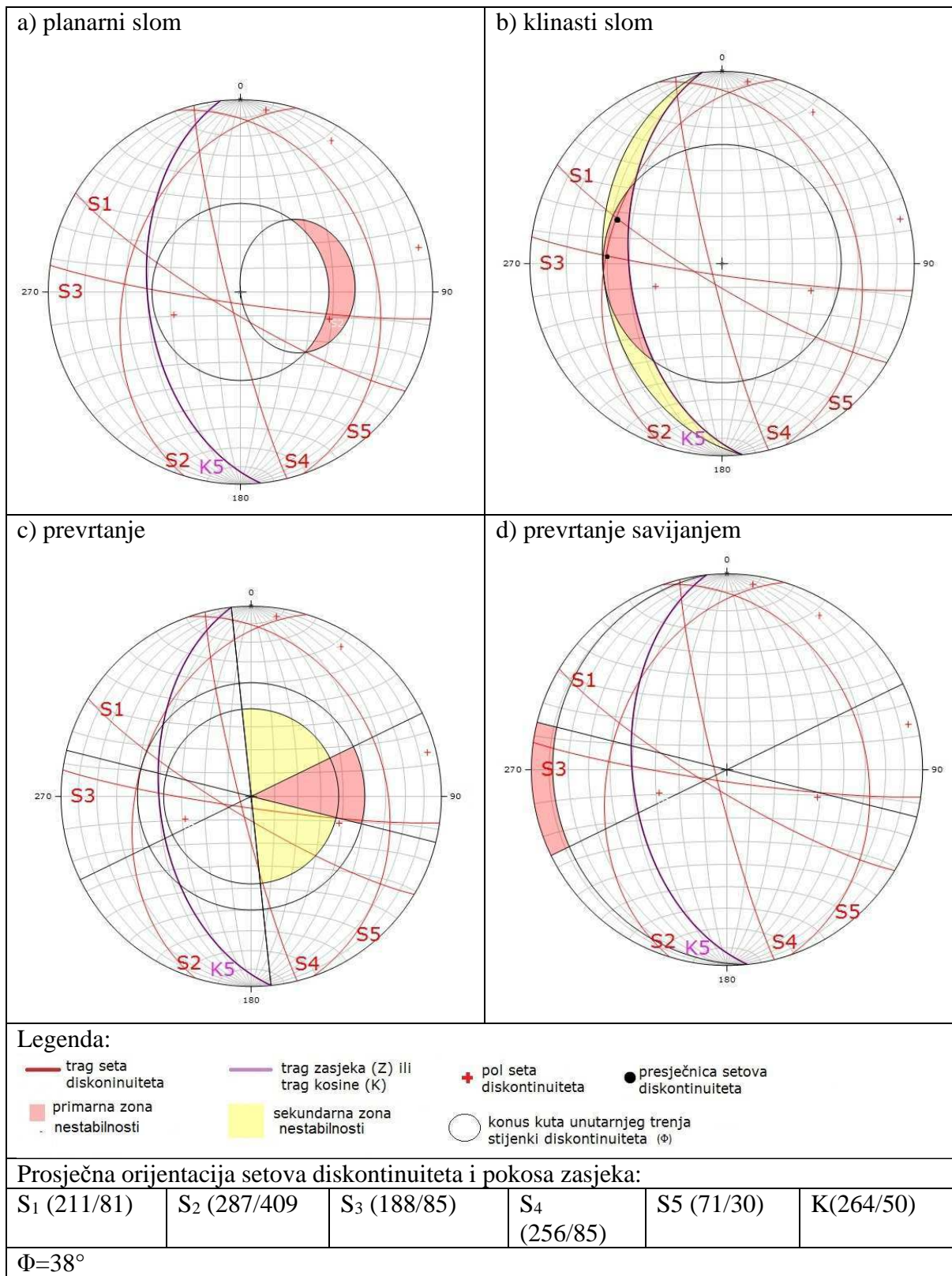
4.6.2. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu VI

Rezultati kinematičke analize stabilnosti prikazani su na slici 4.17. S obzirom na rezultate analize, u zoni VIA moguć je planarni slom po plohama setova diskontinuiteta $S_1(211/81)$, $S_2(287/40)$ i $S_4(256/85)$. Klinasti slom je moguć po presječnici seta diskontinuiteta $S_2(287/40)$ sa setovima diskontinuiteta $S_3(188/85)$, $S_4(256/85)$ i $S_5(71/30)$. Po presječnici setova diskontinuiteta $S_5(71/30)$ i $S_3(188/85)$ moguće je prevrtanje. Kinematičkom analizom nije ustanovljena mogućnost prevrtanja savijanjem.

Prema rezultatima kinematičke analize stabilnosti (slika 4.18), unutar zone VIB moguć je planarni slom po setu diskontinuiteta $S_2(287/40)$ te klinasti slom po presječnici seta diskontinuiteta $S_2(287/40)$ sa setovima diskontinuiteta $S_1(211/81)$ i $S_3(188/85)$. Kinematičkom analizom nije ustanovljena mogućnost prevrtanja kao ni mogućnost prevrtanja savijanjem.



Slika 4.17. Rezultati kinematičke analize stabilnosti za inženjerskogeološku zonu VIA



Slika 4.18. Rezultati kinematičke analize za inženjerskogeološku zonu VIB

4.7. Karta podložnosti stijenske mase na nestabilnosti

Kinematičke analize stabilnosti provedene su za planarni i klinasti slom te prevrtanje i prevrtanje savijanjem. Na temelju dobivenih rezultata za svaku zonu izrađena je Karta podložnosti s obzirom na nestabilnost stijenske mase, u mjerilu 1:500 (prilog 6). Inženjerskogeološke zone podijeljene su na četiri zone s obzirom na stupanj podložnosti, odnosno na: 1) zonu vrlo visoke podložnosti, unutar koje je moguć planarni i klinasti slom, prevrtanje te prevrtanje savijanjem, 2) zonu vrlo visoke podložnosti, unutar koje su mogući dva ili tri tipa sloma, 3) zonu srednje podložnosti, unutar koje je moguć jedan od četiri navedena tipa sloma i 4) zonu niske podložnosti unutar koje nije moguća niti jedna vrsta sloma

Kinematičke analize stabilnosti ukazuju da inženjerskogeološke zone koje obuhvaćaju pokos zasjeka stijenske mase, odnosno inženjerskogeološke zone IA, IIA, IIIA, i VA su zone vrlo visoke podložnosti. Ustanovljeno je da je unutar tih zona moguć planarni i klinasti slom, prevrtanje savijanjem i prevrtanje. Inženjerskogeološke zone IVA, VIA IIB, IIIB i VIB su zone vrlo visoke podložnosti. Unutar zona IVA i VIA moguć je planarni i klinasti slom te prevrtanje. Unutar zone IIB moguć je klinasti slom te prevrtanje. Unutar zone IIIB moguć je planarni slom te prevrtanje i prevrtanje savijanjem, a unutar inženjerskogeološke zone VIB je moguć planarni i klinasti slom. Inženjerskogeološka zona IB je zona srednje podložnosti, unutar koje je moguć klinasti slom. Inženjerskogeološke zone IVB i VB su zone niske podložnosti, unutar kojih nije ustanovljena mogućnost sloma.

Generalno se može zaključiti da zone koje obuhvaćaju pokos zasjeka, s prosječnim kutom nagiba od oko 80° , su podložnije na nestabilnosti od prirodnog pokosa, odnosno zona s manjim kutom nagiba (od 40° do 50°).

Zbog nepristupačnog terena, odnosno zbog strmog kuta nagiba stijenske mase, terenskim inženjerskogeološkim kartiranjem opisani su setovi diskontinuiteta koji se nalaze na nižim dijelovima pokosa zasjeka te su na temelju njih provedene kinematičke analize stabilnosti za prirodni pokos stijenske mase. Zbog toga bi trebalo dobivene rezultate za inženjerskogeološke zone IB, IIB, IIIB, VB i VIB uzeti s rezervom.

5. DISKUSIJA

Zadatak diplomskog rada je RMR klasifikacija i GSI kategorizacija stijenske mase te određivanje potencijalnih nestabilnosti kinematičkom analizom stabilnosti. RMR i GSI su provedene s ciljem procjene čvrstoće stijenske mase, a preko kinematičkih analiza stabilnosti određeni su tipovi nestabilnosti unutar svake zone. Budući ukupna visina istraživanih pokosa zasjeka i prirodnog pokosa iznosi 33 m (pri čemu visina pokosa zasjeka varira od 9 do 15 m), RMR klasifikacija je provedena samo u nižim dijelovima stijenske mase, dok su kinematičke analize stabilnosti za više dijelove pokosa provedene na temelju podataka prikupljenih na nižim dijelovima pokosa zasjeka. Karta podložnosti stijenske mase na nestabilnosti u mjerilu 1:500 izrađena je na temelju rezultata kinematičkih analiza stabilnosti.

RMR bodovi za sve zone su vrlo niski te je stijenska masa određena kao slaba do povoljna. Jedan od razloga tome su niske vrijednosti parametra jednoosne tlačne čvrstoće (σ_c) koji ima velik utjecaj na izračun RMR-a. Za izračun σ_c korišten je *Schmidov* čekić, a za dobivanje kvalitetnijih podataka, potrebno je odrediti vrijednosti σ_c na temelju laboratorijskih ispitivanja intaktnog uzorka stijenske mase. Drugi razlog niskih RMR bodova je nepovoljna orijentacija diskontinuiteta. Na pokosu zasjeka i prirodnom pokosu stijenske mase, unutar svake zone, nalazi se barem jedan set diskontinuiteta s nepovoljnom orijentacijom. Prema sustavu bodovanja koji je predložio Bieniawski (1989), nepovoljna orijentacija diskontinuiteta ima vrijednost od -50 bodova. Budući da je maksimalna vrijednost RMR bodova 100, niske vrijednosti RMR-a nisu u potpunosti neočekivane.

GSI kategorizacija provedena je na način koji su predložili Sonmez i Ulusay (2002), odnosno dodijeljeni su bodovi za oba parametra, stanja stijenske mase i veličine blokova. Prednost tako modificirane GSI kategorizacije je smanjenje utjecaja subjektivnog i iskustvenog prosuđivanja. Prema toj GSI kategorizaciji, stanje diskontinuiteta je procijenjeno kao loše do vrlo dobro, a stijenska masa je karakterizirana kao raspadnuta do blokovita. Rezultati ovako određene kategorizacije je u skladu s vizualnom kategorizacijom.

Karta podložnosti nestabilnostima izrađena je na temelju rezultata kinematičkih analiza stabilnosti te prikazuje inženjerskogeološke zone s obzirom na visinu stupnja podložnosti stijenske mase na potencijalne slomove unutar svake zone. Stupanj

podložnosti na potencijalne slomove je definiran s obzirom na mogućnost pojavljivanja sloma. Zone unutar kojih su mogući planarni i klinasti slom, prevrtanje i prevrtanje savijanjem su definirane kao zone vrlo visoke podložnosti. Zone unutar kojih su mogući minimalno dva tipa sloma su definirane kao zone visoke podložnosti. Zone unutar kojih je moguć samo jedan tip sloma su definirane kao zone srednje podložnosti, zone unutar kojih nije ustavljena mogućnost za niti jedan slom su definirane kao zone niske podložnosti. Dobivene rezultate za inženjerskogeološke zone IB, IIB, IIIB, IVB, i VIB bi trebalo uzeti s rezervom jer su kao ulazni podaci za kinematičke analize stabilnosti bili korišteni setovi diskontinuiteta koji se nalaze na donjem dijelu pokosa zasjeka stijenske mase.

6. ZAKLJUČAK

Zbog opasnosti od pojava nestabilnosti stijenske mase na istraživanoj dionici županijske ceste ŽC 6055 (Kistanje-Okalj), u studenom 2016. provedeno je inženjerskogeološko istraživanje s ciljem određivanja kvalitete stijenske mase i određivanja tipova potencijalnih nestabilnosti, odnosno zona podložnosti s obzirom na nestabilnost. Istraživanje se sastojalo od detaljnog terensko inženjerskogeološkog kartiranja pokosa zasjeka i pokosa. Istraživan pokos zasjeka i prirodni pokos, nalaze se iznad prometnice, na stacionaži od 0+620 do 0+740 m. Inženjerskogeološko kartiranje stijenske mase obuhvatilo je određivanje vrste stijene, trošnosti stijenske mase, indeks kvalitete stijenske mase (RQD), jednoosnu tlačnu čvrstoću intaktne stijene (σ_c), identificiranja i opisivanja dominantnih setova diskontinuiteta (orijentacija, zijeve, razmak, ispuna, hrapavost trošnost, postojanost te stanje podzemne vode) te izdvajanja zona s obzirom na homogenost inženjerskogeoloških svojstava. Stijenska masa je podijeljena na 6 inženjerskogeoloških zona, izgrađenih od vapnenačkih konglomerata gornjoeocenske do donjooligocenske starosti. Svaka zona je na temelju morfoloških značajki, odnosno s obzirom na kut nagiba i smjer nagiba pokosa zasjeka i pokosa, dodatno podijeljena na dvije podzone.

RMR klasifikacija i GSI kategorizacija su provedene samo za pokos zasjeka stijenske mase neposredno uz prometnicu, budući da nije bilo moguće opisati setove diskontinuiteta nalaze u višim dijelovima pokosa zasjeka, odnosno prirodnog pokosa. RMR bodovi za inženjerskogeološke zone variraju od 22 boda (inženjerskogeološka zona IIA) do 46 boda (inženjerskogeološka zona IA) te je stijenska masa opisana kao slaba do povoljna. GSI bodovi variraju od 28 (inženjerskogeološke zone IVA i VA) do 62 (inženjerskogeološka zona IA) te je stijenska masa opisana kao raspadnuta do blokovita.

Kinematičke analize stabilnosti provedene su za sve zone na temelju setova diskontinuiteta koji su identificirani i opisani na donjem dijelu pokosa zasjeka. Na temelju rezultata kinematičkih analiza stabilnosti, utvrđene su sljedeće zone podložnosti nestabilnostima:

- zone vrlo visoke podložnosti nestabilnostima, unutar kojih je moguć planarni i klinasti slom, prevrtanje i prevrtanje savijanjem obuhvaćaju

inženjerskogeološke zone IA, IIA, IIIA, i VA, odnosno zone koje obuhvaćaju pokos zasjeka stijenske mase tik uz prometnicu.

- zone visoke podložnosti nestabilnostima, unutar koje su mogući barem dva tipa sloma (npr. klinasti slom i prevrtanje) obuhvaćaju inženjerskogeološke zone IVA, VIA, IIB, IIIB i IVB.
- zone srednje podložnosti nestabilnostima, unutar koje je moguć barem jedan tip sloma (npr. planarni slom) obuhvaćaju inženjerskogeološku zonu IB
- zona niske podložnosti nestabilnostima, unutar koje nije ustanovljena mogućnost niti jednog tipa sloma obuhvaćaju inženjerskogeološke zone IVB i VB.

7. POPIS LITERATURE

ARBANAS, Ž., BERNAT, S., VIVODA, M., SEČANJ, M., KRKAČ, M., MIHALIĆ ARBANAS, S., 2015. Pokos na županijskoj cesti ŽC 6055, dionica: D59 – most preko rijeke Krke, geotehnički elaborat, Zagreb, Geolog savjetovanje

BAČANI, A, 2015, PowerPoint prezentacije iz kolegija Hidrogeologija II, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

BIENIAWSKI, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapor

DEERE, D.U., HENDRON, A.J., PATTON, F.D., i CORDING, E.J., 1967, Design of surface and near surface construction in rock, 8th U.S. Symposium on Rock Mechanics: Failure and breakage of rock: New York, Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers

EUROCODE 8, 2004, Design of structures for earthquake resistance, European Committee for Standardization, BS EN 1998-1:2004, Brussels.

ISRM (1979b): Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. Vol. 16, pp. 135-140

IVANOVIĆ, A., SAKAČ, K., MARKOVIĆ, S., SOKAČ, B., ŠUŠNJAR, M., NIKLER L., ŠUŠNJARA, A., 1967. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Oborovac, L33–140 – Institut za geološka istraživanja Zagreb (1962-1967), Savezni geološki zavod, Beograd

IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S., SAKAČ, K., 1972. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Drniš L K 33 –9. – Institut za geološka istraživanja Zagreb (1962-1967), Savezni geološki zavod, Beograd

GRIMANI I., ŠIKIĆ, K., ŠIMUNIĆ, A., 1972. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Knin L33 –141. – Institut za geološka istraživanja Zagreb (1962-1966), Savezni geološki zavod, Beograd

- GRIMANI, I., JURIŠA M., ŠIKIĆ, K., ŠIMUNIĆ, A., 1975. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Knin L33 –141. – Institut za geološka istraživanja Zagreb (1966), Savezni geološki zavod, Beograd, pp. 2-22
- HUDSON, J. A., HARRISON, J.P, 1997, Engineering rock mechanics an introducton to the principles, Elsevier, 317-320
- HRŽENJAK P, BRIŠEVAC, Z., 2009, Upute i predlošci za laboratorijske vježbe iz Mehanike stijena, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, interna skripta, Zagreb
- HOEK, E., BROWN, E.T., 1997. Practical Estimates Of Rock Mass Strenght, Internation Journal Of Rock Mechanics And Mining Science, 34 (8), 1165-1187
- MAMUŽIĆ i dr. (1965): Osnovna geološka karta, list Šibenik mjerila 1:100.000. Institut za geološka istraživanja Zagreb
- MIHALIĆ ARBANAS, S., BERNAT, S. 2015, Interna skripta iz kolegija Inženjerska geologija II, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- MIŠČEVIĆ, P., 2004. Uvod u inženjersku mehaniku stijena, Split, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet
- PRICE, D. G. 2009, Engineering Geology, Principles and Practise, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 84-85
- SONMEZ, H., ULUSAY, Z., 2002, A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slopa stability case studies, Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, Turkey
- VALLEJO, L.I.G, FERRER, M., 2011. Geological Engineering, London, Taylor & Francis Group, pp 109-175
- ZAINOVIĆ, K., GAJIĆ-ČAPKA, M., PERČEC TADIĆ, M., i dr., 2008. Klimatski atlas Hrvatske/Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000., Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod

WYLLIE, D.,C., MAH, C., W., 2005. Rock slope engineering, Civil and mining, 4th edition, New York, Spoon Press

WWW IZVORI:

ABBAS, S.M, KONTEZKY, H., 2015, Rock Mass Classification Systems. URL: https://www.researchgate.net/publication/277504261_Rock_Mass_Classification_Systems (04.08.2017)

DRŽAVNI HIDROMETEROLOŠKI ZAVOD (DHMZ), Köppenova klasifikacije klime. URL: <http://klima.hr/klima.php?id=k1#pog4> (16.01.2017)

DIP ANALYST, klinasti slom, URL: <http://www.dipanalyst.com/Kinematic%20Analysis/Kinematic%20Analysis.html> (05.08.2017)

GEO5, Geotechnical Engineering Software, URL: <http://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/barton-bandis-parameters-01/> (17.08.2017)

GOOGLE MAPS, URL: www.maps.google.com (20.12.2016)

HERAK, M., HERAK, D., MARKUŠIĆ, S., 1996. Shematski prikaz seizmičnosti Hrvatske i okolnih područja od prije Krista do 2008. godine, prema dopunjenom hrvatskom katalogu potresa URL: <http://www.gfz.hr/seismap.php> (19.12.2016)

HERAK, M., ALLEGRETI, I., HERAK, D., IVANČIĆ, I., KUK, V., MARIĆ, K., MARKUŠIĆ, S., SOVIĆ, I., 2011. Karte potresnih područja Republike Hrvatske za povratna razdoblja $T_p=95$ i 475 godina. Zagreb, Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, Sveučilište u Zagrebu. URL: <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php> (16.12.2016)

NACIONALNI PARK KRKA, 2017, URL: <http://www.npkrka.hr/stranice/slap-brljan/82.html> (05.08.2017)

RIMA CHATTERJEE i dr., 2015, Prediction of Uniaxial Compressive Strength from well log data in Jharia Coalfield, URL:

https://www.researchgate.net/publication/281401817_Prediction_of_Uniaxial_Compressive_Strength_from_well_log_data_in_Jharia_Coalfield (6.08.2017)

ROCSCIENCE, Klinasti slom URL:

https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Wedge_Sliding.htm (18.08.2017)

ROCSCIENCE, Planarni slom, URL:

https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Planar_Sliding.htm (06.08.2017)

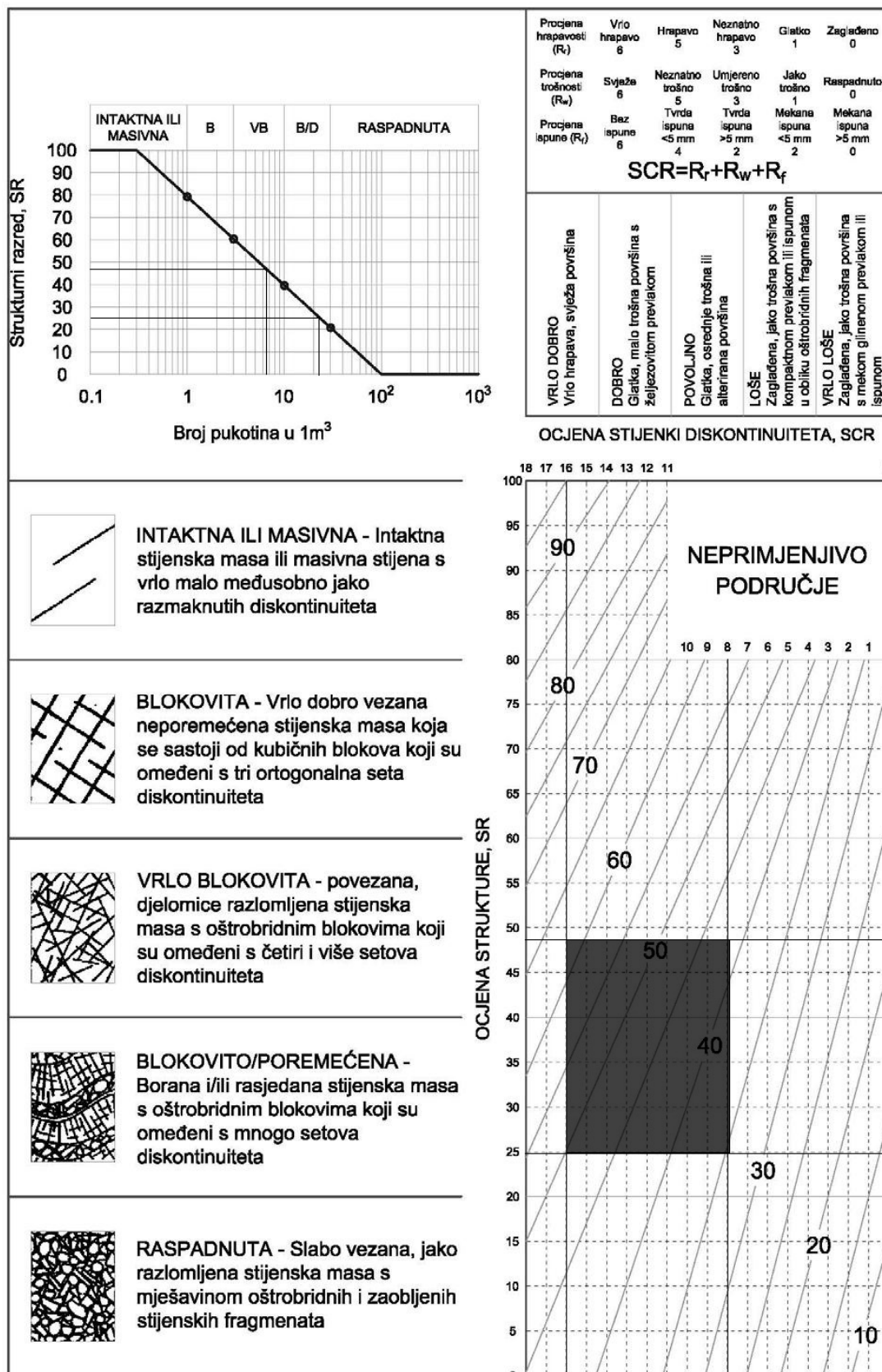
ROCSCIENCE, Prevrtnje savijanjem,

URL:https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Flexural_Toppling.htm
(05.08.2017)

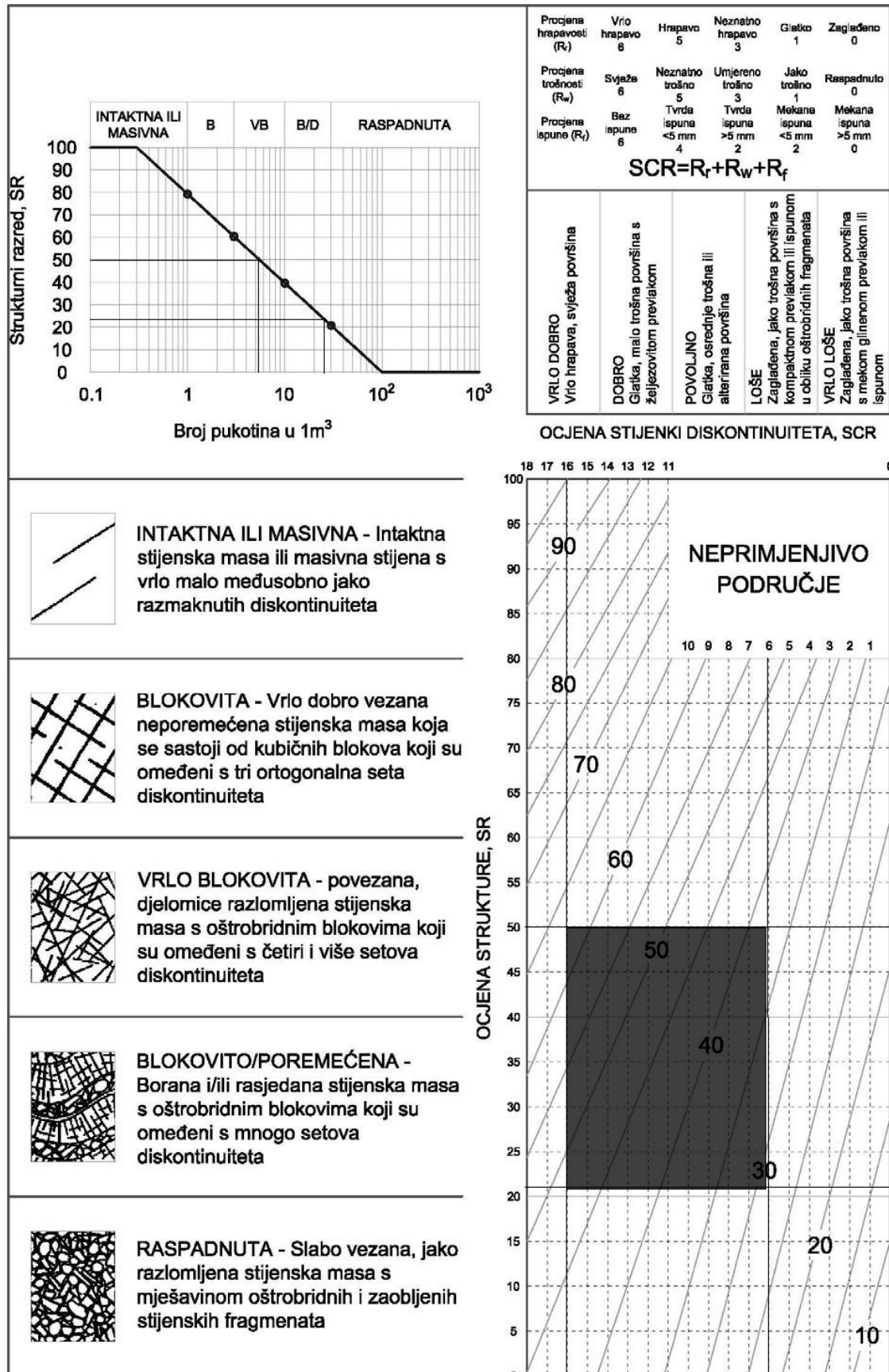
ROCSCIENCE, Prevrtnje,

URL:https://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Direct_Toppling.htm
(05.08.2017):

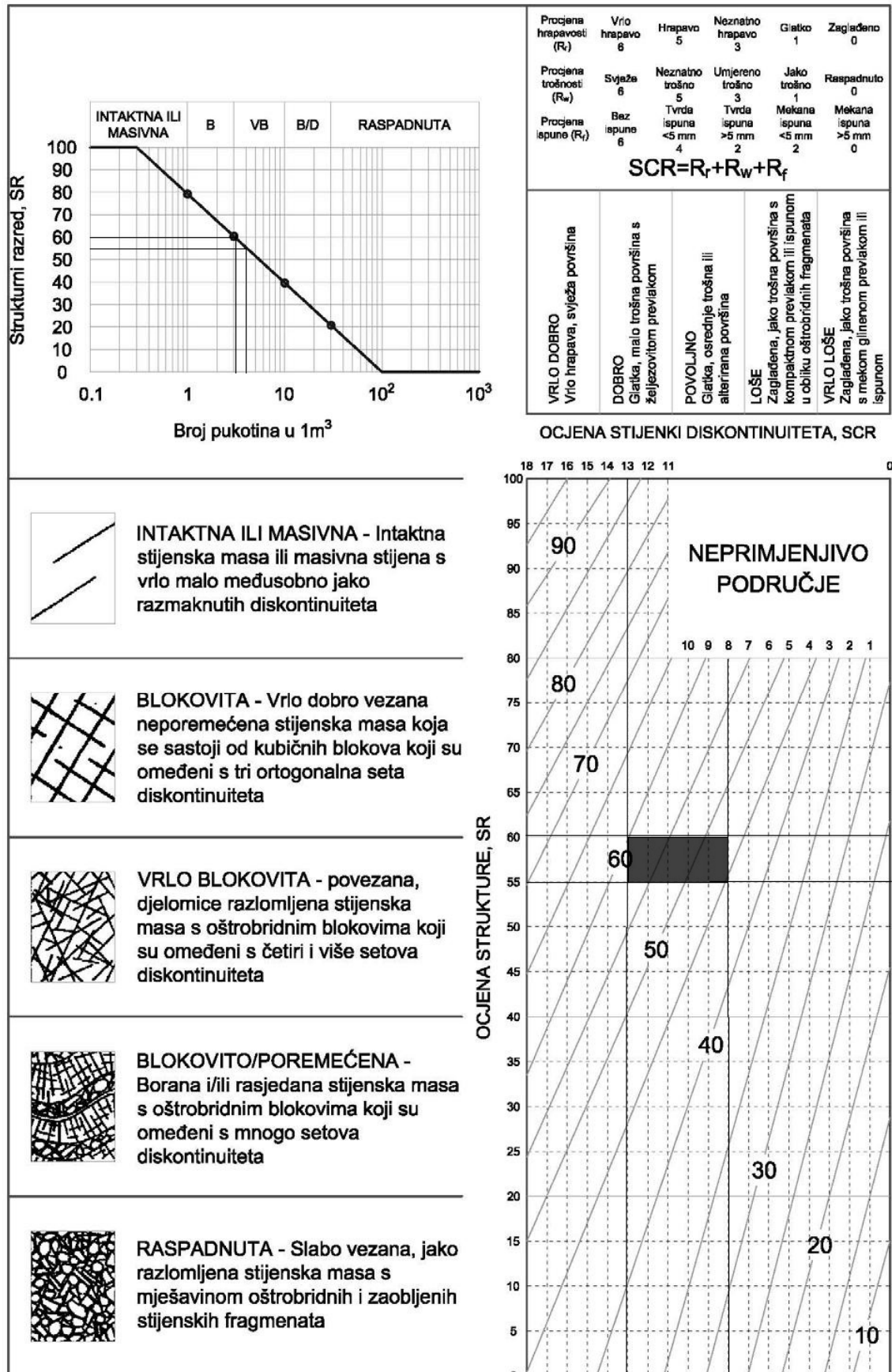
Prilog 1. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IA



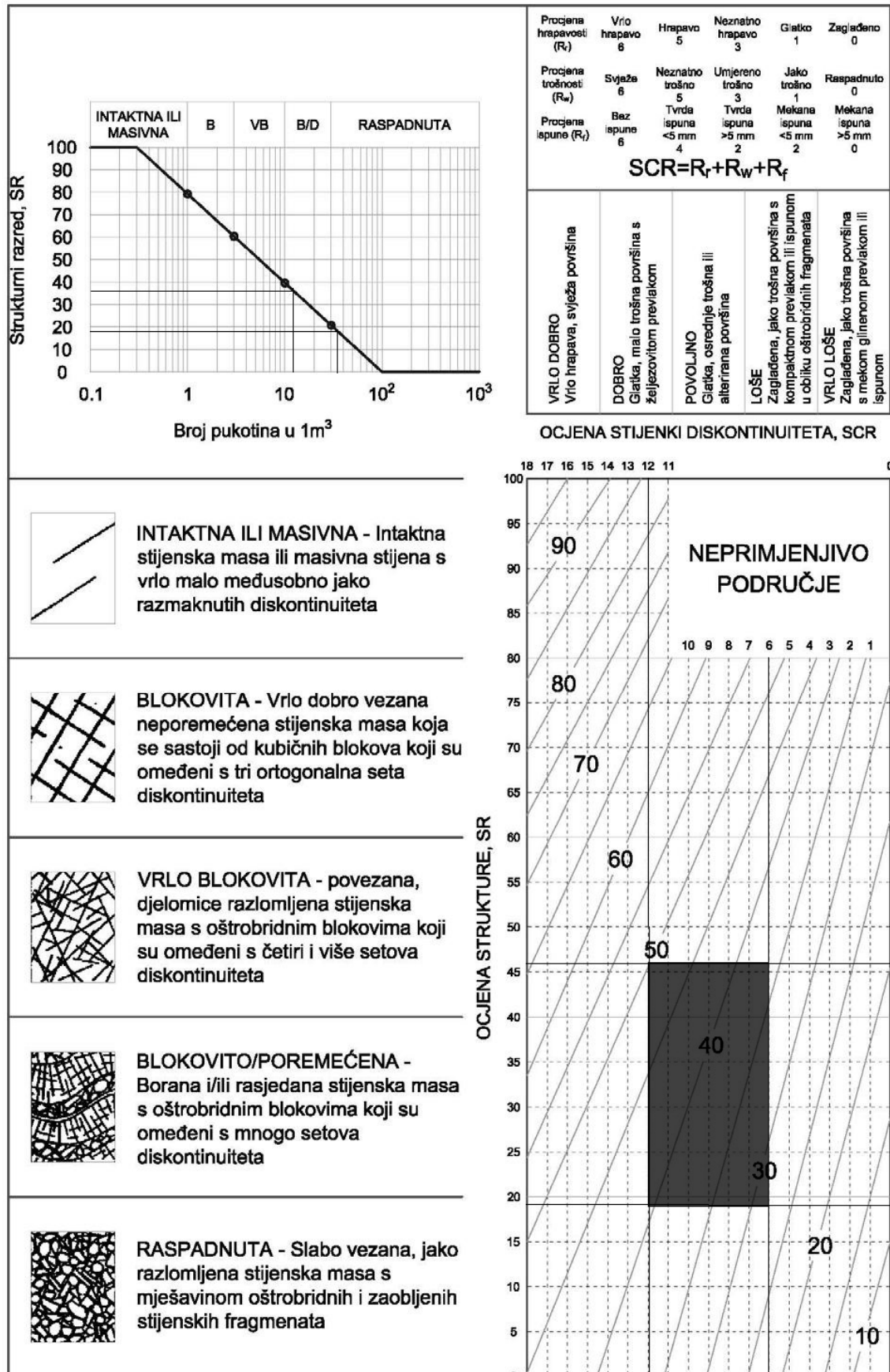
Prilog 2. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IIA



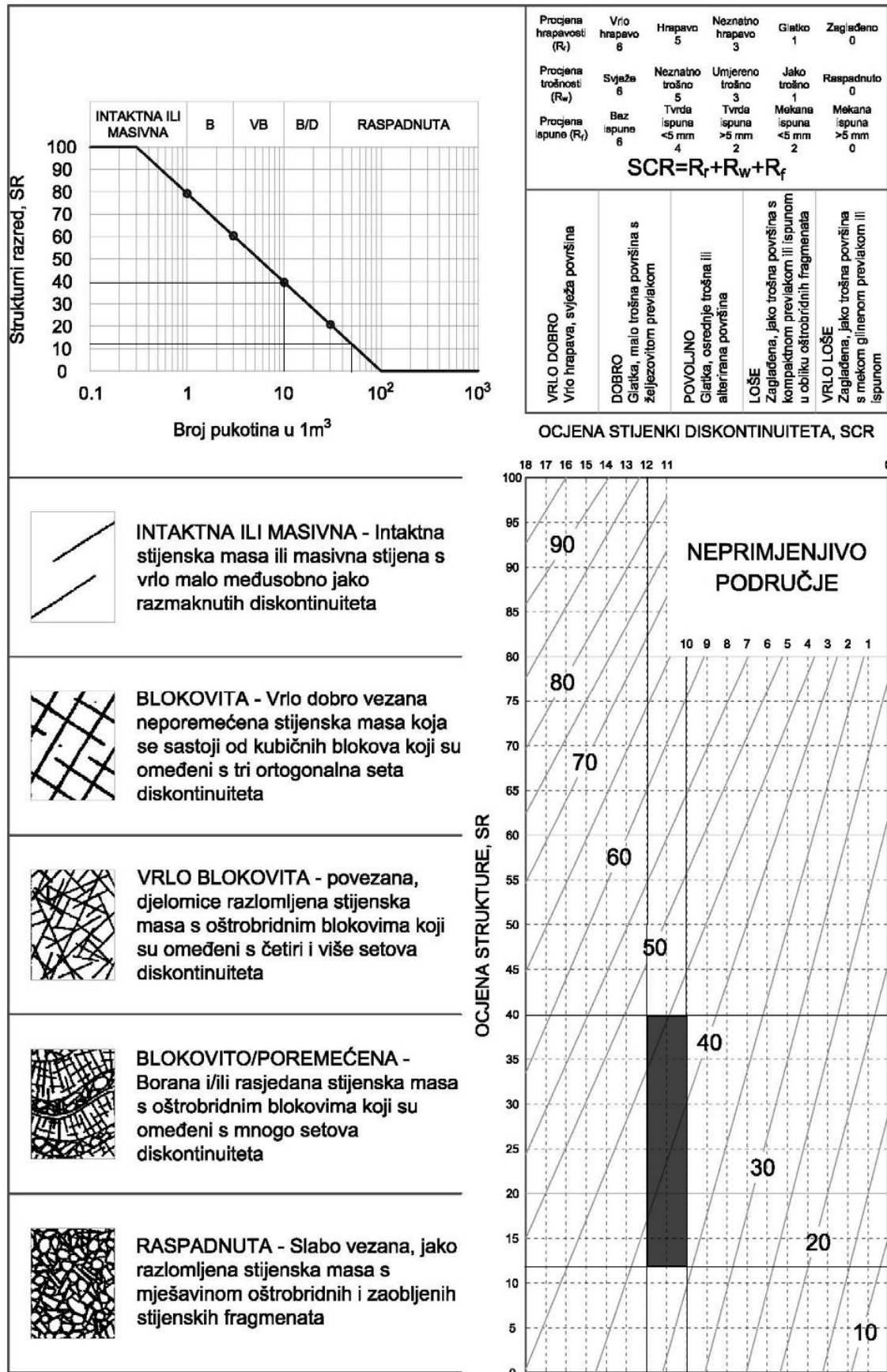
Prilog 3. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IIIA



Prilog 4. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu IVA i VA



Prilog 5. Rezultati GSI klasifikacije za inženjerskogeološku zonu VIA



Prilog 6. Karta podložnosti stijenske mase na nestabilnosti u mjerilu 1 500

462750

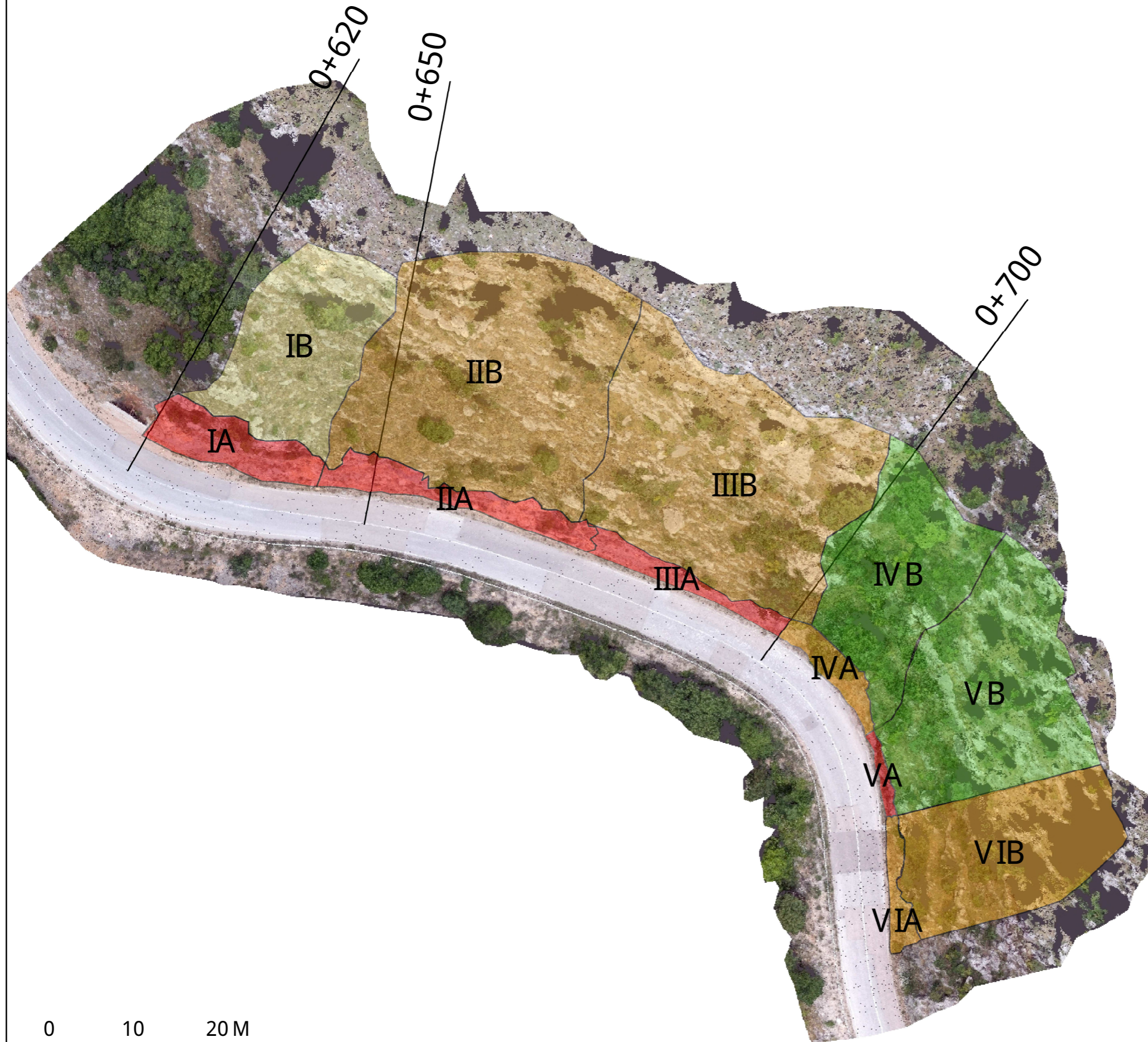
462800

462850




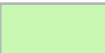
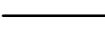
462900

S
h

487500



TumaT oznaka:

	zona vrlo visoke podltonosti
	zona visoke podltonosti
	zona srednje podltonosti
	zona niske podltonosti
	oznaka kote



RGNF

Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

PROJEKT: SANACIJA POKOSA NA ŽC 6055

VRSTA
ISTRAŽIVANJA: GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI
DETALJNA INŽENJERSKOGEOLOŠKA
ISTRAŽIVANJASADRŽAJ
PRILOGA: KARTA PODLOŽNOSTI S OZBIROM NA
NESTABILNOST KOSINAPROJEKTANT:
Prof. Zeljko ARBANAS,
dipl. ing. građMENTOR:
Doc. Martin Krkač, dipl. ing. geol.IZRADILA:
Mariana Martinko,
univ. baoc. ing. geol.

DATUM: septemj 2017

MjERILO 1:500

PRILOG BROJ 6

0 10 20 M

4874900