

# STABILOST KONČNE BREŽINE V KAMNOLOMU DOLOMITA TOPLI VRH

Arh.št.: GG 67/15 ZS, dop. 2024

Obdelal: Domen Bajec, univ.dipl.inž.geol

Direktor: Željko Sternad, u.d.i.r. in geotehnol.



NASLOVNA STRAN Z OSNOVNIMI PODATKI O ELABORATU

**GMP Peskokop Alen Mujakić s.p.**

Objekt:

**Kamnolom dolomita**

Vrsta projektne dokumentacije

**RP ZA PRIDOBITEV RUDARSKE PRAVICE**

Za:

**Površinski kop-kamnolom**

Odgovorni vodja Projekta:

Željko Sternad, u.d.i.r in geotehnol.



Odgovorni projektant:

Željko Sternad, u.d.i.r in geotehnol.



Arhivska številka elaborata datum izdelave:

GG 67/15 ZS, junij 2015, dop. oktober 2024

## KAZALO VSEBINE:

1.	SPLOŠNI PODATKI .....	4
2.	GEOLOGIJA ŠIRŠEGA OZEMLJA.....	5
3.	SEIZMIČNOST TERENA.....	5
4.	TERENSKÉ RAZISKAVE.....	6
4.1	Geološko kartiranje.....	6
4.2	Popis razpok .....	7
4.3	Geološki trdnostni indeks .....	8
5.	LABORATORIJSKE MERITVE .....	9
5.1	Enosna tlačna trdnost razpok – JCS (joint compressive strength) .....	10
6.	POSPLOŠEN HOEKOV IN BROWNOV PORUŠITVENI KRITERIJ.....	11
7.	STATISTIČNA ANALIZA DISKONTINUITET S PROGRAMOM ROCSCIENCE - DIPS.....	12
7.1	Statistična orientacija plastovitosti.....	14
7.2	Statistični razpoklinski sistemi .....	15
7.3	Marklandov test klinastega zdrsa .....	16
7.4	Kinemska analiza prevračanja in padanja kamninskih blokov (Flexural Toppling) .....	17
8.	PROSTORSKA STABILNOSTNA ANALIZA S PROGRAMOM ROCSCIENCE SLIDE.....	18
9.	ZAKLJUČEK IN KOMENTAR STABILNOSTNIH ANALIZ .....	19
10.	LITERATURA .....	20

Priloga 1: Popis diskontinuitet (Rocscience Dips v 6.016)

Priloga 2: Rezultat točkovnega trdnostnega indeksa (IRGO CONSULTING d.o.o.)

Priloga 3: Rezultat hribinskih trdnostnih parametrov (Rocklab v 1.031)

Priloga 4: Stabilnost končne brežine kamnoloma (Rocscience Slide)

## 1. SPLOŠNI PODATKI

Območje preiskave površinskega kopa Topli vrh se nahaja v občini Semič na območju več parcelnih števil k.o. 1521 - Črmošnjice. Predmet projektne naloge je izdelava stabilnosti za **končno brežino** v osrednjem delu kamnoloma ob profilu P6 s končnim naklonom  $54^\circ$  in višinsko razliko  $h = 80$  metrov med osnovnim platojem (430 m) in najvišjo sedmo brežino (510 m).

Rudarska dela v Topli vrh se izvajajo po Odmiku št. 2 od rudarskega projekta: «PRIDOBIVANJE DOLOMITA V KAMNOLOMU TOPLI VRH, številka RP: 12/2-1986, RIL Ljubljana, številka odmika: OD-4/10-GS, avgust 2010, odgovorni vodja rudarskega projekta Željko Sternad, univ.dipl.inž.rudarstva.

Po naročilu investitorja GMP Peskokop Mujakić Alen s.p. smo izvedli terenski ogled in preiskave celotnega kamnoloma. Na terenu smo določili kamnino, iz katere sestoji brežina, izmerili orientacije diskontinuitet v hribini, popisali lastnosti razpok, ter določili geološki trdnostni indeks – GSI na petih različnih mestih hribine. Iz razpok je bilo vzetih več kosov hribine, katerim je bil v laboratoriju (IRGO CONSULTING d.o.o.) izmerjen točkovni trdnostni indeks. Na osnovi dobljenih podatkov in podatkov dobljenih z laboratorijskimi preiskavami smo na koncu preverili stabilnost najbolj kritične končne brežine ob profilu P6 z 3D geostatičnimi analizami.

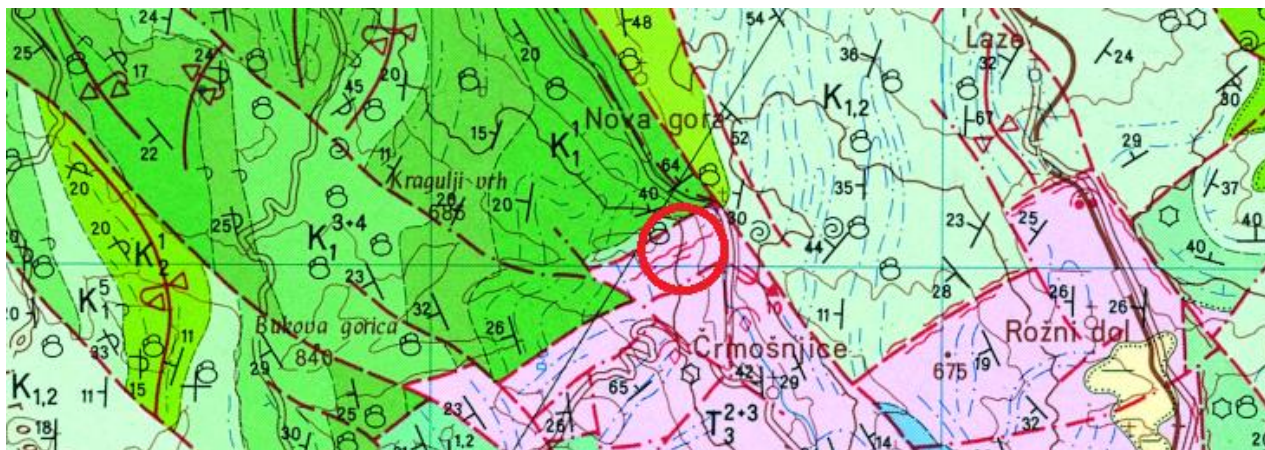


Slika 1: Mikrolokacija območja preiskave.



Slika 2: Makrolokacija območja preiskave.

## 2. GEOLOGIJA ŠIRŠEGA OZEMLJA



Slika 3: Izsek iz geološke karte Slovenije; Novo mesto 1 : 100.000 (Ni v merilu!).

Kamnolom Topli Vrh (rdeč krogec), blizu kraja Črmošnjice je večji kamnolom v zdrobljenem triasnem dolomitu. Podobne kamnolome najdemo še okoli Novega mesta, pri Kronovem, med Krškim in Brestanico, okoli Tržišča in Mokronoga in pri Mirni.

V tektonskem smislu kamnolom Topli Vrh pripada tektonski enoti roškega nagubanega območja, ki sega do žumberškega preloma v dolini Črmošnjic. Glavne strukture potekajo v dinarski smeri.

Jugovzhodno območje preiskovanega območja pretežno gradi triasni siv plastovit in svetel neplastovit dolomit, noriško-retske stopnje ( $T_3^{2+3}$ ). Dolomit je v spodnjem in zgornjem delu pasast, njegov generalni vpad pa je proti zahodu. Dolomit na vzhodnem delu postopno prehaja navzgor v liasni apnenec ( $J_3^{2,3}$ ), ki vsebuje še vložke dolomita in v njegovem zahodnem delu prehaja v spodnje kredni apnenec ( $K_2^1$ ).

Pasasti dolomit vsebuje stromatolite. Ti kažejo na sedimentacijo v plitvem morju, kjer imata pomemben vpliv plima in oseka. Drobno in srednjezrnati sparitni dolomit, ki leži med stromatoliti, je verjetno prekristaliziran dolomitni apnenec, na kar sklepamo po tem, da je porozen in ker vsebuje nekdanje strukture apnenca. Dolomitizacija je potekala verjetno v zgodnji diagenezi. Debelina zgornje-triasnega dolomita znaša približno do 1200 m.

## 3. SEIZMIČNOST TERENA

Obravnavano območje se uvršča v VIII. stopnjo seizmične intenzitete po EMS lestvici (European Macroseismic Scale). V tem območju lahko pričakujemo seizmične pospeške do 0,250 g. Podatke povzemam po novi karti »Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal« s tolmačem iz leta 2021 za povratno dobo potresov 475 let.

Za prostorsko in urbanistično načrtovanje in za potresno varno projektiranje se uporablja karto projektnega pospeška ag. Kategorizacija upošteva litološko sestavo tal, inženirsko geološke lastnosti kamnin, tektonske značilnosti in morfološke značilnosti. V skladu z Eurokodom 8 uvrščamo tla na območju projektirane trase v naslednje tipe tal.

Tip tal	Opis stratigrafskega profila	Parametri		
		vs,30 [m/s]	NSPT[udarcev/30 cm]	cu [kPa]
A	Skala ali druga skali podobna geološka formacija, na kateri je največ 5 m slabšega površinskega materiala	>800	-	-

Tabela 1: Razvrstitev tal v območju projektirane trase.



## 4. TERENSKE RAZISKAVE

Za potrebe izdelave stabilnostne analize končne brežine v osrednjem delu kamnoloma ob najbolj kritičnem profilu P6 smo obravnavano območje kamnoloma inženirsko geološko preiskali. Obstoječe brežine kamnoloma smo detajlno inženirsko geološko kartirali na geodetski podlagi v merilu 1 : 500. Pri kartiranju smo določili kamnino iz katere sestoji brežina, izmerili orientacije diskontinuitet (plastovitosti in razpok) v hribini, popisali lastnosti razpok, ter določili geološki trdnostni indeks – GSI na petih različnih mestih hribine. Orientacije in popisi vseh 53 diskontinuitet so podani v prilogi 1.

### 4.1 Geološko kartiranje

Obravnavano območje kamnoloma Topli vrh sestavlja dolomit s posameznimi kalcitnimi žilami, ki je glede na podatke OGK (list Ribnica) noriško-retske  $T_3^{2+3}$  stopnje. Dolomit v predvsem v višje ležečih delih kamnoloma vse bolj prehaja v apnenec spodnje kredne starosti  $K_2^1$ . V kamnini je dobro izražena plastovitost, ponekod je dobro vidna pasavost. Mestoma so vidne bele kalcitne žile.

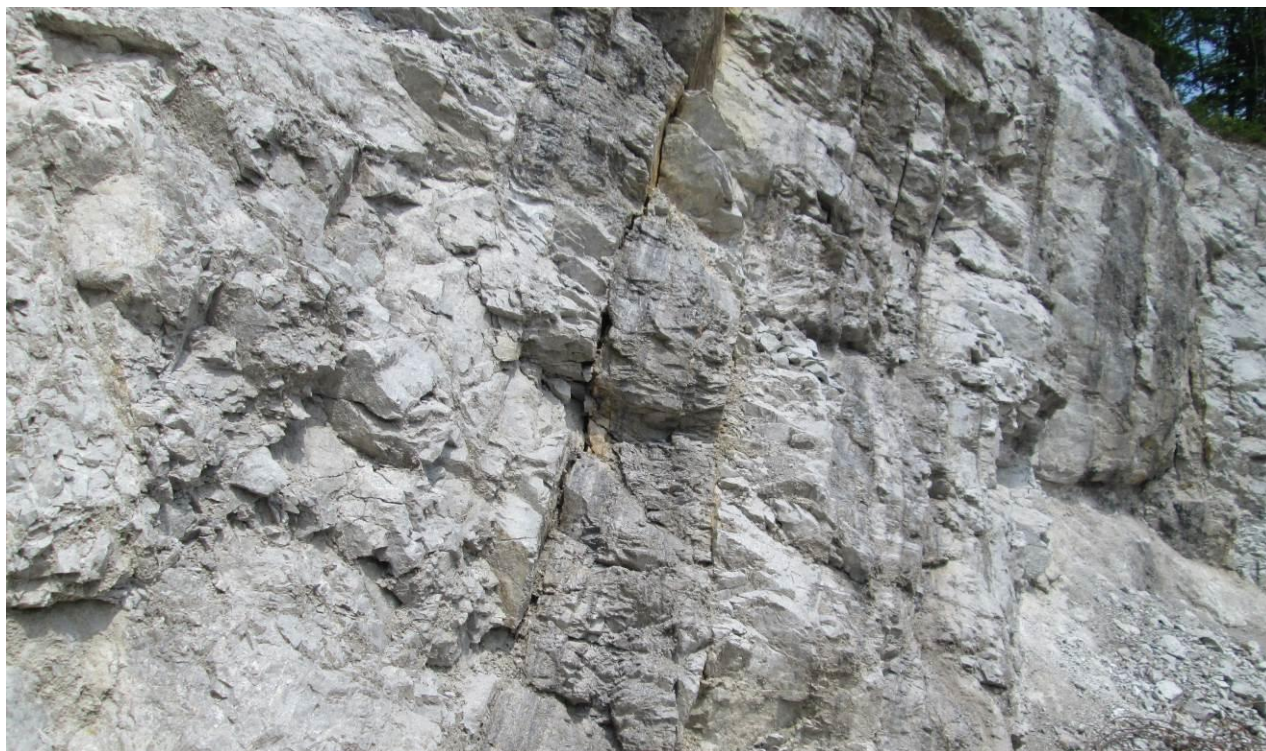
V brežinah se pojavlja večje število razpok, na več mestih je kamnina oslabiljena in razpada v manjše kose. Opazno je rahlo gubanje, pojavljajo se posamezni prelomi in prelomne cone. Na več mestih so vidne drsne ploskve – zglajene površine. Hribina je razpokana z več sistemi razpok in posameznimi slučajnimi. Pri pregledu celotnega kamnoloma smo ugotovili, da so obstoječe delovne etaže z projektiranim naklonom 60 - 70° stabilne. Iz razpok občasno izpadajo posamezni bloki in kosi kamnine velikosti 0,50 – 1,00 metra.

Z geološkim kompasom smo izmerili 10 orientacij plastovitosti dolomita in apnenca (vpad in smer vpada) na različnih mestih. Orientacije so znašale; 291/71, 281/51, 292/29, 286/46, 288/53, 287/51, 294/70, 285/73, 280/72 ter 285/73. Plastovitost ima generalno smer vpada proti zahodu do severozahodu z kotom vpada 50 - 70°.



Slika 4: Kartirani severovzhodni del kamnoloma.





Slika 5: Plastovitost ter izmenjavanje svetlejših in temnejših pasov - pasavost.

## 4.2 Popis razpok

Izmerjenih in popisanih je bilo 43 najbolj izrazitih razpok z različnimi orientacijami. Vpadi in smeri vpadov razpok nam nadalje služijo pri stabilnostnih analizah brežin. Razpoka z orientacijo 130/61 se nam je na istem odseku ponovila 4x, zato smo ji pri popisu (priloga 1) dodali faktor ponavljanja 4 (Quantity).

Z detajlnim popisom razpok je bilo ugotovljeno, da se razpoke med seboj razlikujejo glede na hrapavost, valovitost, zaprtost, odprtost, zapolnitev ter preperelost.

Kvaliteta površin razpok je večinoma dobra, saj so le na posameznih mestih vidni sledovi preperevanja.

Zaradi razpokanosti ima hribina dobro vodoprepustnost. Iz razpok smo času kartiranja zaznali izcejanja vode na enem mestu nad osnovnim platojem.



Slika 6: Rahlo izcejanje vode iz razpok.



Slika 7: Gosta razpokanost kamnoloma.



### 4.3 Geološki trdnostni indeks

Geološki trdnostni indeks se določa vizualno s primerjavo strukture in lastnosti površin diskontinuitet. Določimo ga glede na strukturo – GSI upada navpično navzdol, od masivne vse do razpadle in laminirane strukture ter glede na upadanje površine kvalitete, ta se manjša z leve proti desni. Pri določevanju smo upoštevali priporočila, tako da smo opredelili območja vrednosti GSI, namesto določitve njegove točne vrednosti.

Geološki trdnostni indeks v kamnolomu Topli vrh smo določili na petih različnih mestih. Vrednosti se med seboj razlikujejo glede na blokovno do razpadlo strukturo ter glede na dobro kvaliteto razpok, gladke do hrapave površine in mestoma preperle površine razpok. Na koncu je podana povprečna vrednost GSI.

1. GSI = 48 – 52; zelo blokovna struktura, več sistemov razpok, dobra površinska kvaliteta, rahlo preperle razpoke, gladke do hrapave razpoke.
2. GSI = 33 – 37; zelo blokovna do poškodovana struktura, kamnina mestoma razpada v posamezne kose velikosti 1 – 5 cm, slaba do zadovoljiva kvaliteta, preperle razpoke.
3. GSI = 36 – 40; poškodovana do razpadla struktura, dobra do zadovoljiva kvaliteta, hrapave in preperle površine.
4. GSI = 62 – 66; blokovna struktura, manjši izpad iz brežine, razpok je manj a so te bolj negodne, dobra površinska kvaliteta, hrapave razpoke
5. GSI = 50 – 54; zelo blokovna do poškodovana struktura, plastovitost + več sistemov razpok, dobra površinska kvaliteta, hrapave razpoke.

Povprečno vrednost geološkega trdnostnega indeksa smo zaradi ocenjenih vrednosti zaokrožili, tako da znaša **GSI<sub>povp.</sub> = 48**.



Slika 8: 3. GSI = 36 – 40.



Slika 9: 4. GSI = 62 – 66.

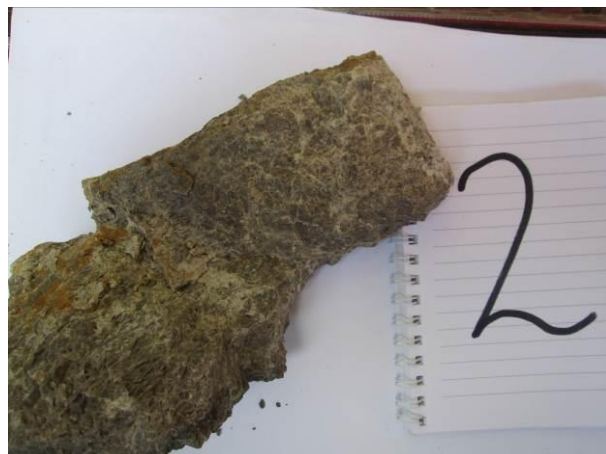


## 5. LABORATORIJSKE MERITVE

Na terenu je bilo ob stenah razpok na različnih mestih vzeti 8 kosov različno razpokanih in pretrti kosov dolomita in apnenca iz razpok. V laboratoriju za geotekniko podjetja IRGO CONSULTING d.o.o. je bil na izbranih vzorcih dolomita iz razpok izvedenih 9 meritev točkovnega trdnostnega indeksa, ki so služile za določitev povprečne enosne tlačne trdnosti razpok JCS. Na spodnjih slikah je prikazanih vseh 8 vzorcev kamnine vzeti iz razpok kamnoloma.



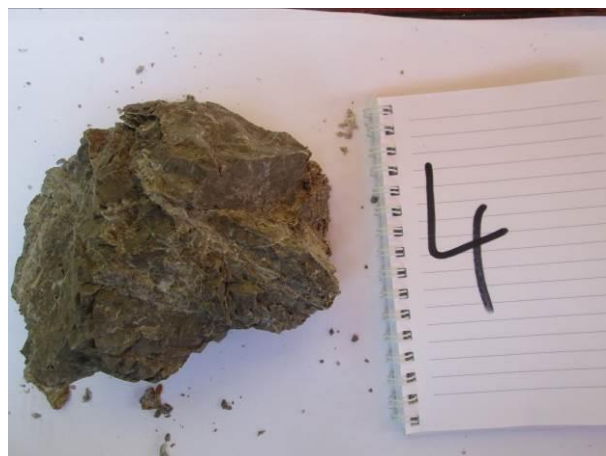
Slika 10: Razpokan dolomit z belimi kalcitnimi žilami.



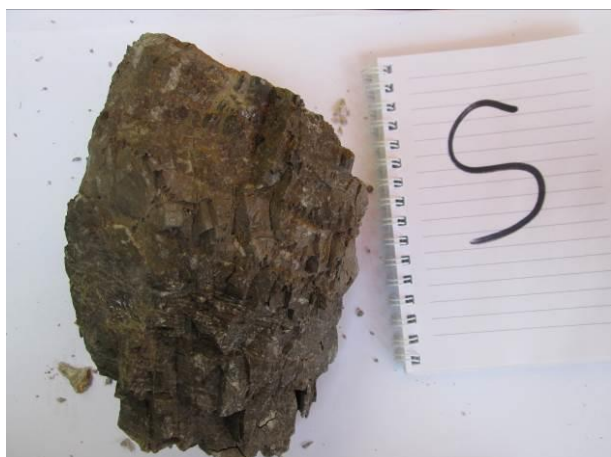
Slika 11: Dolomitiziran apnenec iz prelomne cone.



Slika 12: Siv dolomitiziran apnenec.



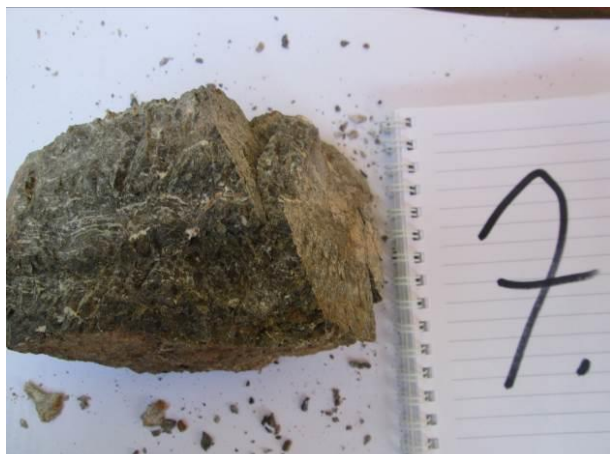
Slika 13: Razpokan dolomit.



Slika 14: Pasast & plastovit razpokan dolomit.



Slika 15: Kompakten dolomit s kalcitnimi žilami.



Slika 16: Razpokan siv pasast & plastovit apnenec.



Slika 17: Svetlo siv kompakten dolomit.

### 5.1 Enosna tlačna trdnost razpok – JCS (joint compressive strength)

Enosno tlačno trdnost vzorcev ugotavljamo z enosnim tlačnim preizkusom, ki je posebna oblika nekonsolidirane - nedrenirane triosne preiskave. V primeru, da je hribina zelo razpokana in ne moremo izvesti enosne preiskave se poslužujemo alternative, ki jo predstavlja točkovni trdnosti indeks.

Ocena enosne tlačne trdnosti je bila izvedena s pomočjo preiskave točkovnega trdnostnega indeksa na izbranih sedmih vzorcih nepravilnih oblik, ki so bili točkovno obremenjeni do porušitve. Vrednosti JCS so se gibale od 3,2 do 80,1 MPa.

Zaradi velikega odstopanja JCS vrednosti med kompaktnimi in razpokano-pretrtimi vzroci smo posebej izračunali povprečno JCS vrednost razpokane in pretrte kamnine (vzorci V-1, V-4, V-5 & V-7), povprečno JCS vrednost kompaktne kamnine (vzorci V-3, V-6 & V-8) ter skupno JCS vrednost celotne brežine (vsi vzorci), ki so nam je služile za nadaljnje geostatične izračune. Rezultati enosnih tlačnih trdnosti vzorcev iz razpok so podani v prilogi 2. Posamezne JCS vrednosti so podane na spodnji tabeli 2.

Vzorec	V-1	V-4	V-5	V-7
Enoosna tlačna trdnost $\sigma_c$ [MPa]	3,2	3,9	3,6	4,0
Povprečna vrednost razpokane in pretrte kamnine $\sigma_c$ [MPa]	3,7			
Vzorec	V-3	V-6	V-8	/
Enoosna tlačna trdnost $\sigma_c$ [MPa]	70,3	60,8	80,1	/
Povprečna vrednost kompaktne kamnine $\sigma_c$ [MPa]	70,4			
Skupna povprečna JCS vrednost celotne brežine $\sigma_c$ [MPa]	32,3			

Tabela 2: Vrednosti JCS.

## 6. POSPLOŠEN HOEKOV IN BROWNOV PORUŠITVENI KRITERIJ

Posplošen Hoek-Brown porušitveni kriterij (Hoek, Carranza – Torres in Corkum, 2002 in Hoek, Diederisch, 2005) smo uporabili za določitev trdnostno deformacijskih parametrov razpokanega dolomita.

Hoek & Brown sta za razpokane hribinske mase razvila enačbo za posplošen porušitveni kriterij, kjer sta  $\sigma_1$  in  $\sigma_3$  glavni efektivni napetosti pri porušitvi,  $Q_c$  je enoosna tlačna trdnost,  $m_i$  pa je konstanta odvisna od povezanosti kristalne zgradbe kamnine.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + Q_c (m_b \frac{\sigma_3}{Q_c} + s)^a,$$

v enačbi sta  $s$  in  $a$  konstanti odvisni od karakteristik hribinske mase, določi se ju na podlagi geološkega trdnostnega indeksa GSI. Za nepoškodovane intaktne vzorce je  $s = 1$ , popolnoma pretrta, razpadla kamnina pa ima  $s = 0$ .

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right),$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}),$$

$m_b$  predstavlja reducirano vrednost konstante  $m_i$  in je podana z enačbo;

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right).$$

Za izračun smo uporabili računalniški program Rocklab 1.031, ki upošteva tudi faktor poškodovanosti hribine, bodisi zaradi miniranja, bodisi zaradi strojnega izkopa. Pri določitvi smo upoštevali izračun za brežine z upoštevanjem faktorja poškodovanosti pri miniranju (**D = 0,7**).

Na podlagi podrobnega inženirsko geološkega kartiranja in meritev razpok smo hribinski masi po tabeli za razpokano hribinsko maso določili geološki trdnostni indeks **GSI = 48**.

Na podlagi tabele za določitev vrste in teksture hribine smo hribini določili konstanto  **$m_i = 9$**  za dolomit.

Za enoosno tlačno trdnost celotne hribinske mase smo upoštevali povprečno laboratorijsko določeno enoosno tlačno trdnost odvzetih vzorcev JCS,  **$Q_c = 32,3$  MPa**.

Specifična teža razpokanega dolomita je bila vzeta na podlagi izkušenj za podoben tip dolomitne kamnine in znaša  **$\gamma = 26,00$  kN/m<sup>3</sup>**.

Na podlagi danih vrednosti smo nato z računalniškim programom Rocklab 1.031 izračunali sledeče trdnostno deformacijske parametre za strižno trdnost ob ploskvah diskontinuitet razpokanega dolomita, uporabili smo postopek izbire kohezije in strižnega kota preko tangente (roza črta) na Hoek-Brown krivuljo (rdeča krivulja). Končne dobljene vrednosti hribine znašajo:

- strižni kot:  **$\phi = 27^\circ$** ,
- kohezija  **$c = 0,7491$  MPa**,
- modul elastičnosti hribine je:  **$E_i = 13727,5$  MPa**,
- modul elastičnosti hribinske mase pri deformacijskem popuščanju hribine  **$E_d = 1296,33$  MPa**.

Za nadaljnje stabilnostne analize smo tako upoštevali geomehanske parametre, navedene v tabeli 3. Rezultati hribinskih trdnostnih parametrov (Rocklab 1.031) so podani na prilogi 3.

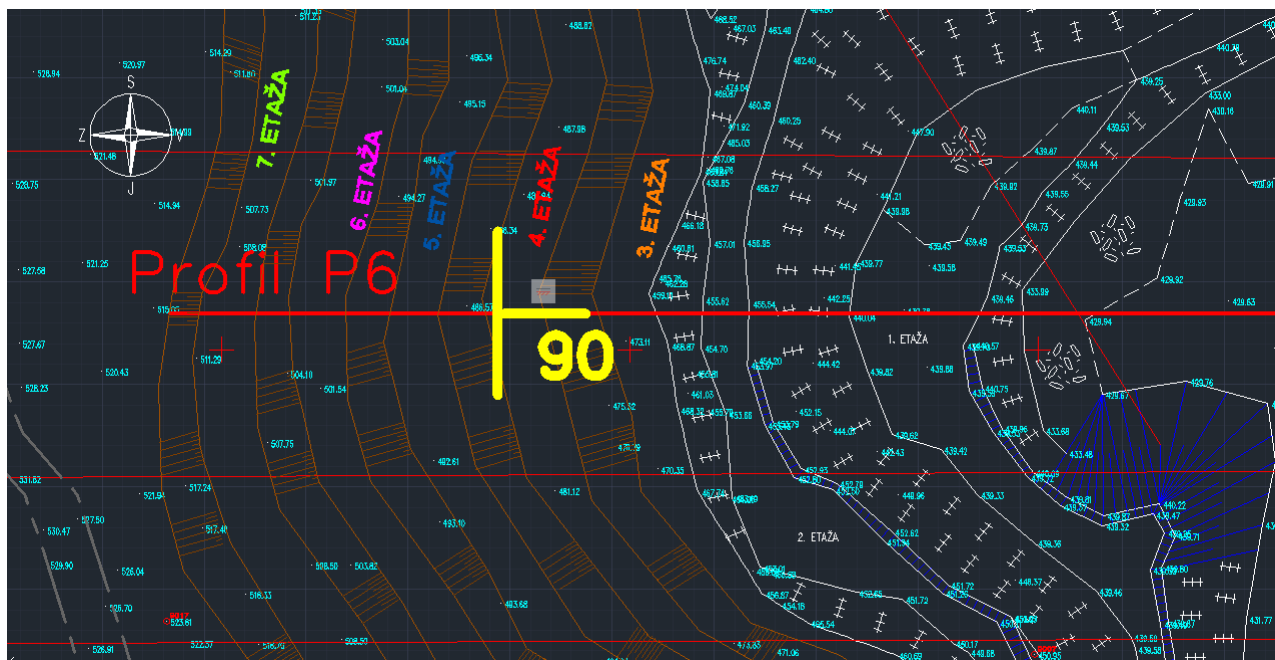
	Specifična teža $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Enoosna tlačna trdnost $Q_c$ [kPa]	Geološki trdnostni indeks GSI	Vrednost $m_i$ (dolomit)	Faktor poškodovanosti brežine D (dobro miniranje)
Posplošen Hoek-Brown materialni model za celotno razpokano brežino	28,00	32.300	48	9	0,7
Strižna trdnost vzdolž diskontinuitet	Strižni kot $\phi$ [°]		Kohezija vzdolž diskontinuitet $c$ [kPa]		
Mohr-Coulomb-ov materialni model za strižno trdnost ob ploskvah diskontinuitet	27		748,1		

Tabela 3: Geomehanski parametri uporabljeni v nadaljnjih geostatičnih izračunih.



## 7. STATISTIČNA ANALIZA DISKONTINUITET S PROGRAMOM ROCSCIENCE - DIPS

Stabilnost končne brežine smo preverili na najbolj kritičnem severovzhodnem delu kamnoloma, ki ima tudi največjo višinsko razliko med spodnjim platojem in zgornjim robom najvišje etaže in znaša  $h \approx 80$  m. Padnica brežine v tem delu znaša  $90^\circ$ . Ugotavljali smo verjetnost nastanka planarnega in klinastega zdrsa ter verjetnost prevračanja in padanja posameznih kamninskih blokov in kosov kamnin.



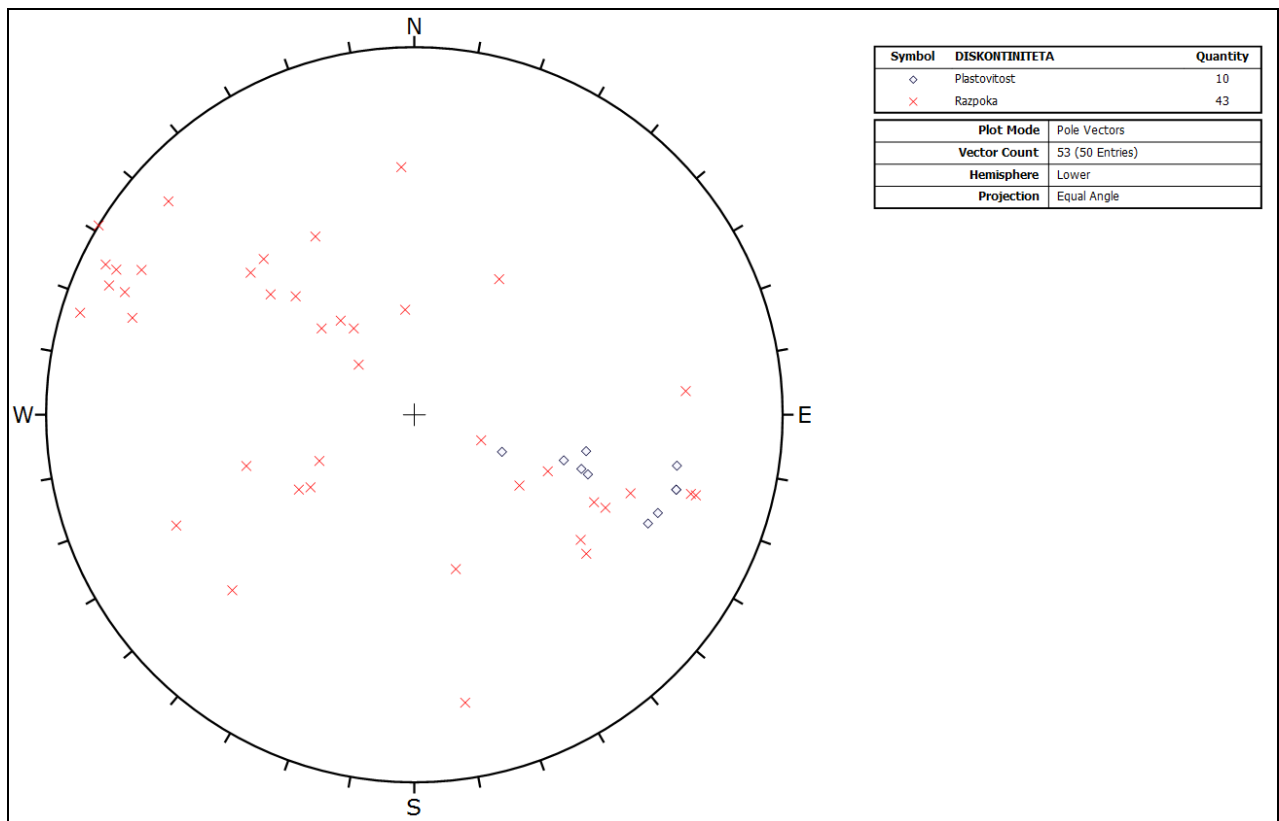
Slika 18: Padnica brežine  $90^\circ$  izbrana na obravnavanem najbolj kritičnem osrednjem delu kamnoloma ob profilu P6.

Na terenu pridobljene meritve prostorskih elementov hribine (orientacije plasti in razpok) smo statistično obdelali s programom Dips. Računalniški program Rocscience – Dips (verzija 6.016) se uporablja za statistično analizo orientiranih geoloških podatkov. Rezultate analiz smo prikazali kot zgostitve polov na 1% površine ekvatorialne ploskve v stereografski projekciji. Ta nam omogoča prikaz in obdelavo tri dimenzionalno orientiranih podatkov v dveh dimenzijah. Pomanjkljivost stereografske projekcije pa je v tem, da obravnava samo kotne odnose med črtami in ploskvami, ne obravnava pa njihove velikosti ter lege v prostoru (Wyllie in Mah, 2004).

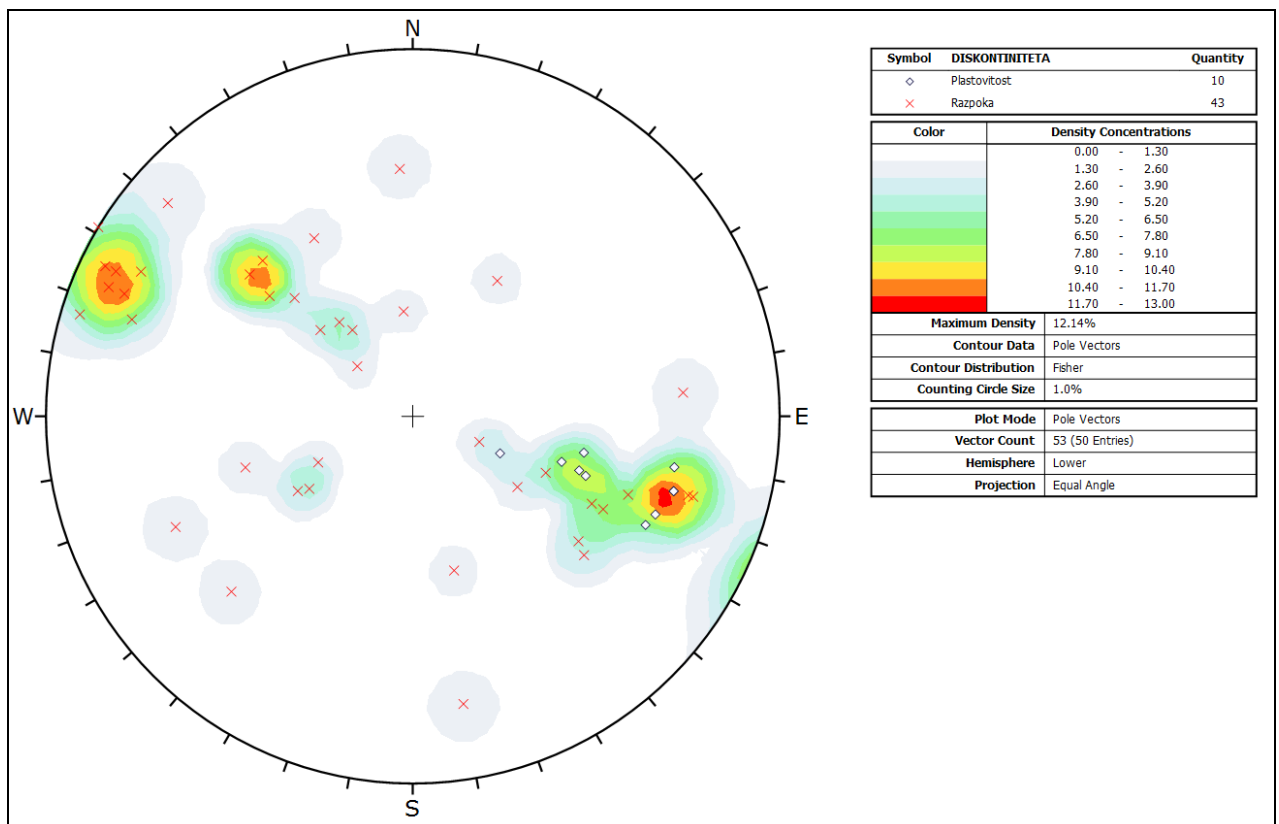
Magnetno deklinacijo zaradi razlike med pravim in izmerjenim severom s kompasom smo korigirali v nastavitvah in za območje Slovenije izbrali deklinacijo  $+1,5^\circ$ .

Vhodni podatki za analizo so bili na terenu izmerjeni vpadi in azimuti diskontinuitet. Orientacije polov vpadov in smeri vpadov vseh izmerjenih diskontinuitet prikazuje slika 18. Orientacije plastovitosti so prikazane z črnim kvadratnim simbolom orientacije razpok z rdečim križcem.

Rezultat vnešenih polov je barvni prikaz zgostitev polov ter maksimalna rdeče obarvana zgostitev, ki je znašala 12,14% (slika 20). Območja obarvana z modro, zeleno, rumeno in oranžno barvo kažejo, da imamo tu večje število polov diskontinuitet s podobno orientacijo. Na belih področjih se ne nahaja noben pol, na svetlejših odtenkih sive se nahaja eden.



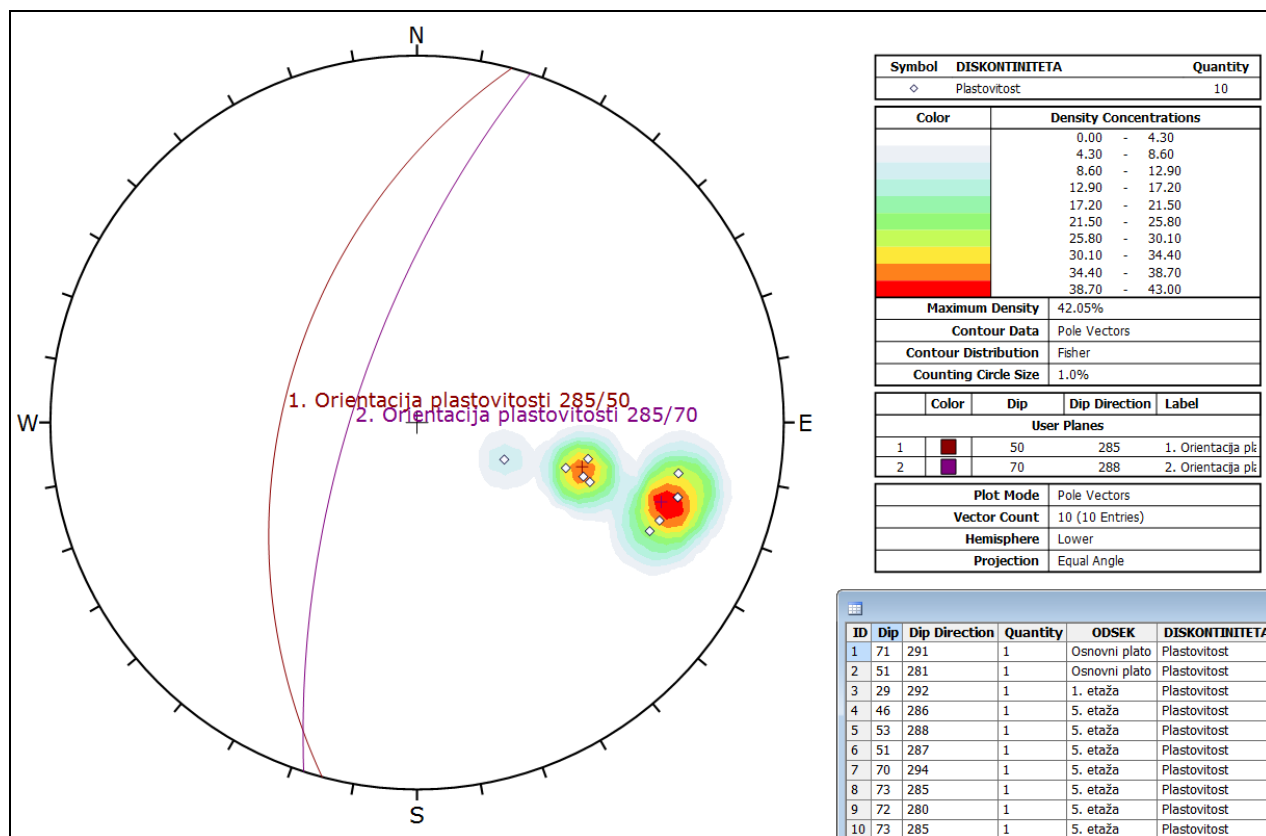
Slika 19: Orientacije polov vpadov in smeri vpadov dolomita in razpok (Dips).



Slika 20: Fisherjeve zgostitve diskontinuitet na 1% površine ekvatorialne ravnine (Dips).

## 7.1 Statistična orientacija plastovitosti

Na terenu izmerjene orientacije plastovitosti dolomita in v višjih delih kamnoloma tudi apnenca (291/71, 281/51, 292/29, 286/46, 288/53, 287/51, 294/70, 285/73, 280/72 ter 285/73) smo statistično obdelali z računalniškim programom Rocscience DIPS. Na stereografski projekciji se orientacije nahajajo znotraj dveh ožje obarvanih območij. Povprečni statistični orientaciji plastovitega dolomita in apnenca znašata **285/50** & **288/70** (slika 21).



Slika 21: Statistična vpada in smeri vpada plastovitosti dolomita in apnenca 285/50 & 288/70 (Dips).

Smer vpada plastovitosti 285° & 288° poteka v nasprotni smeri kot padnica brežine 90° v obravnavanem severovzhodnem delu kamnoloma. Nasprotna usmerjenost smeri vpada plastovitosti in padnice brežine deluje ugodno na stabilnost. V takšnih primerih pogoj za nastanek potencialnega planarnega zdrsa ni izpolnjen (Wyllie in Mah, 2004).

V obravnavanem osrednjem delu kamnoloma Topli vrh pogoj za zdrs po ploskvi plastovitosti za končno brežino ni izpolnjen.

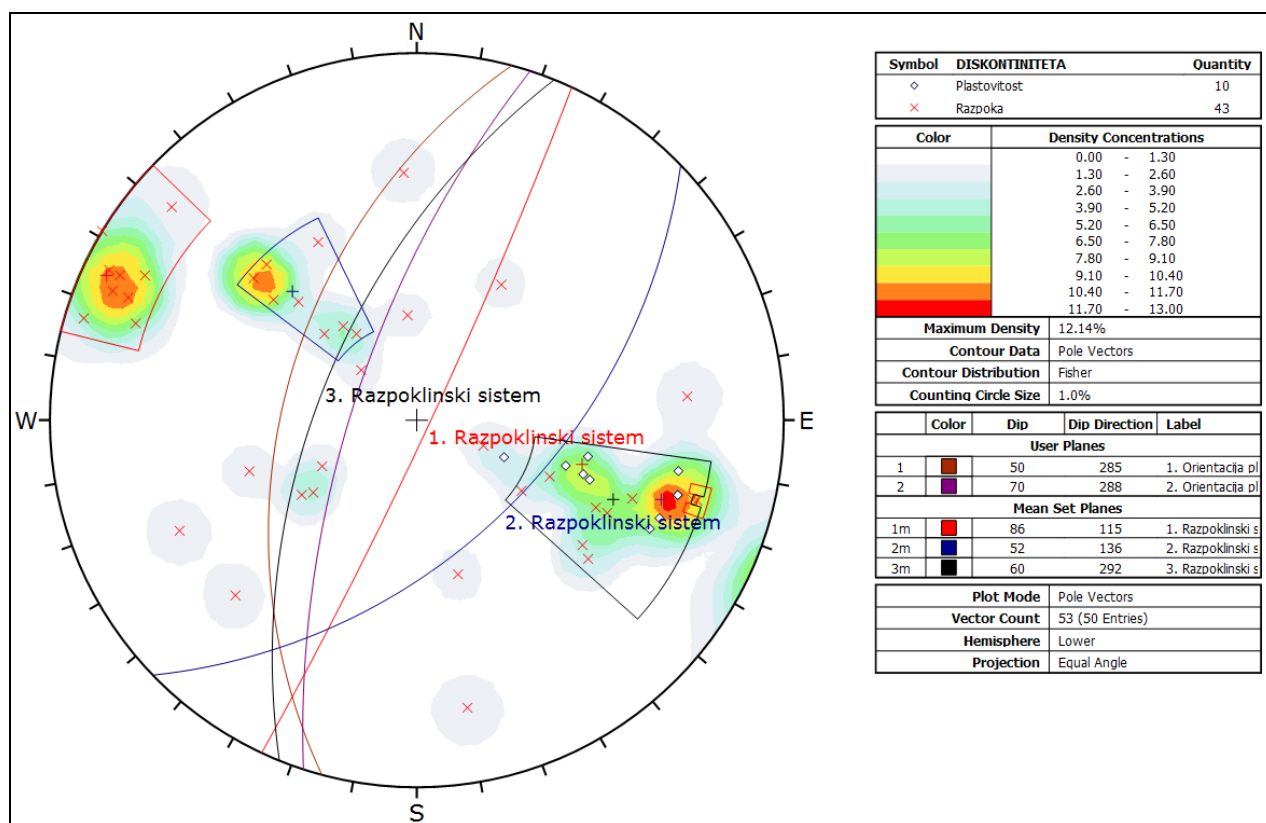


## 7.2 Statistični razpoklinski sistemi

Na terenu pridobljene meritve prostorskih elementov hribine smo statistično obdelali in ugotovili, da lahko 53 izmerjenih diskontinuitet uvrstimo v **3 razpoklinske sisteme**, kjer je skoncentrirano največje število polov ter v več slučajnih razpok, kjer se pojavljata en ali dva pola ter že prej obravnavano povprečni statistični orientaciji plastovitega dolomita in apnenca **285/50** & **288/70**.

Statistični razpoklinski sistemi imajo sledečo orientacijo:

- **1. razpoklinski sistem = 115/86**
- **2. razpoklinski sistem = 136/52**
- **3. razpoklinski sistem = 292/60**



Slika 22: Statistični določeni razpoklinski sistemi (Dips).

### 7.3 Marklandov test klinastega zdrs

Marklandov test je hitra grafična metoda stabilnostne analize razpokane hribine. Z njim ugotovljamo ali pride do zdrs hribinske mase, kakšne vrste bo ta zdrs in v kateri smeri bo potekal. Osnova za Marklandov test je Schmidtova projekcija prostorske lege ravnin brežine, kritičnih diskontinuitet in strižnega kota.

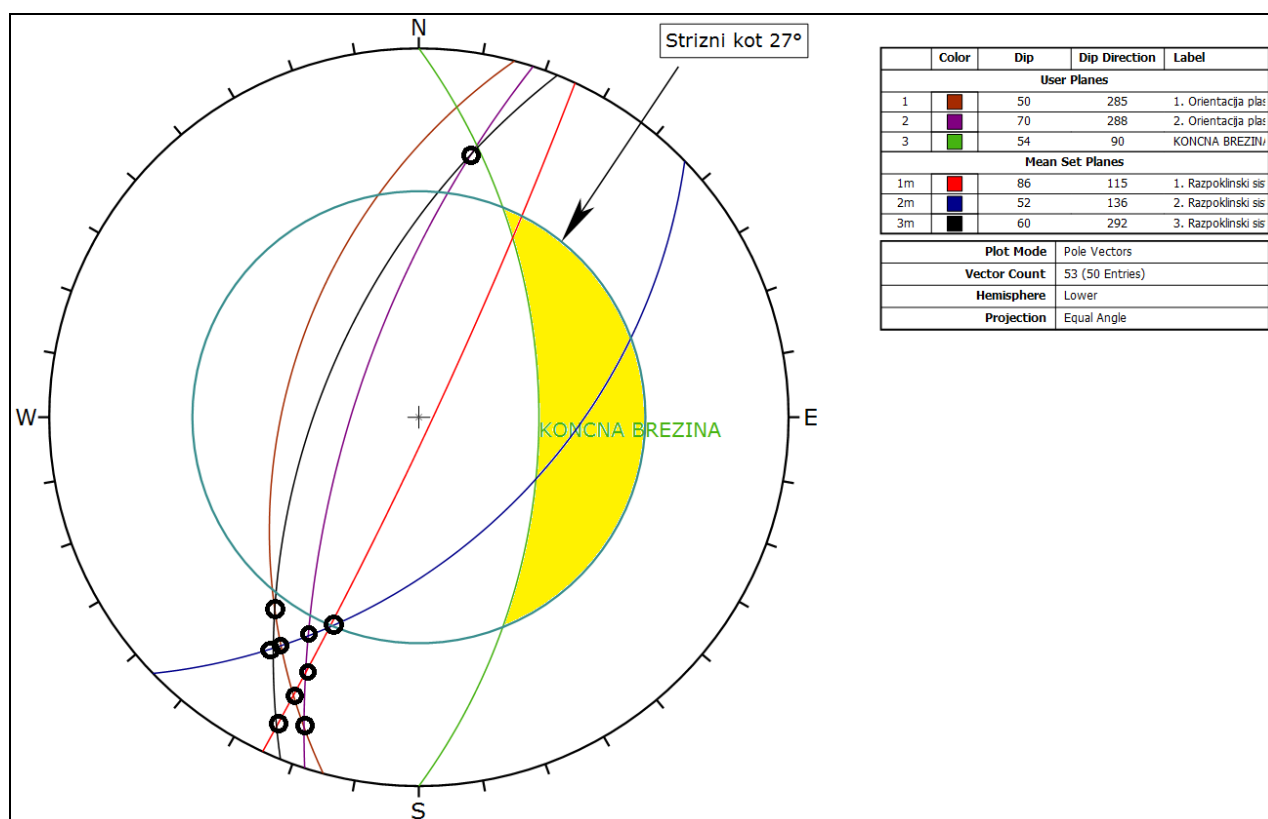
Do porušitve klinastega zdrs pride v primeru, ko pade presečna linija ravnin dveh razpoklinskih sistemov med ravnino brežine ter med strižnim kotom  $\phi$  (rumeno obarvano območje). Za izpolnjen pogoj klinastega zdrs mora podobno kot za planarni zdrs veljati;

strižni kot < nagib sečnice razpok < nagib brežine.

Marklandov test smo napravili za končno brežino v osrednjem delu kamnoloma ob najbolj kritičnem profilu P6, orientacija končne brežine po predvidenem rudarskem projektu znaša 90/54 z višinsko razliko  $h \approx 80$  metrov. Pri testu smo vzeli vrednost strižnega kota  $\phi = 27^\circ$ , določenega v tabeli 3.

Za brežino končnega stanja kamnoloma višine  $h \approx 80$  metrov je bilo z Marklandovim testom ugotovljeno, da sta za nastanek klinastega zdrs ni izpolnjenega pogoja. Sečnice ravnin razpoklinskih sistemov in orientacij plastovitosti (črni krožci) imajo glede na lego orientacije končne brežine in strižni kot ugodno orientacijo (ne padajo v rumeno obarvano območje) in zato **ne predstavljajo nevarnosti za klinasto porušitev brežine** (slika 23).

Marklandov test nam sicer pokaže, da ne obstaja statistična nevarnost za nastanek klinastega zdrs, vseeno pa se tak tip hribinske porušitve lahko pojavi na sečišču s slučajnimi razpokami.



Slika 23: Marklandov test klinastega zdrs za delovno etažo in brežino končnega stanja kamnoloma (Dips).

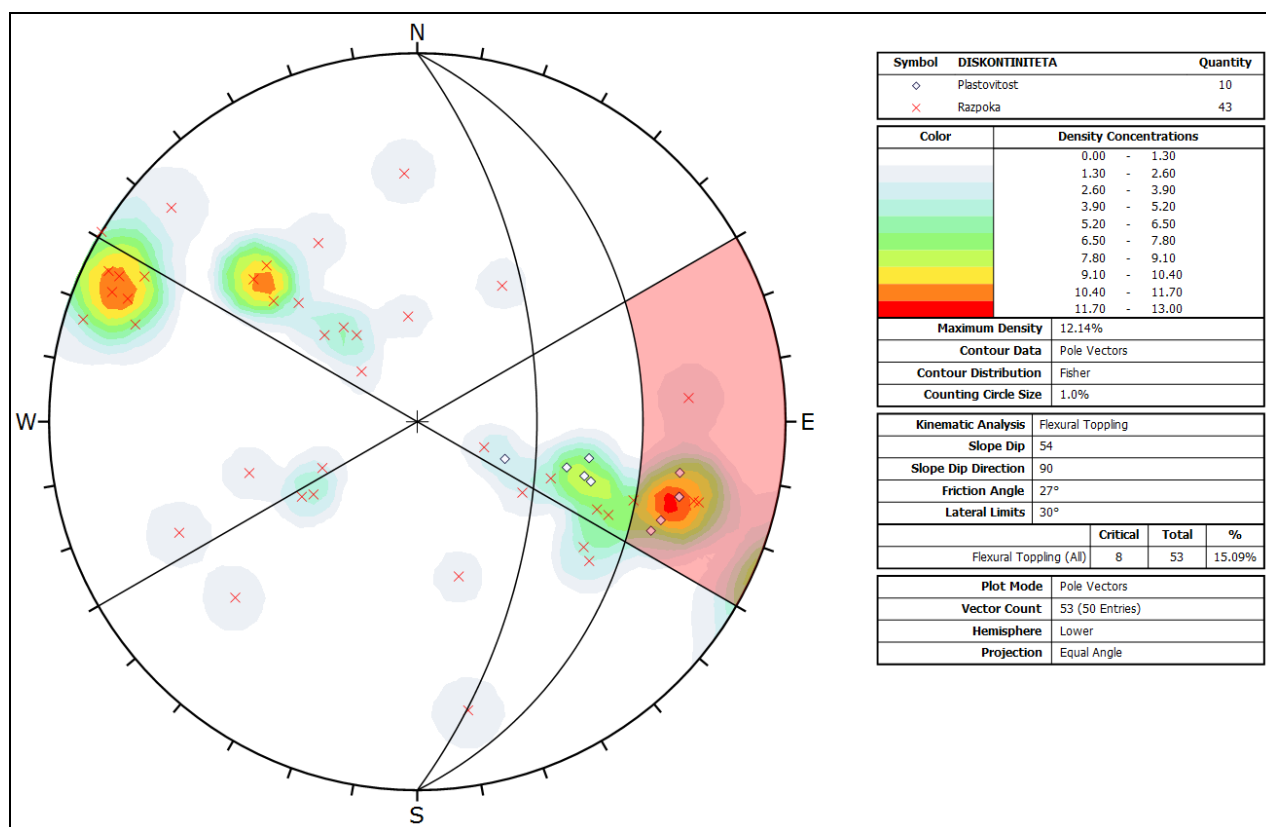
## 7.4 Kinematska analiza prevračanja in padanja kamninskih blokov (Flexural Toppling)

Kinematsko analizo prevračanja in padanja kamninskih blokov kot za končno brežino smo napravili v programu Rocscience Dips z uporabo funkcije Flexural Toppling. Funkcija nam glede na 3D prostorske odnose med orientacijami polov diskontinuitet in izbrano brežino ter med strižnim kotom ugotavlja, katere izmed diskontinuitet imajo neugodno orientacijo in so potencialno nevarne za povzročitev krušenja kamnov in skal.

Potencialno nevarne so tiste diskontinuitete, katerih poli ležijo znotraj roza obarvanega območja med strižnim kotom, robom stereografske mreže ter med lateralno določenimi mejami kritične cone (kot  $\pm 30^\circ$ ), ki imajo isto smer kot ravnina brežine 90/54.

### Kinematska analiza brežine končnega stanja kamnoloma;

Kinematska analiza za brežino brežine končnega stanja kamnoloma z orientacijo 90/54 kaže, da je glede na prostorsko lego med brežino in diskontinuitetami za povzročitev krušenja kamnov in skal potencialno nevarnih 8 na terenu izmerjenih diskontinuitet (15,09%).



Slika 24: Flexural Toppling za brežino končnega stanja kamnoloma (Dips).

### Rezultat kinematske analize prevračanja in padanja kamninskih blokov (Flexural Toppling):

Kinematska analiza kaže, da zaradi neugodne prostorske orientiranosti diskontinuitet obstaja precejšnja verjetnost prevračanja in padanja posameznih kamninskih blokov in kosov kamnin iz končne brežine (kamnoloma).



## 8. PROSTORSKA STABILNOSTNA ANALIZA S PROGRAMOM ROCSCIENCE SLIDE

Pri izračunu stabilnosti smo upoštevali faktorje varnosti, ki so predpisani po **Pravilniku o zahtevah za zagotavljanje varnosti zdravja pri delu in tehničnih ukrepih za dela pri raziskovanju in izkoriščanju mineralnih surovin na površinskih kopih (Uradni list RS št. 21/2019 z dne 4.4.2019)**.

Za izračun stabilnosti sistemov delovnih brežin in končnih brežin v trdnih kamninah na površinskem kopu smo uporabili predpisane vrednosti varnostnega koeficienta **F** iz preglednice **št. 5 iz Priloge 2** tega pravilnika.":

- za končno brežino kopa je predpisan varnostni koeficient **F = 1,30 – 1,50**.

Stabilnost končne brežine kamnoloma Topli vrh smo obdelali z računalniškim programom **Rocscience Slide** (verzija 6.034) in ugotavljali faktor varnosti **F**.

Slide je program za preračunavanje stabilnosti drsin, predvsem varnosti drsin in možnosti porušitve krožnih in poligonalnih drsin v zemljini in kamnitih pobočjih. S programom se lahko razmeroma hitro obdelajo dokaj kompleksni 2D modeli, saj je sam program dokaj preprost za uporabo.

Za izračun stabilnosti smo uporabili metodo **ne-krožnega zdrsa** (Auto Refine Search) po drsni ploskvi po **metodi BISHOP-a** na končni brežini po zaključeni sanaciji kamnoloma, ki bo imela **povprečen naklon 54°**, njena celotna višina na profilu **P6 pa naša h ≈ 80 metrov**.

Vstavili smo specifično težo razpokanega dolomita ( **$\gamma = 26,0 \text{ kN/m}^3$** ). Izbrali smo posplošen Hoek-Brown materialni model za razpokano hribino s sledečimi geomehanskimi parametri iz tabele 3:  **$Q_c = 32.300 \text{ kPa}$** ,  **$GSI = 48$** ,  **$m_i = 9$  (dolomit)** in  **$D = 0,7$  (dobro miniranje)**.

Na obravnavanem območju lahko po karti projektnega pospeška  $a_g$  pričakujemo **pospeške do 0,250 g**. V tej stabilnostni analizi smo tako upoštevali obremenitve tal, ki nastanejo ob močnejšem potresu. V simulaciji potresa smo skladno s priporočili SIST EN 1998-1.2006 uporabili sledeče koeficiente horizontalne ter vertikalne seizmične obremenitve:

- **horizontalna komponenta pospeška;  $a_h = 0,5 \times a_g = 0,125$**

- **vertikalna komponenta pospeška;  $a_v = 0,25 \times a_g = 0,0625$**

**S stabilnostno analizo v programu Rocscience Slide smo za tako za končno brežino kopa dobili varnostni faktor  $F = 1,44$ , ki ustreza predpisanemu 1,30 do 1,50.**

Simulacija pokaže, da je projektirana **končna brežina kopa globalno stabilna** tudi v primeru **močnega potresa** ter ni nevarnosti porušitve celotne brežine, bi pa zaradi razpokanosti hribine lahko prišlo do posameznih izpadov skal in manjših kosov kamenja iz brežine.

Rezultat stabilnostne analize končne brežine kopa s programom Rocscience Slide je podan v prilogi 4.

## 9. ZAKLJUČEK IN KOMENTAR STABILNOSTNIH ANALIZ

Na podlagi rezultatov prostorskih hribinskih stabilnostnih analiz ugotavljamo, da je možno sicer pogojno zagotoviti stabilnost končne brežine kamnoloma višine 80 m z naklonom 54°.

V stabilnostni analizi s programom Rocscience Slide smo upoštevali konzervativne geomehanske parametre in pričakovane projektne pospeške tal ob močnem potresu ter tako dobili **F = 1,44, ki ustreza predpisanemu.**

Pri pregledu obstoječih brežin je na posameznih mestih viden iztok vode iz razpok zato bi ob morebitnem sočasnem močnejšem deževju in močnejšem potresu faktor varnosti utegnil pasti pod mejo predpisanega (< 1.30). V izogib takšnim izrednim dogodkom in zagotovitvi trajne stabilnosti končne brežine je smiselno zmanjšati naklon končne brežine na 50°.

Kinematska analiza – Flexural Toppling s programom Rocscience Dips pokaže, da so iz brežin kamnoloma možni izpadi posameznih kosov kamnine iz razpok, zato je tako med samim pridobivanjem kot tudi po prenehanju obratovanja kamnoloma potrebno pozorno spremljati brežine, kakor hitro bi se opazila nevarnost za možnost izpada večjega bloka kamnine, naj se takšni kosi kamnine odstranijo oziroma naj se ustrezno zmanjšajo nakloni brežin.

Marklandov test nam sicer pokaže, da ne obstaja statistična nevarnost za nastanek klinastega zdrsa, vseeno pa se tak tip hribinske porušitve lahko pojavi na sečišču s slučajnimi razpokami.

Končni rezultati vseh stabilnostnih analiz so podani na tabeli 4.

Brežina	Uporabljen računalniški program	Zahtevan faktor varnosti F	Dobljen faktor varnosti F	Generalna stabilnost končne brežine	Potencialna nevarnost prevračanja in padanja kamninskih blokov (Flexural Toppling)
Brežina končnega stanja kamnoloma	Rocscience Dips & GEO5 – Rock Stability	1,30 - 1,50	1,44	- <b>Da (pri kotu 50°)</b> -Pogojna (pri kotu 54°)	Da

Tabela 4: Končni rezultati stabilnostnih analiz končne brežine.

Zaradi razpokanosti brežine in preperelosti kamnine z različnimi geomehanskimi lastnostmi ocenjujemo, da so iz brežin kamnoloma možni izpadi posameznih kosov kamnine iz razpok, zato je, tako med samim pridobivanjem, kot tudi po prenehanju obratovanja kamnoloma, potrebno pozorno spremljati brežine. Kakor hitro bi se opazila nevarnost za možnost izpada večjega bloka kamnine, naj se takšni kosi kamnine odstranijo oziroma se ustrezno zmanjšajo nakloni brežin, po potrebi se lahko zmanjša tudi njena višina.

Z izvedbo odkopavanja za širitev kamnoloma se mestoma dopušča možnost pojavljanja geoloških slojev s slabšimi geomehanskimi karakteristikami in možen nastanek novih kritičnih ploskev nestabilnosti, ob katerih, ob zmanjšanih trdnostnih parametrih brežine, možna porušitev brežine ali izpadanje posameznih kosov iz brežine. Zato je po izvedbi etaž potreben geološko-geotehnični pregled in sprotna spremljava brežin.

Pred začetkom del v kamnolomu je potreben pregled pobočij nad delovnimi mesti ter na pridobivalnih površinah. Morebitni nevarni kosi v brežini, ki bi lahko izpadli in ogrozili delavce, naj se pred nadaljnjim obratovanjem peskokopa odstranijo in se tako zagotovi varna proizvodnja v kamnolomu. Obtrkavanje oziroma čiščenje pobočij etaž mora biti izvedeno povsod tam, kjer to narekujejo varnostni razlogi.

## 10. LITERATURA

1. Buser, S., 1969: Osnovna geološka karta SFRJ, list Ribnica 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
2. Buser, S., 1974: Tolmač lista Ribnica, Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
3. Weight, D.W. 2008: Hydrogeology field manual, Second edition, The McGraw-Hill, New York.
4. Cornforth, D.H. 2005: Landslides in practice, John Wiley&Sons.
5. Očepek, D., & Jerman, J. Pomen inženirske geologije pri načrtovanju in izgradnji zahtevnih objektov v urbanih okoljih – Geologija 50/2. Ljubljana, 2007
6. Hoek, E., Carranza – Torres, C. T., and Corkum, B. Hoek. Brown failure criterion – 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002.
7. Vrabec, M. Zapiski iz tektonike: skripta za predmet tektonika, Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 2000.
8. Hoek, E. Practical Rock Engineering – An Ongoing Set of Notes, available on Rocscience website, 2000. Dostopno na svetovnem spletu: [http:// www.rocscience.com](http://www.rocscience.com).
9. Duncan, C., Wylie & Christopher, W., Mah. Rock Slope Engineering. New York, 2004.