

Inženjerskogeološko kartiranje sjeverne cijevi tunela Učka

Zugan, Korina

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:169:936655>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-05**



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 KARTIRANJE
SJEVERNE CIJEVI TUNELA UČKA**

Diplomski rad

Korina Zupan

GI474

Zagreb, 2023



KLASA: 602-01/23-01/207
URBROJ: 251-70-13-232
U Zagrebu, 15.12.2023.

Korina Zugan, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/207, URBROJ: 251-70-13-231 od 15.12.2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

INŽENJERSKOGEOLOŠKO KARTIRANJE SJEVERNE CIJEVI TUNELA UČKA

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof.dr.sc. Snježana Mihalić Arbanas nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Prof.dr.sc. Snježana Mihalić
Arbanas

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

Zahvala

*Hvala mentorici, prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas
na mentorstvu, vodstvu, savjetima i pomoći
tijekom pisanja mog diplomskog rada.*

*Hvala komentorici Nikolini Poljak, dipl. ing. geol.
na neizmjernom trudu i strpljenju prilikom
pohađanja stručne prakse i hvala tvrtki
Bouygues Travaux Publics što mi je
omogućila pisanje diplomskog rada
tijekom iskopa Tunela Učka.*

*Hvala mojoj obitelji, dečku i najbližim prijateljima
na neizmjernoj ljubavi, potpori i podršci koju
su mi pružili tijekom mog studiranja.*

*Hvala svim profesorima Rudarsko – geološko – naftnog
fakulteta i svim kolegama koji su
uljepšali moje studiranje.*

INŽENJERSKO GEOLOŠKO KARTIRANJE SJEVERNE CIJEVI TUNELA UČKA

Korina Zupan

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U okviru ovog diplomskog rada provedeno je inženjerskogeološko kartiranje i klasifikacija stijenske mase u sjevernoj cijevi Tunela Učka. Svrha inženjerskogeološkog kartiranja bila je zabilježiti sve geološke pojave, odrediti litologiju, definirati sve karakteristike stijenske mase te provesti odgovarajuću klasifikaciju. Klasifikacije korištene prilikom kartiranja stijenske mase su RMR (engl. Rock Mass Rating) i Q klasifikacija. Tijekom praćenja podzemnog iskopa određeno je 26 geotehničkih jedinica koje uključuju kombinacije sedam litostratigrafskih i sedam strukturno-geoloških jedinica (tzv. strukturnih blokova). U ovom radu detaljno je opisano osam geotehničkih jedinica. Također je opisan posao inženjerskog geologa pri iskupu tunela, s osvrtom na najčešće probleme. Izrađen je uzdužni inženjerskogeološki profil sjeverne cijevi Tunela Učka od stacionaže 30+569,00 do 30+734,00, kako bi se prikazala dokumentacija inženjerskogeoloških istraživanja tijekom praćenja iskopa tunela.

Ključne riječi: inženjerskogeološko kartiranje, tunel Učka, klasifikacija stijenska mase, RMR, Q, inženjerska geologija, geotehničke jedinice, lapor, vapnenac, stijenska masa, uzdužni inženjerskogeološki profil

Završni rad sadrži: 88 stranice, 23 tablica, 53 slika, 16 priloga, i 33 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica u trajnom zvanju, RGNF

Komentor: Nikolina Poljak, dipl. ing. geol.

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF
izv. prof. dr. sc. Martin Krkač, RGNF
doc. dr. sc. Sanja Bernat Gazibara, RGNF

ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING OF THE NORTH TUBE OF THE UČKA TUNNEL

Korina Zupan

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

As part of this thesis, engineering geological mapping and classification of the rock mass in the northern tube of the Učka Tunnel was carried out. The purpose of engineering geological mapping was to record all geological phenomena, determine the lithology, define all the characteristics of the rock mass and carry out the appropriate classification. The classifications used during rock mass mapping are RMR (Rock Mass Rating) and Q classification. During the monitoring of the underground excavation, 26 geotechnical units were determined, which include combinations of seven lithostratigraphic 7 structural-geological units (so-called structural blocks). Eight geotechnical units are described in detail in this paper. The work of an engineering geologist during tunnel excavation is also described, with reference to the most common problems. A longitudinal engineering-geological profile of the northern tube of the Učka Tunnel was created from station 30+569,00 to 30+734,00 in order to present the documentation of engineering-geological research during the monitoring of tunnel excavation.

Keywords: engineering geological mapping, Učka tunnel, rock mass classification, RMR, Q, engineering geology, geotechnical units, marl, limestone, rock mass, longitudinal engineering geological profile

Thesis contains: 88 pages, 23 tables, 53 figures, 16 appendixes, i 33 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Prof. Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, RGNF

Tech. assistance: Nikolina Poljak, M.Sc.

Reviewers: Prof. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF
Assoc. Prof. Martin Krkač, RGNF
Assist. Prof. Sanja Bernat Gazibara, RGNF

Defence date: December 21, 2023, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	TEHNIČKI OPIS.....	3
3.	OPĆENITO O TUNELIMA I TUNELOGRANJI	5
4.	GEOLOŠKE, GEOTEHNIČKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE TERENA	10
4.1.	Geološka građa	10
4.2.	Hidrološki i hidrogeološki uvjeti	12
4.3.	Seizmičke značajke područja.....	13
4.4.	Geotehničke značajke tunela Učka.....	16
5.	TEORIJSKE OSNOVE.....	22
6.	KLASIFIKACIJE STIJENSKE MASE.....	24
6.1.	RMR - Rock Mass Rating	26
6.1.1.	Jednosna tlačna čvrstoća	31
6.1.2.	RQD.....	32
6.1.3.	Razmak diskontinuiteta	33
6.1.4.	Stanje diskontinuiteta	34
6.2.	Q – klasifikacija.....	41
7.	GEOLOŠKE I INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE STIJENSKE MASE U ZONI ISKOPA SJEVERNE (LIJEVE) CIJEVI TUNELA „UČKA”.....	49
7.1.	Geotehnička jedinica T2 (30+569,00 – 30+681,00) pločasti vapnenac, paleocen, eocen (V _{pl} , Pc, E)	49
7.1.1.	Iskop u pločastom vapnencu IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+612,00	50
7.1.2.	Iskop u pločastom vapnencu V. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+667,50	52
7.2.	Geotehnička jedinica T2 – T3 (stacionaža 30+681,00 – 30+709,00): kontakt pločastih vapnenaca, paleocen, eocen (V _{pl} , Pc, E) i rudistnih vapnenaca , gornja kreda (V _{rud} , K ₂).....	54
7.2.1.	Iskop na kontaktu pločastog i rudistnog vapnenca u III. kategoriji stijenske mase na stacionaži 30+681,00.....	55
7.3.	Geotehnička jedinica T2 (stacionaža 30+709,00 – 30+721,00): pločasti vapnenac, paleocen, eocen (V _{pl} , Pc, E)	57
7.3.1.	Iskop u pločastom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+712,00	58
7.3.2.	Iskop u pločastom vapnencu IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+718,00	60

7.4.	Geotehnička jedinica T3 (stacionaža 30+734,00 – 32+772,00): rudistni vapnenci, gornja kreda (V_{rud} , K_2)	61
7.4.1.	Kaverna u rudistnom vapnencu gornje krede na stacionaži 31+077,00.....	62
7.4.2.	Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+094,00	63
7.4.3.	Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede II. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+158,00	65
7.5.	Geotehnička jedinica T4 (stacionaža 32+819,00 – 33+315,00): foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$)	66
7.5.1.	Iskop u foraminiferskom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+006,50	67
7.5.2.	Iskop u foraminiferskom vapnencu II. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+035,70	69
7.6.	Geotehnička jedinica T4 – T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+643,50): kontakt foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$) i lapora fliša, srednji i gornji eocen (L , $E_{2,3}$)	70
7.6.1.	Iskop na kontaktu foraminiferskog vapnenaca i lapora fliša u III. kategoriji stijenske mase na stacionaži 33+660,00.....	72
7.6.2.	Iskop na kontaktu foraminiferskih vapnenaca i lapora fliša u V. kategoriji stijenske mase na stacionaži 33+650,00.....	73
7.7.	Geotehnička jedinica T5 (stacionaža 33+643,50 – 33+ 315,00): lapori fliša, srednji i gornji eocen ($L, E_{2,3}$)	74
7.7.1.	Iskop u laporu fliša V. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+613,00.....	75
7.8.	Geotehnička jedinica T7 (stacionaža: 35+383,34 – 34+675,00): vapnenci, donja kreda (V , K_1).....	76
7.8.1.	Iskop u vapnencu donje krede IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+219,00	78
7.8.2.	Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+132,00	79
7.8.3.	Iskop u vapnencu donje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+115,00	80
7.8.4.	Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+087,50	81
8.	DISKUSIJA	83
9.	ZAKLJUČAK	85
10.	LITERATURA	86

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Prikaz sjeverne i južne cijevi tunela Učka na topografskoj karti	4
Slika 3-1. Prikaz osnovnih elemenata tunela (Anon, 2009).....	6
Slika 3-2. Korak iskopa podijeljen na čelo, kalotu, ramena i zid.....	6
Slika 3-3. Ciklus radova prilikom iskopa tunela.....	8
Slika 4-1. Isječak iz Osnovne geološke karte list Labin (Šikić <i>i dr.</i> , 1969) i list Ilirska Bistrica (Šikić <i>i dr.</i> , 1973) s označenom sjevernom (lijevom) i južnom (desnom) cijevi tunela Učka	10
Slika 4-2. Geološki stup naslaga na području Parka prirode Učka načinjen na temelju OGK lista Labin (Šikić <i>i dr.</i> , 1969) te OGK lista Ilirska Bistrica (Šikić <i>i dr.</i> , 1973), (Mejrušić, 2020)	12
Slika 4-3. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 95$ godina (Herak, 2023)	13
Slika 4-4. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 225$ godina (Herak, 2023)	14
Slika 4-5. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 475$ godina (Herak, 2023)	15
Slika 4-6. Početak kontakta na stacionaži 33+663,30 gdje se prvi puta pojavio lapor zajedno s foraminiferskim vapnencom	17
Slika 4-7. Prijelazna zona u kojoj se na čelu iskopa nalaze foraminiferski vapnenac i lapor na stacionaži 33+646,50	18
Slika 4-8. Kraj kontakta na stacionaži 33+643,50 gdje se na čelu iskopa nalazi samo lapor, a foraminiferski vapnenac izostaje	18
Slika 6-1. Shematski prikaz parametara koji opisuju diskontinuitete u stijenskoj masi (Miščević, 2004).....	27
Slika 6-2. Postojani i nepostojani diskontinuitet (Miščević, 2004)	35
Slika 6-3. Zijev i širina diskontinuiteta (Pollak, 2007)	38

Slika 6-4. Smjer i kut nagiba diskontinuiteta	41
Slika 6-5. Trag ravnine i pol pravca na ravnini stereografske projekcije (Tomljenović, 2020)	41
Slika 7-1. Iskop u geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+569,00 – 30+681,00) prema kategorijama stijenske mase	49
Slika 7-2. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+569,00 – 30+681,00).....	50
Slika 7-3. Iskop u pločastom vapnencu IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+612,00.....	51
Slika 7-4. Bitumenizirana ispuna debljine veće od 5 mm po plohamo slojevitosti 330/10 na stacionaži 30+612,00.....	51
Slika 7-5. Iskop u pločastom vapnencu V. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+667,50	52
Slika 7-6. Prikaz slojnih ploha s glinovitom ispunom na stacionaži 30+667,50	53
Slika 7-7. Kaverna između slojnih ploha 330/10-15 u desnom boku na stacionaži 30+667,50	53
Slika 7-8. Iskop u geotehničkoj jedinici T2 – T3 (stacionaža 30+681,00 – 30+709,00) prema kategorijama stijenske mase	54
Slika 7-9. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T2 – T3 (stacionaža 30+681,00 – 30+709,00)	55
Slika 7-10. Kontakt pločastog vapnenca i rudistnog vapnenca gornje krede u III. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+681,00	56
Slika 7-11. Iskop u geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+709,00 – 30+721,00) prema kategorijama stijenske mase	57
Slika 7-12. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+709,00 – 30+721,00).....	58
Slika 7-13. Iskop u pločastom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+712,00.....	59
Slika 7-14. Iskop u pločastom vapnencu IV kategorije stijenske mase na stacionaži 30+718,00.....	60

Slika 7-15. Iskop u geotehničkoj jedinici T3 (stacionaža 31+077,00 – 31+200,00) prema kategorijama stijenske mase	61
Slika 7-16. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T3 (stacionaža 31+077,00 – 31+200,00).....	62
Slika 7-17. Kaverna u rudistnom vapnencu gornje krede na stacionaži 31+077,00.....	63
Slika 7-18. Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+094,00	64
Slika 7-19. Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede II. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+158,00	65
Slika 7-20. Iskop u geotehničkoj jedinici T4 (stacionaža 32+950,00 – 33+055,50) prema kategorijama stijenske mase	66
Slika 7-21. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T4 (stacionaža 31+077,00 – 31+200,00).....	67
Slika 7-22. Iskop u foraminiferskom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+006,50.....	68
Slika 7-23. Iskop u foraminiferskom vapnencu II. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+035,70.....	69
Slika 7-24. Iskop u geotehničkoj jedinici T4 – T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+568,50) prema kategorijama stijenske mase	71
Slika 7-25. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T4 – T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+643,50)	71
Slika 7-26. Kontakt foraminiferskog vapnenca i lapora fliša u III. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+660,00	72
Slika 7-27. Kontakt foraminiferskog vapnenca i lapora fliša u V. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+650,00	73
Slika 7-28. Iskop u geotehničkoj jedinici T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+568,50) prema kategorijama stijenske mase	74
Slika 7-29. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+643,50).....	75
Slika 7-30. Iskop u laporu fliša na stacionaži 33+613,00	76

Slika 7-31. Iskop u geotehničkoj jedinici T7 (stacionaža 35+190,00 – 35+087,50) prema kategorijama stijenske mase	77
Slika 7-32. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T7 (stacionaža 35+190,00 – 35+087,50).....	77
Slika 7-33. Iskop u vapnencu donje krede IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+190,00.....	78
Slika 7-34. Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+132,00.....	79
Slika 7-35. Iskop u vapnencu donje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+115,00.....	80
Slika 7-36. Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na st. 35+087,50	82

POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Geotehničke jedinice definirane u geotehničkom projektu (Šarić i Užarević, 2013) sjeverne cijevi tunela Učka	16
Tablica 6-1. Kategorije stijenske mase prema RMR klasifikaciji (Mišćević, 2004).....	28
Tablica 6-2. Klasifikacijski parametri i pripadajuće vrijednosti bodova RMR-a (Mišćević, 2004).....	29
Tablica 6-3. Bodovanje značajki diskontinuiteta prema RMR klasifikaciji (Mišćević, 2004)	30
Tablica 6-4. Utjecaj orijentacije dominantnog pukotinskog sustava na podzemne otvore i bodovanje prema RMR klasifikaciji (Mišćević, 2004)	30
Tablica 6-5. Raspon vrijednosti i bodovi RMR klasifikacije za jednoosnu tlačnu čvrstoću (Mišćević, 2004).....	31
Tablica 6-6. Usporedba vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće iz Glavnog projekta (Šarić i Užarević, 2013) i rezultati dobiveni ispitivanjem u sjevernoj cijevi.....	32
Tablica 6-7. Raspon vrijednosti i bodovi za RQD (Mišćević, 2004)	33
Tablica 6-8. Raspon vrijednosti i bodovi za razmak diskontinuiteta za RMR klasifikaciju (Mišćević, 2004).....	34
Tablica 6-9. Raspon vrijednosti i bodovi postojanosti diskontinuiteta (Mišćević, 2004) ..	35
Tablica 6-10. Opis i bodovi hrapavosti stijenki diskontinuiteta (Mišćević, 2004).....	36
Tablica 6-11. Opis i bodovi rastrošenosti stijenske mase (Anon, 2009)	37
Tablica 6-12. Raspon vrijednosti i bodovi za zijev diskontinuiteta (Mišćević, 2004)	38
Tablica 6-13. Raspon vrijednosti i bodovi za ispunu diskontinuiteta (Mišćević, 2004)	39
Tablica 6-14. Stanje podzemne vode (Mišćević, 2004)	40
Tablica 6-15. Klasifikacija stijenske mase prema Q koeficijentu (Mišćević, 2004).....	43
Tablica 6-16. Indeks kvalitete jezgre za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004)	43
Tablica 6-17. Broj setova diskontinuiteta za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004)	44
Tablica 6-18. Indeks hrapavosti diskontinuiteta za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004)	44
Tablica 6-19. Indeks alteracija pukotina za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004).....	45
Tablica 6-20. Faktor redukcije naprezanja za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004).....	46
Tablica 6-21. Napomene vezane za faktor redukcije naprezanja (Mišćević, 2004).....	47
Tablica 6-22. Koeficijent pukotinske vode za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004).....	47

POPIS PRILOGA

Prilog 1: RMR na stacionaži 30+612,00

Prilog 2: RMR na stacionaži 30+667,50

Prilog 3: RMR na stacionaži 30+681,00

Prilog 4: RMR na stacionaži 30+712,00

Prilog 5: RMR na stacionaži 30+718,00

Prilog 6: RMR na stacionaži 31+094,00

Prilog 7: RMR na stacionaži 31+158,00

Prilog 8: RMR na stacionaži 33+006,50

Prilog 9: RMR na stacionaži 33+035,70

Prilog 10: RMR na stacionaži 33+660,00

Prilog 11: Q klasifikacija na stacionaži 33+650,00

Prilog 12: Q klasifikacija na stacionaži 33+613,00

Prilog 13: RMR na stacionaži 35+190,00

Prilog 14: RMR na stacionaži 35+115,00

Prilog 15: RMR na stacionaži 35+087,50

Prilog 16: Uzdužni inženjerskogeološki profil M 1:500

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

a_g – Projektno ubrzanje

a_{gr} – Vršno ubrzanje

ATM – Austrian Tunneling Method

A_0 – Površina poprečnog presjeka (m²)

c – Kohezija (MPa)

E – Eocen

EN – Engleska norma

engl - Engleski

$E_{1,2}$ – Donji i srednji eocen

E_2 – Srednji eocen

$E_{2,3}$ – Srednji i gornji eocen

F – Sila (kN)

g – Gravitacijsko ubrzanje (m/s²)

HRN – Hrvatska norma

J_a – Indeks alteracije, trošnosti i ispune diskontinuiteta

J_n – Broj setova diskontinuiteta

J_r – Indeks hrapavosti diskontinuiteta

J_w – Faktor redukcije pukotinske vode

$NATM$ – New Austrian Tunneling Method

OGK – Osnovna geološka karta

RMR – Rock Mase Raiting

RQD – Indeks kvalitete jezgre (%)

SFR – Faktor redukcije naprezanja

t – vrijeme (g)

T – povratno razdoblje (g)

$TNCR$ – Poredbeno povratno razdoblje (g)

V – Vapnenac

V_{for} – Foraminiferski vapnenac

V_{lap} – Laporovito (glinoviti) vapnenac

V_{pl} – Pločasti vapnenac

V_{rud} – Rudistni vapnenac

Y_I – Faktor važnosti građevine

α – Smjer nagiba diskontinuiteta ($^{\circ}$)

β – kut nagiba ($^{\circ}$)

φ – Kut unutarnjeg trenja ($^{\circ}$)

σ_c – Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)

σ_{θ} – Najveće tangencijalno naprezanje (MPa)

1. UVOD

Tunel Učka je podzemna geotehnička konstrukcija koja spaja istarski poluotok s Kvarnerom te prolazi kroz istoimenu planinu. Iskop sjeverne cijevi tunela Učka započeo je u lipnju 2021. godine te je trajao dvije godine i tri mjeseca, a dužina tunela iznosi 5630,34 m.

Glavni zadatak inženjerskog geologa, zaposlenog tijekom građenja tunela je istraživanje geoloških i hidrogeoloških uvjeta, utvrđivanje zona složenijih geoloških uvjeta i odrediti geotehničke uvjeta, a temeljni zadatak je determinacija stijenske mase, praćenje i nadziranje iskopa. Prilikom iskopa tunela do problema stabilnosti i gubitka čvrstoće stijenske mase mogu dovesti tri vrste inženjerskogeoloških uvjeta, a to su nepovoljna orijentacija diskontinuiteta, nepovoljna orijentacija naprezanja u odnosu na orijentaciju tunela te dotok vode u iskop. Za potrebe kartiranja u tunelu, potrebno je korak iskopa podijeliti na čelo, kalotu, ramena i zid ili bok. Najčešći dijelovi koji se kartiraju, a ujedno i najviše utječu na stabilnost iskopa su kalota i ramena, ali se mogu pojaviti i nestabilniji dijelovi.

Klasifikacije stijenske mase korištene prilikom iskopa tunela Učka su *RMR* (engl. Rock Mass Rating) i *Q*-klasifikacija, a glavna svrha njihove primjene je podjela stijenske mase u kategorije sa sličnim karakteristikama te dobivanje kvantitativnih podataka za inženjerske projekte. *RMR* klasifikacija se zasniva na bodovanju šest parametara stijenske mase koji se odnose na geometrijska i mehanička svojstva stijenske mase a to su: jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene, *RQD* (indeks kvalitete jezgre), razmak diskontinuiteta, stanje diskontinuiteta, stanje podzemne vode i orijentacija diskontinuiteta. *Q* klasifikacija je temeljena na numeričkoj procjeni kvalitete stijenske mase upotrebom slijedećih šest parametara: *RQD* – indeks kvalitete jezgre, J_n – broj setova diskontinuiteta, J_r – indeks hrapavosti diskontinuiteta, J_a – indeks alteracije, trošnosti i ispune diskontinuiteta, J_w – faktor redukcije pukotinske vode i *SFR* – faktor redukcije naprezanja (*in situ* naprezanja). Maksimalni broj bodova u *RMR* klasifikaciji je 100 i dijeli stijensku masu u pet kategorija, a vrijednosti u *Q* klasifikaciji su u rasponu od 0.001 do 1000 i dijele stijensku masu u devet kategorija.

U geotehničkom projektu tunela Učka (Šarić i Užarević, 2013) definirano je sedam geotehničkih jedinica na temelju sedam litostratigrafskih i strukturnih jedinica. Duž trase

sjeverne cijevi tunela Učka, prilikom praćenja podzemnog iskopa, izdvojeno je sedam vrsta litostratigrafskih jedinica i sedam strukturno-geoloških jedinica (tzv. strukturnih blokova), a na osnovi njihove kombinacije izdvojeno je 26 geotehničkih jedinica unutar kojih su geološke i geotehničke karakteristike stijenskih masa kvazihomogene na način da se u njima primjenjuju istovjetne s obzirom na metode stabilizaciju podzemnog iskopa. U ovom radu detaljno je opisano osam geotehničkih jedinica za koje su prikazane njihove glavne karakteristike, dominantni sustavi diskontinuiteta, kategorije i opisi stijenske mase.

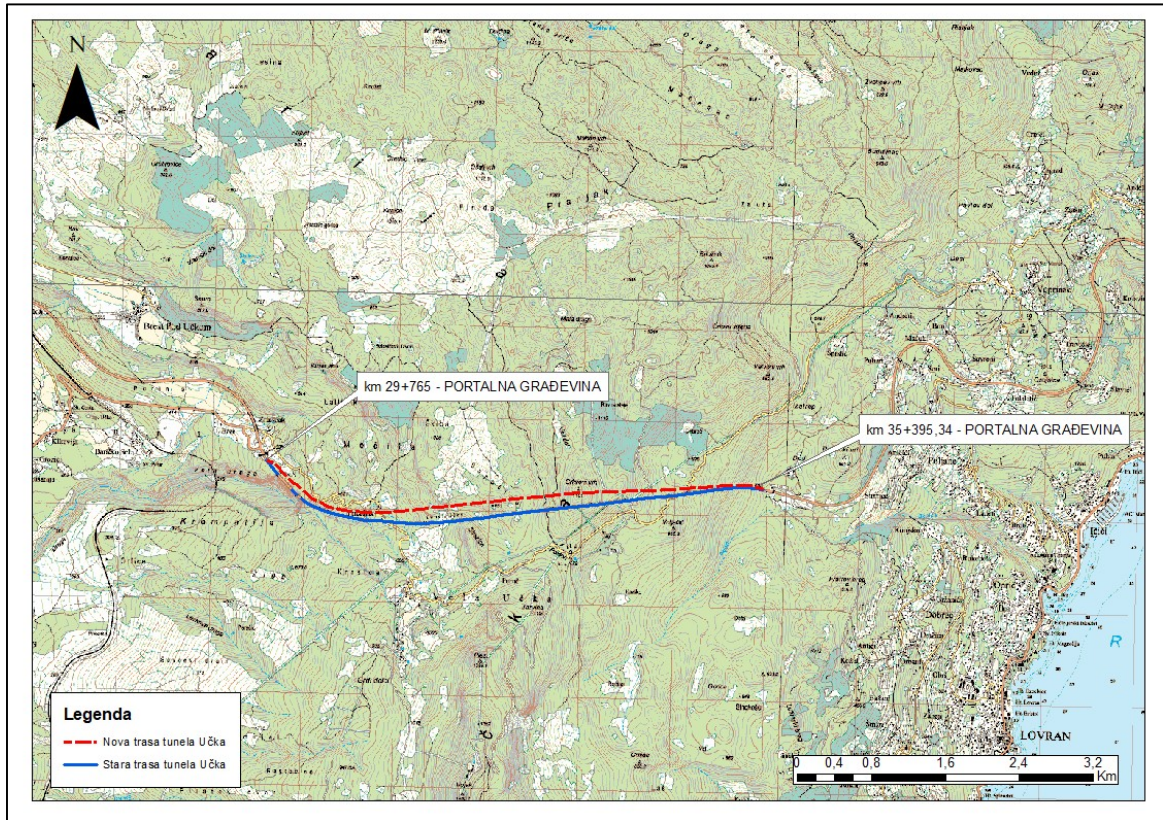
Prilikom praćenja iskopa tunela, a u okviru inženjerskogeoloških istraživanja, inženjerski geolog dužan je na izraditi uzdužni inženjerskogeološki profil. Na orijentiranom inženjerskogeološkom profilu na odgovarajućim stacionažama, prikazuju se svi zabilježeni setovi pukotina i slojevitosti, pojava vode, geotehničke jedinice i granice između geotehničkih jedinica, litologija, strukturno-geološke jedinice (tzv. strukturni blokovi) i kategorizacija stijenske mase. Uzdužni inženjerskogeološki profil tunela predstavlja objedinjeni prikaz svih prethodno navedenih komponenti inženjerskogeoloških uvjeta, a u slučaju prirodnih nezgoda prouzročenih geološkim pojavama, iz ove dokumentacije je moguće utvrditi karakteristike stijenske mase, odnosno kategoriju stijenske mase na stacionaži na kojoj je nastao određeni problem.

2. TEHNIČKI OPIS

Geotehnička konstrukcija sjeverne cijevi tunela „Učka“ predviđena je za izgradnju u sklopu projekta Istarskog ipsilona – A8, na dionici Vranja - Tunel Učka - Portal Kvarner, Faze 2b dopuna na puni profil autoceste, IV faza. Ukupna duljina dionice Vranja - Tunel Učka - Portal Kvarner je 8010 metara od čega je duljina sjeverne, druge cijevi tunela Učka 5630,34 metara.

Autocesta A8 čvorište Kanfanar (A9) – Pazin – Lupoglav – čvorište Matulji (A7) sastavni je dio cestovnog smjera koji povezuje zapad i jugoistok Europe jadranskom zaobalnom trasom. Kao prva faza autoceste, dionica Matulji - tunel Učka - Lupoglav u dužini od 24 km dovršena je, a zatim i puštena u promet 1981. godine. Na prethodno spomenutoj dionici odvija se dvosmjerni promet jednim kolnikom te jednom tunelskom cijevi koja obuhvaća južnu cijev tunela Učka te tunele Zrinščak I i II. Postojeća južna cijev tunela Učka je duljine 5062 m.

Sjeverna tunelska cijev izvodi se kao dio autoceste s dva prometna traka. Početak sjeverne cijevi tunela „Učka“ odnosno ulazni portal – istarska strana, nalazi se na stacionaži 29+765,00. Kraj ove cijevi tunela, odnosno izlazni portal – kvarnerska strana je na stacionaži 35+395,34. Razlika navedene dvije stacionaže iznosi 5630,34 m. Također, definiran je početak i kraj koji se izvodio tunelskim iskopom i podgrađivanjem. Izvedba tunelskim iskopom, odnosno podzemnim iskopom je duljine 5593,35 m, a započinje na stacionaži 29+790,00 i završava na stacionaži 35+383,34. Prije samog početka iskopa tunela, izvedena je stabilizacija ulaznog predusjeka s istarske strane i izlaznog predusjeka s kvarnerske strane. Nakon same stabilizacije predusjeka, iskop se izvodio dvosmjerno, odnosno s istarske i kvarnerske strane. Kota nivelete na početku podzemnog iskopa (stacionaža 29+790,00) iznosi 490,38 m. n. m., a na kraju podzemnog iskopa (stacionaža 35+383,34) iznosi 494,82 m. n. m. Maksimalan nadsloj sjeverne cijevi tunela „Učka“ iznosi oko 590 m, a nalazi se na stacionaži 33+360,00. Na slici 2-1 prikazane su sjeverna i južna trasa tunela Učka na topografskoj karti.



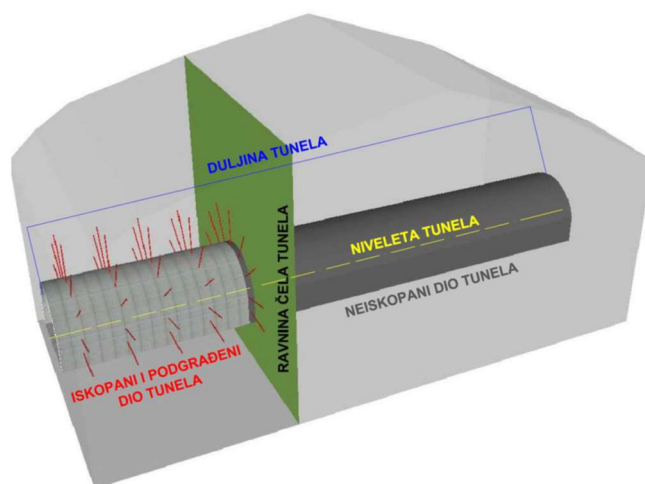
Slika 2-1. Prikaz sjeverne i južne cijevi tunela Učka na topografskoj karti

3. OPĆENITO O TUNELIMA I TUNELOGRANJIMA

Tunel je podzemna građevina malih dimenzija poprečnog presjeka u odnosu na dužinu, cijevnog je oblika te je otvoren s obje strane. Izvodi se ljudskom djelatnošću te je postavljen horizontalno ili pod blagim nagibom. Riječ „tunel“ preuzeta je iz engleskog rječnika, a u prijevodu znači cijev što znači da ima i ulaz i izlaz (Ilijas, 2018). Glavni razlog građenja tunela, kako u prošlosti tako i danas, je savladavanje prirodnih prepreka te u novije vrijeme nedostatak prostora u urbanim područjima i zaštita okoliša. Također, tuneli predstavljaju najbolje rješenje za razvoj brzih ruta i transporta te se grade ukoliko je procijenjeno da su ekonomičnije isplativiji od otvorenih puteva (Mihalić Arbanas, 2022). Tuneli spadaju u vrlo skupe, a sukladno tome i složene građevine za koje je potrebno dugo razdoblje izgradnje, a potrebni su i posebni strojevi i alat za građenje koji se teško održavaju prilikom eksploatacije te kvalificirana radna snaga (Ilijas, 2018).

Prema namjeni tuneli se dijele na prometne (cestovni, željeznički, brodski, pješački i mješovite namjene), hidrotehničke (vodovodni, melioracijski, kanalizacijski i tuneli u sklopu hidrocentrala), komunalne (smještaj telefonskih i električnih vodovoda, toplovoda i plinovoda) i tunele rudarske industrije (omogućuje eksploataciju rudnih ležišta). Tunel Učka klasificiran je prema prethodno spomenutoj podjeli kao prometni odnosno cestovni tunel (Mihalić Arbanas, 2022). Najduži tunel u Hrvatskoj je Mala Kapela (5821 m), zatim Sv. Rok (5679 m) te je tunel Učka treći po dužini u Hrvatskoj s 5630,34 m.

Razlikuju se poprečni presjeci tunela i uzdužni profil duž središnje linije tunela. Geometrijskim kriterijima definira se opseg i nagib tunela te radijus zakrivljenosti. Na slici 3-1 prikazana je duljina i niveleta tunela, iskopani i podgrađeni te neiskopani dio tunela i ravnina čela tunela. Za inženjerskogeološka istraživanja važni su podaci o poprečnom presjeku tunela, područje portala tunela (ulaz i izlaz), prilaz i uzdužni profil (Mihalić Arbanas, 2022).

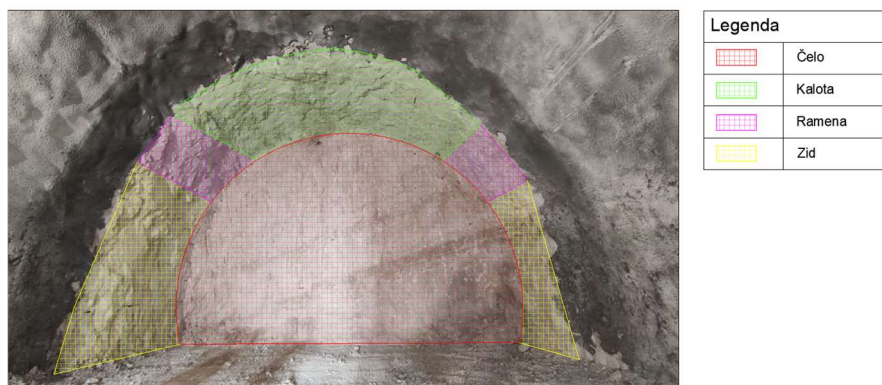


Slika 3-1. Prikaz osnovnih elemenata tunela (Anon, 2009)

Korak iskopa definira se kao napredak u metrima, a dužina napretka ovisiti će o kategoriji stijenske mase. Što su karakteristike stijenske mase bolje, to će i dužina napretka biti veća. Korak iskopa prilikom kariranja i opisivanja stijenske mase dijeli se na četiri dijela:

1. čelo,
2. kalota,
3. ramena i
4. zid ili bok tunela.

Čelo predstavlja frontalnu zonu iskopa koja će se iskopati. Kalota je gornji, zakrivljeni dio iskopa poprečnog profila tunela. Ramena su krajnji dijelovi kalote, a ispod ramena nalazi se zid. Zid ili bok je bočni dio tunela između ramena iskopa i podine iskopa tunela. Na slici 3-2 prikazani su dijelovi poprečnog presjeka tunela.



Slika 3-2. Korak iskopa podijeljen na čelo, kalotu, ramena i zid

Glavni cilj inženjerskogeoloških istraživanja u tunelu je interpretacija inženjerskogeoloških i hidrogeoloških uvjeta, lociranje složenijih geoloških uvjeta, određivanje geotehničkih uvjeta i inženjerskogeološko zoniranje tunela. Na temelju inženjerskogeoloških istraživanja moraju se odrediti inženjerskogeološki i geotehnički uvjete na području portala kao i području prilaza tunelu. Najvažniji zadatak inženjerskog geologa je da determinira stijensku masu te da prati i kontrolira iskop. Naime, prilikom iskopa tunela do problema stabilnosti i gubitka čvrstoće stijenske mase mogu dovesti tri vrste inženjerskogeoloških uvjeta, a to su nepovoljna orijentacija diskontinuiteta, nepovoljna orijentacija naprezanja u odnosu na orijentaciju tunela te dotok vode u iskop (Mihalić Arbanas, 2022).

NATM (engl. New Austrian Tunneling Method) razvila se iz RMR i Q klasifikacije. Osnovni strukturni materijal tunelske građevine kod NATM je tlo ili sama stijenska masa, a tuneli izgrađeni u skladu s NATM pripadaju geotehničkim konstrukcijama. NATM ne definira tehnologiju gradnje koja se prikazuje nacrtima podgrade i shemom iskopa, već tehnologiju izvođenja želi uskladiti s procesima koji nastaju u tlu ili stijeni tijekom građenja tunela. Način građenja tunela temelji se na principima opažanja te na znanstveno definiranim principima i idejama koji su također potvrđeni u praksi, a sve u svrhu ostvarenja ekonomičnosti i optimalne sigurnosti mobiliziranjem nosivog kapaciteta stijenske mase (Ilijas, 2018).

Naziv NATM prvi puta se spominje u Salzburgu na geotehničkom kolokviju 1963. godine, a metodu su razvili austrijski profesori Muller i Rabczewicz te je dodan prefiks „nova“ kako bi ju razlikovali od postojeće tj. od Austrijske tunelske metode (ATM). Dokazalo se da je metoda primjenjiva na pokusnom tunelu u Frankfurtu na Maini 1968. godine nakon što je profesor Muller potaknuo izvoditelje radova da primijene NATM (Ilijas, 2018). NATM se primjenjuje na tunelu Učka za iskop stijenske mase u razdoblju od 2021. do 2023. godine.

NATM se temelji na konceptu da tlo ili stijena koji okružuju podzemni otvor postaju dio nosive konstrukcije kroz aktivaciju nosivog prstena. Cilj je zadržati višeosno ili stvarno troosno stanje naprezanja tijekom cijele gradnje, bez pojave jednoosnog ili dvoosnog stanja naprezanja. Metoda se prilagođava geološkim i geotehničkim uvjetima na čelu iskopa te je

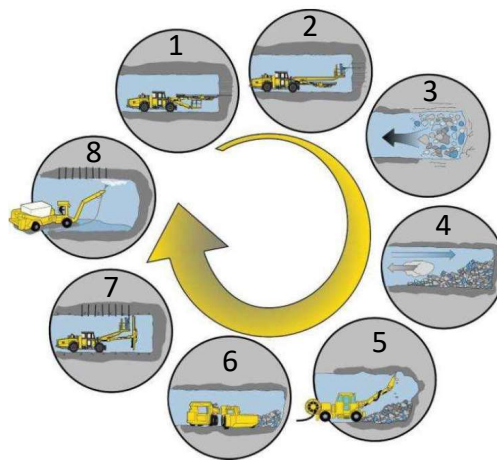
moguće duž trase tunela razraditi profil na kalotu, ramene, zid i podnožni dio ukoliko se iskop izvodi u slabim materijalima (Anon, 2009).

NATM se definira na temelju pet osnovnih načela (Ilijas, 2018), a to su:

1. poprečni profil tunela treba biti zaobljen,
2. održavanje čvrstoće stijenske mase,
3. osnovna nosiva komponenta je stijenska masa,
4. podgrada treba biti fleksibilna i tanka i
5. mjerenja in-situ.

Prilikom iskopa tunela postoji ciklus radova koji se mora poštovati te se niti jedna faza u ciklusu ne smije preskočiti. Trajanje ciklusa varirat će ovisno o kvaliteti stijenske mase. Dakle, što je kvaliteta stijenske mase lošija, točnije što smo u nižoj kategoriji kvalitete stijenske mase, ciklus će trajati dulje jer je potrebno dulje vrijeme za podgrađivanje stijenske mase. Ciklus radova obuhvaća sljedeće (slika 3-3):

1. bušenje minskih bušotina,
2. punjene eksplozivom,
3. miniranje,
4. ventilacija,
5. kavanje,
6. izvoz materijala,
7. ugradnja sidara i
8. nanošenje mlaznog betona.



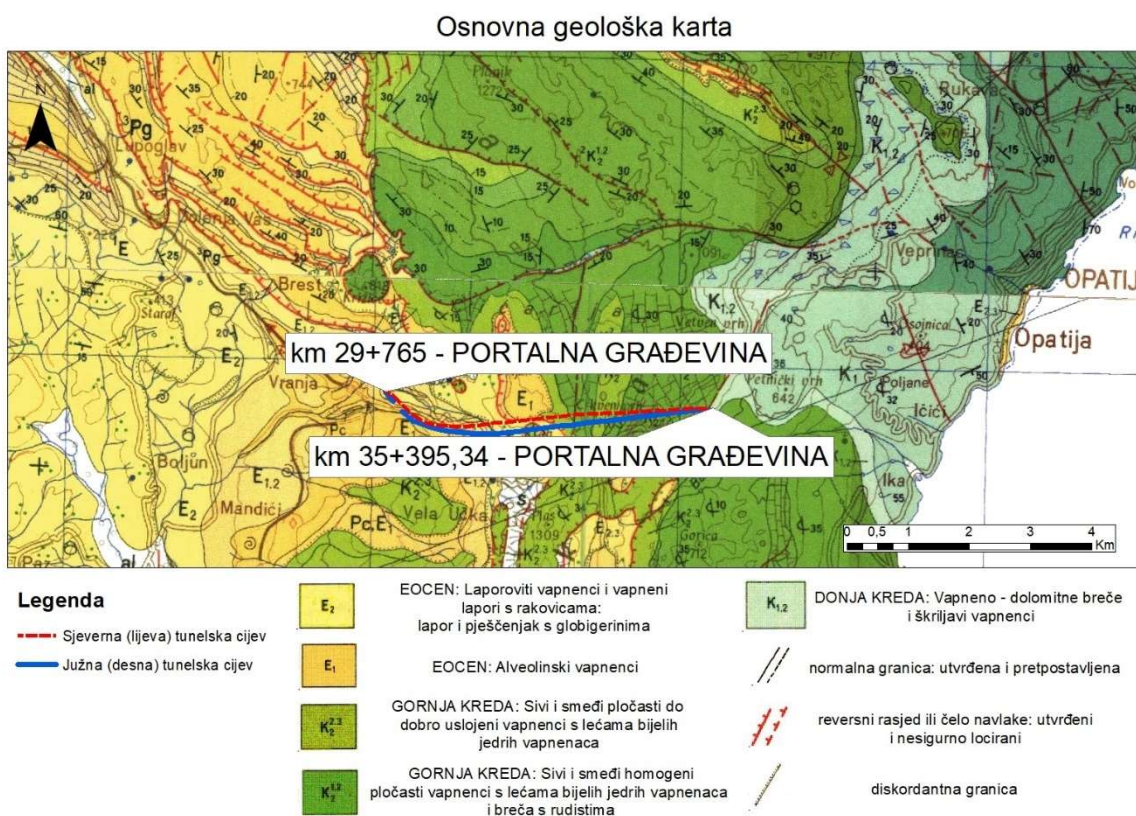
Slika 3-3. Ciklus radova prilikom iskopa tunela

Nakon što se stijena okava i izveze materijal, inženjerski geolog može odrediti kvalitetu stijenske mase na temelju koje inženjer građevinarstva određuje podgradni sklop.

4. GEOLOŠKE, GEOTEHNIČKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE TERENA

4.1. Geološka građa

Uvidom u OGK listove Labin (Šikić i dr., 1969) i Ilirska Bistrica (Šikić i dr., 1973) može se uočiti da je područje kroz koje prolaze sjeverna i južna cijev tunela Učka većim dijelom izgrađeno od karbonatnih naslaga mezozojske starosti, pri čemu su najstarije naslage vapnenci i dolomiti donje krede. Na istraživanom području pretežno su zastupljeni dolomiti i vapnenci kredne starosti te foraminiferski vapnenci i flišne naslage paleogenske starosti. Najmlađe naslage čine kvartarni aluvijalni nanosi te siparišno kršje i breče što je prikazano na slici 4-1 (Mejrušić, 2020).



Slika 4-1. Isječak iz Osnovne geološke karte list Labin (Šikić *i dr.*, 1969) i list Ilirska Bistrica (Šikić *i dr.*, 1973) s označenom sjevernom (lijevom) i južnom (desnom) cijevi tunela Učka

Masiv Učke u kojem se izvodila postojeća (južna) cijev tunela izgrađen je od naslaga donje krede, gornje krede i paleogena. Donja kreda je zastupljena s pločastim uslojenim

vapnencima, a gornja kreda s bijelim masivnim vapnencima s rudistima. Paleogen je zastupljen s foraminiferskim vapnencima donjeg i srednjeg eocena, liburnijskim naslagama u rasponu paleocen-eocen te kao najmlađim flišnim naslagama srednjeg i gornjeg eocena u kojima dominiraju lapori. S obzirom da je nova tunnelska cijev položena sjevernije od postojeće na međusobnom razmaku osi od 25 m (istočna strana) do 100 m (zapadna strana) te da je na zapadnoj, istarskoj strani duža od postojeće južne cijevi za oko, 600 m uz već navedene naslage tijekom iskopa su se pojavili i laporoviti, odnosno glinoviti vapnenci srednjeg eocena i to na manjem dijelu ulazne zone.

Geološke strukture na ovom području posljedica su intenzivnih tektonskih aktivnosti, boranja naslaga, reversnog rasjedanja i navlačenja. Na zapadnom dijelu masiva teren je autohton. Tunel na početku manjim dijelom prolazi kroz naslage laporovitih vapnenaca te kroz naslage foraminiferskih vapnenaca i liburnijske naslage, a zatim kroz gornjokredne vapnenice koji predstavljaju jezgru antiklinale. Tjeme antiklinale izgrađeno je od lapora i tankopločastih vapnenaca flišne serije. Na taj su dio s istočne strane, sustavom reversnog rasjedanja navučene naslage foraminiferskih vapnenaca, a zatim i donjokredne i gornjokredne karbonatne naslage. Geološki stup prethodno spomenutim naslagama prikazan je na slici 4-2.

Uz pojavu navlačenja starijih naslaga na mlađe vezana je i pojava većih ili manjih gravitacionih rasjeda i pukotina približno okomitih na liniju navlačenja, odnosno uglavnom smjera sjeveroistok – jugozapad. Duž njih je došlo do relativnog spuštanja i dizanja pojedinih blokova.

Na istočnom dijelu terena su zbog intenzivne tektonike i navlačenja prisutni tipični geomorfološki oblici kao vrtače, spilje, ponori i sl. dok su na zapadnom dijelu oni puno manje izraženi.

Usporedno s probojem prve (južne) cijevi tunela provođeno je i inženjerskogeološko kartiranje profila tunela. Tijekom kartiranja registrirani su, uz geološke elemente (litostratigrafska pripadnost, slojevitost i rasjedi), i pukotine duže od 2 m, pojave vode i tektonski oštećene stijene.

GEOLOŠKI STUP

PERIOD	STAROST (cca. Ma)	STARA OZNAKA	OZNAKA	DEBLJINA (cca. m)	NEFORMALNE LITOSTR. JEDINICE	TEKSTUALNI OPIS	STAROST KREDNIH NASLAGA U IZDVO- JENIM STRUKTURNIM JEDINICAMA
QT.	holo./pleist. (~0-2.6)	Q	Q	100	KVARTAR	Siparišne breče i aluvijalni nanosi	
EOCEN	gornji do sr. eocen (~40-45)	$E_{2,3}$ E_2	$E_{2,3}$	200-400	FLIŠ	Lapori i pješčenjaci sa slojevima breča, konglomerata i vapnenaca Sivi do zelenkasti vapneni lapori s prosljocima bentičkih foraminifera	
	g. paleocen do sr. eocen (~45-60)	$E_{1,2}$ E_1 Pc, E	$Pc-E_{1,2}$	230	FORAMINIFERSKI VAPNENCI	Sivi do smeđi alveolinski, numulitni i diskociklinski vapneni, najčešće floatston, vekston i pekston	
PALEOCEN ?	paleocen (~60-66)	$Pg-Pr$	$Pg-Pr$	150	KOZINSKE NASLAGE	Sivi i smeđi bituminozni vapneni s milijardama te prosljocima ugljena	
GORNJA KREDA	g. santon (~86)	$K_2^{2,3}$	$K_2^{2,3}$	200-500	GORNJI HUMAC	Pločasti do dobro uslojeni, bijeli do svijetlo sivi madston i floatston, rekristalizirani	Antiklinala Učke
	d. turon (~92)				Bazni dio GHN-a		
	d. turon (~94)	K_2^2	$K_2^{1,2}$	600-700	SV. DUH MILNA	Pločasti do škriljavi, sivi do smeđi madston i vekston, rjeđe floatston s ulocima detritičnih vapnenaca i rudistnih breča	
	cenoman (~100)	$K_2^{1,2}$					
DONJA KREDA	cenom./alb (~101)	$K_{1,2}$	$K_{1,2}$	100	SIS	Dobro uslojeni i pločasti oolitni kalk. i kalci. i vapnenačke breče	Navlačno-rasjedna struktura Čičarije
	alb (~113)						
	apt (~125)	K_1	K_1	850	CRNA (Crna, Krafinar Cres, Dragašetići)	Tamnosiive vapnenačko-dolomitne breče s kalciutitnim i kalkarenitnim vapnencima Sivi do smeđi pločasti vapneni, kalciuriditi, kalciutiti i kalkareniti	
							Navlačna struktura Učke

Slika 4-2. Geološki stup naslaga na području Parka prirode Učka načinjen na temelju OGK lista Labin (Šikić i dr., 1969) te OGK lista Ilirska Bistrica (Šikić i dr., 1973), (Mejrušić, 2020)

4.2. Hidrološki i hidrogeološki uvjeti

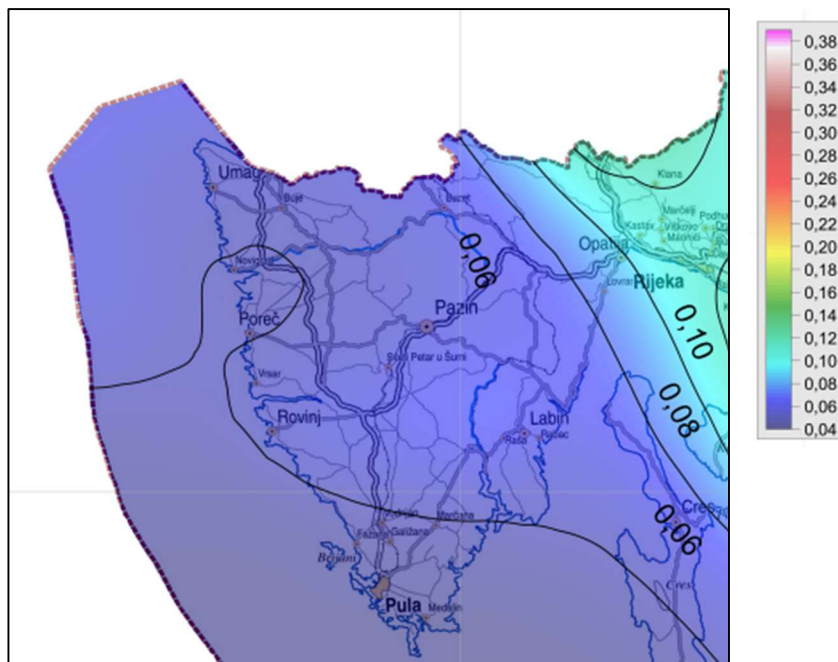
Hidrogeološki uvjeti definirani su litološkim sastavom i okršenošću stijenske mase. Naslage foraminiferskih vapnenaca i krednih karbonatnih naslaga, s obzirom na stupanj okršenošću, odnosno pukotinske poroznosti možemo svrstati u propusne naslage, a naslage eocenskih lapora iz fliške serije, s obzirom na njihov litološki sastav možemo smatrati nepropusnima. Prema opće poznatoj hidrogeološkoj situaciji, podzemna voda se nalazi na većoj dubini od projektirane nivelete kako južne tako i sjeverne cijevi tunela.

4.3. Seizmičke značajke područja

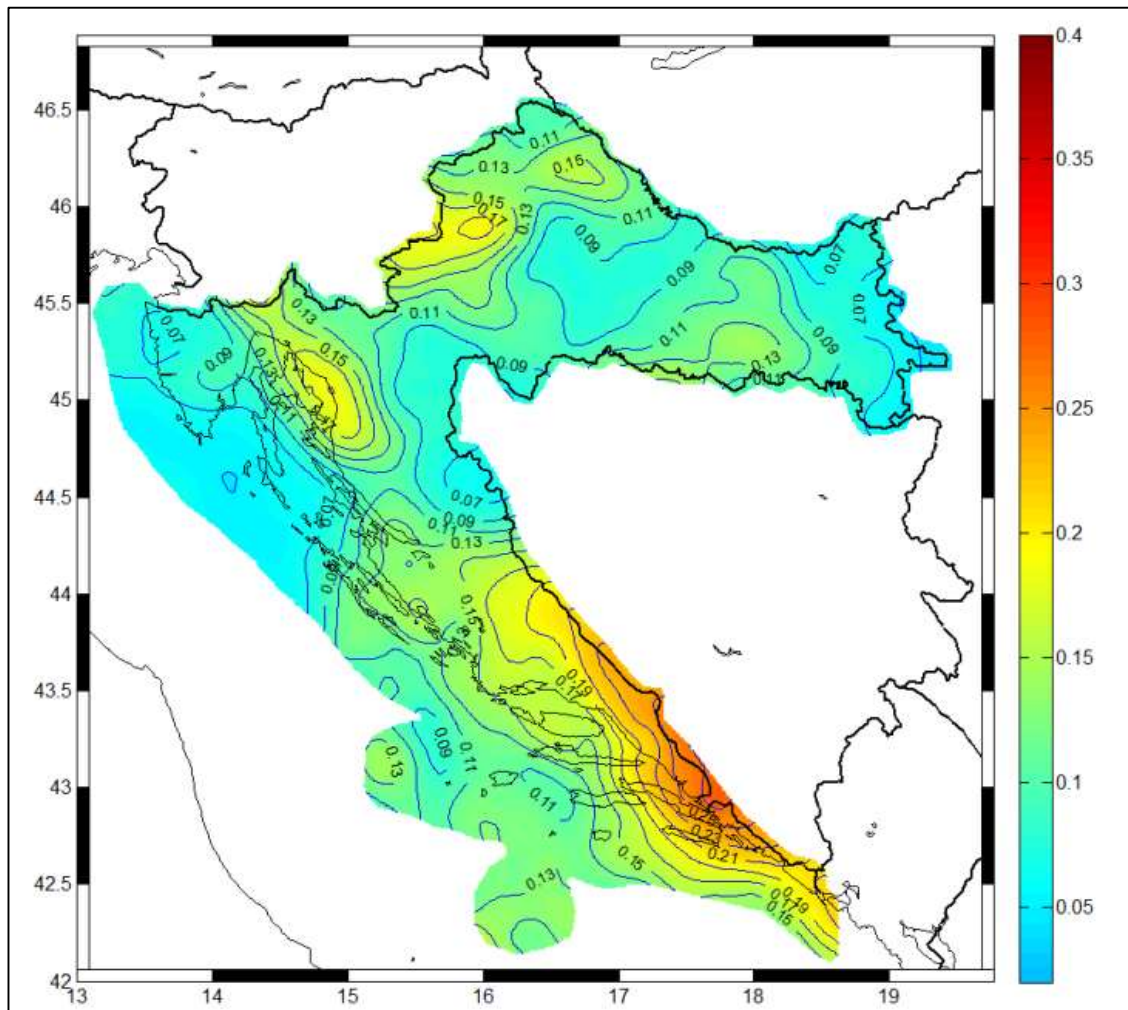
Na području tunela Učke nije povećana seizmička aktivnost. Kartama na slici 4-3 i 4-4 prikazana su potresom prouzročena horizontalna poredba vršnih ubrzanja (a_{gr}) površine temeljnog tla tipa A čiji se premašaj tijekom bilo kojih $t = 50$ godina, odnosno $t = 10$ godina očekuje s vjerojatnošću od $p = 10\%$. Vrijednost premašaja (p) i poredba razdoblja (t) s povratnim razdobljem (T) povezana su izrazom:

$$p = 100 * \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^t \right] \quad (4-1)$$

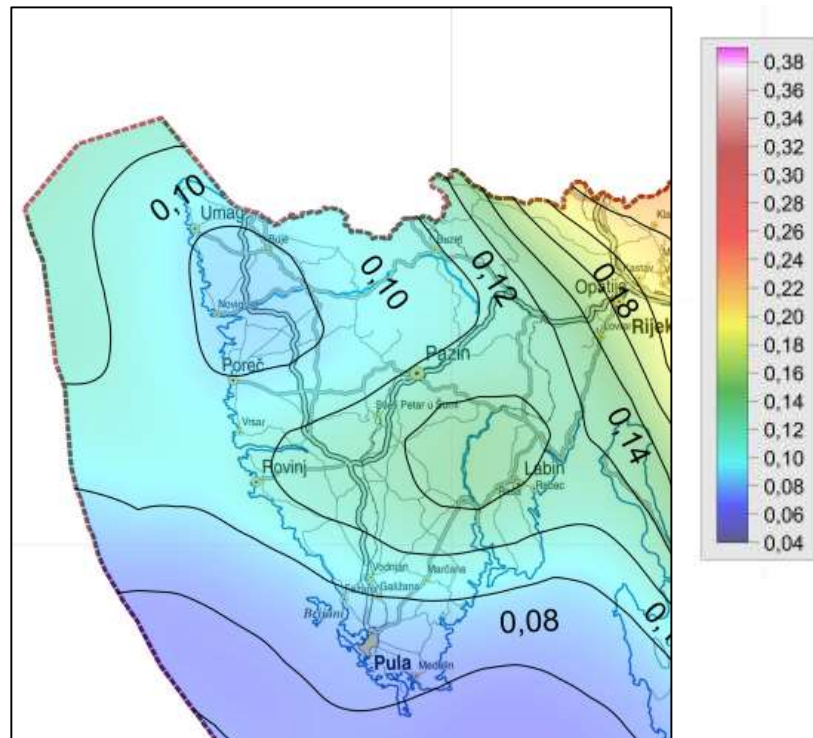
pa vrijednosti prikazane na karti odgovaraju ubrzanjima koja se u prosjeku premašuju svakih $T = 475$ (odnosno $T = 95$) godina. Ubrzanja su izražena u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g ($1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$).



Slika 4-3. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 95$ godina (Herak, 2023)



Slika 4-4. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 225$ godina (Herak, 2023)



Slika 4-5. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti promašaja 10 % u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 475$ godina (Herak, 2023)

Za potrebe definiranja elastičnih i projektnih spektara pri proračunu konstrukcije na potres, koristi se vrijednost a_g , projektnog ubrzanja u tlu razreda A .

Vrijednost projektnog ubrzanja dana je izrazom:

$$a_g = a_{gR} \times Y_1$$

gdje je:

- Y_1 – faktor važnosti građevine čije su vrijednosti dane u HRN EN 1998-1:2008 i kreću se od 1,40 za građevine čije bi funkcioniranje neposredno nakon potresa bilo od vitalne važnosti (bolnice, vatrogasne postaje, energetska postrojenja itd.) do vrijednosti 0,80 za građevine maloga utjecaja na javnu sigurnost.
- a_{gR} – poredbeno ubrzanje u tlu razreda A .

Na temelju karte provedbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} za poredbeno razdoblje $TNCR = 95$ godina usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A od $a_{gR}=0,06$ dok je vrijednost $Y_I = 1,40$ zbog čega je $a_g = 0,84$. Na temelju karte poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} za poredbeno razdoblje $TNCR = 225$ godina usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A od $a_{gR} = 0,09$ dok je vrijednost $Y_I = 1,40$ zbog čega je $a_g = 0,126$. Na temelju karte poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} za poredbeno razdoblje $TNCR = 475$ godina usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A od $a_{gR} = 0,13$ dok je vrijednost $Y_I = 1,40$ zbog čega je $a_g = 0,182$. Za sva tri razdoblja od $TNCR$ 95, 225 i 475 godina izračunata vrijednost projektnog ubrzanja a_g prema navedenim legendama uz svaku kartu odgovara sigurnom projektom ubrzanju.

4.4. Geotehničke značajke tunela Učka

Duž trase sjeverne cijevi tunela Učka izdvojeno je 7 litostratigrafskih jedinica i 7 strukturnih blokova. Na osnovi kombinacije litostratigrafskih jedinica i strukturnih blokova u geotehničkom projektu predloženo je 7 geotehničkih jedinica koje su prikazane u tablici 4-1.

Tablica 4-1. Geotehničke jedinice definirane u geotehničkom projektu (Šarić i Užarević, 2013) sjeverne cijevi tunela Učka

GEOTEHNIČKA JEDINICA	STACIONAŽA	TIP STIJENE
Geotehnička jedinica 1	29+765,00 - 29+920,00	Vapnenci, laporoviti (glinoviti) V_{lap} – srednji eocen E_2 ; strukturni blok A;
Geotehnička jedinica 2	29+920,00 - 30+545,00 30+545,00 - 30+630,00	Vapnenci, foraminiferski V_{for} – donji i srednji eocen $E_{1,2}$; strukturni blok B; Vapnenci, pločasti V_{pl} – paleocen, eocen Pc, E ; strukturni blok C;
Geotehnička jedinica 3	30+630,00 - 32+785,00	Vapnenci, rudistni V_{rud} – gornja kreda K_2 ; strukturni blok D;
Geotehnička jedinica 4	32+785,00 - 33+315,00; 33+645,00 - 33+715,00	Vapnenci, foraminiferski V_{for} – donji i srednji eocen $E_{1,2}$; strukturni blok E; Vapnenci, pločasti V_{pl} – paleocen, eocen Pc, E ; strukturni blok E;
Geotehnička jedinica 5	33+315,00 - 33+645,00; 33+715,00 - 33+965,00	Lapori fliša, L – srednji i gornji eocen $E_{2,3}$;
Geotehnička jedinica 6	33+965,00 - 34+705,00	Vapnenci, rudistni V_{rud} – gornja kreda K_2 ; strukturni blok F;
Geotehnička jedinica 7	34+705,00 - 35+395,34	Vapnenci, V – donja kreda K_1 ; strukturni blok G;

Prilikom praćenja podzemnog iskopa posebno su izdvojene zone kontakata geotehničkih jedinica koje nisu predviđene u geotehničkom projektu. Zone kontakata definirane su: početkom kontakta, prijelaznom zonom i krajem kontakta. Početak kontakta smatra se stacionaža kada se na čelu iskopa uz jedan tip stijene koja prikapa jednoj geotehničkoj jedinici pojavio i drugi tip stijene koji pripada nekoj drugoj geotehničkoj jedinici. Prijelazna zona je zona gdje su zastupljene i jedna i druga geotehnička jedinica, odnosno i jedan i drugi tip stijene, a kraj kontakta je kada je čelo potpuno samo u jednoj geotehničkoj jedinici tj. samo jednom tipu stijene.

Na primjeru geotehničke jedinice T4–T5 (33+663,30 – 33+643,50), odnosno kontakta foraminiferskog vapnenca i lapora, detaljnije su pojašnjeni pojmovi početak kontakta, prijelazna zona i kraj kontakta. Na stacionaži 33+663,30 prvi se put na čelu iskopa pojavio lapor zajedno s foraminiferskim vapnencom te se ta pojava označava kao početak kontakta (slika 4-6). Prijelazna zona u kojoj se na čelu iskopa nalaze foraminiferski vapnenac i lapor prikazana je na slici 4-7. Kraj kontakta je na stacionaži 33+643,50 gdje se na čelu iskopa nalazi samo lapor, a foraminiferski vapnenac izostaje (slika 4-8).



Slika 4-6. Početak kontakta na stacionaži 33+663,30 gdje se prvi puta pojavio lapor zajedno s foraminiferskim vapnencom



Slika 4-7. Prijelazna zona u kojoj se na čelu iskopa nalaze foraminiferski vapnenac i lapor na stacionaži 33+646,50



Slika 4-8. Kraj kontakta na stacionaži 33+643,50 gdje se na čelu iskopa nalazi samo lapor, a foraminiferski vapnenac izostaje

Na osnovi kombinacije litostratigrafskih jedinica i strukturnih blokova, izdvojeno je duž trase sjeverne cijevi tunela 26 geotehničkih jedinica unutar kojih su geološke i geotehničke karakteristike stijenskih masa bitne za rješavanje problema stabilizacije podzemnog iskopa približno istovjetne. Na osnovi geoloških i inženjerskogeoloških značajki stijenske mase, u zoni iskopa sjeverne (lijeve) tunelske cijevi utvrđene su praćenjem podzemnog iskopa iz smjera istarskog portala (u smjeru rasta stacionaža) sljedeće geotehničke jedinice:

1. geotehnička jedinica T1 – T2 (29+790,00 – 29+825,00) - kontakt laporovitih (glinovitih) vapnenaca, srednji eocen (V_{lap} , E_2) i foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$);
2. geotehnička jedinica T1 (29+825,00 – 30+548,00) - foraminiferski vapnenac, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$);
3. geotehnička jedinica T2 (30+548,00 – 30+569,00) - kontakt foraminiferskih vapnenaca; donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$) i pločastih vapnenaca, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc , E);
4. geotehnička jedinica T2 (30+569,00 – 30+681,00) - pločasti vapnenac, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc , E);
5. geotehnička jedinica T2 – T3 (30+681,00 – 30+709,00) - kontakt pločastih vapnenaca, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc , E) i rudistnih vapnenaca, gornja kreda (V_{rud} , K_2);
6. geotehnička jedinica T2 (30+709,00 – 30+721,00) - pločasti vapnenac, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc , E);
7. geotehnička jedinica T2 – T3 (30+721,00 – 30+734,00) - kontakt pločastih vapnenaca, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc , E) i rudistnih vapnenaca, gornja kreda (V_{rud} , K_2);
8. geotehnička jedinica T3 (30+734,00 – 32+772,00) - rudistni vapnenci, gornja kreda (V_{rud} , K_2);
9. geotehnička jedinica T3 – T4 (32+772,00 – 32+797,00) - kontakt rudistnih vapnenaca, gornja kreda (V_{rud} , K_2) i pločastih vapnenaca, paleocen eocen (V_{pl} , Pc , E);
10. geotehnička jedinica T4 (32+797,00 – 32+826,50) - pločasti vapnenac, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc , E);

11. geotehnička jedinica T4 (32+826,50 – 32+829,00) - kontakt pločastih vapnenaca, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc, E) i foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2});
12. geotehnička jedinica T4 (32+829,00 – 33+109,50) - foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2});
13. geotehnička jedinica T4 – T5 (33+109,50 – 33+161,00) - kontakt foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2}) i lapora fliša, srednji i gornji eocen (L, E_{2,3});
14. geotehnička jedinica T4 (33+161,00 – 33+187,00) - foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2}).

Na osnovi geoloških i inženjerskogeoloških značajki stijenske mase, u zoni iskopa sjeverne (lijeve) tunelske cijevi utvrđene su praćenjem podzemnog iskopa iz smjera kvarnerskog portala (u smjeru pada stacionaža) sljedeće geotehničke jedinice:

1. geotehnička jedinica T7 (35+383,34 – 34+675,00) - vapnenci, donja kreda (V, K₁);
2. geotehnička jedinica T7 – T6 (34+675,00 – 34+665,00) - kontakt vapnenaca, donja kreda (V, K₁) i rudistnih vapnenaca, gornja kreda (V_{rud} , K₂);
3. geotehnička jedinica T6 (34+665,00 – 34+019,00) – rudistni vapnenci, gornja kreda (V_{rud} , K₂);
4. geotehnička jedinica T6 – T4 (34+019,00 – 33+979,00) - kontakt rudistnih vapnenaca, gornja kreda (V_{rud} , K₂) i foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2});
5. geotehnička jedinica T4 – T5 (33+979,00 – 33+965,50) - kontakt foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2}) i lapora fliša, srednji i gornji eocen (L, E_{2,3});
6. geotehnička jedinica T5 (33+965,50 – 33+738,50) - lapori fliša, srednji i gornji eocen (L, E_{2,3});
7. geotehnička jedinica T5 – T4 (33+738,50 – 33+731,00) - kontakt lapora fliša, srednji i gornji eocen (L, E_{2,3}) i foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2});
8. geotehnička jedinica T4 (33+731,00 – 33+663,30) - foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen (V_{for} , E_{1,2});

9. geotehnička jedinica T4 – T5 (33+663,30 – 33+643,50) - kontakt foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$) i lapora fliša, srednji i gornji eocen (L , $E_{2,3}$);
10. geotehnička jedinica T5 (33+643,50 – 33+300,00) - lapori fliša, srednji i gornji eocen ($L, E_{2,3}$);
11. geotehnička jedinica T5 – T4 - (33+300,00 – 33+321,50) kontakt lapora fliša, srednji i gornji eocen (L , $E_{2,3}$) i foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$);
12. geotehnička jedinica T4 (33+221,50 – 33+187,00) – foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$).

5. TEORIJSKE OSNOVE

Stijene u inženjerstvu dijelimo u dvije grupe, odnosno na stijensku masu i intaktnu stijenu, a između kojih postoje značajne razlike u inženjerskim svojstvima. Stijenska masa sastoji se od zasebnih blokova koji su međusobno odvojeni diskontinuitetima, a blokovi imaju svojstva intaktne stijene. Intaktna stijena nema diskontinuitete kao što su folijacija, slojevitost ili pukotine (Mihalić Arbanas i Bernat, 2015).

Stijenska masa (engl. rock mass) je heterogena, anizotropna i raspucala cjelina koja se sastoji od intaktne stijene (engl. intact rock) i strukturnih diskontinuiteta (engl. discontinuity). Ne postoji metodologija kojom bi se moglo definirati i opisati složenost stijenske mase, a sukladno tome i njeno ponašanje u specifičnim uvjetima. Svojstva intaktnog stijenskog materijala, parametri stijenske mase i značajke diskontinuiteta u potpunosti pomažu pri razumijevanju stijenske mase. U odgovarajućem mjerilu potrebno je kvantificirati i odrediti ponašanje stijenske mase kako bi se u njoj mogli izvoditi inženjerski zahvati (Lukačić, 2020).

Materijal stijene koji nije presječen niti jednim strukturnim diskontinuitetom i često je veličine laboratorijskog uzorka definira se kao intaktna stijena. Intaktna stijena koristi se za definiranje svojstva materijala koji je dio stijenske mase, a pri opisivanju potrebno je opisati fizičko – mehanička svojstva stijene. Fizička svojstva podrazumijevaju opis slijedećeg (Singh i Goel, 2011): suhu gustoću, vlažnost, porozitet, stupanj saturacije, boju, strukturu i teksturu te mineralni sastav. U mehanička svojstva svrstavaju se: bubrenje, postojanost, tvrdoća, čvrstoća, krutost, deformabilnost, plastičnost i trošnost. Deformabilnost i čvrstoća kao svojstva intaktne stijene ovise o strukturi, teksturi, mineralnom sastavu i genezi te o naknadnim dijagenetskim procesima. Inženjerskogeološke značajke i ponašanje stijenske mase određeno je na temelju fizičko – mehaničkih svojstva zajedno sa svojstvima diskontinuiteta. (Lukačić, 2020). Svojstva intaktne stijene važna su pri predviđanju brzine i veličine deformacija otvora u stijeni koja je jako elastična i pod velikim naprezanjima. Također, mineralni sastav, veličina zrna, folijacija i tekstura intaktnog uzorka utjecat će na učinak strojeva za bušenje tunela. Intaktna stijena definira je li potrebno i nakon koliko vremena treba zaštititi svježu otkrivenu površinu stijene kako ne bi došlo do cijepanja (Mihalić Arbanas i Bernat, 2015).

Pojam stijenska masa (engl. rock mass) podrazumijeva cjelokupan volumen neke stijene. Stijenska masa sadrži diskontinuitete, a diskontinuitet je opći naziv za bilo koji mehanički prekid u stijenskoj masi. Čvrstoća diskontinuiteta je vrlo mala ili jednaka nuli. Plohe diskontinuiteta utječu na deformabilnost, čvrstoću i hidraulička svojstva stijenske mase. Također, plohe diskontinuiteta čine stijensku masu anizotropnom pri čemu je teško procijeniti njezino mehaničko ponašanje. Najvažniji parametar pri određivanju mehaničkog ponašanja stijenske mase koju čine blokovi čvrste intaktne stijene je posmična čvrstoća diskontinuiteta (Arbanas, 2004).

Stabilnost iskopa osim što ovisi o čvrstoći diskontinuiteta ovisi i o njoj orijentaciji, a što je veći broj diskontinuiteta, to je veći negativan utjecaj nepovoljno orijentiranog diskontinuiteta. Ukoliko je na čelu iskopa prisuto više različito orijentiranih setova diskontinuiteta, stijenska masa će biti više raspucana. Diskontinuitete možemo grupirati u setove, a set čine diskontinuiteti koji imaju približno istu orijentaciju i slična mehanička svojstva. Osim setova, postoje i pojedinačni diskontinuiteti koji su uglavnom većeg pružanja, a istražuju se zasebno (Arbanas, 2004).

Sustavi diskontinuiteta kao što su škriljavost, pukotine i plohe slojevitosti, prisutni su gotovo uvijek u svakoj stijeni. Pojedinačni diskontinuitet ili rasjed je struktura koja je nastala u geološkoj povijesti kao posljedica krtog sloma stijene. Na tom dijelu stijena će imati nižu čvrstoću, a moguće su i pojave potpuno rastrošenih zona. Osim toga, rasjedi mogu predstavljati dijelove stijenske mase u kojima je preferirani tok vode, a također se može akumulirati tektonsko naprezanje (Mihalić Arbanas, 2022). Paralelan položaj osi tunela s geološkom strukturom rezultirat će nepovoljnim uvjetima pri gradnji.

S obzirom na hidrogeološke uvjete, tunel djeluje na okolinu kao dren te sva voda iz okolnih vodonosnika teče prema njemu. Posljedice tečenja vode prema tunelu su utjecaj pornog tlaka na podgradu tunela, smanjenje čvrstoće stijenske mase, bujanje i smanjenje čvrstoće glinovitih materijala. U stijenama voda dominantno teče duž šupljina i diskontinuiteta nastalih otapanjem, što za posljedicu ima okršenu stijensku masu (Mihalić Arbanas, 2022.).

6. KLASIFIKACIJE STIJENSKE MASE

Klasifikacija stijenske mase prema Arbanasu (2004) definira se kao postupak za opisivanje stijenske mase, koje služe kao podloge za utvrđivanje značajki stijenske mase te projektiranje zahvata u stijenskoj masi. Glavni cilj klasifikacija je podjela stijenske mase u kategorije odnosno u klase sa sličnim svojstvima i ponašanjima. Također, za inženjerski projekt klasifikacija stijenske mase daje kvantitativne podatke i osigurava osnove za razumijevanje ponašanja i karakteristika svake pojedine kategorije te mora osigurati zajedničku osnovu za uspješnu suradnju svih učesnika u projektu. Pomoću klasifikacijskih sustava omogućuje se procjena parametara čvrstoće koja daje uvid u očekivano ponašanje stijenske mase (Hoek, 2006).

Stijene su se prije modifikacija klasifikacija klasificirale na temelju jedne značajke te se stijenska masa dijelila na slabu ili jaku, ali se to pokazalo kao nedovoljno za opis i klasifikaciju stijenske mase. Postoje klasifikacije koje se temelje na jednom ili više parametara te ih nazivamo jednovarijantne i viševarijantne. Ukoliko klasifikacija koristi samo jedan parametar pri klasifikaciji, stijenske mase naziva se jednovarijantna, a kada koristi dva ili više parametara naziva se dvovarijantna ili viševarijantna (Vrkljan, 2013).

Stijenska masa biti će nam jasnija ukoliko koristimo više parametara pri njezinoj klasifikaciji, no osnovni princip pri stvaranju nekog klasifikacijskog sustava temelji se samo na onim parametrima koji utječu na ponašanje stijenske mase. Svaki klasifikacijski sustav trebao bi biti razumljiv i jednostavan te terminologija mora biti prihvatljiva, a mora se temeljiti na mjerljivim parametrima koji će dati brožani podatak za neki projekt (Mišćević, 2004).

Pri rješavanju stabilizacije podzemnog iskopa koristi se integralna metoda projektiranja (Stojković, 1991). Prethodno spomenuta metoda obuhvaća analitički, empirijski i osmatrački pristup pri projektiranju stabilizacije podzemnih iskopa. Integralna metoda omogućuje projektiranje u dvije faze, dakle kontinuirano projektiranje. Na temelju analitičkog i empirijskog pristupa u prvoj fazi projektiranja prije samog početka gradnje tunela daje se prognozu rješenja, a točnost ovisi o kvaliteti i kvantiteti podataka dobivenih istražnim radovima. U drugoj fazi projektiranja koja se odvija tijekom gradnje tunela primjenjuje se osmatrački pristup te se na temelju stvarnog ponašanja objekta vrši provjera ili promjena projektnog rješenja u prvoj fazi. Metoda je u skladu s preporukama Međunarodnog društva

za tunele (ITA 1988), kao i s Novom austrijskom metodom gradnje tunela te je verificirana i provjerena na više podzemnih objekata (Stojković, 1991).

Empirijski pristup zasniva se na prethodno stečenom iskustvu prilikom realizacije projekata . Inženjerske klasifikacije stijenske mase predstavljaju sistematizaciju stečenog iskustva sa svrhom dobivanja uvida u odnos između kvalitete stijenske mase, način iskopa i odgovarajuće podgrade u tunelu (Hoek, 1980).

Pri rješavanju problema stabilizacije podzemnih iskopa tunela, uspješno se primjenjuju određene klasifikacije, a ponašanje iskopa primarno je regulirano strukturno – geološkim karakteristikama stijenske mase. Postoje inženjerske i geološke klasifikacije stijenske mase. Geološka klasifikacija stijenske mase daje uvid u svojstva stijenske mase, ali ne rješava potrebe građenja. Ona ukazuje na starost stijene i njezin nastanak te strukturu i teksturu. Uvid u ponašanje stijenske mase daje inženjerska klasifikacija. Današnje se klasifikacije prilagođavaju građevinskim problemima, a nedostatak je taj što se ne može na svakoj vrsti stijene primijeniti svaka klasifikacija te s toga treba provjeriti odgovara li pojedina klasifikacija određenoj vrsti stijene (Mišćević, 2004).

U okviru integralne metode projektiranja, klasifikacije predstavljaju polaznu osnovu za kvalitativno i kvantitativno određivanje prognoznih podgradnih sistema. Osim toga, u toku građenja tunela samo na osnovu klasifikacija može se odrediti kategorija stijenske mase i odrediti odgovarajući tip podgrade (Arbanas, 2004).

Klasifikacijski sustavi zasnivaju se na sličnim parametrima, iako među njima postoje razlike. Bodovanje pojedinih parametara je različito u različitim klasifikacijskim sustavima, odnosno parametri imaju različite težine, pri čemu neki više, a neki manje doprinose krajnjem rezultatu, tj. ukupnoj vrijednosti klasifikacije (Arbanas, 2004).

Klasificiranje stijenske mase mora biti jednostavno s obzirom da se klasifikacijski sustavi primjenjuju na terenu te se zatim razrađuju i tumače u uredu.

Klasifikacijski sustavi stijenske mase moraju zadovoljiti sljedeća svojstva (Dugonjić Jovančević, 2015):

1. lako shvatljiv i pamtljiv, jednostavan i razumljiv sustav,
2. opće prihvaćena terminologija te jasan svaki izraz ,
3. određuju se samo najznačajnija svojstva stijenske mase,

4. temelje se na parametrima koji se mogu odrediti jeftinim i brzim ispitivanjima te koje je moguće izmjeriti,
5. bodovni sustav koji ocjenjuje relativnu važnost klasifikacijskih parametara i
6. daju kvantitativne podatke za projekt podgradnog sustava.

Klasifikacije korištene na tunelu Učka su RMR (engl. Rock Mass Rating) i Q – klasifikacija. Pri tome se RMR primjenjivao za sve vrste vapnenaca, a za klasificiranje lapora koristila se Q-klasifikacija.

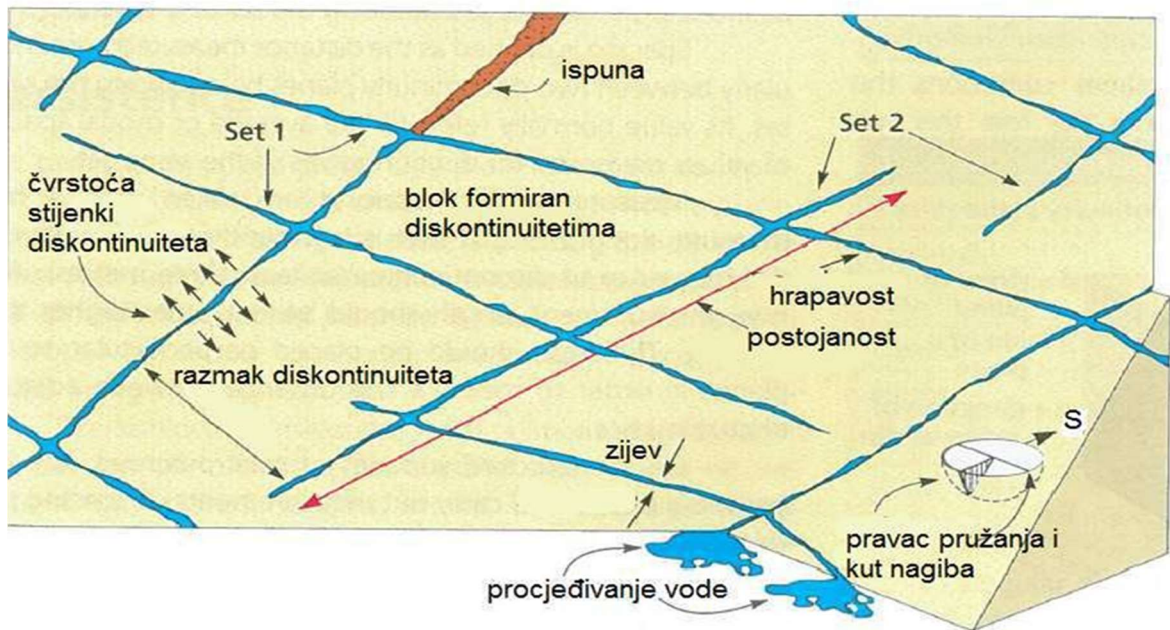
6.1. RMR - Rock Mass Rating

RMR ili Geomehaničku klasifikaciju razvio je 1973. godine Bieniawski u Južnoj Africi. Ova klasifikacija se primjenjuje pri rješavanju inženjerskih problema u mehanici stijena, sa svrhom klasifikacije stijenske mase kako bi se odredio odgovarajući podgradni sustav. Prva cjelovita verzija s uputstvima za primjenu objavljena je 1976. godine te je nazvana RMR 76, a objavio ju je Bieniawski. Tijekom godina sustav se mijenjao na temelju rezultata dobivenih tijekom primjene i provjere na većem broju podzemnih građevina u različitim uvjetima i sredinama. Nakon većeg broja provjera, Bieniawski je 1989. godine napravio završnu promjenu Geomehaničke klasifikacije te ju je nazvao RMR 89 (Vrkljan, 2003).

Klasifikacija se zasniva na bodovanju šest parametara stijenske mase koji se odnose na geometrijska i mehanička svojstva stijenske mase (Bieniawski, 1989):

1. jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene,
2. RQD (indeks kvalitete jezgre),
3. razmak diskontinuiteta,
4. stanje diskontinuiteta,
5. stanje podzemne vode i
6. orijentacija diskontinuiteta.

Neki od navedenih parametara prikazani su na slici 6-1. Za svih šest grupa parametara definirani su rasponi vrijednosti bodova, u ovisnosti o njihovom utjecaju na stabilnost podzemnih iskopa. Bodovanje je određeno na osnovi autorova istraživanja 49 izvedenih tunela i studija Wickhama, Tiedemanna i Skinnera (Stojković, 1991).



Slika 6-1. Shematski prikaz parametara koji opisuju diskontinuitete u stijenskoj masi (Mišćević, 2004)

Za primjenu Geomehničke klasifikacije stijensku masu duž trase tunela treba podijeliti u strukturne zone unutar kojih su određene geološke karakteristike približno istovjetne te izvršiti procjenu parametara za svaku zonu. Također, pojedina stijenska masa može se podijeliti u više zona iako pripada istom tipu stijene. Faktori na temelju kojih se izdvajaju zone su zdrobljene zone, rasjedi, promjene orijentacije diskontinuiteta, promjene stupnja trošnosti stijene, promjena vrste stijene i promjena kvalitete stijenske mase (Dugonjić Jovančević, 2015). Pri tome uzimaju se prosječne vrijednosti parametara, a ne najlošije, jer je klasifikacija temeljena na do sada izvedenim projektima te implicitno sadrži faktor sigurnosti (Bieniawski, 1989).

Na klasifikaciju stijenske mase različito utječu pojedini parametri jer za svaki parametar postoji različit broj maksimalnih bodova. Pravilo je da što je veći broj bodova to su karakteristike stijenske mase bolje. Na čelu tunela potrebno je utvrditi sve setove diskontinuiteta te odrediti njihovu orijentaciju i značajke. Svaki set diskontinuiteta se boduje, opisuje i ocjenjuje zasebno, a konačna vrijednost RMR je aritmetička sredina svih RMR vrijednosti setova diskontinuiteta. Maksimalan broj bodova za pojedinačni set je 100.

RMR dijeli stijensku masu u pet kategorija koje su definirane na sljedeći način (Bieniawski, 1979):

1. vrlo dobra (RMR 100-81),
2. dobra (RMR 80-61),
3. povoljna (RMR 60-41),
4. slaba (RMR 40-21) i
5. vrlo slaba (RMR <21).

U tablici 6-1 prikazan je odgovarajući raspon bodova, prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora i približne vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje za svaku pojedinu kategoriju. U tablici 6-2 prikazani su klasifikacijski parametri kojima se određuje kvaliteta stijenske mase, a to su čvrstoća stijenske mase, indeks kvalitete jezgre, razmak diskontinuiteta, stanje diskontinuiteta i podzemna voda te rasponi vrijednosti uz dodijeljene odgovarajuće bodove za prethodno spomenute parametre. Pod značajkama diskontinuiteta podrazumijeva se: postojanost, širina, hrapavost, ispunja i trošnost. U tablici 6-3 prikazani su rasponi vrijednosti i odgovarajući bodovi za značajke diskontinuiteta. U tablici 6-4 prikazan je utjecaj orijentacije dominantnog pukotinskog sustava na podzemne otvore. Diskontinuiteti mogu biti položeni okomito na os tunela ili paralelni s tunelskom osi. Ukoliko su diskontinuiteti položeni okomito na os tunela potrebno je odrediti hoće li se iskop izvodi u smjeru nagiba diskontinuiteta ili suprotno od smjera nagiba diskontinuiteta. Najpovoljniji je slučaj kada su pukotine iste orijentacije kao i smjer iskopa, a kut nagiba im je $45^\circ - 90^\circ$, dok je s druge strane najnepovoljniji slučaj kada su pukotine paralelne s tunelskom osi i položene su pod nagibom $45^\circ - 90^\circ$ (Mišćević, 2004).

Tablica 6-1. Kategorije stijenske mase prema RMR klasifikaciji (Mišćević, 2004)

Broj bodova (RMR)	KATEGORIJA STIJENSKE MASE		Prosječno vrijeme stabilnosti nepodgrađenog otvora	Približne vrijednosti čvrstoće stijenske mase na smicanje	
				c (kPa)	ϕ ($^\circ$)
100 - 81	I	vrlo dobra	20 godina za raspon 15 m	< 400	> 45
80 - 61	II	dobra	1 godina za raspon 10 m	300 - 400	35 - 45
60 - 41	III	povoljna	1 tjedan za raspon 5 m	200 - 300	25 - 35
40 - 21	IV	slaba	10 sati za raspon 2.5 m	100 - 200	15 - 25
< 21	V	vrlo slaba	30 min za raspon 1 m	< 100	< 15

Tablica 6-2. Klasifikacijski parametri i pripadajuće vrijednosti bodova RMR-a (Mišćević, 2004)

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	vrlo hrapave površine, ne kontinuirane, zatvorene, svježe stijenske	neznatno hrapave površine, zijev < 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 , kontinuirane		
		bodovi	30	25	20	10	0		
5	Podzemna voda	dotok vode na 10 m tunela (l/min)	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		

Tablica 6-3. Bodovanje značajki diskontinuiteta prema RMR klasifikaciji (Miščević, 2004)

Parametar	Raspon vrijednosti				
Postojanost (m)	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20
bodovi	6	4	2	1	0
Širina (mm)	zatvorene	< 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	tvrda < 5	tvrda > 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

Tablica 6-4. Utjecaj orijentacije dominantnog pukotinskog sustava na podzemne otvore i bodovanje prema RMR klasifikaciji (Miščević, 2004)

Smjer nagiba pukotina okomit na os tunela			
Iskop u smjeru nagiba pukotina		Iskop u suprotnom smjeru od nagiba pukotina	
Nagib 45° - 90°	Nagib 20° - 45°	Nagib 45° - 90°	Nagib 20° - 45°
Vrlo povoljni	Povoljno	Dobro	Nepovoljno
Bodovi			
0	-2	-5	-10
Smjer nagiba pukotina paralelan s osi tunela			
Nagib 20° - 45°		Nagib 45° - 90°	
Dobro		Vrlo nepovoljno	
-5		-12	
Neovisno o smjeru nagiba pukotina			
Nagib 0° - 20°			
Dobro			
-5			

6.1.1. Jednoosna tlačna čvrstoća

Jednoosna tlačna čvrstoća (σ_c) stijenskog materijala određuje se na intaktnom uzorku kada se on nalazi u stanju jednoosnog naprezanja uz dozvoljeno bočno širenje (ISRM, 1979). To je najvažnije mehaničko svojstvo intaktne stijene, a koristi se i kao ulazni parametar u Geomehantičkoj, tj. RMR klasifikacija (Bieniawski, 1973). U tablici 6-5 prikazani su rasponi vrijednosti za jednoosnu tlačnu čvrstoću i odgovarajući broj bodova za svaki.

Tablica 6-5. Raspon vrijednosti i bodovi RMR klasifikacije za jednoosnu tlačnu čvrstoću (Mišćević, 2004)

Jednoosna tlačne čvrstoće	
Raspon vrijednosti (MPa)	Bodovi
> 250	15
100-250	12
50-100	7
25-50	4
< 25	0 - 2

Za svaku inženjerskogeološku zonu u Glavnom projektu (Šarić i Užarević, 2013) dane su vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće na temelju prognoznog inženjerskogeološkog presjeka južne cijevi tunela Učka. U sjevernoj cijevi ispitivanja se provode tijekom iskopa pri prelazu iz jedne geotehničke jedinice u drugu kako bi se provjerilo podudara li se s rezultatima iz Glavnog projekta, a također se provode ako se primijete značajne promjene u stijenskoj masi. U tablici 6-6 nalazi se usporedba vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće dobivene u Glavnom projektu s ispitivanjima provedenim u sjevernoj cijevi tunela.

Tablica 6-6. Usporedba vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće iz Glavnog projekta (Šarić i Užarević, 2013) i rezultati dobiveni ispitivanjem u sjevernoj cijevi

Geotehničke jedinice	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)	
	Glavni projekt (Šarić i Užarević, 2013)	Ispitivanja provedena u sjevernoj cijevi
Vapnenci, laporoviti (glinoviti) V_{lap} - srednji eocen E_2	50 – 100	43,7 – 66,6
Vapnenci, foraminiferski V_{for} - donji i srednji eocen $E_{1,2}$, Vapnenci, pločasti V_{pl} - paleocen, eocen Pc , E	90 – 200	80 – 135,5
Vapnenci, rudistni V_{rud} - gornja kreda K_2	70 – 120	30 – 107,5
Lapori fliša, L - srednji i gornji eocen $E_{2,3}$	10 – 30	13,8 – 35,9
Vapnenci, V - donja kreda K_1	70 – 160	85,6 – 103,0

6.1.2. RQD

Indeks kvalitete jezgre, RQD (engl. Rock Quality Designation) linearni je pokazatelj cjelovitosti stijenske mase. U tunelima se RQD određuje vizualno na temelju broja pukotina i razmaka diskontinuiteta u jediničnom volumenu stijenske mase (1 m^3). Kvaliteta stijenske mase značajno opada ukoliko na čelu tunela možemo jasno pratiti tragove diskontinuiteta, vidljivi su zjevovi te su oni ispunjeni glinovitim materijalom. Što su duži tragovi na čelu odnosno što je postojanost veća te što je zijev veći i ispuna deblja, to će vrijednost RQD-a biti manja. Ukoliko ispunu čini tvrda mineralna ispuna, vrijednost RQD-a neće nužno biti manja (Arbanas, 2004).

Više vrijednosti RQD-a ukazuju na stijensku masu kvalitetnijih geomehaničkih svojstava, a odnos između RQD-a i odgovarajućih bodova prikazan je u tablici 6-7.

Tablica 6-7. Raspon vrijednosti i bodovi za RQD (Mišćević, 2004)

RQD	
Raspon vrijednosti (%)	Bodovi
100 - 90	20
75 - 90	17
50 - 75	13
25 - 50	8
< 25	3

6.1.3. Razmak diskontinuiteta

Definira se kao udaljenost između dva susjedna diskontinuiteta koji pripadaju istom setu diskontinuiteta (ISRM, 1978). Razmaci između diskontinuiteta određuje se mjerenjem okomito na diskontinuitete vidljive na čelu tunela na uzorku deset puta većem od procijenjenog razmaka (Arbanas, 2004).

Razmak diskontinuiteta određuje oblik i veličinu blokova unutar stijenske mase, utječe na čvrstoću te na procjeđivanje podzemne vode i na propusnost. Manji razmak između diskontinuiteta nepovoljno utječe na čvrstoću stijenske mase, također uzrokuje i veću propusnost u smjeru pružanja diskontinuiteta što znači da je hidraulička vodljivost obrnuto proporcionalna razmaku diskontinuiteta (ISRM, 1978).

Bodovi pridruženi parametru razmak diskontinuiteta odnose se na stijensku masu s tri sustava pukotina. U slučaju kada imamo manje od tri sustava pukotina bodove treba povećati za 30% (Laubscher, 1977).

Što je manji broj diskontinuiteta i što je teže pratiti tragove na čelu, stijena je kompaktnija. Ukoliko imamo tri ili više sustava diskontinuiteta i tragovi su jasno vidljivi na čelu, stijenska masa je više raspucala te se lakše može odrediti razmak između pojedinih diskontinuiteta. Što su razmaci između diskontinuiteta manji to je stijenska masa lošijih karakteristika. U tablici 6-8 prikazani su rasponi vrijednosti i odgovarajući bodovi za razmak diskontinuiteta (Mišćević, 2004).

Tablica 6-8. Raspon vrijednosti i bodovi za razmak diskontinuiteta za RMR klasifikaciju (Mišćević, 2004)

Razmak diskontinuiteta	
Raspon vrijednosti (m)	Bodovi
> 2	20
0.6 - 2	15
0.2 - 0.6	10
0.06 - 0.2	8
< 0.06	5

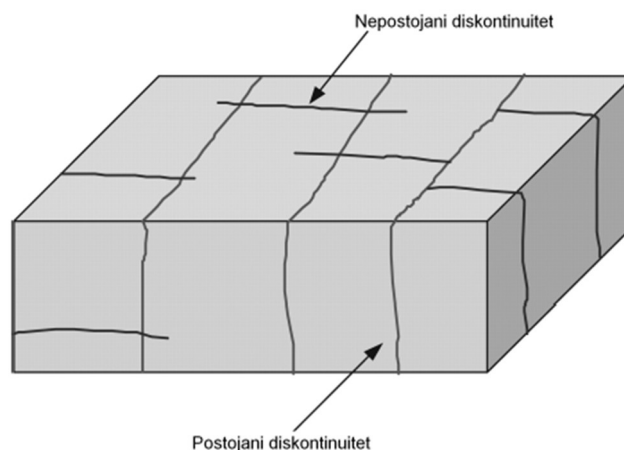
6.1.4. Stanje diskontinuiteta

Stanjem diskontinuiteta opisuje se postojanost, hrapavost, trošnost, zijev i ispunost diskontinuiteta. Bodovne vrijednosti u RMR klasifikaciji za svaki pojedini parametar su u rasponu od 0 do 6. Bodovi se razlikuju s obzirom na utjecaj na stabilnost podzemnih iskopa, pri čemu će veći broj bodova biti dodijeljen za veći utjecaj pojedinog parametra stanja diskontinuiteta na stabilnost iskopa (Arbanas, 2004).

6.1.4.1. Postojanost, perzistencija ili kontinuiranost diskontinuiteta

Postojanost, perzistencija ili kontinuiranost diskontinuiteta je duljina pružanja plohe diskontinuiteta točnije duljina traga vidljiva na čelu tunela. Kontinuiranost je važan parametar koji se teško mjeri, a mogu se mjeriti samo diskontinuiteti koji su vidljivi na čelu tunela. Najveći utjecaj na stabilnost stijenske mase imaju diskontinuiteti najveće postojanosti, dakle što je postojanost veća to je posmična čvrstoća manja (Arbanas, 2004).

Ukoliko su diskontinuiteti u promatranoj ravnini prekinuti smatra se da postoji materijalni most, a pojava mostova povećati će čvrstoću diskontinuiteta na posmično naprezanje. Razlikuju se postojani i nepostojani setovi, postojani setovi u potpunosti razdvajaju monolite dok je za nepostojane setove karakteristična pojava materijalnih mostova. Na slici 6-2 prikazani su postojani i nepostojani diskontinuiteti. U slučaju kada je duljina traga diskontinuiteta vidljiva na cijelom čelu u tunelu tada je postojanost tog seta diskontinuiteta 100% (Mišćević 2004).



Slika 6-2. Postojani i nepostojani diskontinuitet (Mišćević, 2004)

Ukoliko se trag diskontinuiteta može pratiti preko cijelog čela postojanost će biti veća, a što je postojanost veća broj bodova će biti manji. Suprotno prethodnome, ukoliko su tragovi diskontinuiteta ne mogu pratiti preko cijelog čela postojanost će biti manja, a broj bodova veći. U tablici 6-9 prikazan je odnos raspona vrijednosti i bodova za postojanost diskontinuiteta (Mišćević, 2004).

Tablica 6-9. Raspon vrijednosti i bodovi postojanosti diskontinuiteta (Mišćević, 2004)

Postojanost diskontinuiteta	
Raspon vrijednosti (m)	Bodovi
<1	6
1 - 3	4
3 - 10	2
10 - 20	1
> 20	0

6.1.4.2. Hrapavost diskontinuiteta

Hrapavost stijenki diskontinuiteta definira se kao pojava svih površinskih neravnina u usporedbi sa srednjom ravninom diskontinuiteta (ISRM, 1978). Značajno utječe na posmičnu čvrstoću uzduž diskontinuiteta osobito u slučaju kada izostaje ispuna. Neravnine koje se javljaju na površini diskontinuiteta otežavaju pomake duž same površine diskontinuiteta (Arbanas, 2004).

Hrapavost opisujemo pomoću neravnina i valovitosti prema preporukama Međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1978). Neravnine su mala izbočenja i uleknuća na površini diskontinuiteta koja imaju tendenciju oštećivanja prilikom smicanja (milimetarskih i centimetarskih dimenzija). Valovitost se definira kao velika izbočenja i uleknuća na površini diskontinuiteta (decimetarskih i metarskih dimenzija) (Krkač, 2022).

Značajan utjecaj na određivanje stupnja hrapavosti diskontinuiteta ovisi o mjerilu promatranja. Na čelu tunela hrapavost se definira u metarskom i decimetarskom mjerilu. Glavni cilj određivanja hrapavosti je procjena posmične čvrstoće, a sukladno tome i izračun posmične čvrstoće i pomaka po samom diskontinuitetu koji će biti precizniji ukoliko ispuna diskontinuiteta izostaje (ISRM, 1978).

Hrapavost stjenki diskontinuiteta opisuje se na različite načine u RMR i Q klasifikaciji. RMR klasifikacija (Bieniawski, 1984) hrapavost opisuje u metarskom mjerilu i dijeli je u pet kategorija što je prikazano u tablici 6-10 gdje su dati opisi i odgovarajući bodovi (Mišćević, 2004).

Tablica 6-10. Opis i bodovi hrapavosti stjenki diskontinuiteta (Mišćević, 2004)

Hrapavost	Opis	Bodovi
Vrlo hrapavo	Na površini diskontinuiteta su prisutne gotovo okomite stepenice i bridovi	6
Hrapavo	Nekoliko bridova i blažih stepenica, neravnine su jako izražene, a površina diskontinuiteta je na dodir vrlo hrapava	5
Neznatno hrapavo	Vidljive su i opipljive manje neravnine na površini diskontinuiteta	3
Glatke	Površina diskontinuiteta je na dodir glatka	1
Skliske	Vidljivi su tragovi zaglađenja plohe	0

6.1.4.3. Trošnost diskontinuiteta

Trošnost ovisi o vrsti stijenske mase, reakciji s vodom, tektonskoj aktivnošću itd. Prilikom opisivanja stupnja trošnosti u obzir se uzima promjena boje, promjene na diskontinuitetima, prirodni procesi i opis čvrstoće. Pojedine stijene podložne su kemijskom trošenju dok su druge podložne mehaničkom. Također, voda neće imati utjecaj na određenu vrstu stijene no voda u kontaktu s karbonatnom stijenom uzrokuje njeno trošenje, dok voda kod lapora uzrokuje bubrenje. Stijena koja je bila pod utjecajem tektonske aktivnosti biti će više

raspucala te će samim time i procjeđivanje biti veće, što će uzrokovati jače trošenje stijenske mase (Arbanas, 2004).

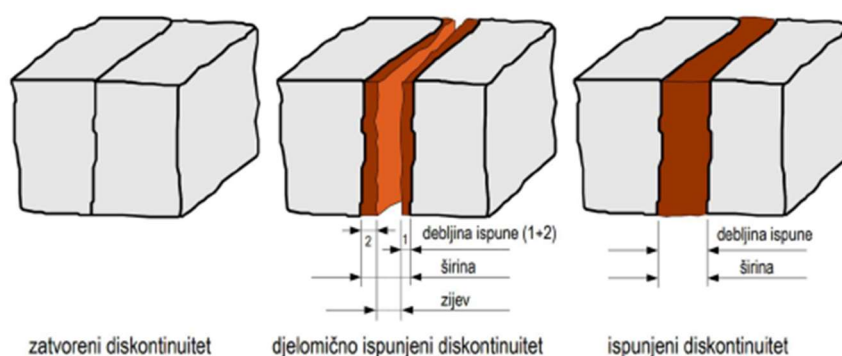
Prema trošnosti stijenske diskontinuiteta dijele se u pet kategorija, a mogu biti nerastrošene, neznatno, umjereno, jako i potpuno rastrošene. RMR klasifikacija na tunelu Učka primjenjuje se samo u karbonatnim stijenama te je u tablici 6-11 dat opis trošnosti stijenki diskontinuiteta za karbonatne stijene i bodovi (Anon, 2009).

Tablica 6-11. Opis i bodovi rastrošenosti stijenske mase (Anon, 2009)

Rastrošenost	Opis	Bodovi
Nerastrošene	Nema vidljivih znakova trošenja ili dijagenetskih procesa koji prate diskontinuitete; moguće su rijetke i zatvorene prsline	6
Neznatno rastrošene	Mjestimično je vidljivo trošenje, prsline ili dijagenski procesi uz diskontinuitete; povećanje poroznosti koje je vidljivo samo mikroskopom; prsline s karbonatnom ispunom; rekristalizacija; dubina napredovanja manja od 20% razmaka diskontinuiteta	5
Umjereno rastrošene	Trošenje, raspucanost ili dijagenski procesi kompletno zahvaćaju stijenu uz diskontinuitet; izrazita rekristalizacija i dolomitizacija; povećanje poroznosti vidljivo je lupom; učestale prsline s glinovitom prevlakom; dubina napredovanja premašuje 20% razmaka diskontinuiteta	3
Jako rastrošene	Izrazito trošenje, dolomitizacija, dedolomitizacija, snažna raspucanost; znatno povećanje poroznosti vidljivo je makroskopski; žilice ispunjene glinom debljine < 1 mm prožimaju stijenu; jednim udarcem čekića se monolit raspada	1
Potpuno rastrošene	U zoni diskontinuiteta je izrazito porozna, često dezintegrirana; prožeta žilama s glinom milimetarskih ili centimetarskih debljina; raspada se stiskom ruke	0

6.1.4.4. Zijev

Zijev se definira kao okomita udaljenost između stjenki otvorenog diskontinuiteta čiji prostor zauzima voda ili zrak, dok se širina definira kao okomiti razmak između stjenki ispunjenog diskontinuiteta. Zijev utječe na propusnost i posmičnu čvrstoću diskontinuiteta. Diskontinuiteti s dubinom postaju zatvoreniji, a zijev postaje sve manji. Izostanak zijeva između setova diskontinuiteta ukazuje na povoljnu situaciju. Zijev i širina diskontinuiteta prikazani su na slici 6-3 (Arbanas, 2004).



Slika 6-3. Zijev i širina diskontinuiteta (Pollak, 2007)

U tunelu Učka zbog iskopa na većim dubinama, odnosno zbog srednjeg nadsloja zjevovi su dominantno milimetarskih dimenzija, jer kompaktnost stijene raste s dubinom, ali postoje i veći zjevovi kaveroznih dimenzija. U tablici 6-12 prikazan je odnos raspona vrijednosti i bodova za zijev diskontinuiteta (Miščević, 2004).

Tablica 6-12. Raspon vrijednosti i bodovi za zijev diskontinuiteta (Miščević, 2004)

Zijev diskontinuiteta	
Raspon vrijednosti (mm)	Bodovi
Zatvorene	6
< 0.1	4
0.1 - 1	2
1 - 5	2
> 5	0

6.1.4.5. Ispuna diskontinuiteta

Ispuna diskontinuiteta je materijal koji ispunjava prostor između susjednih stjenki diskontinuiteta (ISRM, 1978). Diskontinuiteti su najčešće ispunjeni materijalom sekundarnog podrijetla i razlikuju se od osnovne stijene. Ispuna može biti od koherentnih (glina i prah) ili nekoherentnih materijala (šljunak i glina), tektonskih breča ili kalcitne ispune (Arbanas, 2004).

Značajan utjecaj na fizička i mehanička svojstva imaju vrsta i kvaliteta ispune, a dominantno utječu na vodopropusnost, čvrstoću i deformabilnost. Ukoliko ispuna izostane posmična čvrstoća ovisiti će o hrapavosti i čvrstoći stjenki diskontinuiteta no za definiranje

posmične čvrstoće diskontinuiteta s ispunom glavnu ulogu će imati fizičko-mehanička svojstva same ispune (Arbanas, 2004).

Najvažniji faktori koji utječu na fizičko-mehanička svojstva ispune su:

1. debljina ispune,
2. mineralni sastav materijala ispune,
3. vrsta i veličina čestica,
4. stupanj prekonsolidacije i
5. sadržaj vode i
6. propusnost.

Za svaki set diskontinuiteta posebno se trebaju odrediti svojstva ispune, a najvažniji faktor koji treba odrediti je debljina ispune te treba odrediti najmanju, najveću i najučestaliju vrijednost debljine. U tablici 6-13 prikazani su rasponi vrijednosti i bodovi za ispunu diskontinuiteta (Mišćević, 2004).

Tablica 6-13. Raspon vrijednosti i bodovi za ispunu diskontinuiteta (Mišćević, 2004)

Ispuna diskontinuiteta	
Raspon vrijednosti (mm)	Bodovi
Bez	6
Tvrda < 5	4
Tvrda > 5	2
Meka < 5	2
Meka > 5	0

6.1.5. Voda

U stijenskoj masi voda se nalazi u diskontinuitetima ili u porama (ISRM, 1978). Značajan utjecaj na ponašanje stijenske mase ima podzemna voda koja smanjenje posmičnu čvrstoću pukotina i ispire pukotinsku ispunu, voda u pukotinama i porama čini dodatno opterećenje tj. pritisak na stijenske pukotina. Bitno je poznavati prilikom analiza stabilnosti mehanizam kretanja i područje zadržavanja vode u stijenskoj masi (Stojković, 1991).

Podzemni otvori djeluju kao dren u stijenskoj masi te je potrebno izvršiti procjenu dotoka vode u određenim dionicama. Intaktna stijena najčešće je male ili nikakve propusnosti pa se

tok vode dominantno odvija po diskontinuitetima te je s toga bitno znati lokalne hidrogeološke uvijete i definirati koji setovi diskontinuiteta ili pojedinačni diskontinuiteti sudjeluju u procjeđivanju vode. Da li će se voda procjeđivati ovisi o zijevu pukotina, odnosno jesu li pukotine otvorene ili zatvorene te o vrsti ispune ukoliko je prisutna. Što je zijev veći to će procjeđivanje biti veće, a ukoliko se između pukotina nalazi glinovita ispuna ona će predstavljati barijeru tečenja vode (ISRM, 1978).

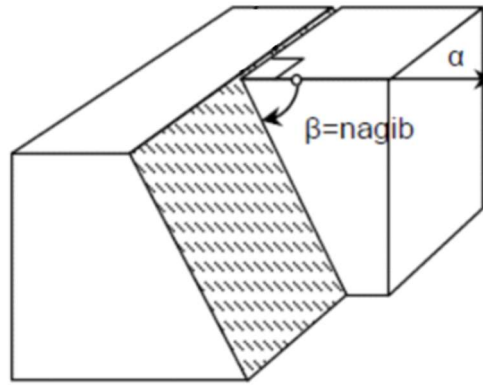
Na čelu tunela treba zabilježiti je li stanje suho, vlažno, mokro te da li je prisutno kapanje ili dotok vode. Ukoliko je čelo vlažno treba odrediti područje i definirati razlog vlažnosti, a ako je prisutno kapanje ili tečenje treba zabilježiti po kojim diskontinuitetima dominantno dolazi do priliva te koja je količina vode u litrima koja istječe u jednoj minuti. U tablici 6-14 prikazana je količina priliva u litri po minuti s obzirom na stanje podzemne vode te su za određeno stanje dodijeljeni odgovarajući bodovi (Mišćević, 2004).

Tablica 6-14. Stanje podzemne vode (Mišćević, 2004)

Voda		
Priliv (l/min)	Stanje	Bodovi
Nikakav	Suho	20
< 10	Vlažno	15
10 - 25	Mokro	10
25 - 125	Kapanje	8
> 125	Tečenje	5

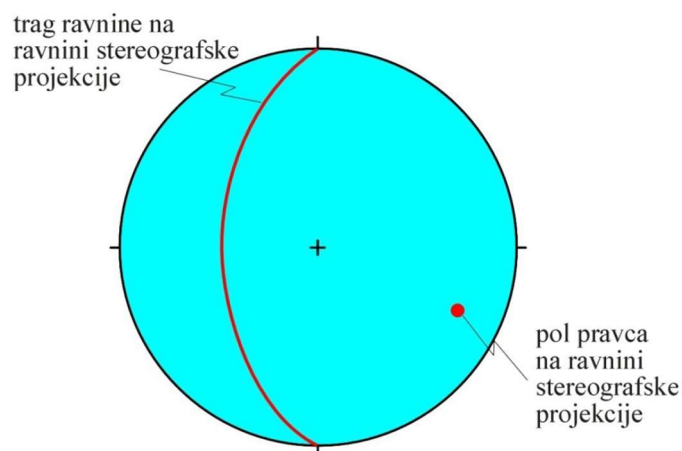
6.1.6. Orijentacija diskontinuiteta

Jedan od osnovnih podatak pri klasificiranju stijenske mase je orijentacija diskontinuiteta, a definirana je s tri parametra: pravac pružanja, smjer nagiba i kut nagiba. Na čelu tunela i u kaloti potrebno je odrediti smjer nagiba diskontinuiteta koji se označava s α i kut nagiba β , a određuju se mjerenjem geološkim kompasom u tunelu. Orijentacija diskontinuiteta označava se kao α/β (Lukačić, 2020). Smjer i kut nagiba diskontinuiteta prikazani su na slici 6-4.



Slika 6-4. Smjer i kut nagiba diskontinuiteta

Pomoću stereografske projekcije prikazuju se rezultati izmjerenih orijentacija diskontinuiteta, a mogu se prikazati pomoću tragova ravnina, probodišta normala ili kao polovi diskontinuiteta. Diskontinuiteti će biti prostorno određeni bez obzira koji se od prethodno navedenih prikaza koristi (Lukačić, 2020). Na slici 6-5 prikazan je trag ravnine na ravnini stereografske projekcije i pol pravca na ravnini stereografske projekcije (Tomljenović, 2020).



Slika 6-5. Trag ravnine i pol pravca na ravnini stereografske projekcije (Tomljenović, 2020)

6.2. *Q* – klasifikacija

Q klasifikacija (engl. Rock Mass Quality system) je razvijena u Norveškom geološkom institutu u razdoblju od 1971. do 1974. godine, a razvili su ju Barton, Lien i Lunde na temelju iskustva iz 212 tunela izgrađenih u čvrstim stijenama Skandinavije od kojih je 30 bilo trajno nepodgrađeno (Stojković, 1991). Modifikacija klasifikacije prvi puta je izvedena 1993.

godine od strane Grimstada i Bartona na temelju 1050 primjera uglavnom iz podzemnih iskopa izvedenih u Norveškoj, a zatim su 2002. ažurirali podatke na temelju više od 900 novih primjera iz podzemnih iskopa izvedenih u Norveškoj, Švicarskoj i Indiji (Stojković, 1991).

Q sustav koristi se za određivanje kvalitete stijenske mase i tunelske podgrade (Stojković, 1991). Klasifikacija je temeljena na numeričkoj procjeni kvalitete stijenske mase Q upotrebom slijedećih šest parametara:

1. RQD – indeks kvalitete jezgre,
2. J_n – broj setova diskontinuiteta,
3. J_r – indeks hrapavosti diskontinuiteta,
4. J_a – indeks alteracije, trošnosti i ispune diskontinuiteta,
5. J_w – faktor redukcije pukotinske vode i
6. SFR – faktor redukcije naprezanja (*in situ* naprezanja).

Q vrijednost daje opis stabilnosti stijenske mase podzemnog otvora, a vrijednosti Q su u rasponu od 0.001 do 1000, raspoređene su u devet kategorija stijenske mase i obuhvaćaju više od 300 000 teorijski različitih geoloških situacija. Visoke vrijednosti Q označavaju dobru stabilnost dok niske vrijednosti lošu stabilnost stijenske mase, a određuju se pomoću sljedećeg izraza (Barton i dr., 1974):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad (6-1)$$

Indeks Q zapravo je funkcija tri člana. Prvi član prethodno spomenute jednadžbe (RQD/J_n) predstavlja sveukupnu strukturu stijenske mase i relativnu veličinu bloka. Drugi član (J_r/J_a) definira posmičnu čvrstoću između blokova koja je definirana s hrapavosti, ispunom i trošnosti stjenki pukotina. Autor je ustanovio da izraz $tg-1$ (J_r/J_a) približno odgovara posmičnoj čvrstoći pukotina. Posljednji član jednadžbe predstavlja aktivno stanje naprezanja, a definirano je pritiskom vode i parametrom SRF koji predstavlja opterećenje rastresene zone pri prolazu kroz rasjedna područja ili stijenske mase s glinom, naprezanje kod zdravih i kompetentnih stijenskih masa te gnječeće ili bujajuće opterećenje kod plastičnih stijenskih masa (Stojković, 1991). U Q sustavu se ne uzimaju izravno u obzir jednoosna tlačna čvrstoća materijala stijene i orijentacija (Krkač, 2022).

SRF ili faktor redukcije napona definira odnos između naprezanja i čvrstoće stijena oko podzemnog iskopa. Deformacija stijene, ispadanje i istiskivanje blokova, gorski udari i

dilatacija mogu nastati kao posljedice naprezanja. U tunelima, posljedice naprezanja mogu se vidjeti tek nekoliko mjeseci nakon iskopa, a mogu se odrediti procjenom iz strukturno – geoloških značajki, računanjem na temelju nadsloja i na temelju *in situ* ispitivanja (Arbanas, 2004).

Kvantitativne vrijednosti dobivene pomoću Q klasifikacije koriste se pri računanju naprezanja na podgradu te za dimenzioniranje podgrade. Podjela stijenske mase na temelju koeficijenta Q prikazana je u tablici 6-15 (Mišćević, 2004).

Tablica 6-15. Klasifikacija stijenske mase prema Q koeficijentu (Mišćević, 2004)

Q	Klasifikacija stijenske mase
0.001. - 0.01	krajnje loša kvaliteta
0.01 - 0.1	izuzetno loša kvaliteta
0.1 - 1.0	vrlo loša kvaliteta
1.0 - 4.0	loša kvaliteta
4.0 - 10.0	povoljna kvaliteta
10.0 - 40.0	dobra kvaliteta
40.0 - 100.0	vrlo dobra kvaliteta
100.0 - 400.0	odlična kvaliteta
400.0 - 1000.0	krajnje dobra kvaliteta

Klasifikacije i bodovanje pojedinih parametara Q klasifikacije prikazani su u tablicama od 6-16 do 6-22 sljedećim redoslijedom: RQD , broj setova diskontinuiteta, indeks hrapavosti i alteracija diskontinuiteta, faktor redukcije naprezanja i koeficijent pukotinske vode. Također su navedene i napomene za parametre za koje su već prethodno određene numeričke vrijednosti pomoću kojih se izmjerene vrijednosti na terenu svrstavaju u određenu grupu (Mišćević, 2004).

Tablica 6-16. Indeks kvalitete jezgre za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004)

Indeks kvalitete jezgre	RQD (%)	Napomena
A	vrlo slab	kada se izmjeri $RQD < 10$ (uključujući i 0) kod izračunavanja vrijednosti Q uzima se da je $RQD = 10$ RQD intervali od 5 tj. 100, 95, 90 itd. su dovoljno točni za primjenu
B	slab	
C	povoljan	
D	dobar	
E	odličan	

Tablica 6-17. Broj setova diskontinuiteta za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004)

Broj setova diskontinuiteta		J_n	Napomena
A	masivna stijena bez pukotina ili poneki	0.5 - 1	za križanje tunela upotrijebi $3xJ_n$ za portale upotrijebiti $2xJ_n$
B	jedan	2	
C	jedan + poneki	3	
D	dva	4	
E	dva + poneki	6	
F	tri	9	
G	tri + poneki	12	
H	četiri i više	15	
J	razdrobljena stijena, slična tlu	20	

Tablica 6-18. Indeks hrapavosti diskontinuiteta za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004)

Indeks hrapavosti diskontinuiteta		J_r	Napomena
a) dodir zidova pukotine			dodati 1.0 ako je srednji razmak relativnog pukotinskog sustava veći od 3.0 m opis pukotina se odnosi na mali razmjer oblika
b) dodir zidova pukotine prije posmika od 10 cm			
A	prekidne pukotine	4	
B	hrapave ili nepravilne, valovite	3	
C	glatke, valovite	2	
D	skliske, valovite	1.5	
E	hrapave ili nepravilne, ravne	1.5	
F	glatke, ravne	1.0	
G	skliske, ravne	0.5	
c) bez dodira zidova pukotine pri smicanju			
H	glinovita mineralna ispuna dovoljne debljine da spriječi dodir zidova pukotine	1.0	$J_r = 0.5$ se može koristiti za ravne, zaglađene pukotine sa zaranjanjima
J	pjeskovita, šljunčana ili zdrobljena ispuna dovoljne debljine da spriječi dodir zidova pukotine	1.0	

Tablica 6-19. Indeks alteracija pukotina za *Q* klasifikaciju (Miščević, 2004)

Indeks alteracija pukotina		J_a
a) dodir zidova pukotine prije smicanja od 10 cm (tanka mineralna ispuna)		
A	zatvorene, zacijeljene pukotine	0.75
B	nepromijenjeni zidovi pukotine samo s mrljama	1
C	neznatno trošni zidovi pukotina, nerazmekšavajuća mineralna prevlaka	2
D	prahovita, pjeskovito-glinovita prevlaka, malo gline	3
E	razmekšavajuća, glinovita prevlaka	4
b) dodir zidova pukotine prije smicanja od 10 cm (tanka mineralna ispuna)		
F	pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline	4
G	jako prekonsolidirana, nerazmekšavajuća glina	6
H	srednje do nisko prekonsolidirana razmekšavajuća glina	8
J	bujajuća glinena ispuna	8 - 12
c) pri smicanju nema dodira zidova pukotine (debela mineralna ispuna)		
K, L, M	zone ili slojevi dezintegrirane ili zdrobljene stijene i gline	6.0, 8.0, 8 - 12
N	zone prahovite ili pjeskovite gline	5.0
O, P, R	debele neprekinute zone ili sloj gline	10, 13, 13 - 20

Tablica 6-20. Faktor redukcije naprezanja za Q klasifikaciju (Mišćević, 2004)

Faktor redukcije naprezanja		SRF		
a) oslabljene zone sijeku iskapanje, što može uzrokovati rastresanje stijenske mase pri iskopu				
A	učestala pojava oslabljenih zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu, vrlo rastresena okolna stijena (sve dubine)	10.0		
B	jedna oslabljena zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu (dubina iskopa ≤ 50 m)	5.0		
C	jedna oslabljena zona koja sadrži glinu ili kemijski raspadnutu stijenu (dubina iskopa > 50 m)	2.5		
D	učestale rasjedne zone u zdravoj stijeni (bez gline), rastresena okolna stijena (sve dubine)	7.5		
E	jedna rasjedna zona u zdravoj stijeni (bez gline, dubina iskopa ≤ 50 m)	5.0		
F	jedna rasjedna zona u zdravoj stijeni (bez gline, dubina iskopa > 50 m)	2.5		
G	rastresene, otvorene pukotine, jaka razlomljenost stijenske mase (sve dubine)	5.0		
b) zdrava stijena, problemi stijenskog pritiska				
		σ_c/σ_1	σ_θ/σ_c	SRF
H	niski pritisak, blizu površine, otvorene pukotine	> 200	< 0.01	2.5
J	srednji pritisak, povoljni uvjeti naprezanja	200 - 10	0.01 - 0.3	1.0
K	visoki pritisak, vrlo zbijena struktura	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2.0
L	umjereno kalanje nakon 1 sat u masivnoj stijenskoj masi	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M	kalanje i prskanje stijene nakon nekoliko minuta u masivnoj stijenskoj masi	3 - 2	0.65 - 1	50 - 200
N	izrazito prskanje stijene i neposredna deformacija u masivnoj stijenskoj masi	< 2	> 1	200 - 400
c) zgnječena stijena, plastični tok stijene pod utjecajem visokog stijenskog pritiska				
		σ_θ/σ_c	SRF	
O	slabi pritisak zgnječene stijene	1 - 5	5 - 10	
P	jak pritisak zgnječene stijene	> 5	10 - 20	
d) bujajuća stijena; kemijska bujajuća aktivnost ovisna o prisustvu vode				SRF
R	slabi pritisak bujajuće stijene			5 - 10
S	jaki pritisak bujajuće stijene			10 - 20

Tablica 6-21. Napomene vezane za faktor redukcije naprezanja (Mišćević, 2004)

Napomene uz tablicu 6-20.
oznake: σ_c - jednoosna tlačna čvrstoća stijene; σ_θ - najveće tangencijalno naprezanje (procijenjeno prema teoriji elastičnosti) σ_1 i σ_3 - veće i manje glavno naprezanje
reducirati vrijednosti <i>SRF</i> za 25% - 50% ako relevantna zgnječena zona utječe, ali ne presijeca iskop
za jako anizotropna prirodna naprezanja, kada je $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ reducirati σ_c na 75% vrijednosti
Kada je $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ reducirati σ_c na 50% vrijednosti
slučajevi L, M, i N su najviše relevantni za projektiranje podgrade tunela na velikim dubinama u čvrstoj stijenskoj masi na $RQD/J_n = 50 - 200$
u slučajevima gdje je debljina nadsloja manja od širine raspona tunela, <i>SRF</i> treba povećati od 2.5 na 5.0

Tablica 6-22. Koeficijent pukotinske vode za *Q* klasifikaciju (Mišćević, 2004)

Koeficijent pukotinske vode		J_w	Približni pritisak vode (MPa)
A	suhi iskop ili manji priliv, tj. < 5 l/min lokalno	1.0	< 0.1
B	srednji priliv ili pritisak, ponegdje isprana ispunjena pukotine	0.66	0.1 - 0.25
C	veliki priliv ili visoki pritisak u zdravoj stijeni s pukotinama bez ispune	0.5	0.25 - 1.0
D	veliki priliv ili visoki pritisak, značajno ispiranje ispune pukotina	0.33	0.25 - 1.0
E	iznimno veliki priliv ili vodeni pritisak, pri miniranju opada s vremenom	0.2 - 0.1	> 1.0
F	iznimno veliki priliv ili pritisak vode koji se nastavlja bez zamjetnog opadanja	0.1 - 0.005	> 1.0

U tablicama su navedene određene napomene pri proračunu kvalitete stijenske mase no potrebno je obratiti pažnju i na sljedeće (Barton i dr., 1974):

1. u nedostatku bušenja *RQD* se može izračunati iz ukupnog broja pukotina koje su sadržane u jediničnom volumenu,
2. pri procjeni parametra J_n , koji predstavlja broj skupova pukotina, često se susrećemo sa škrljavošću, listanjem, pločastim cijepanjem ili plohama slojevitosti. Ako su ove pojave jako izražene trebaju se računati kao setovi pukotina, a ukoliko postoji samo nekoliko takvih diskontinuiteta ili samo povremeno dolazi do lomova jezgre prilikom bušenja, uzrokovanih prethodno spomenutim geološkim strukturama, pravilnije je da se računaju kao slučajne pukotine,

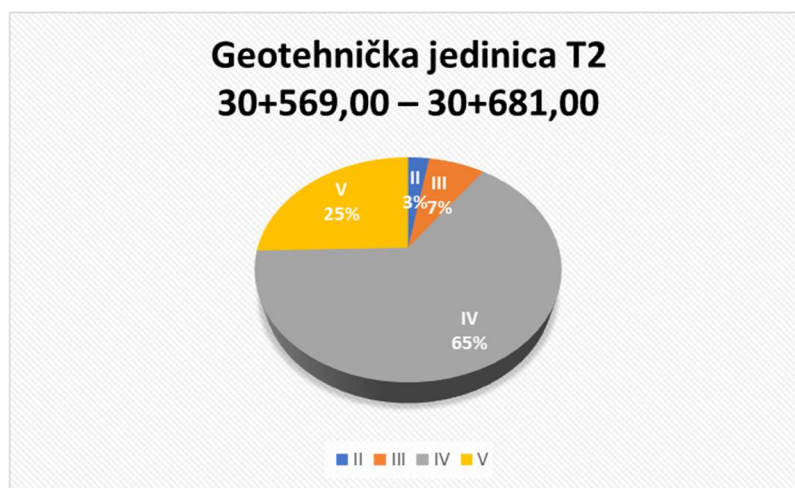
3. parametri J_r i J_a određuju se za najslabiji set pukotina ili glinom ispunjen diskontinuitet u datom području. Međutim ako je set pukotina ili glinom ispunjen diskontinuitet s minimalnom vrijednosti J_r/J_a povoljno orijentiran s obzirom na stabilnost, potrebno je provesti procjenu te eventualno uzeti u proračun drugi nepovoljnije orijentiran set pukotina ili diskontinuitet, iako ima veću vrijednost J_r/J_a ,
4. kada stijenska masa sadrži glinu, faktor SRF treba vrednovati prema smanjenom opterećenju. U takvom je slučaju čvrstoća samog stijenskog materijala nebitna. Naprotiv, u slučaju minimalne ispucanosti i potpunog odsustva gline, čvrstoća stijenskog materijala postaje značajna pa će stabilnost ovisiti o omjeru pritiska i čvrstoće stijenskog materijala. Jako anizotropna polja napona nepovoljna su za stabilnost i na njih treba obratiti pažnju,
5. tlačna i vlačna čvrstoća (σ_c i σ_t) stijenskog materijala treba biti ispitana u smjeru koji je najnepovoljniji za stabilnost (anizotropne stijene). Uzorci trebaju biti saturirani u skladu sa sadašnjim ili budućim *in situ* uvjetima. Vrlo oprezna procjena čvrstoće potrebna je kod stijena koje slabe pri izlaganju vlazi ili u uvjetima saturacije.

7. GEOLOŠKE I INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE STIJENSKE MASE U ZONI ISKOPA SJEVERNE (LIJEVE) CIJEVI TUNELA „UČKA”

U ovom poglavlju detaljno je opisano 8 geotehničkih jedinica koje uključuju svih 7 litoloških i 7 strukturnih blokova. Prikazane su dominantne kategorije stijenskih masa za svaku pojedinu geotehničku jedinicu. Također, za svaku geotehničku jedinicu priložene su stereografske projekcije na kojima su prikazani sustavi slojevitosti i diskontinuiteta.

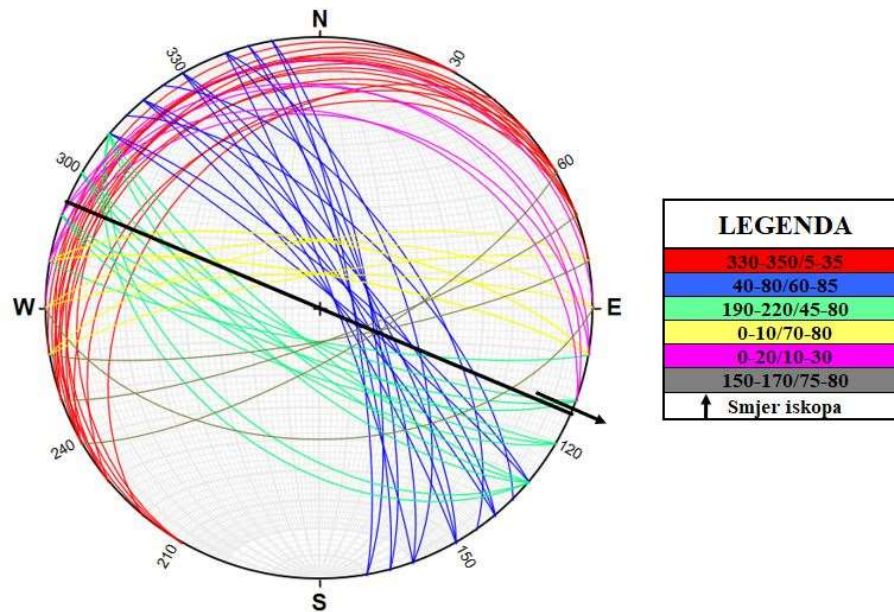
7.1. Geotehnička jedinica T2 (30+569,00 – 30+681,00) pločasti vapnenac, paleocen, eocen (V_{pl}, Pc, E)

U geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+569,00 – 30+681,00) zastupljeni su tanko do vrlo debelo pločasti vapnenci (Tišljar, 1994), a debljine slojeva su od 5 do 60 cm za tanko pločaste vapnence i odnosno veće od 120 cm za vrlo debelo pločaste vapnence. U ovoj geotehničkoj jedinici iskop se dominantno izvodio u IV. (65 %) i V. (25 %) kategoriji stijenske mase (slika 7-1). Pločasti vapnenci okarakterizirani su duljinom slojeva većom od 20 m, a razmak između slojeva varira u rasponu od 5 do 120 cm. Između slojeva pojavljuje se glinovita ispuna s primjesama ugljene tvari mjestimice i debljine veće od 10 cm. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase u pločastim vapnencima varira u rasponu od 90 do 200 MPa.



Slika 7-1. Iskop u geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+569,00 – 30+681,00) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu T2 dan je na slici 7-2. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji uključuju slojevitost i druge pukotine, a koji su izmjereni na čelu tunela od stacionaže 30+569,00 – 30+681,00. Ukupno je izmjereno 61 setova diskontinuiteta, koji su podijeljeni u šest skupina sljedećih orijentacija: 330-350/5-35, 40-80/60-85, 190-220/45-80, 0-10/70-80, 0-20/10-30 i 150-170/75-80. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 113° , što znači da se iskop provodi u smjeru jugoistoka.



Slika 7-2. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+569,00 – 30+681,00)

7.1.1. Iskop u pločastom vapnencu IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+612,00

Na slici 7-3 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 30+612,00 izgrađeno od bijelo do sivo smeđeg pločastog vapnenca (V_{pl} , Pc, E). Azimut čela iznosi 113° , a visina nadsloja je oko 129 m. Na čelu iskopa izražena je slojevitost orijentacije 330/10 čije je pružanje okomito na tunnelsku os, nagiba suprotno od smjera iskopa, a zbog malog nagiba slojeva, faktor korekcije iznosi - 5 bodova. Prisutna su i dva vertikalna pukotinska sustava orijentacije 40-50/80 i 200-220/70-80 čija su pružanja približno paralelna s tunnelskom osi. Zbog vrlo nepovoljne orijentacije na dijelovima gdje je nagib veći od 45° , faktor korekcije iznosi - 12 bodova.



Slika 7-3. Iskop u pločastom vapnencu IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+612,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 50 do 100 MPa, RQD je u rasponu 25 – 50 %, a čelo je vlažno. Razmak između slojeva orijentacije 330/10 varira u rasponu od 20 do 60 cm, a pukotinska ispuna je glinovita i vlažna debljine veće od 5 mm s primjesama ugljene tvari koje su crne boje i ostavljaju mastan trag na rukama. Plohe slojevitosti su dužine veće od 20 m, glatke i jako rastrošene.

Vertikalni pukotinski sustavi 40-50/80 i 200-220/70-80 imaju ista kvalitativna svojstva. Razmak diskontinuiteta iznosi 6 – 20 cm, a pukotinska ispuna je glinovita debljine do 5 mm. Pukotine su dužine od 1 do 3 m, neznatno su hrapave i umjereno rastrošene.



Slika 7-4. Bitumenizirana ispuna debljine veće od 5 mm po plohama slojevitosti 330/10 na stacionaži 30+612,00

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 32 za slojevitost orijentacije 330/10 i 34 boda za vertikalne pukotinske setove orijentacije 40-50/80 i 200-220/70-80 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za IV. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 1.

7.1.2. Iskop u pločastom vapnencu V. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+667,50

Na slici 7-5 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 30+667,50 izgrađeno od bijelo do sivo smeđeg pločastog vapnenca (V_{pl} , Pc, E). Azimut čela iznosi 111° , a visina nadsloja je oko 146 m. Na čelu iskopa izražena je slojevitost orijentacije 330/10-15 čije je pružanje okomito na tunelsku os, nagiba suprotno od smjera iskopa, a zbog malog nagiba slojeva faktor korekcije iznosi - 5 bodova. Prisutna su i dva vertikalna pukotinska sustava orijentacije 10/70-80 i 200-220/70-80 čija su pružanja približno paralelna s tunelskom osi. Zbog vrlo nepovoljne orijentacije na dijelovima gdje je nagib veći od 45° , faktor korekcija iznosi - 12 bodova.



Slika 7-5. Iskop u pločastom vapnencu V. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+667,50

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je manja od 25 MPa, RQD je manji od 25 %, a čelo je vlažno. Razmak između slojeva orijentacije 330/10-15 varira u rasponu od 20 do 60 cm, a pukotinska ispuna je glinovita i vlažna debljine do 10 mm s primjesama ugljene tvari

koje su crne boje i ostavljaju mastan trag na rukama. Plohe slojevitosti su dužine veće od 20 m, glatke i potpuno rastrošene.

Vertikalni pukotinski sustavi 10/70-80 i 200-220/70-80 imaju ista kvalitativna svojstva. Razmak diskontinuiteta iznosi 6 – 20 cm, a pukotinska ispuna je meka debljine do 5 mm. Pukotine su dužine od 1 do 3 m , glatke i potpuno rastrošene. Kvalitativna svojstva vertikalnih pukotinskih sustava ukazuju na nestabilnost i sklonost odvaljivanju blokova u kaloti i ramenima čela.



Slika 7-6. Prikaz slojnih ploha s glinovitom ispunom na stacionaži 30+667,50

U desnom boku vidljiva je kaverna prikazana na slici 7-7 koja je nastala između ploha slojevitosti orijentacije 330/10-15. Kaverna je širine oko 1,0 m, visine oko 0,6 m, a pružanje kaverne prema kaloti i podini nije moguće odrediti. Ispod kaverne, desnu stopu zauzima potpuno rastrošena stijenska masa s debelim proslojcima gline.

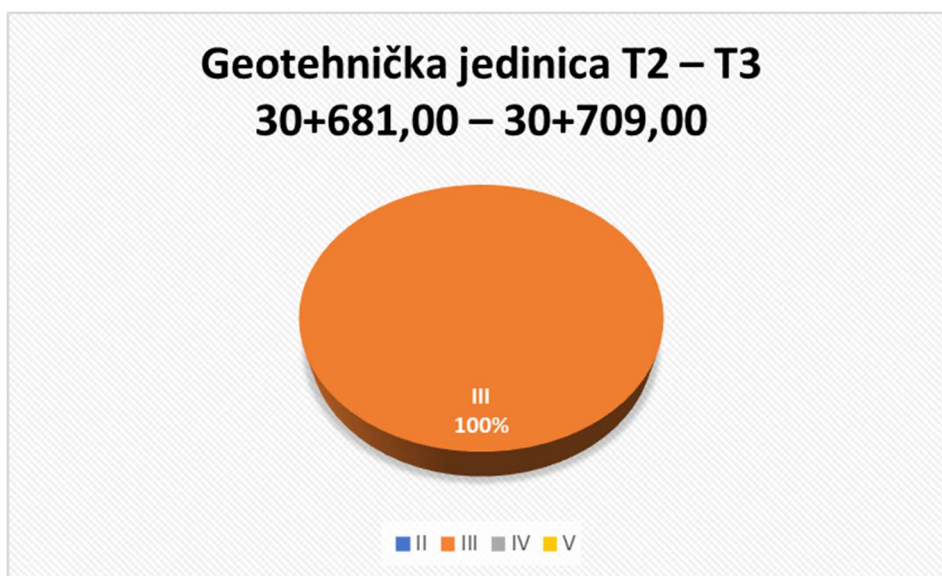


Slika 7-7. Kaverna između slojnih ploha 330/10-15 u desnom boku na stacionaži 30+667,50

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 19 za set slojevitosti orijentacije 330/10-15, kao i 19 za vertikalne pukotinske setove orijentacije 10/70-80 i 200-220/70-80. Prema tome se primjenjuje tehnologija iskopa za V. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 2.

7.2. Geotehnička jedinica T2 – T3 (stacionaža 30+681,00 – 30+709,00): kontakt pločastih vapnenaca, paleocen, eocen (V_{pl} , Pc, E) i rudistnih vapnenaca, gornja kreda (V_{rud} , K_2)

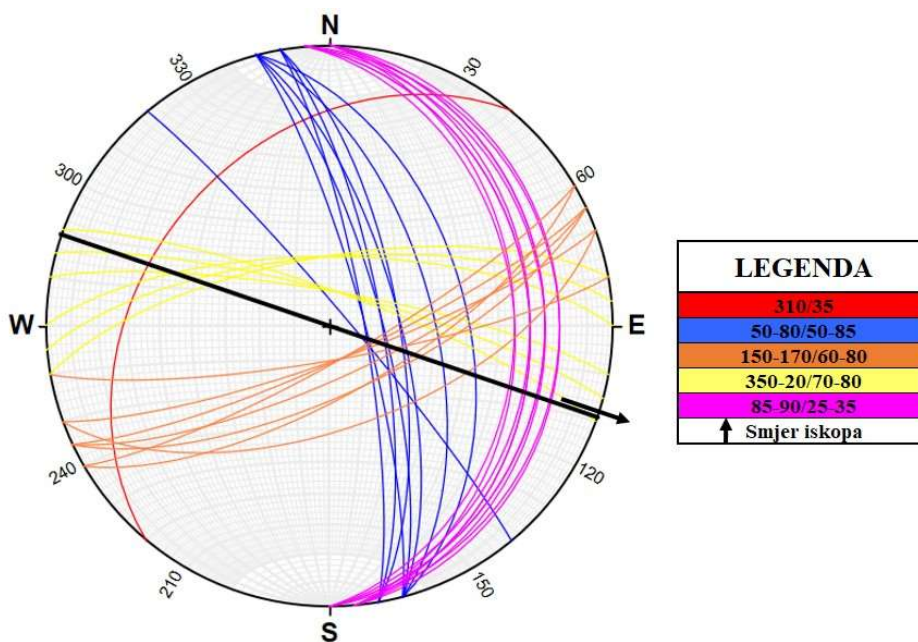
Geotehnička jedinica T2 – T3 (stacionaža 30+681,00 – 30+709,00) označava geološku granicu pločastih (V_{pl} , Pc, E) i rudistnih (V_{rud} , K_2) vapnenaca. U slučaju kada je prisutan kontakt dviju geotehničkih jedinica na čelu iskopa ne kartira se svaka geotehnička jedinica zasebno već se čelo iskopa kartira kao jednu cjelinu. Iskop u zoni geološke granice pločastih i rudistnih vapnenaca izvodio se samo u III. kategoriji stijenske mase što se može vidjeti iz dijagrama prikazanog na slici 7-8. Jednoosna tlačna čvrstoća varira u rasponu od 90 do 200 MPa za pločaste vapnenice, a za rudistne vapnenice varira u rasponu od 70 do 120 MPa.



Slika 7-8. Iskop u geotehničkoj jedinici T2 – T3 (stacionaža 30+681,00 – 30+709,00) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu T2 – T3 dan je na slici 7-9. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji

uključuju slojevitost i druge diskontinuitete na čelu tunela od stacionaže 30+681,00 – 30+709,00, a ukupno je izmjereno 35 setova diskontinuiteta koji su podijeljeni su u pet skupina sljedećih orijentacija: 310/35, 50-80/50-85, 150-170/60-80, 350-20/70-80 i 85-90/25-35. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 109° , što znači da se iskop provodi u smjeru istoka.



Slika 7-9. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T2 – T3 (stacionaža 30+681,00 – 30+709,00)

7.2.1. Iskop na kontaktu pločastog i rudistnog vapnenca u III. kategoriji stijenske mase na stacionaži 30+681,00

Na slici 7-10 prikazano je čelo iskopa na kontaktu, odnosno geološkoj granici pločastog vapnenca (V_{pl} , Pc, E) i rudistnog vapnenca gornje krede (V_{rud} , K_2) na stacionaži 30+681,00. Veći dio čela iskopa izgrađen je od bijelo do sivo smeđeg uslojenog pločastog vapnenca (V_{pl} , Pc, E), dok je donja lijeva polovica čela izgrađena od stijenske mase bijele boje u kojoj nije uočena slojevitost (V_{rud} , K_2). Azimut čela iznosi 110° , a visina nadsloja je oko 148 m. Na čelu iskopa izražena je slojevitost orijentacije 330/20 čije je pružanje okomito na tunelsku os, nagiba suprotno od smjera iskopa, a zbog nagiba slojeva od 20° faktor korekcije iznosi -10 bodova. Prisutna su i dva vertikalna pukotinska sustava orijentacije 10/70-80 i 200-

220/75-80 čija su pružanja približno paralelna s tunelskom osi. Zbog vrlo nepovoljne orijentacije na dijelovima gdje je nagib veći od 45° , faktor korekcije iznosi - 12 bodova.



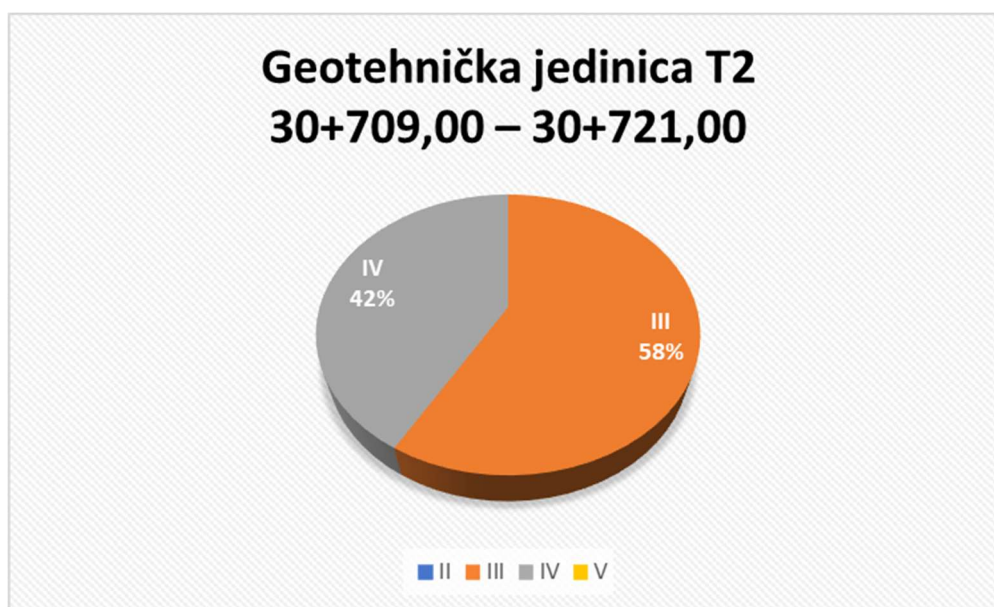
Slika 7-10. Kontakt pločastog vapnenca i rudistnog vapnenca gornje krede u III. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+681,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu 50 – 100 MPa, RQD je u rasponu od 50 do 75 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Razmak između slojeva orijentacije 330/20 varira u rasponu od 20 do 60 cm, a pukotinska ispuna je glinovita debljine do 5 mm. Plohe slojevitosti su dužine veće od 20 m, neznatno su hrapave i umjereno rastrošene. Vertikalni pukotinski sustavi 10/70-80 i 200-220/75-80 imaju ista kvalitativna svojstva. Razmak diskontinuiteta iznosi od 6 do 20 cm, pukotinska ispuna je meka debljine do 5 mm. Pukotine su dužine veće od 20 m, hrapave i umjereno rastrošene.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 44 za slojevitost orijentacije 330/20 i 48 za vertikalne pukotinske setove orijentacije 10/70-80 i 200-220/75-80 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za III. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 3.

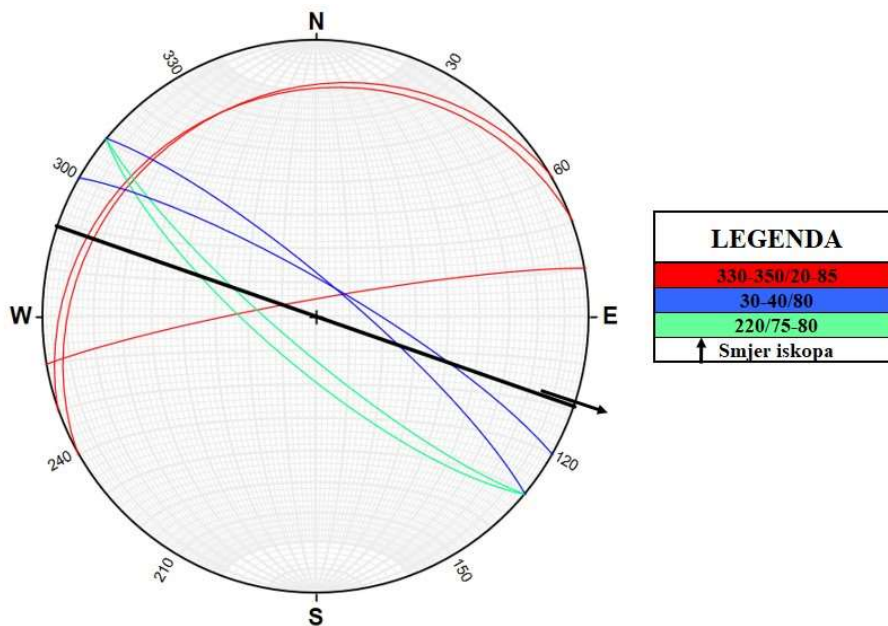
7.3. Geotehnička jedinica T2 (stacionaža 30+709,00 – 30+721,00): pločasti vapnenac, paleocen, eocen (V_{pl}, Pc, E)

Karakteristike geotehničke jedinice T2 opisane su u poglavlju 7.1., a iskop se u pločastim vapnencima od stacionaže 30+709,00 – 30+721,00 izvodio u III. (58 %) i IV. (42 %) kategoriji što je prikazano na slici 7-11.



Slika 7-11. Iskop u geotehničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+709,00 – 30+721,00) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu T2 dan je na slici 7-12. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji uključuju slojevitost i druge diskontinuitete na čelu tunela od stacionaže 30+709,00 – 30+721,00, a ukupno je izmjereno sedam setova diskontinuiteta koji su podijeljeni u tri skupine sljedećih orijentacija: 330-350/20-85, 30-40/80 i 200/75-80. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 109°, što znači da se iskop provodi u smjeru istoka.



Slika 7-12. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotekničkoj jedinici T2 (stacionaža 30+709,00 – 30+721,00)

7.3.1. Iskop u pločastom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+712,00

Na slici 7-13 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 30+712,00 izgrađeno od bijelo do sivo smeđeg pločastog vapnenca (V_{pl} , P_c , E). Azimut čela iznosi 109° , a visina nadsloja je oko 155 m. Na čelu iskopa izražena je slojevitost orijentacije 330/20 čije je pružanje okomito na tunelsku os, nagiba suprotno od smjera iskopa, a zbog nagiba slojeva od 20° faktor korekcije iznosi - 10 bodova. Prisutna su i dva vertikalna pukotinska sustava orijentacije 10/80 i 200-220/75-80 čija su pružanja približno paralelna s tunelskom osi. Zbog vrlo nepovoljne orijentacije na dijelovima gdje je nagib veći od 45° , faktor korekcije iznosi - 12 bodova.



Slika 7-13. Iskop u pločastom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+712,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 50 do 100 MPa, RQD je u rasponu od 50 do 75 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Razmak između slojeva orijentacije 330/20 varira u rasponu od 60 cm do 2 m, a glinovito bitumenizirana pukotinska ispuna je debljine veće od 5 mm. Plohe slojevitosti su dužine veće od 20 m, glatke i jako rastrošene. Vertikalni pukotinski sustavi 10/80 i 200-220/75-80 imaju ista kvalitativna svojstva. Razmak diskontinuiteta iznosi od 6 do 20 cm, pukotinska ispuna je meka debljine do 5 mm. Pukotine su dužine od 1 do 3 m, neznatno su hrapave i umjereno rastrošene. Kalotu i ramena zauzima kompaktna stijenska masa što znači da se sustavi slojevitosti i diskontinuiteta teško mogu pratiti, dok se na čelu lako može pratiti slojevitost i vertikalni pukotinski sustavi. Također, diskontinuiteti u kaloti i ramenima nisu rastrošeni kao i na čela te ne postoji mogućnost odvajanja stijenske mase iz kalote.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 42 za slojevitost orijentacije 330/20 i 44 za vertikalne pukotinske setove orijentacije 10/80 i 200-220/75-80 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskop za III. kategoriji stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 4.

7.3.2. Iskop u pločastom vapnencu IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 30+718,00

Na slici 7-14 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 30+718,00 izgrađeno od bijelo do sivo smeđeg pločastog vapnenca (V_{pl} , Pc, E). Azimut čela iznosi 109° , a visina nadsloja je oko 156 m. Na čelu iskopa izražena je slojevitost orijentacije 330/20 čije je pružanje okomito na tunelsku os, nagiba suprotno od smjera iskopa, a zbog nagiba slojeva od 20° faktor korekcije iznosi - 10 bodova. Prisutna su i dva vertikalna pukotinska sustava orijentacije 40-50/80 i 200-220/75-80 čija su pružanja približno paralelna s tunelskom osi. Zbog vrlo nepovoljne orijentacije na dijelovima gdje je nagib veći od 45° , faktor korekcije iznosi - 12 bodova.



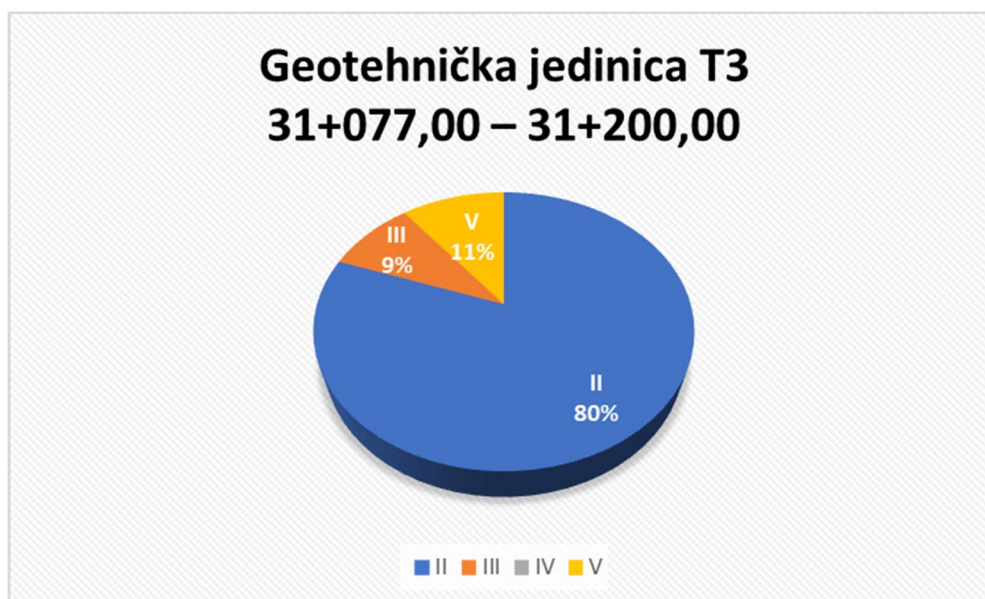
Slika 7-14. Iskop u pločastom vapnencu IV kategorije stijenske mase na stacionaži 30+718,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 25 do 50 MPa, RQD je manji od 25 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Razmak između slojeva orijentacije 330/20 varira u rasponu od 60 cm do 2 m, a glinovito bitumenizirana pukotinska ispuna je debljine veće od 5 mm. Plohe slojevitosti su dužine veće od 20 m, glatke i jako rastrošene. Vertikalni pukotinski sustavi 40-50/80 i 200-220/75-80 imaju ista kvalitativna svojstva stijenske mase. Razmak diskontinuiteta iznosi od 6 do 20 cm, a ispuna je glinovita debljine veće od 5 mm. Pukotine su dužine od 1 do 3 m, neznatno su hrapave, umjereno rastrošene.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 29 za slojevitost orijentacije 330/20 i 28 za vertikalne pukotinske setove orijentacije 40-50/80 i 200-220/75-80 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za IV. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 5.

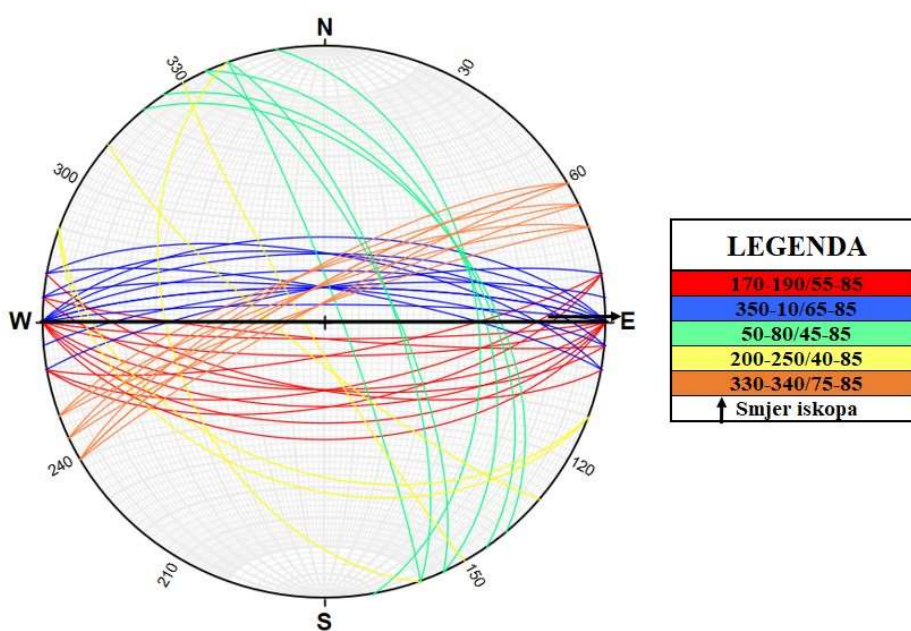
7.4. Geotehnička jedinica T3 (stacionaža 30+734,00 – 32+772,00): rudistni vapnenci, gornja kreda (V_{rud} , K_2)

Iskop se u geotehničkoj jedinici T3 (stacionaža 31+077,00 – 31+200,00) dominantno izvodio u II. kategoriji stijenske mase (80 %), a prilikom pojave speleoloških objekata na čelu iskop se izvodio u V. kategoriji (11 %) što je prikazano na slici 7-15. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase u rudistnim vapnencima varira u rasponu od 70 do 120 MPa. Jedne od glavnih karakteristika vapnenaca su okršavanje, pojava speleoloških objekata, prodor vode, rašjedne i kaverozne zone te velika topivost minerala kalcita u kontaktu s vodom. Kaverne su u većini slučajeva predisponirane tektonikom, a ukoliko se pojavi jači tok vode u kaverni samim time biti će i jača topivost minerala kalcita te će biti i više odnošenja materijala. Ukoliko se vapnenac klasificira kao vrlo dobro stijenske masa, gdje su diskontinuiteti, zdravi, nerastrošeni i nemaju glinovitu ispunu može nakon drobljena materijala poslužiti kao agregat za izradu betona ili kao portland cement.



Slika 7-15. Iskop u geotehničkoj jedinici T3 (stacionaža 31+077,00 – 31+200,00) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu T3 dan je na slici 7-16. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji uključuju slojevitost i druge pukotine, a koji su izmjereni na čelu tunela od stacionaže 31+077,00 – 31+200,00. Ukupno je izmjereno 46 setova diskontinuiteta, koji su podijeljeni u pet skupina sljedećih orijentacija: 170-180/55-85, 350-10/65-85, 50-80/45-85, 200-250/40-85 i 330-340/75-85. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 90° , što znači da se iskop provodi u smjeru istoka.



Slika 7-16. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T3 (stacionaža 31+077,00 – 31+200,00)

7.4.1. Kaverna u rudistnom vapnencu gornje krede na stacionaži 31+077,00

Na slici 7-17 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 31+077,00. Čelo iskopa zauzima kaverna otvorena u bijelom rudistnom vapnenac gornje krede (V_{rud} , K_2). Azimut čela iznosi 91° , a visina nadsloja je oko 200 m.



Slika 7-17. Kaverna u rudistnom vapnencu gornje krede na stacionaži 31+077,00

Ukoliko je prisutna kaverna na čelu iskopa RMR klasifikaciju nije moguće primijeniti, već prema Općih Tehničkih Uvjeta kaverna automatski spada u V. kategoriju. Sustavi po kojima je otvoren vertikalni dimnjak su 180-190/80 i 0/85, dakle vertikalni pukotinski sustavi. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 100 do 250 MPa, a na čelu iskopa zabilježeno je kapanje vode pri čemu je dotok vode u rasponu od 25 do 125 l/min. Vertikalni dimnjak je nepoznate visine, ali zbog jakog strujanja zraka ukazuje na povezanost s površinom. Također, nepoznata je dubina zbog zatrpanosti dimnjaka materijalom od miniranja.

7.4.2. Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+094,00

Na slici 7-18 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 31+094,00 izgrađeno od bijelog rudistnog vapnenca gornje krede (V_{rud} , K_2). Azimut čela iznosi 91° , a visina nadsloja je oko 195 m. Na čelu iskopa izmjerena su tri pukotinska sustava. Vertikalni pukotinski sustavi orijentacije 180-190/70 i 0/65-75 imaju pružanje približno paralelno s tunelskom osi. Zbog vrlo nepovoljne orijentacije na dijelovima gdje je nagib veći od 45° , faktor korekcije iznosi - 12 bodova. Okomiti pukotinski sustav 55/40 čiji je nagib u smjeru iskopa pod kutom manjim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 2.



Slika 7-18. Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+094,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 100 do 250 MPa, RQD je u rasponu od 50 do 75 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 180-190/70 je u rasponu od 20 do 60 cm, pukotine imaju meku ispunu veću od 5 mm, neznatno su hrapave, jako rastrošene i duljine od 10 do 20 m. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 0/65-75 je u rasponu od 20 do 60 cm, pukotine imaju meku ispunu manju od 5 mm, hrapave su, umjereno rastrošene i duljine od 3 do 10 m. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 55/40 je u rasponu od 20 do 60 cm, pukotine imaju meku ispunu manju od 5 mm, neznatno su hrapave, umjereno rastrošene i duljine od 3 do 10 m.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 43 za vertikalni pukotinski set orijentacije 180-190/60-70, 51 bod za set orijentacije 0/65-75 i 59 bodova za okomiti pukotinski set orijentacije 55/40 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za III. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 6.

7.4.3. Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede II. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+158,00

Na slici 7-19 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 31+158,00 izgrađeno od bijelog rudistnog vapnenca gornje krede (V_{rud} , K_2). Azimut čela iznosi 89° , a visina nadsloja je oko 215 m. Na čelu iskopa izmjerena su četiri pukotinska sustava. Vertikalni pukotinski sustavi orijentacije 170/80, 0-10/70 i 200/45-50 paralelni su s tunelskom osi. Sustavi 170/80 i 0-10/70 zbog vrlo nepovoljne orijentacije i nagiba većeg od 45° imaju faktor korekcije koji iznosi - 12 bodova, dok faktor korekcije iznosi - 5 bodova za sustav 200/40-45 zbog nagiba manjeg od 45° . Okomiti pukotinski sustav 65-70/40 čiji je nagib u smjeru iskopa pod kutom manjim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 2 boda.



Slika 7-19. Iskop u rudistnom vapnencu gornje krede II. kategorije stijenske mase na stacionaži 31+158,00

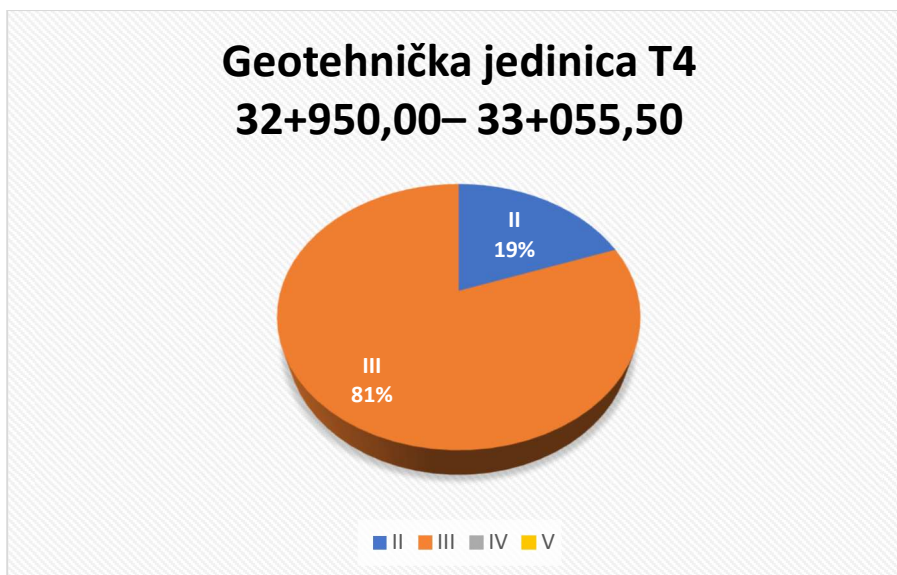
Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 100 do 250 MPa, RQD je u rasponu od 90 do 100 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 170/80 je u rasponu od 6 do 20 cm, pukotine su zatvorene, vrlo hrapave, nerastrošene i duljine od 1 do 3 m. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 0-10/70 je u rasponu od 60 cm do 2 m, pukotine su zatvorene, vrlo hrapave, nerastrošene i duljine manje

od 1 m. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 200/40-45 je u rasponu od 6 do 20 cm, pukotine su zatvorene, vrlo hrapave, nerastrošene i duljine do 1 m. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 65-70/40 je u rasponu od 6 do 20 cm, pukotine su zatvorene, vrlo hrapave, nerastrošene i duljine od 10 do 20 m.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 80 za pukotinske setove orijentacije 0-10/70 i 200/40-45, 71 bod za pukotinski set orijentacije 170/80 i 79 bodova za okomiti pukotinski set orijentacije 65-70/40 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za II. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 7.

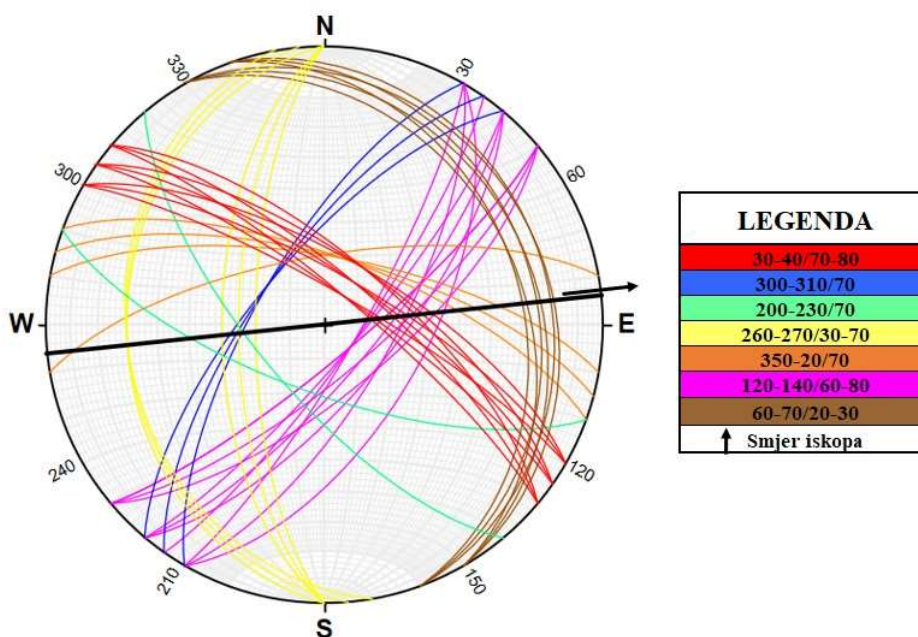
7.5. Geotehnička jedinica T4 (stacionaža 32+819,00 – 33+315,00): foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$)

U geotehničkoj jedinici T4 (stacionaža 32+950,00 – 33+055,50) iskop se dominantno izvodio u III. (81 %) i II. (19 %) kategoriji stijenske mase što je prikazano na slici 7-20. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase u foraminiferskim vapnencima varira u rasponu od 90 do 200 MPa. Karakteristike za foraminiferske vapnence podjednake su onima za rudistne vapnence, a opisane su u poglavlju 7.4.



Slika 7-20. Iskop u geotehničkoj jedinici T4 (stacionaža 32+950,00 – 33+055,50) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu T4 dan je na slici 7-21. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji uključuju slojevitost i druge pukotine, a koji su izmjereni na čelu tunela od stacionaže 32+950,00 – 33+055,50. Ukupno je izmjereno 46 setova diskontinuiteta, koji su podijeljeni u sedam skupina slijedećih orijentacija: 30-40/70-80, 300-310/70, 200-230/70, 260-270/30-70, 350-20/70, 120-140/60-80 i 60-70/20-30. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 84° , što znači da se iskop provodi u smjeru istoka.



Slika 7-21. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T4 (stacionaža 31+077,00 – 31+200,00)

7.5.1. Iskop u foraminiferskom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+006,50

Na slici 7-22 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 33+006,50 izgrađeno od foraminiferski vapnenac (V_{for} , $E_{1,2}$). Azimut čela iznosi 84° , a visina nadsloja je oko 440 m. Na čelu iskopa su izmjerena četiri pukotinska sustava. Vertikalni pukotinski sustav orijentacije 220/80 ima pružanje približno paralelno s tunelskom osi, a zbog vrlo nepovoljne orijentacije gdje je nagib veći od 45° faktor korekcije iznosi - 12 bodova. Sustav orijentacije 120-130/75-80 čije je pružanje okomito na tunelsku os u smjeru iskopa pod kutom većim od

45° nema faktor korekcije. Okomiti pukotinski sustavi orijentacije 270/60-70 i 300-310/70 čiji je nagib suprotan od smjera iskopa pod kutom većim od 45° imaju faktor korekcije koji iznosi - 5 bodova.



Slika 7-22. Iskop u foraminiferskom vapnencu III. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+006,50

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 100 do 250 MPa, RQD je u rasponu od 50 do 75 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 220/80 je u rasponu od 6 do 20 cm, a pukotinska ispuna je meka debljine do 1 mm. Pukotine su hrapave, umjereno rastrošene i duljine od 1 do 3 m. Pukotinski sustav orijentacije 120-130/75-80 je duljine od 3 do 10 m, a razmaci variraju u rasponu od 6 do 20 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom do 5 mm, neznatno su hrapavi i umjereno rastrošeni. Pukotinski sustav orijentacije 270/60-70 je duljine od 1 do 3 m, a razmaci su u rasponu od 6 do 20 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom do 1 mm, neznatno su hrapavi i umjereno rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 300-310/70 je u rasponu od 6 do 20 cm, pukotine su ispunjene mekom ispunom do 5 mm, neznatno su hrapave, umjereno rastrošene i duljine od 3 do 10 m.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 59 za pukotinske setove orijentacije 120-130/75-80 i 270/60-70, a 54 boda imaju pukotinski setovi orijentacije 220/80 i 300-310/70 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za III. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 8.

7.5.2. Iskop u foraminiferskom vapnencu II. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+035,70

Na slici 7-23 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 33+035,70 izgrađeno od foraminiferski vapnenac (V_{for} , $E_{1,2}$). Azimut čela iznosi 84° , a visina nadsloja je oko 427 m. Na čelu iskopa su izmjerena četiri okomita pukotinska sustava. Okomiti pukotinski sustav orijentacije 70/15-20 čiji je nagib u smjeru iskopa pod kutom manjim od 20° ima faktor korekcije koji iznosi - 5 bodova. Sustav orijentacije 270/50 čiji je nagib suprotan od smjera iskopa pod kutom većim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 5 bodova. Sustavi orijentacije 120-130/75-80 i 30-40/80 čije je pružanje okomito na tunnelsku os u smjeru iskopa pod kutom većim od 45° imaju faktor korekcije koji iznosi 0.



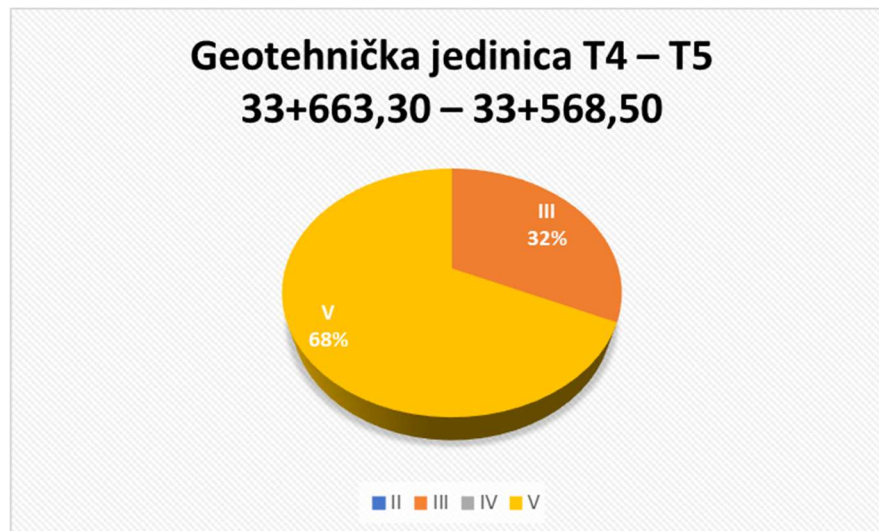
Slika 7-23. Iskop u foraminiferskom vapnencu II. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+035,70

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 100 – 250 MPa, RQD je u rasponu od 90 do 100 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Pukotinski sustav orijentacije 70/15-20 je duljine veće od 20 m, a razmaci su veći od 2 m. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom do 5 mm, glatki su i umjereno rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 120-130/75-80 je u rasponu od 20 do 60 cm, a duljine su od 1 do 3 m. Pukotine su ispunjene mekom ispunom do 1 mm, hrapave su i neznatno rastrošene. Okomiti pukotinski sustav orijentacije 270/50 je duljine od 3 do 10 m, a razmaci su u rasponu od 20 do 60 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom do 1 mm, hrapavi su i neznatno rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 30-40/80 je u rasponu od 20 do 60 cm, pukotine su ispunjene mekom ispunom do 1 mm, hrapave su, neznatno rastrošene i duljine od 1 do 3 m.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 77 za pukotinske setove orijentacije 120-130/75-80 i 30-40/80, 69 bodova za pukotinski set orijentacije 70/15-20 i 70 bodova za pukotinski set 270/50 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za II. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 9.

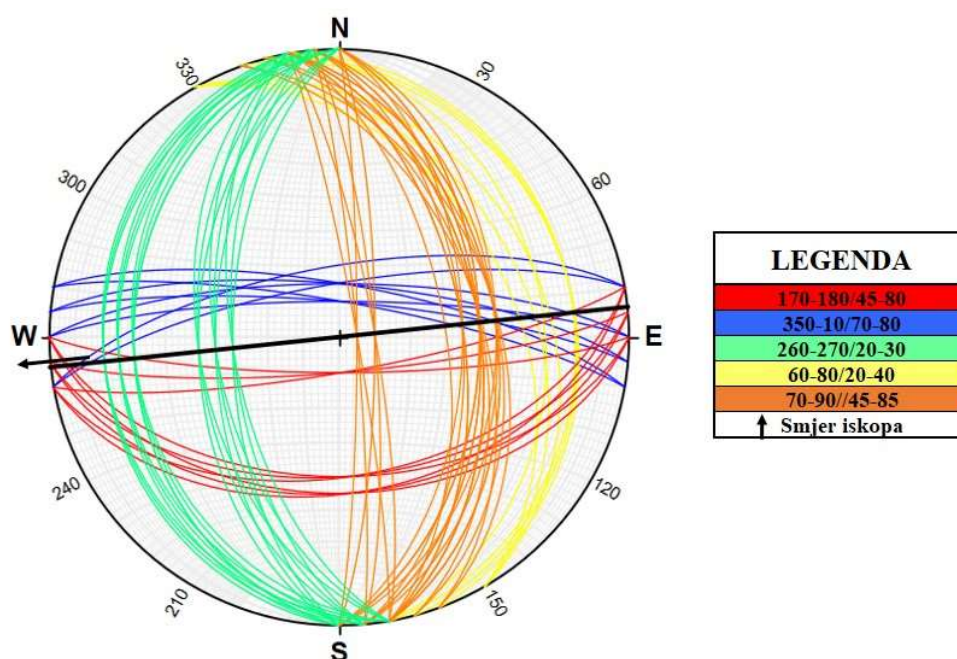
7.6. Geotehnička jedinica T4 – T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+643,50): kontakt foraminiferskih vapnenaca, donji i srednji eocen (V_{for} , $E_{1,2}$) i lapora fliša, srednji i gornji eocen (L , $E_{2,3}$)

Iskop se u geotehničkoj jedinici T4 – T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+568,50) dominantno izvodio u V. (68 %) i III. (32 %) kategoriji stijenske mase što je prikazano na slici 7-24. U slučaju kada je prisutan kontakt dviju geotehničke jedinice na čelu iskopa ne kartira se svaka geotehnička jedinica zasebno već se čelo iskopa kartira kao jednu cjelinu. Kada je kalotu, ramena i veći dio čela iskopa zauzima foraminiferski vapnenac te su njegove karakteristike utjecale na stabilnost iskopa, iskop se izvodio u III. kategoriji stijenske mase, a ukoliko je kalotu, ramena i veći dio čela iskopa zauzima lapor iskop se izvodio u V. kategoriji stijenske mase. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase u foraminiferskim vapnencima varira u rasponu od 90 do 200 MPa, a za lapore fliša varira u rasponu od 10 do 30 MPa.



Slika 7-24. Iskop u geotehničkoj jedinici T4 – T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+568,50) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu T4 – T5 dan je na slici 7-25. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji uključuju slojevitost i druge diskontinuitete na čelu tunela od stacionaže 33+663,30 – 33+568,50, a ukupno je izmjereno 69 setova koji su podijeljeni u pet skupina slijedećih orijentacija: 170-180/45-80, 350-10/70-80, 260-270/20-30, 60-80/20-40 i 70-90/45-85. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 264° , što znači da se iskop provodi u smjeru zapada.



Slika 7-25. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T4 – T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+643,50)

7.6.1. Iskop na kontaktu foraminiferskog vapnenaca i lapora fliša u III. kategoriji stijenske mase na stacionaži 33+660,00

Na slici 7-26 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 33+660,00 većim dijelom izgrađeno od foraminiferskih vapnenaca (V_{for} , $E_{1,2}$), dok manji dio čela iskopa zauzimaju lapori fliša sive boje (L , $E_{2,3}$). Na kontaktu između foraminiferskog vapnenca i lapora nalazi se oksidiran proslojak gline debljine oko 10 cm. Azimut čela iznosi 264° , a visina nadsloja je oko 474 m. Na čelu iskopa izmjerena su tri pukotinska sustava. Vertikalni pukotinski sustavi orijentacije $170-180/45-50$ i $0-10/75-80$ imaju pružanje približno paralelno s tunelskom osi. Zbog vrlo nepovoljne orijentacije na dijelovima gdje je nagib veći od 45° faktor korekcije iznosi - 12 bodova. Okomiti pukotinski sustav orijentacije $80-90/80-85$ čiji je nagib suprotan od smjera iskopa pod kutom većim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 5 bodova.



Slika 7-26. Kontakt foraminiferskog vapnenca i lapora fliša u III. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+660,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 50 do 100 MPa, RQD je u rasponu od 75 do 90 %, a voda ne čelu nije zabilježena. Razmak između diskontinuiteta orijentacije $170-180/45-50$ je u rasponu od 6 do 20 cm, a pukotinska ispuna je meka, debljine do 1 mm. Pukotine su neznatno hrapave, neznatno rastrošene i duljine od 1 do 3 m. Pukotinski sustav orijentacije $0-10/75-80$ je duljine od 1 do 3 m, a razmaci variraju u rasponu

od 6 do 20 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom do 1 mm, neznatno su hrapavi i neznatno rastrošeni. Okomiti pukotinski sustav 80-90/80-85 je duljine od 3 do 10 m, a razmaci su u rasponu od 6 do 20 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni glinovitom ispunom do 10 mm, neznatno su hrapavi i umjereno rastrošeni.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 53 za vertikalne pukotinske setove orijentacije 170-180/45-50 i 0-10/75-80 i 50 bodova za set orijentacije 80-90/80-85 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za III. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 10.

7.6.2. Iskop na kontaktu foraminiferskih vapnenaca i lapora fliša u V. kategoriji stijenske mase na stacionaži 33+650,00

Na slici 7-27 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 33+650,00 gdje veći dio čela iskopa zauzimaju lapori fliša (L, E_{2,3}), a kalotu, dio ramena i dio čelo zauzima foraminiferski vapnenac (V_{for}, E_{1,2}). Na kontaktu između foraminiferskog vapnenca i lapora nalazi se oksidirani proslojak gline debljine oko 10 cm. Azimut čela iznosi 264°, a visina nadsloja je oko 478 m.



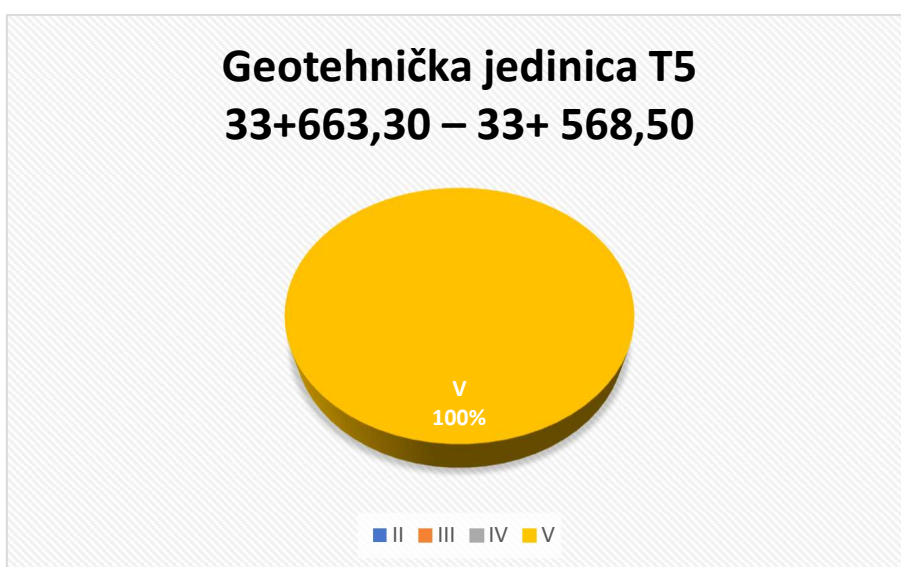
Slika 7-27. Kontakt foraminiferskog vapnenca i lapora fliša u V. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+650,00

RQD je vrlo slab te iznosi za minimum i maksimum 10 %. Na čeku iskopa vidljiva su tri pukotinska sustava orijentacije 80/45-50, 120/70 i 260/50. Diskontinuiteti su ravni i skliski, ispunjena je srednje do nisko prekonsolidirana razmekšavajuća glina. Voda na čelu nije zabilježena, a naprezanje je visoko zbog niske čvrstoće i maksimalnih nadsloja te postoji mogućnost da tangencijalna naprezanja prekoračuju čvrstoću stijenske mase.

Q_{min} je 0,05, a Q_{max} je 0,08 te se na temelju toga stijena klasificira kao iznimno loša. Obrazac za Q klasifikaciju prikazan je u prilogu 11.

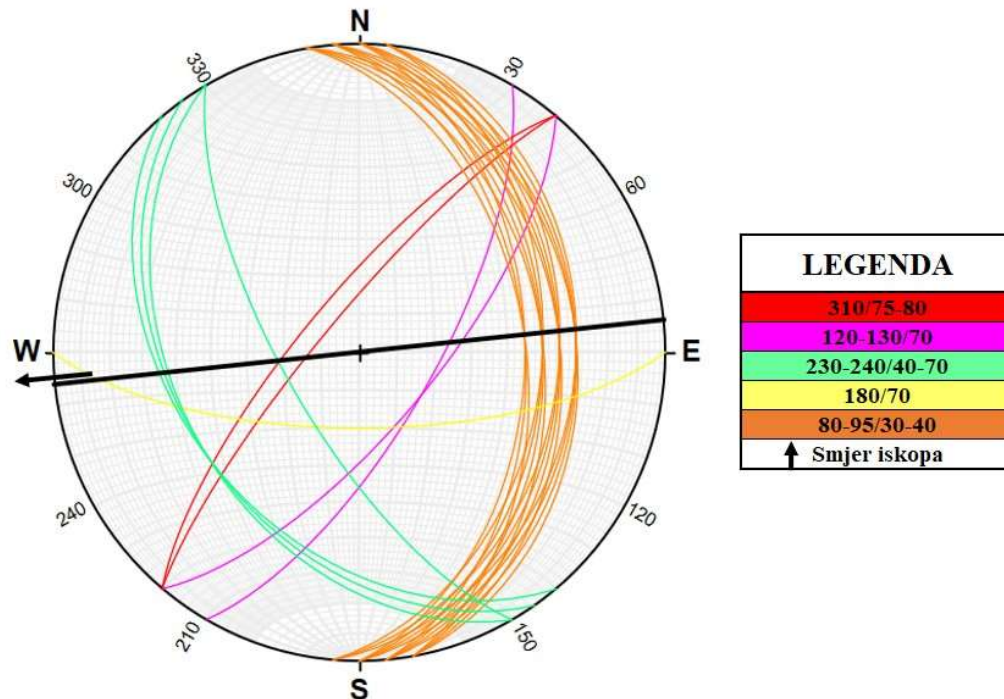
7.7. Geotehnička jedinica T5 (stacionaža 33+643,50 – 33+ 315,00): lapori fliša, srednji i gornji eocen (L,E2,3)

Iskop se u geotehničkoj jedinici T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+568,50) izvodio samo u V. kategoriji stijenske mase što je prikazano na slici 7-28. Prilikom klasifikacije lapora primjenjuje se Q klasifikacija stijenske mase, no u Geotehničkom projektu (Šarić i Užarević, 2013) definirano je da ukoliko cijelo čelo iskopa zauzima lapor, da se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za V. kategoriju stijenske mase. Glavne karakteristike lapora su slojevitost orijentacije 80-95/30-40 i geološke odvale koje nastaju uslijed izmjene kompresije i relaksacije zbog velikog nadsloja. Najveći nadsloj u zoni lapora je ujedno i maksimalni nadsloj koji iznosi 590 m. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske za lapore fliša varira u rasponu od 10 do 30 MPa.



Slika 7-28. Iskop u geotehničkoj jedinici T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+568,50) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu T5 dan je na slici 7-29. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji uključuju slojevitost i druge pukotine, a koji su izmjereni na čelu tunela od stacionaže 33+663,30 – 33+568,50. Ukupno je izmjereno 24 seta diskontinuiteta, koji su podijeljeni u 5 skupina sljedećih orijentacija: 310/75-80, 120-130/70, 230-240/40-70, 180/70 i 80-95/30-40. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 264° , što znači da se iskop provodi u smjeru zapada.



Slika 7-29. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T5 (stacionaža 33+663,30 – 33+643,50)

7.7.1. Iskop u laporu fliša V. kategorije stijenske mase na stacionaži 33+613,00

Na slici 7-30 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 33+613,00 izgrađeno od lapor fliša (L, E_{2,3}). Azimut čela iznosi 264° , a visina nadsloja je oko 512 m.



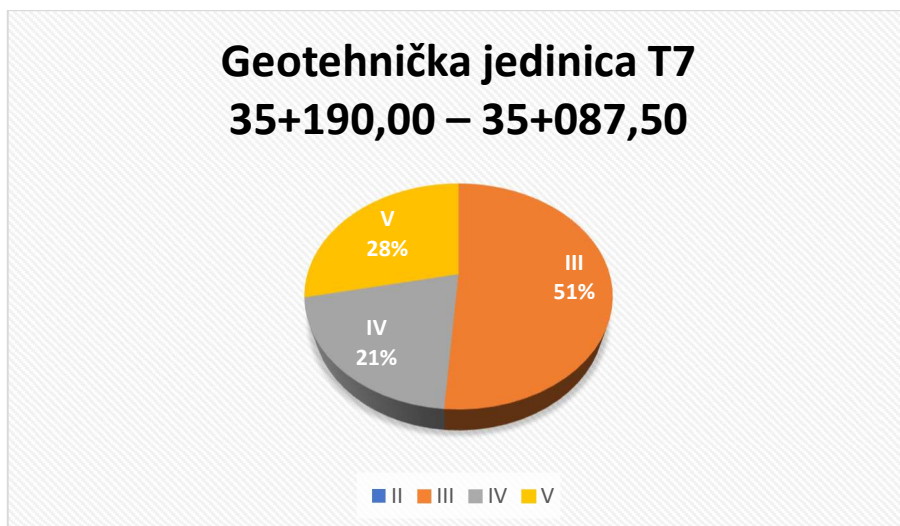
Slika 7-30. Iskop u laporu fliša na stacionaži 33+613,00

RQD je vrlo slab te iznosi za minimum i maksimum 10 %. Na čeku iskopa vidljiva su tri pukotinska sustava orijentacije 80/45-50, 120/70 i 260/50. Diskontinuiteti su ravni i skliski, ispunjena je srednje do nisko prekonsolidirana razmekšavajuća glina. Voda na čelu nije zabilježena, a naprezanje je visoko zbog velikog nadsloja od 590 m.

Q_{min} je 0,05, a Q_{max} je 0,08 te se na temelju toga stijena klasificira kao iznimno loša. Obrazac za Q klasifikaciju prikazan je u prilogu 12.

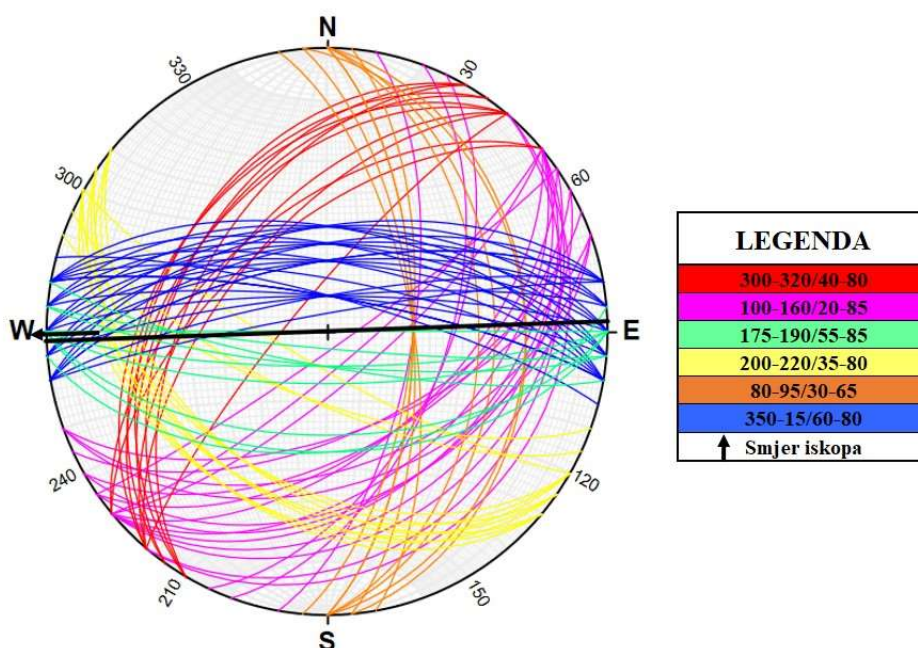
7.8. Geotehnička jedinica T7 (stacionaža: 35+383,34 – 34+675,00): vapnenci, donja kreda (V, K₁)

Iskop se u geotehničkoj jedinici T7 (stacionaža 35+190,00 – 35+087,50) izvodio u III. (51 %), IV (21 %) i V (28 %) kategoriji stijenske mase što je prikazano na slici 7-31. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske za vapnence donje krede varira u rasponu od 70 do 160 MPa. Zbog srednjeg nadsloja koji varira između 100 – 125 m zabilježena je veća pojava glinovite komponente što ukazuje na povezanost s površinom. U geotehničkoj jedinici T7 zabilježena su glinena "gnijezda" i vapnenači blokovi u glinenom matriksu.



Slika 7-31. Iskop u geotehničkoj jedinici T7 (stacionaža 35+190,00 – 35+087,50) prema kategorijama stijenske mase

Prikaz diskontinuiteta na stereografskoj projekciji za geotehničku jedinicu dan je na slici 7-32. Kao ulazni podaci korišteni su svi izmjereni setovi diskontinuiteta koji uključuju slojevitost i druge pukotine, a koji su izmjereni na čelu tunela od stacionaže 35+190,00 – 35+087,50. Ukupno je izmjereno 89 setova diskontinuiteta, koji su podijeljeni u šest skupina: 300-320/40-80, 100-160/20-85, 175-190/55-85, 200-220/35-80, 80-95/30-65 i 350-15/60-80. Prosječan azimut smjera pružanja osi tunela je 268° , što znači da se iskop provodi u smjeru zapada.



Slika 7-32. Stereografska projekcija za izmjerene setove diskontinuiteta u geotehničkoj jedinici T7 (stacionaža 35+190,00 – 35+087,50)

7.8.1. Iskop u vapnencu donje krede IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+219,00

Na slici 7-33 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 35+219,00 izgrađeno od tamno sive, raspucane, umjereno do jako rastrošene vapnenačke stijenske mase (V, K₁). Kalotu, ramena i lijevu stranu čela zauzima blokovski izdvojena stijenska masa između koje se nalazi glinovita ispuna debljine do 5 mm, a lokalno su debljine veće od 5 mm. Azimut čela iznosi 265°, a visina nadsloja je oko 61 m. Na čelu iskopa izmjerena su četiri pukotinska sustava. Sustav slojevitosti orijentacije 305-310/40 ima pružanje okomito na tunelsku os, a nagib je u smjeru iskopa pod kutom manjim od 45° pa s toga faktor korekcije iznosi - 2 boda. Vertikalni pukotinski sustavi orijentacije 180-190/70-80 i 350-10/70-80 imaju pružanje približno paralelno s tunelskom osi, a zbog vrlo nepovoljne orijentacije gdje je nagib veći od 45° faktor korekcije iznosi - 12 bodova. Okomiti pukotinski sustav orijentacije 130/60-70 čiji je nagib suprotan od smjera iskopa pod kutom većim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 5 bodova.



Slika 7-33. Iskop u vapnencu donje krede IV. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+190,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 100 do 250 MPa, RQD je u rasponu od 25 do 50 %, a čelo je vlažno. Sustav slojevitosti orijentacije 305-310/40 je duljine od 10 do 20 m, a razmaci variraju u rasponu od 6 do 20 cm. Diskontinuiteti imaju meku ispunu debljine veće od 5 mm, glatki su i jako rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 180-190/70-80 je u rasponu od 6 do 20 cm, a pukotinska ispuna je meka debljine

do 5 mm. Pukotine su neznatno hrapave, umjereno rastrošene i duljine od 3 do 10 m. Pukotinski sustav orijentacije 350-10/70-80 je duljine od 3 do 10 m, a razmaci variraju u rasponu od 20 do 60 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom do 5 mm, neznatno su hrapavi i umjereno rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 130/60-70 je u rasponu od 6 do 20 cm, a pukotinska ispuna je meka debljine veće od 5 mm. Pukotine su skliske, jako rastrošene i duljine od 10 do 20 m.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 39 za sustav slojevitosti orijentacije 305-310/40, 37 bodova za pukotinski set orijentacije 180-190/70-80, 39 bodova za set orijentacije 350-10/70-80 i 35 bodova za set orijentacije 130/60-70 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za IV. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 13.

7.8.2. Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+132,00

Na slici 7-34 je prikazano čelo iskopa na stacionaži 35+132,00 izgrađeno od vapnenačkih blokova samaca koji su kaotično raspoređeni u glinenom matriksu. Azimut čela iznosi 267°, a visina nadsloja je oko 100 m.



Slika 7-34. Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+132,00

Zbog specifične situacije na čelu iskopa gdje se vapnenački blokovi samci nalaze u glinenom matriksu nije moguće provesti RMR klasifikaciju koja se isključivo primjenjuje pri klasifikaciji stijenske mase. Vapnenački blokovi nemaju međusobnu potporu, odnosno ne dodiruju se te je zbog toga moguće ispadanje blokova samaca. Iskop se izvodi u V. kategoriji stijenske mase.

7.8.3. Iskop u vapnencu donje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+115,00

Na slici 7-35 prikazano je čelo iskopa na stacionaži 35+115,00 izgrađeno od vapnenaca tamno sive boje (V, K₁). Azimut čela iznosi 268°, a visina nadsloja je oko 114 m. Na čelu iskopa izmjerena su četiri pukotinska sustava. Sustav slojevitosti orijentacije 305-310/40 ima pružanje okomito na tunelsku os, a nagib je u smjeru iskopa pod kutom manjim od 45° pa s toga faktor korekcije iznosi - 2 boda. Vertikalni pukotinski sustavi orijentacije 200-205/70-75 i 350-10/70-80 imaju pružanje približno paralelno s tunelskom osi, a zbog vrlo nepovoljne orijentacije gdje je nagib veći od 45° faktor korekcije iznosi - 12 bodova. Okomiti pukotinski sustav orijentacije 140/55 čiji je nagib suprotan od smjera iskopa pod kutom većim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 5 bodova.



Slika 7-35. Iskop u vapnencu donje krede III. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+115,00

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 100 do 250 MPa, RQD je u rasponu od 75 do 90 %, a voda na čelu nije zabilježena. Sustav slojevitosti orijentacije 305-310/40 je duljine od 3 do 10 m, a razmaci variraju u rasponu od 6 do 20 cm. Diskontinuiteti imaju meku ispunu debljine veće od 5 mm, neznatno su hrapavi i umjereno rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 200-205/70-75 je u rasponu od 20 do 60 cm, a pukotinska ispuna je meka debljine veće od 5 mm. Pukotine su neznatno hrapave, jako rastrošene i duljine od 3 do 10 m. Pukotinski sustav orijentacije 350-10/70-80 je duljine od 3 do 10 m, a razmaci variraju u rasponu od 20 do 60 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom do 5 mm, neznatno su hrapavi i umjereno rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 140/55 je u rasponu od 6 do 20 cm, a pukotinska ispuna je meka debljine do 5 mm. Pukotine su glatke, umjereno rastrošene i duljine od 3 do 20 m.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 58 za sustav slojevitosti orijentacije 305-310/40, 48 bodova za pukotinski set orijentacije 200-205/70-75, 53 boda za set orijentacije 350-10/70-80 i 56 bodova za set orijentacije 140/55 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za III. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 14.

7.8.4. Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na stacionaži 35+087,50

Na čelu iskopa na stacionaži 35+087,50 prikazana je u donjem dijelu tamno siva vapnenačka stijenska masa (V, K₁), a gornju polovicu čela, lijevo rame i dio kalote zauzima prekonsolidirana glina smeđe boje, unutar koje se javlja nepravilno gnijezdo tamnosive gline što je prikazano na slici 7-36. Azimut čela iznosi 268°, a visina nadsloja je oko 124 m. Na čelu iskopa izmjerena su četiri pukotinska sustava. Vertikalni pukotinski sustavi orijentacije 320/60 i 155-160/60-70 imaju pružanje približno paralelno s tunelskom osi, a zbog vrlo nepovoljne orijentacije gdje je nagib veći od 45° faktor korekcije iznosi - 12 bodova. Prisutna su i dva okomita pukotinska sustava. Okomiti pukotinski sustav orijentacije 125/20-30 čiji je nagib suprotan od smjera iskopa pod kutom manjim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 10 bodova. Sustav orijentacije 215/40 čije je pružanje okomito na tunelsku os u smjeru iskopa pod kutom manjim od 45° ima faktor korekcije koji iznosi - 2 boda.



Slika 7-36. Iskop u vapnencu donje krede V. kategorije stijenske mase na st. 35+087,50

Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je manja od 25 MPa, RQD je manji od 25 %, a čelo je vlažno. Pukotinski sustav orijentacije 320/60 je duljine od 10 do 20 m, a razmaci variraju u rasponu od 20 do 60 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom debljine veće od 5 mm, glatki su i potpuno rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 155-160/60-70 je u rasponu od 20 do 60 cm, a duljine su od 10 do 20 m. Pukotine su ispunjene mekom ispunom debljine veće od 5 mm, neznatno su hrapave i umjereno rastrošene. Okomiti pukotinski sustav orijentacije 125/20-30 je duljine od 10 do 20 m, a razmaci su u rasponu od 20 do 60 cm. Diskontinuiteti su ispunjeni mekom ispunom debljine veće od 5 mm, glatki su i jako rastrošeni. Razmak između diskontinuiteta orijentacije 215/40 je u rasponu od 20 do 60 cm, pukotine su ispunjene mekom ispunom debljine veće od 5 mm, neznatno su hrapave, umjereno rastrošene i duljine od 10 do 20 m.

Bodovi dobiveni na temelju RMR klasifikacije su 13 za pukotinski set orijentacije 320/60, 18 bodova za pukotinski set orijentacije 155-160/60-70, 16 bodova za okomiti pukotinski set orijentacije 125/20-30 i 28 bodova za set orijentacije 215/40 pa se prema tome primjenjuje tehnologija iskopa za V. kategoriju stijenske mase. Obrazac za RMR klasifikaciju prikazan je u prilogu 15.

8. DISKUSIJA

Zadatak inženjerskog geologa u tunelu je da prati iskop, provodi kategorizaciju stijenske mase, procjenjuje moguću opasnost i bilježi lokacije nepovoljnih geoloških struktura i drugih prirodnih opasnosti. Tijekom kartiranja stijenske mase u tunelu, najčešće se bilježe tri seta pukotina koja najnepovoljnije utječu na iskop. Također, gleda se međusobni utjecaj setova diskontinuiteta te mogu li mogu formirati klinove, geološke odvale, izdvojene blokove, prevrtanja itd.

Za kategorizaciju vapnenaca korištena je RMR klasifikacija, dok je za kategorizaciju lapora korištena Q klasifikacija. RMR klasifikacija primjenjuje se isključivo pri kategorizaciji stijena. Lapor se definira kao sedimenta stijena, ali ovisno o udjelu kalcita i gline razlikuju se kalcitom bogati lapori i glinom bogati lapori. Ukoliko stijena sadrži manje od 20 % gline, naziva se kalcitom bogati lapor, a ukoliko je u stijeni prisutno više od 80 % gline, stijena se naziva glinom bogati lapor. Na uzorku lapora iz tunela napravljeno je petrografsko ispitivanje te je dobiveno da lapor sadrži 30 % kalcita, 25 % praha i 45 % glinenog matriksa. U Q klasifikaciji prilikom kategorizacije lapora, bitni su parametri indeks alteracija pukotina i faktor redukcije naprezanja, SFR .

Prilikom iskopa tunela može se naići na vrlo nepovoljne situacije kao što su pojava kaverni, lapor u cijelom profilu iskopa, pojava dvije različite stijenske mase na čelu iskopa s različitim karakteristikama, dotok vode, slojevitost orijentacije suprotno od smjera iskopa pod malim nagibom, vertikalni pukotinski setovi, geološke odvale i urušavanje kalote. Speleološki objekti koji se dominantno javljaju u vapnenačkim stijenama predstavljaju jednu od najnepovoljnijih geoloških pojava koja se može uočiti tijekom iskopa. Zbog izuzetno loših karakteristika stijenske mase, nije potrebno provesti RMR klasifikaciju već se iskop u tim slučajevima uvijek izvodi u V. kategoriji stijenske mase.

Lapor se prema Q klasifikaciji, klasificira kao iznimno loša stijenska masa, a računanjem vrijednosti RMR-a iz Q klasifikacije dobiva se da stijena spada u V. kategoriju stijenske mase. Zbog male jednoosne tlačne čvrstoće lapora koja iznosi od 10 – 30 MPa i velikog nadsloja od 590 m, stijena je podložna deformiranju. Veliki nadsloj vrši pritisak na stijenu, a njezina čvrstoća nije dovoljno velika da podnese opterećenje bez vidljivih promjena. Lapor se nalazi pod tlakom zbog velikog naprezanja zbog čega se nakon miniranja otvara korak iskopa i dolazi do relaksacije. Kao posljedica toga, pojavljuju se učestale pojave geoloških

odvala koje se najčešće događaju po plohama slojevitosti. Atmosferilije nepovoljno utječu na lapor te ga treba izolirati od njihova utjecaja. Ukoliko je prisutan veliki udio gline u laporu, stijena će u dodiru s vodom bubriti, a u dodiru sa zrakom, lako se mrviti i lomiti. Bitno svojstvo lapora je mali razmak između prslina što utječe na postojanost i ukazuje na to da stijena nije kompaktna te se lako lomi.

Dvije različite stijenske mase na čelu iskopa s različitim karakteristikama također nepovoljno utječu na stabilnost. Na granici između dvije stijenske mase moguća je pojava vode. Vapnenačke stijene spadaju u propusne materijale, za razliku od lapora koji spada u nepropusne. Kao posljedica toga, voda se zadržava na granici vapnenačke stijene i lapora.

Dotok vode u tunelu jedna je od nepovoljnijih pojava te jako utječe na daljnji napredak i rad. Voda u dodiru s glinom ili laporom koji je bogat glinom može izazvati bubrenje, u vapnencima ima značajan utjecaj na okršavanje i stvaranje speleoloških pojava. Ukoliko je prisutan veliki dotok vode, sanacija će biti otežana.

Duž trase tunela izdvojeno je 26 geotehničkih jedinica na osnovi kombinacije sedam tipova strukturnih blokova i sedam tipova litostratigrafskih jedinica. U ove jedinice ubrajaju se i kontakti između različitih stijenskih masa dok se u geotehničkom projektu kontakti ne spominju i ne smatraju zasebnim geotehničkim jedinicama. U ovom diplomskom radu detaljno je obrađeno osam geotehničkih jedinica, a odabrane su na način da su s njima obuhvaćeni svi tipovi strukturnih blokova i litostratigrafskih jedinica.

Na temelju određene kategorije stijenske mase, definira se koliki će biti napredak iskopa prilikom jednog miniranja. Što je stijenske masa boljih karakteristika odnosno što je kategorija manja, to će dužina napretka biti veća. U II. kategoriji stijenske mase dužina napretka iznosi od 5,5 – 5 m, u III. kategoriji je napredak od 4 – 3 m, u IV. kategoriji je od 1,5 – 3 m i u V. kategoriji napredak je od 1,5 – 1 m.

9. ZAKLJUČAK

Tijekom iskopa tunela Učka koji je trajao dvije godine i tri mjeseca, svakodnevno su bilježene karakteristike stijenske mase, određivana je tunelska podgrada te je izrađivan uzdužni inženjerskogeološki profil. U ovom diplomskom radu prikazan je posao inženjerskog geologa pri iskopu tunela, zajedno s korištenim klasifikacijskim sustavima za kategorizaciju stijenske mase prilikom kartiranja stijenske mase. Također su detaljno opisani svi tipovi litoloških jedinica i strukturno-geoloških jedinica (tzv. strukturni blokovi) te kategorije stijenske mase koje su dominantne za određene geotehničke jedinice.

Inženjerski geolog u tunelu obavlja posao koji je iznimno odgovoran, a pri tome je i vrlo opasan. Nakon miniranja čela, geolog dolazi na čelo iskopa te kartira stijensku masu i određuje kategoriju stijenske mase na temelju koje projektant - inženjer geotehnike određuje tunelsku podgradu. U vrlo kratkom vremenu od 10 do 15 minuta, potrebno je zabilježiti stacionažu i azimut čela iskopa, korak iskopa izražen u metrima, najvažnije karakteristike stijenske mase, izmjeriti slojevitost i diskontinuitete, odrediti sve što bi moglo utjecati na daljnji iskop te vrlo dobro fotografirati čelo iskopa. Svakodnevno je potrebno pratiti iskop, određivati kategoriju stijenske mase primjenom RMR ili Q klasifikacije te crtati uzdužni inženjerskogeološki profil.

Na uzdužnom inženjerskogeološkom profilu prikazani su dominantni setovipvo slojevitosti i diskontinuiteta, pojave vode, speleološke pojave, rasjedne zone, boranje, pojava gline ili kršja te sve što bi moglo utjecati na stabilnost čela iskopa. Također, na profilu su naznačene stacionaže, azimut i smjer iskopa, kategorije stijenske mase i legenda.

Na temelju praćenja podzemnog iskopa i određivanja kategorija stijenske mase može se zaključiti koje su kategorije stijenske mase karakteristične za pojedine vrste stijena. U pločastim vapnencima iskop se izvodio u IV i V. kategoriji, dok se u foraminiferskim vapnencima dominantno izvodio u III. kategoriji (81 %). Za rudistne vapnence karakteristična je stijenska masa vrlo dobrih karakteristika te se s toga iskop izvodio u II. kategoriji, ali zbog pojave speleoloških pojava koji su vrlo učestali u rudistnim vapnencima zabilježena je i V. kategorija. U vapnencima donje krede iskop se izvodio u III. (51%), IV. (21%) i V. (28) kategoriji stijenske mase, a u laporima fliša iskop se izvodio samo u V. kategoriji stijenske mase.

10. LITERATURA

ANON, 2009. *Geotehničko inženjerstvo, Predavanje 5., Klasifikacije stijenske mase*. PowerPoint prezentacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

ANON, 2009. *Geotehničko inženjerstvo, Predavanje 13., Tunelogradnja*. PowerPoint prezentacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

ARBANAS, Ž. 2004. Doktorski rad. *Predviđanje ponašanja ojačane stijenske mase analizama rezultata mjerenja izvedenih građevina*. Zagreb: Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu.

BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. 1974. *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. Rock Mech. Felsmechanik Mécanique des Roches

BIENIAWSKI, Z. T. 1979. *The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications*.

BIENIAWSKI Z. T. 1984. *Rock mechanics design in mining and tunneling*, A.A. Balkema, Rotterdam/Boston.

BIENIAWSKI, Z. T. 1989. *Engineering rock mass classification: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*.

DUGONJIĆ JOVANČEVIĆ, S. 2015. *Skripta Inženjerska mehanika stijena*. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet.

HERAK, M. 2023. *Karte potresnih područja Republike Hrvatske*. URL: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php> (06.06.203.)

HOEK, E. 1994. *Strength of rock and rock masses*. ISRM News Journal, Springer, 2 (2), 4 16, Heidelberg.

HOEK, E. 2006. *Practical rock engineering*. Canada V7R 4H7.

ILIJAS, L. 2018. *Nova austrijska tunelska metoda, NATM*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.

ISRM, 1978. *Commission on standardization of laboratory and field tests Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract*.

- KRKAČ, M. 2022. *Inženjerska geologija, Stijenska masa*. PowerPoint prezentacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- LAUBSCHER, D. H. 1977. *Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses – Mining Applications. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*.
- LUKAČIĆ, H. 2020. *Inženjerskogeološko kartiranje stijenske mase na zasjeku Špičunak (Gorski kotar) primjenom daljinskih istraživanja*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- MEJRUŠIĆ, V. 2020. *Strukturalna građa područja Parka prirode Učka*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- MIHALIĆ ARBANAS, S., BERNAT, S. 2015. *Interna skripta iz kolegija Inženjerska geologija II*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- MIHALIĆ ARBANAS, S. 2022. *Inženjerska geologija II, Primjena inženjerskogeoloških istraživanja I. dio*. PowerPoint prezentacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M. 2022. *Inženjerska geologija, Primjena inženjerskogeoloških istraživanja u gradnji*. PowerPoint prezentacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- MIŠČEVIĆ, P. 2004. *Uvod u inženjersku mehaniku stijena*. Split: Sveučilišta u Splitu, Građevinsko – arhitektonski fakultet, Matice hrvatske 15.
- POLLAK, D. 2007. *Utjecaj trošenja karbonatnih stijenskih masa na njihova inženjerskogeološka svojstva*. Disertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- SINGH, B., GOEL, RK. 2011. *Engineering rock mass classification*. Mjesto izdavanja: Butterworh-Heinemann.
- STOJKOVIĆ, B. 1991. *Stabilizacija podzemnih iskopa u tunelogradnji – empirijski pristup*. Znanstveni projekt. Zagreb: Institut građevinarstva hrvatske, 2-11-098.
- ŠARIĆ, D., UŽAREVIĆ, D. (2013): *Geotehnički projekt tunela Učka*. Glavni projekt. Zagreb: Institut građevinarstva hrvatske, 1-1303/12.

ŠIKIĆ, D., POLŠAK, A. & MAGAŠ, N. (1969): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Labin, L 33-101*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. (1973): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Labin, L 33-101*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, D., POLŠAK, A. & MAGAŠ, N. (1973): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Ilirska Bistrica, L 33–89*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. (1975): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Ilirska Bistrica, L 33–89*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

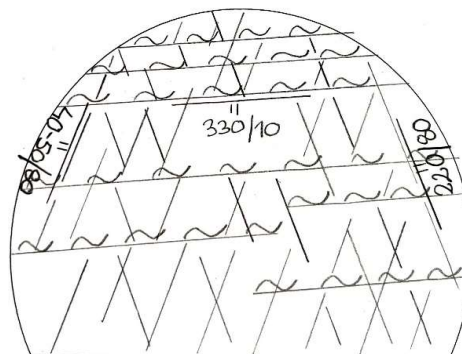
TIŠLJAR, J. 1994. *Sedimentne stijene*. Zagreb: Školska knjiga.

TOMLJENović, B. 2020. *Strukturalna geologija, Stereografska projekcija*. PowerPoint prezentacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

VRKLJAN, I. 2003. *Podzemne građevine i tuneli*. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet.

VRKLJAN, I. 2013. *Inženjerska mehanika stijena*. Zagreb: Institut građevinarstva Hrvatske.

Datum: 21.03.2022.
Portal: istarski
Stacionaža: 30+612,00
Azimut čela: 113°



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima bijelo do sivo smeđi pločasti vapnenac (V_{pl}, Pc, E).
Stijenska masa je raspucana i uslojena. Pukotinska ispuna između uslojenih ploha 330/10 (pružanje okomito na tunelsku os, nagib suprotan od smjera iskopa) je glinovita i vlažna s primjesama ugljene tvari (tvar crne boje, ostavlja mastan trag na rukama). Izraženi su vertikalni sustavi pukotina (pružanje približno paralelno s tunelskom osi) 40-50/80 i 200-220/70-80.
Od st. 30+608 iskop se izvodi u IV ktg. stijenske mase.
Visina nadsloja je oko 129 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA	
sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	330/10
2	40-50/80
3	200-220/70-80
ostalo	

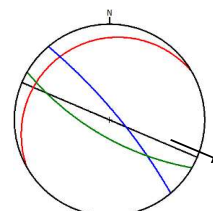
RAZMAK diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15					
20 - 60 cm	10	X				
6 - 20 cm	8		X	X		
< 6 cm	5					
BODOVI:		10	8	8		

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0					
povoljno	-2					
dobro	-5	X				
nepovoljno	-10					
vrlo nepovoljno	-12		X	X		
BODOVI:		-5	-12	-12		

ČVRSTOĆA (MPa) jednoosna tlačna		1	2	3	4	5
> 250	15					
100 - 250	12					
50 - 100	7	X				
25 - 50	4					
< 25	0-2					
BODOVI:		7				

RQD (%)		1	2	3	4	5
90 - 100	20					
75 - 90	17					
50 - 75	13					
25 - 50	8				X	
< 25	3					
BODOVI:					8	

VODA priliv (l/min) stanje		1	2	3	4	5
nikakav	suho	15				
< 10	vlažno	10	X			
10 - 25	mokro	7				
25 - 125	kapanje	4				
> 125	tečenje	0				
BODOVI:		10				



ZIJEV (mm) diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6					
< 0.1	5					
0.1 - 1	4					
1 - 5	1		X	X		
> 5	0	X				

ISPUNA diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6					
tvrdi <5mm	4					
tvrdi >5mm	2					
meka <5mm	2		X	X		
meka >5mm	0	X				

HRAPAVOST diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6					
hrapave	5					
nezatno hrapave	3		X	X		
glatke	1	X				
skliske	0					

RASTROŠENOST stijenki diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6					
nezatno	5					
umjereno	3		X	X		
jako	1	X				
potpuno	0					

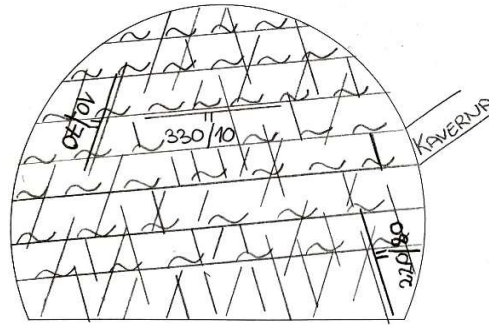
DULJINA (m) diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6					
1 - 3	4		X	X		
3 - 10	2					
10 - 20	1					
> 20	0	X				

UKUPAN ZBROJ BODOVA:					
RMR	32	34	34		
GSI	37	46	46		

STANJE DISKONTINUITETA		1	2	3	4	5
BODOVI:		2	13	13		

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: **09.04.2022.**
Portal: **istarski**
Stacionaža: **30+667,50**
Azimut čela: **111°**



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima bijelo do sivo smeđi pločasti vapnenac (V_{pl}, Pc, E).
Stijenska masa je rastrošena, raspucana i uslojena. Pukotinska ispunna između uslojenih ploha 330/10-15 (pružanje okomito na tunelsku os, nagib suprotan od smjera iskopa) je glinovita i vlažna s primjesama ugljene tvari (tvar crne boje, ostavlja mastan trag na rukama) debljine do 10 cm. Izraženi su vertikalni sustavi pukotina (pružanje približno paralelno s tunelskom osi) 10/70-80 i 200-220/70-80. U desnom boku u otvorena je kaverna - desnu stopu zauzima potpuno rastrošena stijenska masa s debelim prosljecima gline.
Od st. 30+663,00 iskop se izvodi u V kategoriji stijenske mase.
Visina nadsloja je oko 146 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA	
sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	330/10-15
2	10/70-80
3	200-220/70-80
ostalo	

RAZMAK diskontinuiteta	1	2	3	4	5
> 2 m	20				
60 cm - 2 m	15				
20 - 60 cm	10	X			
6 - 20 cm	8		X	X	
< 6 cm	5				
BODOVI:	10	8	8		

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta	1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0				
povoljno	-2				
dobro	-5	X			
nepovoljno	-10				
vrlo nepovoljno	-12		X	X	
BODOVI:	-5	-12	-12		

ČVRSTOĆA (MPa) jednoosna tlačna	RQD (%)
> 250	15
100 - 250	12
50 - 100	7
25 - 50	4
< 25	0-2
BODOVI:	0
90 - 100	20
75 - 90	17
50 - 75	13
25 - 50	8
< 25	3
BODOVI:	3

VODA priliv (l/min) stanje	1	2	3	4	5
nikakav suho	15				
< 10 vlažno	10	X			
10 - 25 mokro	7				
25 - 125 kapanje	4				
> 125 tečenje	0				
BODOVI:	10				

ZIJEV (mm) diskontinuiteta	1	2	3	4	5
zatvorene	6				
< 0.1	5				
0.1 - 1	4				
1 - 5	1		X	X	
> 5	0	X			

ISPUNA diskontinuiteta	1	2	3	4	5
bez	6				
tvrdra <5mm	4				
tvrdra >5mm	2				
meka <5mm	2		X	X	
meka >5mm	0	X			

HRAPAVOST diskontinuiteta	1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6				
hrapave	5				
nezatno hrapave	3				
glatke	1	X	X	X	
skliske	0				

RASTROŠENOST stijenki diskontinuiteta	1	2	3	4	5
nerastrošene	6				
nezatno	5				
umjereno	3				
jako	1				
potpuno	0	X	X	X	

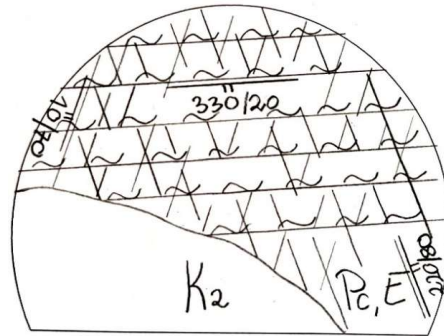
DULJINA (m) diskontinuiteta	1	2	3	4	5
< 1	6		X	X	
1 - 3	4				
3 - 10	2				
10 - 20	1				
> 20	0	X			

UKUPAN ZBROJ BODOVA:					
RMR	19	19	19		
GSI	24	31	31		

STANJE DISKONTINUITETA	1	2	3	4	5
BODOVI:	1	10	10		

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: 21.04.2022.
Portal: istarski
Stacionaža: 30+681,00
Azimut čela: 110°



Opis stijenske mase:
Veći dio čela iskopa zauzima bijelo do sivo smeđi pločasti vapnenac (V_{pl}, Pc, E).
U donjoj lijevoj polovici čela iskopa pojavljuje se stijenska masa bijele boje u kojoj se ne prepoznaje slojevitost - rudisti vapnenac gornje krede (V_{rud}, K₂)
Pukotinska ispunja između uslojenih ploha 330/20 (pružanje okomito na tunelsku os, nagib suprotan od smjera iskopa) je glinovita, debljine do 5 mm.
Izraženi su vertikalni sustavi pukotina (pružanje približno paralelno s tunelskom osi) 10/70-80 i 200-220/75-80.
Od st. 30+679 iskop se izvodi u III kategoriji stijenske mase.
Visina nadsloja je oko 148 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	330/20
2	10/70-80
3	200-220/75-80
ostalo	

RAZMAK
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
> 2 m	20				
60 cm - 2 m	15				
20 - 60 cm	10	X			
6 - 20 cm	8		X	X	
< 6 cm	5				
BODOVI:	10	8	8		

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0				
povoljno	-2				
dobro	-5				
nepovoljno	-10	X			
vrlo nepovoljno	-12		X	X	
BODOVI:	-10	-12	-12		

ČVRSTOĆA (MPa)
jednoosna tlačna

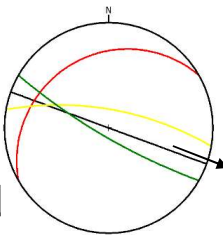
> 250	15	
100 - 250	12	
50 - 100	7	X
25 - 50	4	
< 25	0-2	
BODOVI:	7	

RQD (%)

90 - 100	20	
75 - 90	17	
50 - 75	13	X
25 - 50	8	
< 25	3	
BODOVI:	13	

VODA
priliv (l/min) stanje

nikakav	suho	15	X
< 10	vlažno	10	
10 - 25	mokro	7	
25 - 125	kapanje	4	
> 125	tečenje	0	
BODOVI:	15		



ZIJEV (mm)
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
zatvorene	6				
< 0.1	5				
0.1 - 1	4				
1 - 5	1	X	X	X	
> 5	0				

ISPUNA
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
bez	6				
tvrdi <5mm	4				
tvrdi >5mm	2				
meka <5mm	2	X	X	X	
meka >5mm	0				

HRAPAVOST
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6				
hrapave	5		X	X	
nezatno hrapave	3	X			
glatke	1				
skliske	0				

RASTROŠENOST
stijeni diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
nerastrošene	6				
nezatno	5				
umjereno	3	X	X	X	
jako	1				
potpuno	0				

DULJINA (m)
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
< 1	6		X	X	
1 - 3	4				
3 - 10	2				
10 - 20	1				
> 20	0	X			

UKUPAN ZBROJ BODOVA:

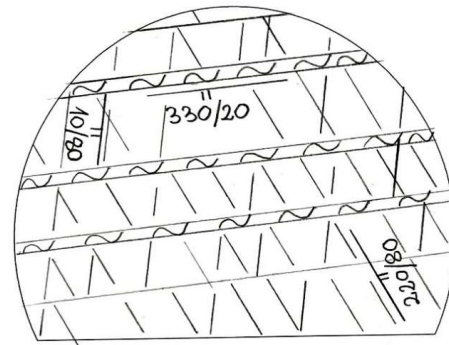
RMR	44	48	48		
GSI	49	55	55		

STANJE DISKONTINUITETA

	1	2	3	4	5
BODOVI:	9	17	17		

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: 29.04.2022.
Portal: istarski
Stacionaža: 30+712,00
Azimut čela: 109°



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima bijelo do sivo smeđi pločasti vapnenac (V_{pl} , Pc, E). Rudistični vapnenac gornje krede (V_{rud} , K_g) izostaje s čela iskopa.
Dominantna je slojevitost orijentacije 330/20 (pružanja okomito na tunelsku os, nagiba suprotno od smjera iskopa), a pukotinska ispuna između uslojenih ploha je debljine veće od 5 mm.
Kategorizacija se odnosi na korak iskopa od st. 30+710,00 do st. 30+712,00.
Visina nadsloja je oko 155 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	330/20
2	10/80
3	200-220/75-80
ostalo	

RAZMAK
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
> 2 m	20				
60 cm - 2 m	15	X			
20 - 60 cm	10				
6 - 20 cm	8		X	X	
< 6 cm	5				
BODOVI:	15	8	8		

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0				
povoljno	-2				
dobro	-5				
nepovoljno	-10	X			
vrlo nepovoljno	-12		X	X	
BODOVI:	-10	-12	-12		

ČVRSTOĆA (MPa)
jednoosna tlačna

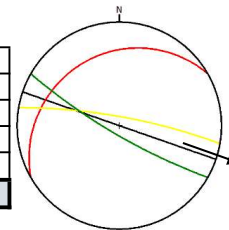
	1	2	3	4	5
> 250	15				
100 - 250	12				
50 - 100	7	X			
25 - 50	4				
< 25	0-2				
BODOVI:	7				

RQD (%)

	1	2	3	4	5
90 - 100	20				
75 - 90	17				
50 - 75	13		X		
25 - 50	8				
< 25	3				
BODOVI:	13				

VODA
priliv (l/min) stanje

	1	2	3	4	5
nikakav	15	X			
< 10	10				
10 - 25	7				
25 - 125	4				
> 125	0				
BODOVI:	15				



ZIJEV (mm)
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
zatvorene	6				
< 0.1	5				
0.1 - 1	4				
1 - 5	1		X	X	
> 5	0	X			

ISPUNA
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
bez	6				
tvrdi <5mm	4				
tvrdi >5mm	2				
meka <5mm	2		X	X	
meka >5mm	0	X			

HRAPAVOST
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6				
hrapave	5				
nezatno hrapave	3		X	X	
glatke	1	X			
skliske	0				

RASTROŠENOST
stijeni diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
nerastrošene	6				
nezatno	5				
umjereno	3		X	X	
jako	1	X			
potpuno	0				

DULJINA (m)
diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
< 1	6				
1 - 3	4		X	X	
3 - 10	2				
10 - 20	1				
> 20	0	X			

UKUPAN ZBROJ BODOVA:

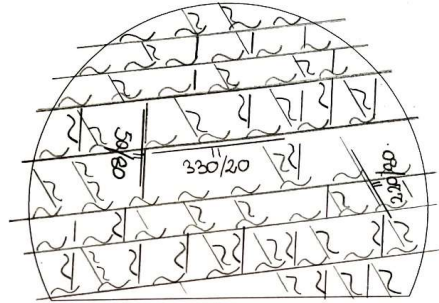
RMR	42	44	44		
GSI	47	51	51		

STANJE DISKONTINUITETA

	1	2	3	4	5
BODOVI:	2	13	13		

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: **01.05.2022.**
Portal: **istarski**
Stacionaža: **30+718,00**
Azimut čela: **109°**



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima bijeli do sivo smeđi pločasti vapnenac (V_{pl} , Pc, E). Rudistni vapnenac gornje krede (V_{rud} , K₂) izostaje s čela iskopa.
U kaloti su vidljive glatke plohe orijentacije 330/20 (pružanje okomito na tunelsku os, nagib suprotan od smjera iskopa) s izraženom glinovito ispunom. Vertikalni pukotinski sustavi obilježeni su malim razmacima i glinovitom ispunom.
Od st. 30+716,00 iskop se izvodi u IV kategoriji stijenske mase.
Visina nadsloja je oko 156 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA	
sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	330/20
2	40-50/80
3	200-220/75-80
ostalo	

RAZMAK diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15	X				
20 - 60 cm	10					
6 - 20 cm	8		X	X		
< 6 cm	5					
BODOVI:		15	8	8		

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0					
povoljno	-2					
dobro	-5					
nepovoljno	-10	X				
vrlo nepovoljno	-12		X	X		
BODOVI:		-10	-12	-12		

ČVRSTOĆA (MPa) jednoosna tlačna		RQD (%)	
> 250	15	90 - 100	20
100 - 250	12	75 - 90	17
50 - 100	7	50 - 75	13
25 - 50	4	25 - 50	8
< 25	0-2	< 25	3
BODOVI:	4	BODOVI:	3

VODA priliv (l/min) stanje			
nikakav	suho	15	X
< 10	vlažno	10	
10 - 25	mokro	7	
25 - 125	kapanje	4	
> 125	tečenje	0	
BODOVI:		15	

ZIJEV (mm) diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6					
< 0.1	5					
0.1 - 1	4					
1 - 5	1					
> 5	0	X	X	X		

ISPUNA diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6					
tvrdi <5mm	4					
tvrdi >5mm	2					
meka <5mm	2					
meka >5mm	0	X	X	X		

HRAPAVOST diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6					
hrapave	5					
nezatno hrapave	3		X	X		
glatke	1	X				
skliske	0					

RASTROŠENOST stijenki diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6					
nezatno	5					
umjereno	3		X	X		
jako	1	X				
potpuno	0					

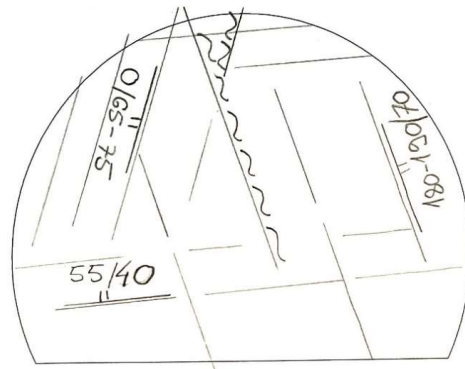
DULJINA (m) diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6					
1 - 3	4		X	X		
3 - 10	2					
10 - 20	1					
> 20	0	X				

UKUPAN ZBROJ BODOVA:		1	2	3	4	5
RMR		29	28	28		
GSI		34	35	35		

STANJE DISKONTINUITETA		1	2	3	4	5
BODOVI:		2	10	10		

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: 08.08.2022.
Portal: istarski
Stacionaža: 31+094,00
Azimut čela: 91°



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima bijeli rudistni vapnenac gornje krede (V_{rud} , K_2).
U kaloti je vidljivo isklinjavanje kaverne koja je nastala po sustavima pukotina 180-190/70 i 0/65-75, a između pethodno spomenutih sustava nalazi se glinovita ispuna.
Od st. 31+092,50 iskop se izvodi u III. ktg. stijenske mase.
Visina nadsloja je oko 195 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	180-190/70
2	0/65-75
3	55/40
ostalo	

RAZMAK

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15					
20 - 60 cm	10	X	X	X		
6 - 20 cm	8					
< 6 cm	5					
BODOVI:		10	10	10		

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta

		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0					
povoljno	-2			X		
dobro	-5					
nepovoljno	-10					
vrlo nepovoljno	-12	X	X			
BODOVI:		-12	-12	-2		

ČVRSTOĆA (MPa)

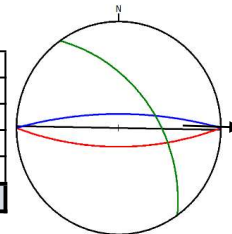
jednoosna tlačna		
> 250	15	
100 - 250	12	X
50 - 100	7	
25 - 50	4	
< 25	0-2	
BODOVI:		12

RQD (%)

90 - 100	20	
75 - 90	17	
50 - 75	13	X
25 - 50	8	
< 25	3	
BODOVI:		13

VODA

priliv (l/min)	stanje	
nikakav	suho	15
< 10	vlažno	10
10 - 25	mokro	7
25 - 125	kapanje	4
> 125	tečenje	0
BODOVI:		15



ZIJEV (mm)

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6					
< 0.1	5					
0.1 - 1	4					
1 - 5	1		X	X		
> 5	0	X				

ISPUNA

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6					
tvrdra <5mm	4					
tvrdra >5mm	2					
meka <5mm	2		X	X		
meka >5mm	0	X				

HRAPAVOST

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6					
hrapave	5		X			
nezatno hrapave	3	X		X		
glatke	1					
skliske	0					

RASTROŠENOST

stijeni diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6					
nezatno	5					
umjereno	3		X	X		
jako	1	X				
potpuno	0					

DULJINA (m)

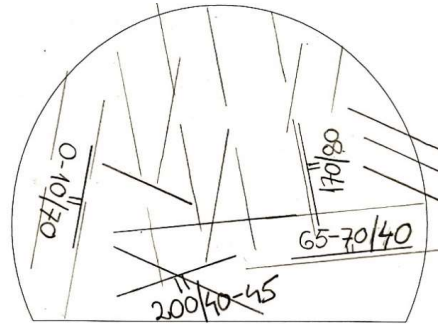
diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6					
1 - 3	4					
3 - 10	2		X	X		
10 - 20	1	X				
> 20	0					

UKUPAN ZBROJ BODOVA:

RMR	43	51	59		
GSI	50	58	56		

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: 19.08.2022.
Portal: istarski
Stacionaža: 31+158,00
Azimut čela: 89°



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima bijeli rudistni vapnenenac gornje krede (V_{rud} , K_2).
Stijenska masa je zdrava, nerastrošena i bez ispune. Duljine diskontinuiteta su dominantno oko 3 m, dok je sustav 65-70/40 dužine i do 10 m.
Kategorizacija se odnosi na korak iskopa od st. 31+139,00 do st. 31+158,00.
Visina nadsloja je oko 215 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA	
sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	170/80
2	0-10/70
3	65-70/40
4	200/40-45
ostalo	

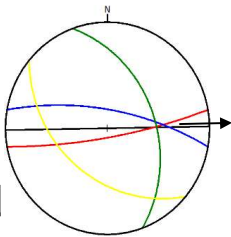
RAZMAK diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15		X			
20 - 60 cm	10					
6 - 20 cm	8	X		X	X	
< 6 cm	5					
BODOVI:		8	15	8	8	

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0					
povoljno	-2			X		
dobro	-5				X	
nepovoljno	-10					
vrlo nepovoljno	-12	X	X			
BODOVI:		-12	-12	-2	-5	

ČVRSTOĆA (MPa) jednoosna tlačna		1	2	3	4	5
> 250	15					
100 - 250	12		X			
50 - 100	7					
25 - 50	4					
< 25	0-2					
BODOVI:		12				

RQD (%)		1	2	3	4	5
90 - 100	20					X
75 - 90	17					
50 - 75	13					
25 - 50	8					
< 25	3					
BODOVI:						20

VODA priliv (l/min) stanje		1	2	3	4	5
nikakav	suho	15	X			
< 10	vlažno	10				
10 - 25	mokro	7				
25 - 125	kapanje	4				
> 125	tečenje	0				
BODOVI:		15				



ZIJEV (mm) diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6	X	X	X	X	
< 0.1	5					
0.1 - 1	4					
1 - 5	1					
> 5	0					

ISPUNA diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6	X	X	X	X	
tvrdi <5mm	4					
tvrdi >5mm	2					
meka <5mm	2					
meka >5mm	0					

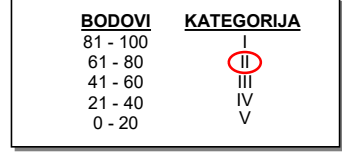
HRAPAVOST diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6	X	X	X	X	
hrapave	5					
neznatno hrapave	3					
glatke	1					
skliske	0					

RASTROŠENOST stjenki diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6	X	X	X	X	
neznatno	5					
umjereno	3					
jako	1					
potpuno	0					

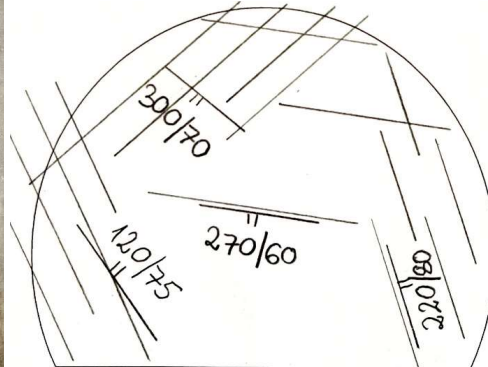
DULJINA (m) diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6		X		X	
1 - 3	4	X				
3 - 10	2			X		
10 - 20	1					
> 20	0					

UKUPAN ZBROJ BODOVA:				
RMR	71	80	79	80
GSI	78	87	76	80

STANJE DISKONTINUITETA		1	2	3	4	5
BODOVI:		28	30	26	30	



Datum: 03.08.2023.
Portal: istarski
Stacionaža: 33+006,50
Azimut čela: 84°



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima foraminiferski vapnenac ($V_{for, E_{1,2}}$).
Između svih izmjerenih diskontinuiteta razmak je u rasponu od 6 - 20 cm.
Kategorizacija se odnosi na korak iskopa od st. 33+003,50 do st. 33+006,50.
Visina nadsloja je oko 440 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	220/80
2	120-130/75-80
3	270/60-70
4	300-310/70
ostalo	

RAZMAK

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15					
20 - 60 cm	10					
6 - 20 cm	8	X	X	X	X	
< 6 cm	5					
BODOVI:		8	8	8	8	

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0		X			
povoljno	-2					
dobro	-5			X	X	
nepovoljno	-10					
vrlo nepovoljno	-12	X				
BODOVI:		-12	0	-5	-5	

ČVRSTOĆA (MPa)
jednoosna tlačna

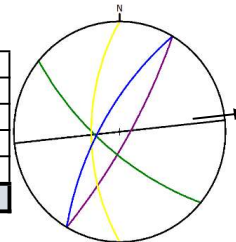
> 250	15	
100 - 250	12	X
50 - 100	7	
25 - 50	4	
< 25	0-2	
BODOVI:	12	

RQD (%)

90 - 100	20	
75 - 90	17	
50 - 75	13	X
25 - 50	8	
< 25	3	
BODOVI:	13	

VODA

priliv (l/min)	stanje	
nikakav	suho	15
< 10	vlažno	10
10 - 25	mokro	7
25 - 125	kapanje	4
> 125	tečenje	0
BODOVI:		15



ZIJEV (mm)
diskontinuiteta

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6					
< 0.1	5					
0.1 - 1	4	X		X		
1 - 5	1		X		X	
> 5	0					

ISPUNA

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6					
tvrdi <5mm	4					
tvrdi >5mm	2					
meka <5mm	2	X	X	X	X	
meka >5mm	0					

HRAPAVOST
diskontinuiteta

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6					
hrapave	5	X				
neznatno hrapave	3		X	X	X	
glatke	1					
skliske	0					

RASTROŠENOST
stijeni diskontinuiteta

stijeni diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6					
neznatno	5					
umjereno	3	X	X	X	X	
jako	1					
potpuno	0					

DULJINA (m)
diskontinuiteta

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6					
1 - 3	4	X		X		
3 - 10	2		X		X	
10 - 20	1					
> 20	0					

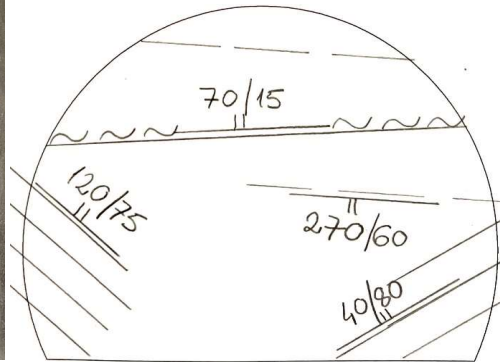
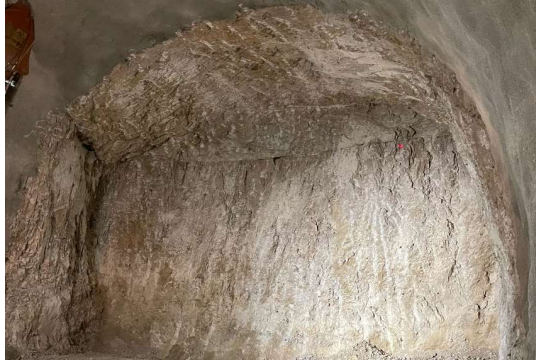
STANJE DISKONTINUITETA	1	2	3	4
BODOVI:	18	11	16	11

UKUPAN ZBROJ BODOVA:

RMR	54	59	59	54
GSI	61	54	59	54

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: 08.08.2023.
Portal: istarski
Stacionaža: 33+035,70
Azimut čela: 84°



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima foraminiferski vapnenac ($V_{for,E_{1,2}}$).
Na gornjoj polovici čela iskopa dominira pukotina 70/15-20 (pružanje okomito na tunelsku os, nagib u smjeru iskopa) - pukotina je glatka, a u desnom ramenu vidljiva je glinovita, bitumenizirana ispuna debljine do 5 mm. Formirana ploha je stabilna i ne utječe negativno na stabilnost čela iskopa. Ostali zabilježeni sustavi pukotina imaju tvrdi ispunu.
Slojevitost nije zabilježena.
Od st. 33+027,70 iskop se izvodi u II. ktg. stijenske mase.
Visina nadsloja je oko 427 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA	
sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	70/15-20
2	120-130/75-80
3	270/50
4	30-40/80
ostalo	

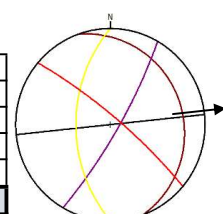
RAZMAK diskontinuiteta	1	2	3	4	5
> 2 m	20	X			
60 cm - 2 m	15				
20 - 60 cm	10		X	X	X
6 - 20 cm	8				
< 6 cm	5				
BODOVI:	20	10	10	10	

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta	1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0		X		X
povoljno	-2				
dobro	-5	X		X	
nepovoljno	-10				
vrlo nepovoljno	-12				
BODOVI:	-5	0	-5	0	

ČVRSTOĆA (MPa) jednoosna tlačna	1	2	3	4	5
> 250	15				
100 - 250	12	X			
50 - 100	7				
25 - 50	4				
< 25	0-2				
BODOVI:	12				

RQD (%)	1	2	3	4	5
90 - 100	20				X
75 - 90	17				
50 - 75	13				
25 - 50	8				
< 25	3				
BODOVI:	20				

VODA priliv (l/min) stanje	1	2	3	4	5
nikakav suho	15	X			
< 10 vlažno	10				
10 - 25 mokro	7				
25 - 125 kapanje	4				
> 125 tečenje	0				
BODOVI:	15				



ZIJEV (mm) diskontinuiteta	1	2	3	4	5
zatvorene	6				
< 0.1	5				
0.1 - 1	4		X	X	X
1 - 5	1	X			
> 5	0				

ISPUNA diskontinuiteta	1	2	3	4	5
bez	6				
tvrdi <5mm	4				
tvrdi >5mm	2				
meka <5mm	2	X	X	X	X
meka >5mm	0				

HRAPAVOST diskontinuiteta	1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6				
hrapave	5		X	X	X
neznatno hrapave	3				
glatke	1	X			
skliske	0				

RASTROŠENOST stijenki diskontinuiteta	1	2	3	4	5
nerastrošene	6				
neznatno	5		X	X	X
umjereno	3	X			
jako	1				
potpuno	0				

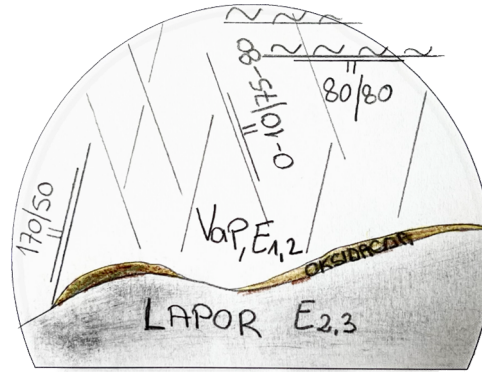
DULJINA (m) diskontinuiteta	1	2	3	4	5
< 1	6				
1 - 3	4		X		X
3 - 10	2			X	
10 - 20	1				
> 20	0	X			

UKUPAN ZBROJ BODOVA:					
RMR	69	77	70	77	
GSI	69	72	70	72	

STANJE DISKONTINUITETA	1	2	3	4	5
BODOVI:	7	20	18	20	

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: 02.03.2023.
Portal: kvarnerski
Stacionaža: 33+660,00
Azimut čela: 264°



Opis stijenske mase:

Čelo iskopa zauzima svijetlo smeđa vapnenačka stijenska masa - foraminiferski vapnenci donjeg i srednjeg eocena (E_{1,2}). Donju polovicu čela iskopa zauzima tamno sivi tanko uslojeni lapor iznad kojeg se pojavljuje tanka oksidirana zona gline smeđe do zelene boje. U situaciji kada 2/3 čela zauzima vapnenac, a 1/3 lapor kategorizira se samo vapnenac jer se on nalazi na gornjoj polovici čela, u kaloti i ramenima.
Lijevi bok i rame zauzima masivna vapnenačka stijenska masa, dok su u desnom ramenu izražene pukotine 80-90/80-85 (pružanje okomito na tunelsku os, nagib suprotan od smjera iskopa) s glinovitom ispunom debljine preko 10 cm.

Kategorizacija se odnosi na korak iskopa od st. 33+663,00 do st. 33+600,00.

Visina nadsloja je oko 474 m.

(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	170-180/45-50
2	0-10/75-80
3	80-90/80-85
ostalo	

RAZMAK

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15					
20 - 60 cm	10					
6 - 20 cm	8	X	X	X		
< 6 cm	5					
BODOVI:		8	8	8		

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0					
povoljno	-2					
dobro	-5			X		
nepovoljno	-10					
vrlo nepovoljno	-12	X	X			
BODOVI:		-12	-12	-5		

ČVRSTOĆA (MPa)
jednoosna tlačna

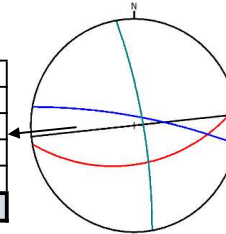
> 250	15	
100 - 250	12	
50 - 100	7	X
25 - 50	4	
< 25	0-2	
BODOVI:	7	

RQD (%)

90 - 100	20	
75 - 90	17	X
50 - 75	13	
25 - 50	8	
< 25	3	
BODOVI:	17	

VODA

priliv (l/min)	stanje	
nikakav	suho	15 X
< 10	vlažno	10
10 - 25	mokro	7
25 - 125	kapanje	4
> 125	tečenje	0
BODOVI:		15



ZIJEV (mm)

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6					
< 0.1	5					
0.1 - 1	4	X	X			
1 - 5	1					
> 5	0			X		

ISPUNA

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6					
tvrdi <5mm	4					
tvrdi >5mm	2					
meka <5mm	2	X	X			
meka >5mm	0			X		

HRAPAVOST

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6					
hrapave	5					
nezatno hrapave	3	X	X	X		
glatke	1					
skliske	0					

RASTROŠENOST

stijenci diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6					
nezatno	5	X	X			
umjereno	3			X		
jako	1					
potpuno	0					

DULJINA (m)

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6					
1 - 3	4	X	X			
3 - 10	2			X		
10 - 20	1					
> 20	0					

UKUPAN ZBROJ BODOVA:

RMR	53	53	50		
GSI	60	60	50		

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: **05.03.2023.**
Portal: **kvarnerski**
Stacionaža: **33+650,00**
Azimut čela: **264°**



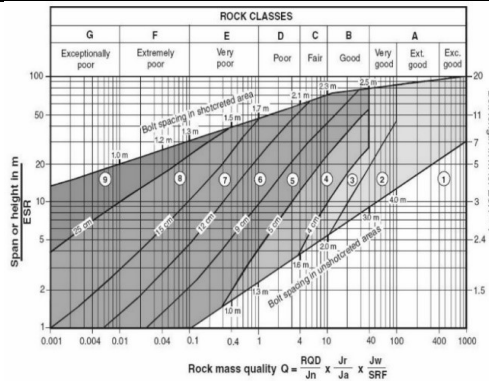
Kalotu i dio ramena čela iskopa zauzima foraminiferski vapnenac donjeg i srednjeg eocena ($V_{for, E_{1,2}}$), a donju polovicu čela iskopa zauzima tamno sivi lapor - lapori fliša srednjeg i gornjeg eocena ($L, E_{2,3}$).
Visina nadsloja je oko 478 m.
S obzirom na specifičnu geotehničku sredinu, primjenjuje se tehnologija iskopa i podgradni sklop za V ktg. stijenske mase.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

RQD - Kvaliteta stijenske mase		Min	Max
A	Vrlo slab	0-25	10
B	Slab	25-50	
C	Srednji	50-75	
D	Dobar	75-90	
E	Odličan	90-100	

Jn - Broj sustava pukotina		Min	Max
A	Masivna stijena, bez pukotina ili poneki	0,5-1	
B	Jedan	2	
C	Jedan + poneki	3	
D	Dva	4	4
E	Dva + poneki	6	6
F	Tri	9	
G	Tri + poneki	12	
H	Četiri i više	15	
J	Potpuno razlomljeno, slična tlu	20	

Jr - Indeks hrapavosti pukotina		Min	Max
A	Diskontinualne pukotine	4	
B	Hrapave ili nepravilne valovite	3	
C	Glatke, valovite	2	
D	Skislike, valovite	1,5	
E	Hrapave ili nepravilne ravne	1,5	
F	Glatke, ravne	1	
G	Skislike, ravne	0,5	0,5
Bez kontakta zidova pukotine pri smicanju		1	



Ja - Indeks alteracije pukotina		Min	Max
A	Zbijene zacjeljene pukotine	0,75	
B	Nepromijenjeni zidovi pukotine samo s mrljama	1	
C	Neznatno trošni zidovi pukotina, nerazmekšavajuća mineralna prevlaka	2	
D	Prahovita, pjeskovito-glinovita prevlaka, malo gline	3	
E	Razmekšavajuća, glinovita prevlaka	4	
F	Pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline	4	
G	Jako prekonsolidirana, nerazmekšavajuća glina	6	
H	Srednje do nisko prekonsolidirana razmekšavajuća glina	8	8
J	Bujajuća glinena ispuna	8-12	
Zone ili slojevi dezintegrirane ili zdrobjene stijene i gline		6	
Zone prahovite ili pjeskovite gline		5	
Debela neprekinuta zona ili sloj gline		10-13	

Jw - Faktor redukcije pukotinske vode		Min	Max
A	Suho ili lokalni priliv <5 l/m	1	1
B	Srednji priliv	0,66	
C	Veliki priliv u zdravoj stijeni	0,5	
D	Veliki priliv značajno ispiranje	0,3	
E	Iznimno veliki povremeni priliv	0,2-0,1	
F	Iznimno veliki stalni priliv	0,1-0,05	

SRF - Faktor redukcije naprezanja		Min	Max
A	Višestruka pojava oslabljenih zona	10	
B,C	Jedna oslabljena zona	5-25	
D	Višestruka pojava rasjednih zona	7,5	
E,F,G	Jedna rasjedna zona	2,5-5	
H	Nisko naprezanje, mali nadsloj	2,5	
J	Srednje naprezanje	1	
K	Visoko naprezanje	0,5-2	2
L,M	Gorski udari	5-10	10-20
N,O	Zgnječena stijenska masa	5-10	10-20
P,R	Bujajuća stijenska masa	5-10	10-20

$$Q_{max} = \frac{10}{4} \times \frac{0,5}{8} \times \frac{1}{2} = 0,08$$

$$Q_{min} = \frac{10}{6} \times \frac{0,5}{8} \times \frac{1}{2} = 0,05$$

$$RMR = 9 * \ln Q + 44$$

$$Q_{max} = 0,08 \implies RMR = 21 \text{ IV ktg.}$$

$$Q_{min} = 0,05 \implies RMR = 17 \text{ V ktg.}$$

Datum: **20.03.2023.**
Portal: **kvarnerski**
Stacionaža: **33+613,00**
Azimut čela: **264°**



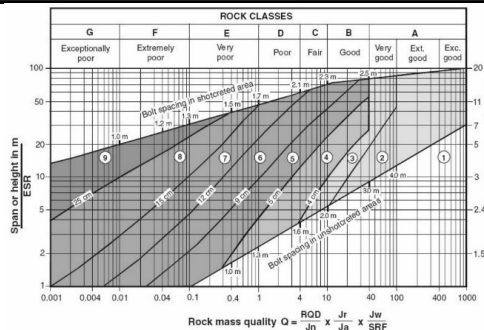
Čelo iskopa zauzima tamno sivi lapor - lapor fliša srednjeg i gornjeg eocena (L, E_{2,3}).
Visina nadsloja je oko 474 m.
S obzirom na specifičnu geotehničku sredinu, primjenjuje se tehnologija iskopa i podgradni sklop za V ktg. stijenske mase.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

RQD - Kvaliteta stijenske mase		Min	Max
A	Vrlo slab	0-25	10
B	Slab	25-50	
C	Srednji	50-75	
D	Dobar	75-90	
E	Odličan	90-100	

Jn - Broj sustava pukotina		Min	Max
A	Masivna stijena, bez pukotina ili poneki	0,5-1	
B	Jedan	2	
C	Jedan + poneki	3	
D	Dva	4	4
E	Dva + poneki	6	6
F	Tri	9	
G	Tri + poneki	12	
H	Četiri i više	15	
J	Potpuno razlomljeno, slična tlu	20	

Jr - Indeks hrapavosti pukotina		Min	Max
A	Diskontinualne pukotine	4	
B	Hrapave ili nepravilne valovite	3	
C	Glatke, valovite	2	
D	Skislike, valovite	1,5	
E	Hrapave ili nepravilne ravne	1,5	
F	Glatke, ravne	1	
G	Skislike, ravne	0,5	0,5
Bez kontakta zidova pukotine pri smicanju		1	



Ja - Indeks alteracije pukotina		Min	Max
A	Zbijene zacijeljene pukotine	0,75	
B	Nepromijenjeni zidovi pukotine samo s mrljama	1	
C	Neznatno trošni zidovi pukotina, nerazmekšavajuća mineralna prevlaka	2	
D	Prahovita, pjeskovito-glinovita prevlaka, malo gline	3	
E	Razmekšavajuća, glinovita prevlaka	4	
F	Pjeskovite čestice, dezintegrirana stijena bez gline	4	
G	Jako prekonsolidirana, nerazmekšavajuća glina	6	
H	Srednje do nisko prekonsolidirana razmekšavajuća glina	8	8
J	Bujajuća glinena ispuna	8-12	
Zone ili slojevi dezintegrirane ili zdrobjene stijene i gline		6	
Zone prahovite ili pjeskovite gline		5	
Debela neprekinuta zona ili sloj gline		10-13	

Jw - Faktor redukcije pukotinske vode		Min	Max
A	Suho ili lokalni priliv <5 l/m	1	1
B	Srednji priliv	0,66	
C	Veliki priliv u zdravoj stijeni	0,5	
D	Veliki priliv značajno ispiranje	0,3	
E	Iznimno veliki povremeni priliv	0,2-0,1	
F	Iznimno veliki stalni priliv	0,1-0,05	

SRF - Faktor redukcije naprezanja		Min	Max
A	Višestruka pojava oslabljenih zona	10	
B,C	Jedna oslabljena zona	5-25	
D	Višestruka pojava rasjednih zona	7,5	
E,F,G	Jedna rasjedna zona	2,5-5	
H	Nisko naprezanje, mali nadsloj	2,5	
J	Srednje naprezanje	1	
K	Visoko naprezanje	0,5-2	2
L,M	Gorski udari	5-10	10-20
N,O	Zgnječena stijenska masa	5-10	10-20
P,R	Bujajuća stijenska masa	5-10	10-20

$$Q_{max} = \frac{10}{4} \times \frac{0,5}{8} \times \frac{1}{2} = 0,08$$

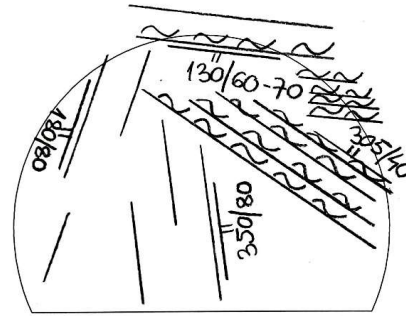
$$Q_{min} = \frac{10}{6} \times \frac{0,5}{8} \times \frac{1}{2} = 0,05$$

$$RMR = 9 * \ln Q + 44$$

$$Q_{max} = 0,08 \implies RMR = 21 \text{ IV ktg.}$$

$$Q_{min} = 0,05 \implies RMR = 17 \text{ V ktg.}$$

Datum: 25.10.2021.
Portal: kvarnerski
Stacionaža: 35+190,00
Azimut čela: 265°



Opis stijenske mase:

Čelo iskopa zauzima tamno siva, raspucana, umjereno do jako rastrošena vapnenačka stijenska masa (V, K₁).

Izražen je sustav slojevitosti (ss) orijentacije 305-310/40 (pružanje približno okomito na tunelsku os, nagib u smjeru iskopa tunela) s razmakom između pukotina < 6 cm.

Uočena je blokovski izdvojena stijenska masa u kaloti i ramenima čela iskopa. Blokovi su formirani između sustava slojevitosti i vertikalnih pukotina koje su obilježene vlažnom glinovitom ispunom debljine do 5 mm. U kaloti po pukotini 130/60-70 odvojena je blokovski izdvojena stijenska masa te je formiran prekoprofilni iskop.

Kategorizacija se odnosi na korak iskopa od st. 35+221,00 do st. 35+219,00.

Visina nadsloja je oko 61 m.

(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	305-310/40
2	180-190/70-80
3	350-10/70-80
4	130/60-70
ostalo	

RAZMAK

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15					
20 - 60 cm	10			X		
6 - 20 cm	8	X	X		X	
< 6 cm	5					
BODOVI:		8	8	10	8	

KOREKCIJA zbog orijentacije

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0					
povoljno	-2	X				
dobro	-5				X	
nepovoljno	-10					
vrlo nepovoljno	-12		X	X		
BODOVI:		-2	-12	-12	-5	

ČVRSTOĆA (MPa)

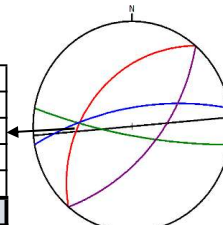
jednoosna tlačna		
> 250	15	
100 - 250	12	X
50 - 100	7	
25 - 50	4	
< 25	0-2	
BODOVI:		12

RQD (%)

90 - 100	20	
75 - 90	17	
50 - 75	13	
25 - 50	8	X
< 25	3	
BODOVI:		8

VODA

priliv (l/min)	stanje	
nikakav	suho	15
< 10	vlažno	10
10 - 25	mokro	7
25 - 125	kapanje	4
> 125	tečenje	0
BODOVI:		10



ZIJEV (mm)

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6					
< 0.1	5					
0.1 - 1	4					
1 - 5	1		X	X		
> 5	0	X			X	

ISPUNA

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6					
tvrdra <5mm	4					
tvrdra >5mm	2					
meka <5mm	2		X	X		
meka >5mm	0	X			X	

HRAPAVOST

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6					
hrapave	5					
nezatno hrapave	3		X	X		
glatke	1	X				
skliske	0				X	

RASTROŠENOST

stijeni diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6					
nezatno	5					
umjereno	3		X	X		
jako	1	X			X	
potpuno	0					

DULJINA (m)

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6					
1 - 3	4					
3 - 10	2		X	X		
10 - 20	1	X			X	
> 20	0					

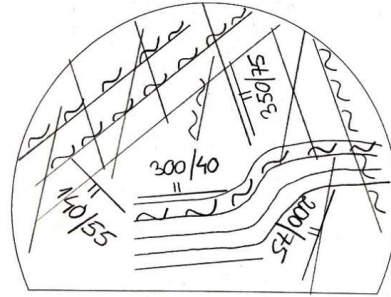
UKUPAN ZBROJ BODOVA:

RMR	39	37	39	35
GSI	41	49	51	40

STANJE DISKONTINUITETA	1	2	3	4
BODOVI:	3	11	11	2

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: 14.12.2021.
Portal: kvarnerski
Stacionaža: 35+115,00
Azimut čela: 268°



Opis stijenske mase:
Čelo iskopa zauzima tamno siva, raspucana, umjereno do jako rastrošena vapnenačka stijenska masa (V, K₁).
Zabilježeni su vertikalni sustavi pukotina 350-10/70-80 i 200-205/70-75 (pružanje paralelno s tunelskom osi) i približno okomiti pukotinski sustav 140/55 (nagib suprotan od smjera iskopa tunela). Obilježeni su glinovitim ispunom debljine do 5 mm, a u lijevom ramenu sustav 200/75 ima ispunu debljine veće od 5 mm. Bez obzira na glinovitu pukotinsku ispunu, stijenska masa nije izdijeljena na blokove.
Sustav slojevitosti 305-310/40-45 (pružanje približno okomito na tunelsku os, nagib u smjeru iskopa tunela, na sredini čela iskopa nagib se mijenja) vidljiv je na sredini čela iskopa - vidljivo boranje. U kaloti i ramenima sustav slojevitosti nije vidljiv.
Kategorizacija se odnosi na korak iskopa od st. 35+117,00 do st. 35+115,00.
Visina nadsloja je oko 114 m.
(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	305-310/40
2	200-205/70-75
3	350-10/70-80
4	140/55
ostalo	

RAZMAK

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
> 2 m	20					
60 cm - 2 m	15					
20 - 60 cm	10		X	X		
6 - 20 cm	8	X			X	
< 6 cm	5					
BODOVI:		8	10	10	8	

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0					
povoljno	-2	X				
dobro	-5				X	
nepovoljno	-10					
vrlo nepovoljno	-12		X	X		
BODOVI:		-2	-12	-12	-5	

ČVRSTOĆA (MPa)

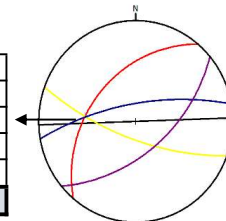
jednoosna tlačna		
> 250	15	
100 - 250	12	X
50 - 100	7	
25 - 50	4	
< 25	0-2	
BODOVI:	12	

RQD (%)

90 - 100	20	
75 - 90	17	X
50 - 75	13	
25 - 50	8	
< 25	3	
BODOVI:	17	

VODA

priliv (l/min)	stanje	
nikakav	suho	15
< 10	vlažno	10
10 - 25	mokro	7
25 - 125	kapanje	4
> 125	tečenje	0
BODOVI:		15



ZIJEV (mm)

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
zatvorene	6					
< 0.1	5					
0.1 - 1	4					
1 - 5	1			X	X	
> 5	0	X	X			

ISPUNA

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
bez	6					
tvrdi <5mm	4					
tvrdi >5mm	2					
meka <5mm	2			X	X	
meka >5mm	0	X	X			

HRAPAVOST

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6					
hrapave	5					
neznatno hrapave	3	X	X	X		
glatke	1				X	
skliske	0					

RASTROŠENOST

stijeni diskontinuiteta		1	2	3	4	5
nerastrošene	6					
neznatno	5					
umjereno	3	X		X	X	
jako	1		X			
potpuno	0					

DULJINA (m)

diskontinuiteta		1	2	3	4	5
< 1	6					
1 - 3	4					
3 - 10	2	X	X	X	X	
10 - 20	1					
> 20	0					

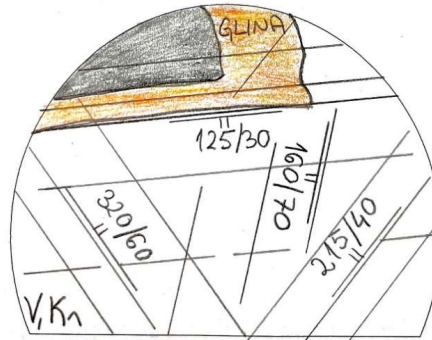
UKUPAN ZBROJ BODOVA:

RMR	58	48	53	56
GSI	55	55	60	56

STANJE DISKONTINUITETA	1	2	3	4
BODOVI:	8	6	11	9

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V

Datum: **06.01.2022.**
Portal: **kvarnerski**
Stacionaža: **35+087,50**
Azimut čela: **268°**



Opis stijenske mase:

Donju polovicu čela iskopa zauzima tamno siva, raspucana, umjereno rastrošena vapnenačka stijenska masa (V, K1).

Gornju polovicu čela (stijenska masa zauzima lijevo rame i dio kalote) iskopa zauzima prekonsolidirana žuta smeđa glina u kojoj se javlja nepravilno gnijezdo tamnosive gline. U glinenim naslagama prepoznati su pukotinski sustavi koji se pojavljuju i u stijenskoj masi. Iskop se izvodi u V kategoriji stijenske mase.

Visina nadsloja oko 124 m.

(kod kategorizacije stijenske mase ocjenjuju se kvalitativni parametri najizraženijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u kaloti i ramenima čela iskopa)

ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

sustav diskontinuiteta	smjer / nagib
1	320/60
2	155-160/60-70
3	125/20-30
4	215/40
ostalo	

RAZMAK

diskontinuiteta	1	2	3	4	5
> 2 m	20				
60 cm - 2 m	15				
20 - 60 cm	10	X	X	X	X
6 - 20 cm	8				
< 6 cm	5				
BODOVI:	10	10	10	10	

KOREKCIJA zbog orijentacije diskontinuiteta

diskontinuiteta	1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0				
povoljno	-2			X	
dobro	-5				
nepovoljno	-10		X		
vrlo nepovoljno	-12	X	X		
BODOVI:	-12	-12	-10	-2	

ČVRSTOĆA (MPa)
jednoosna tlačna

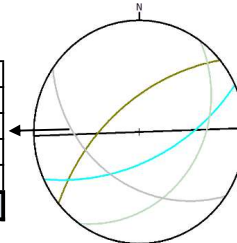
> 250	15	
100 - 250	12	
50 - 100	7	
25 - 50	4	
< 25	0-2	X
BODOVI:	0	

RQD (%)

90 - 100	20	
75 - 90	17	
50 - 75	13	
25 - 50	8	
< 25	3	X
BODOVI:	3	

VODA

priliv (l/min)	stanje	
nikakav	suho	15
< 10	vlažno	10
10 - 25	mokro	7
25 - 125	kapanje	4
> 125	tečenje	0
BODOVI:		10



ZIJEV (mm)

diskontinuiteta	1	2	3	4	5
zatvorene	6				
< 0.1	5				
0.1 - 1	4				
1 - 5	1				
> 5	0	X	X	X	X

ISPUNA

diskontinuiteta	1	2	3	4	5
bez	6				
tvrda <5mm	4				
tvrda >5mm	2				
meka <5mm	2				
meka >5mm	0	X	X	X	X

HRAPAVOST

diskontinuiteta	1	2	3	4	5
vrlo hrapave	6				
hrapave	5				
neznatno hrapave	3		X		X
glatke	1	X		X	
skliske	0				

RASTROŠENOST

stijeni diskontinuiteta	1	2	3	4	5
nerastrošene	6				
neznatno	5				
umjereno	3		X		X
jako	1			X	
potpuno	0	X			

DULJINA (m)

diskontinuiteta	1	2	3	4	5
< 1	6				
1 - 3	4				
3 - 10	2				
10 - 20	1	X	X	X	X
> 20	0				

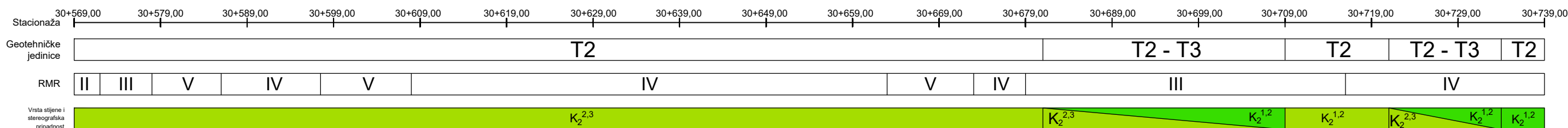
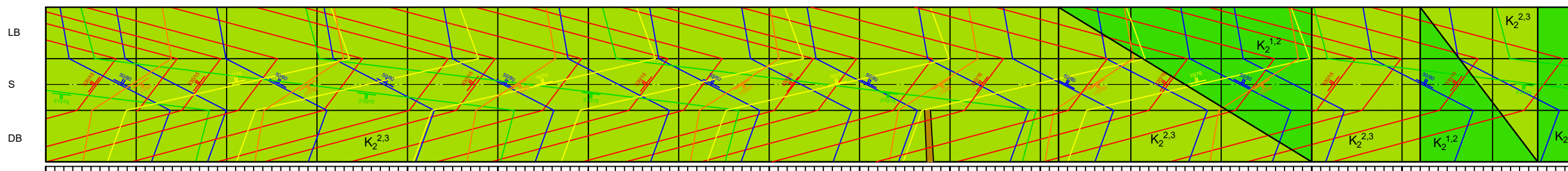
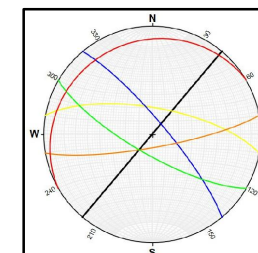
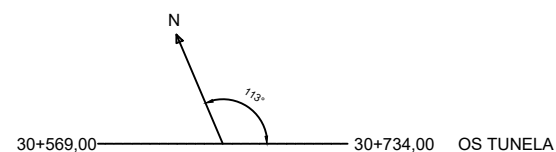
UKUPAN ZBROJ BODOVA:

RMR	13	18	16	28
GSI	25	30	26	30

STANJE DISKONTINUITETA

1	2	3	4	
BODOVI:	2	7	3	7

BODOVI	KATEGORIJA
81 - 100	I
61 - 80	II
41 - 60	III
21 - 40	IV
0 - 20	V



10/70	50/80	pločasti vapnenac (V _{pl} , Pc, E)
330/15	210/75	rudistni vapnenac (V _{rud} , K ₂ ^{1,2})
170/80	kaverna	kontakt pločastih (V _{pl} , Pc, E) i rudistnih vapnenaca (V _{rud} , K ₂ ^{1,2})

RMR Bieniawski (1979)

RMR	Duljina tunela (m)	% tunela
I	0	0
II	3	1,7
III	43	25,3
IV	95,5	56,2
V	28,5	17,7
Σ	170	100

PODRUŽNICA U HRVATSKOJ / CROATIAN BRANCH

Shaping a Better Life

INVESTITOR	BINA ISTRA d.d. Lupoglav, Zrinščak 57	
PROJEKT	DIPLOMSKI RAD	
RAZINA PROJEKTA	DIPLOMSKI RAD	
LOKACIJA	TUNEL UČKA	
VRSTA ISTRAŽIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA	
SADRŽAJ PRILOGA	UZDUŽNI INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL	
PROJEKTANTI:	IZRADILA:	VODITELJ ISTRAŽIVANJA:
DARKO ŠARIĆ, dipl. ing. grad. DONAT UŽAREVIĆ, dipl.ing.grad.	KORINA ZUGAN bacc. ing. geol.	prof. dr. sc. SNJEŽANA MIHALIĆ ARBANAS
DATUM prosinac, 2023	MJERILO 1:500	PRILOG BR. 16