

ELABORAT IN ŠTEVILČNA OZNAKA ELABORATA:**9/19D KONČNI ELABORAT o izvedbi strukturno geoloških,
hidrogeoloških, krasoslovnih in geotehniških raziskav****INVESTITOR:**2TDK, Družba za razvoj projekta, d.o.o.
Železna cesta 18
1000 LJUBLJANA**OBJEKT:****Drugi tir železniške proge Divača - Koper****VRSTA PROJEKTNE DOKUMENTACIJE IN NJENA ŠTEVILKA
PZI****ZA GRADNJO:**

nova gradnja

PROJEKTANTI:GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE, IRGO CONSULTING d.o.o., GRADBENI INŠTITUT
ZRMK d.o.o., ZNANSTVENO RAZISKOVALNI CENTER SAZU**DIREKTOR vodilnega JV partnerja Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.:**

Marijan PREŠEREN, univ.dipl.inž.grad

GRADBENI INŠTITUT²
ZRMK d.o.o.
Ljubljana, Dimičeva 12**ODGOVORNI PROJEKTANTI:**

mag. Joerg PRESTOR, univ.dipl.inž.geol., RG0093 (hidrogeologija)

dr. Jože RATEJ, univ.dipl.inž.geol., RG00126 (hidrogeologija)

izr.prof.dr. Martin KNEZ, univ.dipl.inž.geol. (krasoslovje)

dr. Vladimir VUKADIN univ.dipl.inž.geol., RG0099 (geomehanika)

dr. Bogomir CELARC, univ.dipl.inž.geol. (strukturna geologija)

ODGOVORNI VODJA PROJEKTA:Urban UMEK, univ.dipl.inž.geol., RG0080
IZS RG0080**ŠTEVILKA, KRAJ IN DATUM IZDELAVE ELABORATA:**

2006190-1/K, Ljubljana, september 2018

SPISEK ODGOVORNIH STROKOVNJAKOV ZA POSAMEZNA PODROČJA

Zap. št.	Strokovno področje, ki ga pokriva strokovnjak	strokovnjaki
1	Vodja raziskav - odgovorni projektant	ključni Urban Umek, univ.dipl.inž.geol. (GI-ZRMK)
2	Strukturni geolog	ključni dr. Bogomir Celarc, univ.dipl.inž.geol. (GeoZS) dodatni dr. Jure Atanackov, univ.dipl.inž.geol. (GeoZS) dodatni mag. Brane Merhar, univ.dipl.inž.geol. (IRGO Consulting)
3	Inženirski geolog	ključni dr. Vlado Vukadin, univ.dipl.inž.geol. (IRGO Consulting) dodatni Jurij Skok, univ.dipl.inž.geol. (GI-ZRMK) dodatni dr. Borut Petkovšek, univ.dipl.inž.geol. (ZAG) dodatni Julija Fux, univ.dipl.inž.geol. (ELEA) dodatni Jaka Rupnik, univ.dipl.inž.geol. (Geoinženiring) dodatni Andraž Geršak, univ.dipl.inž.geol. (ZAG) dodatni
4	Hidrogeolog	ključni dr. Jože Ratej, univ.dipl.inž.geol. (IRGO) dodatni mag. Joerg Prestor, univ.dipl.inž.geol. (GeoZS)
5	Hidrogeolog	ključni mag. Joerg Prestor, univ.dipl.inž.geol. (GeoZS) dodatni dr. Jože Ratej, (univ.dipl.inž.geol. (IRGO Consulting)
6	Krasoslovec	ključni izr.prof.dr. Martin Knez, univ.dipl.inž.geol. (ZRC SAZU) dodatni dr. Bojan Otoničar, univ.dipl.inž.geol. (ZRC SAZU)
7	Geotehnik	ključni Marko Žibert, univ.dipl.inž.grad. (ELEA) dodatni Mirjana Kraljič Kenk univ.dipl.inž.grad. (Geoinženiring.)

		dodatni	Nedžad Mešić, univ.dipl.inž.grad. (IRGO Consulting)
8	Tehnični vodja vrtalnih del	ključni	Marjeta Vrančič, univ.dipl.inž.rud.in geot. (IRGO Consulting)
		dodatni	Robert Hoblaj univ.dipl.inž.rud. (Geoinž.)
		dodatni	Jurij Šporin univ.dipl.inž.rud.in geot. (ELEA)

SPISEK SOAVTORJEV

STRUKTURNA GEOLOGIJA

dr. Jernej Jež, univ. dipl. inž. geol.

mag. Adrijan Košir, univ. dipl. inž. geol (zunanji sodelavec)

dr. Mirka Trajanova, univ.dipl. inž. geol.

dr. Jure Atanackov, univ. dipl. inž. geol.

Anže Markelj, univ. dipl. inž. geol.

Blaž Milanič, univ. dipl. inž. geol.

HIDROGEOLOGIJA

Matjaž Klasinc, univ.dipl.inž.geol.

Luka Serianz, mag.inž.geol.

Tomaž Pečolar, univ.dipl.inž.rud. in geoteh.

David Narat, univ.dipl.inž.geol.

Maja Kocjančič, univ.dipl.inž.geol.

KRASOSLOVJE

dr. Franci Gabrovšek, univ.dipl.inž.fiz.

dr. Martin Knez, uni. dipl. inž. geol.

dr. Janez Mulec, univ.dipl.mikrobiol.

dr. Bojan Otoničar, univ.dipl.inž.geol.

dr. Metka Petrič, univ.dipl.inž.geol.

dr. Mitja Prelovšek, univ.dipl.geog.

GEOMEHANIKA

dr. Borut Petkovšek, univ.dipl.inž.geol.

Julija Fux, univ.dipl.inž.geol.

Tina Živec, univ.dipl.inž.geol.

REDNIK 1

ZVEZEK 1

VSEBINA

1	UVOD	7
2	STRUKTURNO GEOLOŠKE RAZMERE	8
2.1	POSODOBLJEN POVZETEK REZULTATOV RAZISKAV ZA PGD IZ 2010	9
2.1.1	Uvod	9
2.1.2	Litostratigrafske enote	9
2.1.3	Strukturna zgradba	15
2.2	REZULTATI NOVIH RAZISKAV (2017-2018)	22
2.2.1	Predor T1	22
2.2.2	Predor T2	39
2.2.3	Predor T8	60
2.3	LITERATURA	69
3	HIDROGEOLOŠKE RAZMERE	70
3.1	UVOD	70
3.2	REZULTATI OPRAVLJENIH HIDROGEOLOŠKIH PREISKAV	70
3.2.1	Izdelava dodatnih globokih vrtin	70
3.2.2	Meritve nivojev, temperature podzemne vode ter pretokov površinskih voda	77
3.3	INTERPRETACIJA OPRAVLJENIH HIDROGEOLOŠKIH PREISKAV	83
3.3.1	Nalivalni preizkusi	83
3.3.2	Analiza indikacij pojavljanja kavern iz nihanja piezometrične gladine in nalivalnih poizkusov	86
3.3.3	Posodobitev pogojev gradnje glede na nove ugotovitve iz vrtin	87
3.3.4	Spremembe pogojev gradnje glede na nove podatke monitoringa gladin podzemne vode od leta 2012 94	
3.4	IZHODIŠČA ZA OCENO DOTOKOV	96
3.5	VIRI IN LITERATURA	97
4	KRASOSLOVJE	98
4.1	UVOD	98
4.2	REZULTATI IN INTERPRETACIJA DOPOLNILNIH RAZISKAV	98
4.2.1	Krasoslovni popis vrtin	98
4.2.2	Hidrogeologija Beško-Ocizeljskega jamskega sistema s površinskimi dotoki	105
4.2.3	Zaključki	132
4.2.4	Reference	136
5	GEOMEHANSKE RAZMERE	138
5.1	REZULTATI DOSLEJ OPRAVLJENIH DOPOLNILNIH GEOMEHANSKIH PREISKAV	138
5.2	INTERPRETACIJA DOSLEJ OPRAVLJENIH DOPOLNILNIH GEOMEHANSKIH PREISKAV	138
	PREDOR T1	138
6	ZAKLJUČKI	141
	GRAFIČNE PRILOGE	144

G.1.: Pregledna situacija dopolnilnih preiskav v M 1:25000

G.2.: Strukturno geološka karta v m 1:5000

G.3.: Vzdolžni strukturno geološki, hidrogeološki in krasoslovni profil predora T1 v M 1:5000

G.4.: Vzdolžni strukturno geološki, hidrogeološki in krasoslovni profil predora T2 v M 1:5000

G.5.: Vzdolžni IG profil trase predora T8 v M 1:1000

ZVEZEK 2

Poročila o izvedbi globokih vrtin

ZVEZEK 3

Poročila o izvedbi karotažnih meritev in snemanj s kamero

ZVEZEK 4

Poročilo o izvedbi georadarskih meritev

ZVEZEK 5

Paleontološke in sedimentološke raziskave

ZVEZEK 6

Laboratorijske preiskave (geomehanske, kemijske)

ZVEZEK 7

Hidrogeološke raziskave

1 UVOD

Skladno s Projektno nalogo in pogodbo št. 2431-17-3000140 z dne 26. 9. 2017, s katero je konzorcij sedmih partnerjev prevzel izvedbo Dopolnilnih strukturno geoloških, hidrogeoloških, krasoslovnih in geomehanskih raziskav za PZI drugega tira železniške proge med Divačo in Koprom, smo v maju 2018 v celoti izvedli vrtalna dela, v obdobju do oddaje predmetnega poročila pa tudi zaključili strukturno geološke preiskave, ki so bile osnova hidrogeološki, krasoslovni in geotemehanski interpretaciji preiskav.

Terenske preiskave, izvajane med novembrom 2017 in majem 2018, so obsegale izvedbo desetih strukturno-geoloških vrtin, globin 150 do 350m, od katerih so bile štiri vrtine namenjene dopolnilnim preiskavam za predor T1 (vrtine z oznakami T1-12/17, T1-13/17, T1-14/17), pet vrtin (oznake T2-16/17, T2-17/17, T2-18/17, T2-18/17 in T2-19/17) za predor T2 in ena vrtina (T8-1/17) za dopolnitev strukturno geoloških razmer, ugotovljenih v fazi PGD preiskav. Večina teh vrtin je opremljena z opremo za spremljanje hidrogeoloških in hidroloških značilnosti, ki bo poleg že obstoječe opreme in ostalih sklopov monitoringa dajala dragocene podatke v naslednjih obdobjih, v vseh fazah gradnje.

Že iz razporeditve vrtin je razvidno, da je bilo težišče dopolnilnih preiskav namenjeno predoroma T1 in T2, ki se bosta gradila v zahtevnih hidrogeoloških ter krasoslovnih sredinah, ki terjajo ustrezne projektne rešitve in ukrepe.

Pri podajanju rezultatov se osredotočamo na nove ugotovitve in dognanja, pridobljene v času dopolnilnih preiskav, ki bodisi spreminjajo obstoječe poznavanje bodisi ga v določenih segmentih potrjujejo. Le na posameznih mestih v poročilu za lažji prikaz novo odkritih posebnosti podajamo primerjavo z doslej znanimi razmerami, medtem ko je za celovito sliko hidrogeoloških, krasoslovnih in strukturno geoloških in geomehanskih razmer potrebno upoštevati tudi navedbe dosedanjih referenčnih poročil, podanih v poglavju Viri in literatura, v kolikor niso v tem poročilu eksplicitno nadgrajene.

Posebej so v poglavju ocenjene nadaljnje negotovosti, ki izhajajo predvsem iz kratkega časovnega intervala opazovanja na novih merskih mestih v piezometrih in kraških jamah ter pripadajoče sporadične narave pojavljanja ekstremnih hidroloških razmer, katerih poznavanje je bistveno pri oceni tveganja in stroškov gradnje. Prav tako so v poglavju podana tudi t.i. remanentne (preostale) negotovosti, ki ostajajo za fazo odpiranja predorov (točne lokacije kraških jam, dejanski dotoki znotraj intervalnih ocen, ipd)..

Izvajalci in vodilni strokovnjaki, ki so sodelovali pri pripravi pričujočega poročila so naslednji:

- Hidrogeologija:
 - GeoZS Ljubljana (mag. Joerg Prestor, u.d.i. geol.),
 - IRGO Consulting d.o.o. Ljubljana (dr. Jože Ratej, u.d.i.geol.),
- Krasoslovje:
 - Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU Postojna (izr. prof. dr. Martin Knez, u.d.i.geol., hidrološki in krasoslovni monitoring),
- Strukturna geologija:

- GeoZS Ljubljana (dr. Bogomir Celarc, u.d.i. geol.),
- Geomehanika:
 - IRGO Consulting d.o.o. Ljubljana (dr. Vladimir Vukadin, u.d.i. geol.),
- Odgovorni vodja del:
 - Gradbeni Inštitut ZRMK d.o.o. Ljubljana (Urban Umek, u.d.i. geol.),

V času priprave tega poročila se nadaljuje s sledilnimi poizkusi, geotehničnim monitoringom, ter predvsem monitoringom nihanja nivojev podzemne vode na obstoječih in novih globokih vrtinah ter kraških jamah. Rezultati slednjih bodo podali končno sliko razmer na območju po zaključenih meritvah, jeseni naslednje leto.

V naslednjih poglavjih podajamo opise in zaključke izvedenih področij preiskav, ki jih dopolnjujejo grafični prikazi rezultatov dopolnilnih preiskav (pregledna karta preiskav v G.1, strukturno geološka karta v G.2, vzdolžni strukturno geološki, hidrogeološki in krasoslovni profili predorov T1, T2 in T8 v prilogah G.3 do G.5), kot tudi predstavitev vseh podatkov o izvedbi vrtin (zvezek 2), ter izvedenih meritev, preiskav ter hidrogeoloških analiz med in po izdelavi vrtin (zvezki 3 do 7).

2 STRUKTURNO GEOLOŠKE RAZMERE

Namen strukturno geoloških raziskav je bilo razjasniti nekatere negotovosti, ki so se pokazale v prejšnjih fazah raziskav (Celarc et al., 2010), na območju predorov T1, T2 in T8 in so navedene tudi v projektni nalogi. Čeprav so v tem poročilu narejeni najpomembnejši povzetki iz poročila Celarc et al., 2010, je za popolno razumevanje zgradbe trase smiselno pregledati celotno obstoječe poročilo.

Strukturo geološka interpretacija (priloga G.3, G.4, G.5) je bila narejena na podlagi strukturno geoloških popisov 10 vrtin v skupni globini 2310 m (zvezek 2), sedimentoloških (lega plasti - normalna/inverzna) in paleontoloških (starost/pripadnost formaciji) preiskav vzorcev iz vrtin (opisane v tekstu in v zvezku 5) karotažnih (Lapanje et al., 2018 (zvezek 3, 10 poročil)) in georadarskih preiskav (zvezek 4). Celotne fotografije vrtin so prikazane v tehničnih poročilih o posameznih vrtinah (zvezek 2). Dopolnilno strukturno geološko kartiranje v projektni nalogi ni bilo predvideno, vendar smo kljub temu v omejenem obsegu pregledali in reinterpreterirali nekatera območja, kjer na novo ugotovljene razmere v vrtinah zahtevajo tudi reinterpreteracijo geološke karte - predvsem tam, kjer je teren relativno pokrit (priloga G.2).

Seznam izvedenih vrtin (z globinami):

T1-12/17 (250 m)
T1-13/17 (350 m)
T1-14/17 (260 m)
T1-15/17 (200 m)
T2-16/17 (250 m)
T2-17/17 (150 m)
T2-18/17 (200 m)
T2-19/17 (300 m)

T2-20/17 (150 m)

T8-1/17 (200 m)

Strukturno geološka interpretacija je bila seveda narejena tudi na podlagi nekaterih na novo ovrednotenih obstoječih raziskav:

- Celarc et al., 2010 (celotna trasa)
- Kreutzer, 2010 (geofizikalne raziskave predora T2 v okolici Beke)
- Vučković et al., 2009; Vučković et al., 2010 (geofizikalne raziskave predora T2 med južnim portalom in kamnolomom Črnotiče)
- Car, 2010; Stopar & Car, 2010a; 2010b) (geofizikalne raziskave predora T1 in T2 (nad Glinščico))

2.1 Posodobljen povzetek rezultatov raziskav za PGD iz 2010

2.1.1 Uvod

Poročilo iz 2010 (Celarc et al., 2010) je bilo sestavljena iz poglavij Uvod, Analiza obstoječih podatkov, Litostratigrafske enote, Strukturna zgradba in prognozni profil, Zaključek in Reference.

V Uvodu je navedeno, katere raziskave so bile opravljene, v Analizi obstoječih podatkov je navedena relevantna literatura, v Litostratigrafskih enotah so navedene vse formacije in litološke enote, ki nastopajo na trasi, v Strukturni zgradbi in prognozni profil pa so opisane posamezne strukturne enote.

V nadaljevanju navajamo povzetek litostratigrafskih enot in strukturne zgradbe, kjer pa je tekst dopolnjen z novimi spoznanji, ki so bila ugotovljena v okviru tega projekta. Natančnejša razlaga je nato podana pri opisih posameznih vrtin. Svetujemo, da morebitni recenzent tega projekta od naročnika pridobi tudi obstoječe poročilo (Celarc et al., 2010).

2.1.2 Litostratigrafske enote

V tem poglavju so opisane vse litostratigrafske enote, ki se superpozicijsko od spodaj navzgor zvrstijo na raziskanem ozemlju. Pri opisu litostratigrafskih enot smo uporabili formacijski princip. Osnovno naravno celoto predstavlja formacija, za katero je značilna predvsem litološka homogenost ter sedimentološke in paleoekološke značilnosti, ki so produkt enotnega sedimentacijskega prostora, s tem pa so povezane tudi približno enotne fizikalne lastnosti kamninskega telesa. Pomemben kriterij pri uvrščanju litostratigrafskih enot na raziskanem ozemlju je bil, da so po svojih značilnostih dovolj razpoznavne in jih je bilo mogoče bočno in vertikalno spremljati na terenu.

2.1.2.1 Sežanska formacija (SF/K2-42) - Kreda

Na skrajnem severnem delu raziskanega območja med km 0+000 in km 1+700 zahodno od Divače izdanja zgornji del Sežanske formacije. Apnenec Sežanske formacije je večinoma srednje do debelo plastovit, olivnosiv biomikrit in pelbiomikrit z nizkim do zelo nizkim energijskim indeksom (1-2). Nekoliko višji indeks opazujemo le tu in tam v vrhnjem delu formacije. V nekaterih nivojih biolititnega apnenca je opazna povečana vsebnost rekvienid in rudistov. Primarne rudistne biostrome pa so v Sežanski formaciji zelo redke. Lokalno se med plastovitim apnencem pojavljajo tanjši, do nekaj metrov (in manj) debeli paketi temno sivega ploščatega in laminiranega apnenca.

Apnenec Sežanske formacije se je odlagal v zaprtem plitvem šelfu, občasno z litoralnimi in lagunskimi razmerami sedimentacije. Medtem ko spodnji del Sežanske formacije lokalno še kaže številne znake plimskega in celo nadplimskega okolja, je za višje dele značilen popoln prehod v podplimsko okolje, skladno s tem pa tudi postopna diverzifikacija mikrofosilne združbe.

Starost Sežanske formacije na osnovi mikrofosilne združbe obsega del turonija, coniacij in spodnji santonij, vendar je na raziskanem območju razvit le mlajši, to je santonijski del formacije.

Debelina Sežanske formacije na širšem prostoru Tržaško-komenske planote je od 230 do 500 m, na raziskanem območju pa je debela okoli 450 m.

2.1.2.2 Lipiška formacija (LF/K4-52) - Kreda

Plasti Lipiške formacije (med km 1+700 in km 2+700) ležijo normalno na Sežanski formaciji, nad njimi pa se je po krajši emerzijski fazi odložila Liburnijska formacija. Prehod med Sežansko in Lipiško formacijo je postopen, zato je natančno mejo med njima težko postaviti. Pomemben tip apnenca Lipiške formacije je svetlosiv, debeloplastovit do masiven biomikrit do biosparit (bioklastični floatstone) z delno ali povsem izprano mikritno osnovo. Glavne alokemijske komponente so fragmenti rudistov in iglokožcev, podrejeno pa bentonske foraminifere. Rudistni fragmenti so razmeroma veliki, lahko pa so ohranjene tudi cele rudistne lupine.

V višjih delih Lipiške formacije se zopet pojavi biomikritni apnenec. Za ta del formacije so značilne bioturbacijske teksture in izsušitvene pore. Rudistne biostrome oziroma plasti rudistnega boundstona so redkejša in so debele od 0,5 do 1,5 m.

Starost Lipiške formacije na Tržaško-komenski planoti obsega zgornji del santonija in spodnji del campanija. Na raziskanem območju so razvite le zgornjesantonijske plasti formacije, saj v campaniju na tem delu Krasa že beležimo emerzijo.

Debelina Lipiške formacije na raziskanem območju je 350 m.

KRAŠKA GRUPA

Zgornjekredni (maastrichtijski) in paleogenski (paleocenski in eocenski) platformski karbonati (Liburnijska formacija, Trsteljska formacija, Alveolinsko - numulitni apnenec) tvorijo Kraško gupo, ki je litostratigrafska enota višjega reda in zaključna megasekvenca Jadransko-dinarske karbonatne platforme. Spodnjo mejo

predstavlja regionalna diskordanca, zgoraj pa grupa meji na bazenske klastite, ki označujejo potopitev karbonatne platforme. Kraško grupo sestavlja več sto metrov debelo zaporedje paraličnih in plitvomorskih karbonatov. V tem poglavju so opisane le tiste značilnosti posameznih formacij in členov Kraške grupe, ki so potrebne za osnovno razumevanje geološke zgradbe raziskanega območja, podrobnejši opisi plitvovodnih bentoških mikrofosilnih združb, facialne, biostratigrafske, paleoekološke in paleogeografske interpretacije pa so obravnavane le informativno.

2.1.2.3 Liburnijska formacija (LIB/K-Pc) - Kreda-Paleocen

Po prekinitvi sedimentacije so se na santonijsko-campanijske karbonate Lipiške formacije nad izrazitim paleokraškim horizontom pričeli odlagati sladkovodni, brakični in plitvomorski karbonati Liburnijske formacije. Zgornjo mejo formacije predstavlja prehod v debeloplastovite in masivne bioklastične apnenice spodnjega dela Trsteljske formacije (= Spodnje trsteljske plasti).

Plasti Liburnijske formacije grade širok pas ozemlja vzhodno od Lokev, manjši del pa jih izdanja v jedru antiklinale vzhodno od Krvavega potoka. Z ozirom na strukturno-geološko zgradbo raziskanega območja in ocenjeno debelino vseh drugih formacij Kraške grupe se bodo verjetno močno tektonizirane plasti Liburnijske formacije pojavile tudi v predoru pod Krvavim potokom.

Za Liburnijsko formacijo na tem delu Krasa v splošnem velja, da je apnenec spodnjega dela t.im. vremskega faciesa plastovit, srednje do temno sive barve, po strukturi pa biomikrit in pelmikrit. Kamnine tega dela formacije so se deloma odlagale v zaprtem šelfu lagunskega tipa, medtem ko je prišlo v sladkovodnih in brakičnih fazah do nastanka premogovih plasti z visoko vsebnostjo žvepla. Na meji med kredo in terciarjem se pojavlja od 20 cm do nekaj metrov debela plast intraformacijske breče z do 10 cm velikimi kosi apnenca kredne starosti. Osnova v breči je mikritna, s primesjo organske snovi in številnimi strukturami mikrokodijev, ki veljajo povsod po Tržaško-komenski planoti za tipične elemente Liburnijske formacije. Za t. im. kozinski facies, ki je značilen za višje, predvsem paleocenske dele Liburnijske formacije so značilni apnenci bolj temnorjave do črne barve, rahlo laporasti, lokalno silicizirani in imajo vonj po bitumnu. Vmes se pojavljajo tanjše stromatolitne lamine, ki kažejo na medplimska stanja. Laminirani in stromatolitni apnenci so zaradi pokritosti terena vidni na površini le v spodnjem (krednem) delu Liburnijske formacije, seveda pa jih moramo med gradnjo proge pričakovati tudi v višjih delih formacije.

Debelina Liburnijske formacije pri Lokvi je ocenjena na več kot 300 m, na ozemlju Krvavega potoka pa verjetno ne presega 150 m.

2.1.2.4 Trsteljska formacija(TF/Pc) - Paleocen

2.1.2.4.1 Spodnje trsteljske plasti (TF 1) - Paleocen

Nad Liburnijsko formacijo ležijo različni tipi neizrazito plastovitih bioklastičnih apnencev Spodnje trsteljskih plasti. Na površini so vidni v pasu, ki v smeri severovzhod - jugozahod prečka vas Prelože, pri Krvavem

potoku pa se v antiklinalni zgradbi pojavlja na prostoru Vrhpoljskega polja. Debelina Spodnjih trsteljskih plasti se med Preložami in Krvavim potokom stanjša približno za tretjino.

Na spodnji meji z Liburnijsko formacijo je ponekod temnosiva emerzijska breča s številnimi miliolidami v vezivu. Po strukturi prevladuje v Spodnjih trsteljskih plasteh izpran biopelmikrit oziroma intrabiomikrit (wackstone in packstone, pogosto grainstone). Spodnje trsteljske plasti so se odlagale v zelo plitvem priobrežnem morskem okolju (innermost ramp) z občasnimi okopnitvami in plitvinami.

Debelina Spodnjih trsteljskih plasti pri Preložah je največ do 150 m, pri Krvavem potoku pa okoli 100 m.

2.1.2.4.2 Zgornje trsteljske plasti (TF 2) - Paleocen

V najnižjem delu Zgornjih trsteljskih plasti praviloma leži svetlo siv do bel masivni koralno-algna apnenec, ki izdanja v posameznih različno debelih lečastih telesih na celotnem ozemlju Tržaško-komenske planote. Ponekod se povsem izklini, drugod pa so telesa dolga več sto metrov in dosežajo debelino nad 20 m.

Za večji del Zgornjih trsteljskih plasti je značilen slabo plastovit do masiven svetlo siv bioklastični apnenec (pretežno packstone in wackstone). Faciesne značilnosti Zgornjih trsteljskih plasti kažejo na spremembo v sedimentacijskem okolju glede na foraminiferne apnenice Spodnjih trsteljskih plasti pod njimi. Za mejo med obema členoma je poleg koralno-algnega apnenca značilno tudi povečanje mikritne komponente, kar kaže na nižjo energijo sedimentacijskega okolja. Nastajal je znotraj nekoliko globljega dela karbonatne rampe (deeper mid ramp), abradirani fragmenti in bioklasti v nekaterih plasteh pa so rezultat občasne povečane energije okolja zaradi neviht in/ali talnih tokov.

Debelina tega člena pri Preložah je do 100 m, medtem ko na območju Krvavega potoka doseže največ 50 m.

2.1.2.5 Alveolinsko-numulitni apnenec (ANA/E) - Eocen

Nad Trsteljsko formacijo ležijo neizrazito plastoviti lokalno masivni apnenci, ki spadajo v najmlajšo formacijo Kraške grupe in obenem tudi zaključno litostratigrafsko enoto karbonatnega razvoja Dinarske karbonatne platforme. Biotska komponenta in sedimentološke značilnosti Alveolinsko-numulitnega apnenca kažejo na sedimentacijo večjega dela formacije v srednjem delu karbonatne rampe (mid ramp).

V zaporedju Alveolinsko-numulitnega apnenca si od spodaj navzgor sledijo alveolinski apnenci, numulitni apnenci in apnenci, v katerih prevladujejo diskocikline in ploščate oblike numulitid. Je pretežno svetlosiv do bel, ponekod tudi temno siv, srednje do debeloplastovit; plastovitost je šibko izražena. Navadno lezike niso prisotne ali so slabo izražene. Med apnenci se v določenih horizontih pojavljajo sinsedimentarne breče s presedimentiranimi klasti apnenca ali pa polja kalkarenitov. To nakazuje na pester sedimentacijske razmere na depozicijski rampi in hitro bočno migracijo faciesov.

Zgornja meja Alveolinsko-numulitnega apnenca je ostra ali postopna. Kadar je ostra, apnenci prek izrazitega hardgrounda z bazalnimi konglomerati preidejo v Prehodne plasti, prehod pa je lahko tudi postopen, tako da se med apnencem pričnejo pojavljati plasti resedimentiranih karbonatov, ter posamezni horizonti lapornatih apnenecv, ki pričnejo prevladovati.

Glede na to, da debelina Alveolinsko-numulitnega apnenca ni stalna, se tudi lokalni razvoji v formaciji razlikujejo med seboj.

Na trasi nastopa apnenec na območju predora T1 na niveleti med km 5+550 in 6+650 v sinklinali na Polanščku (Videž), med km 8+650 in 8+900 na območju Krvavega potoka, Nasirca in Mihel (SV del Ocizeljske brahisinklinale), v predoru T2 pa med Beko (območje Beško - Ocizeljskega jamskega sistema) v JZ delu Ocizeljske brahisinklinale in nato v pretežnem delu narivnega sistema do Črnega Kala, razen ozkih pasov pod narivnimi prelomi, kjer se nahajajo Prehodne plasti.

Neposreden kontakt Alveolinsko-numulitnega apnenca s Prehodnimi plastmi je viden na površini na več mestih: km 5+500, 6+500, 8+875, 11+490, 14+050, 15+090.

2.1.2.6 Prehodne plasti - konglomerat, laporovec, laporasti apnenec, apnenec (PP/E) - Eocen

Prehodne plasti predstavljajo formacijo srednje do tankoplastnatega temnejšega pelagičnega in hemipelagičnega laporastega apnenca (packstone in wackstone) in laporovca, ki nastopa med Alveolinsko-numulitnim apnencem v talnini in pravim flišem v krovlini. Za Prehodne plasti je poleg glavkonita značilen velik delež planktonskih foraminifer in detritusa ehinodermov. Gre za značilen pelagični sediment, ki se je sedimentiral pod evfotično cono. Prehodne plasti vsebujejo tudi pirit in sicer kot posamezna manjša gnezda premera do 1 cm, pogosteje pa je prisoten kot oprh na prelomnih (narivnih) ploskvah. Predlagamo, da se upošteva vpliv žveplene kisline, nastale z oksidacijo piritu, na betonsko oblogo odsekov tunelov, ki potekajo skozi Prehodne plasti. Starostno Prehodne plasti uvrščamo v eocen (ypresij in del cuisija).

Na nekaterih mestih najdemo neposredno na Alveolinsko-numulitnem apnencu tanek horizont (do 1 m) debeložrnatih konglomeratov z lapornatim vezivom.

Formacija Prehodnih plasti označuje pričetek degradacije Dinarske karbonatne platforme, ki je posledica dokončne subsidence tega območja pred napredujočim orogenom. Poudariti je potrebno, da je degradacija potekala postopoma, oziroma na različnih krajih v različnem času (generalno pa pri današnji orientaciji najprej na SV in potem sukcesivno kasneje proti JZ).

Meja med Alveolinsko-numulitnim apnencem in Prehodnimi plastmi je lahko ostra ali postopna. Ponekod jo lahko označuje hardground z nepravilnim rahlo valovitim reliefom ali pa konglomeratna breča, ki leži neposredno na Alveolinsko-numulitnem apnencu.

Debelina Prehodnih plasti zelo variira, vendar pa je včasih težko definirati njeno zgornjo mejo na prehodu v Fliš, še posebno, če se tudi v flišu pojavljajo pretežno lapornati horizonti. Prehodne plasti se pojavljajo na območju Mihel in Nasirca, kjer v njihovem spodnjem delu najdemo do 1 m debel horizont bazalnega konglomerata.

Razprostirajo se tudi v relativno širokem pasu južno od Beke, kjer dosežejo znatno debelino, vendar je njihova povečana debelina lahko tudi posledica podvajanja ob narivnem prelomu. Na njihovem kontaktu z Alveolinsko-numulitnim apnencem so se razvile jame kontaktnega krasa Beško - Ocizeljskega jamskega sistema. Nekateri vhodi v jame (npr. Jurjeva jama) so razviti ravno na kontaktu, medtem, ko so nekateri zaradi denudacije reliefa od kontakta že nekoliko odmaknjeni.

2.1.2.7 Fliš (F/E) - Eocen

Za Fliš je značilno menjavanje laporovca, meljevca in litičnega peščenjaka z debelinami plasti v različnih razmerjih, ki ustrezajo pogojem sedimentacije v flišnem bazenu. Včasih so prisotne tudi tanke plasti apnenca. Peščenjak, v katerem prevladujejo zrna kremenca in glincev, postopno prehaja v alevrolit.

Laporovec predstavlja v slovenski geološki literaturi ime za karbonatno silikatni glinavec (reagira z 10%HCl) premera zrn manj kot 2 mikrometra. V Flišu so prisotni tudi karbonatno silikatni meljevci (reagirajo z 10% HCl) premera zrn od 2-63 mikrometrov. Oba granulometrična različka se lahko zanesljivo ločita le z laboratorijskimi preiskavami, zato smo iz praktičnih razlogov terenskega kartiranja glinasto in meljasto kamnino združevali v eno litološko enoto.

Na kartiranem območju se debelina plasti v splošnem menjava od manj kot 1 cm v laporovcih do maksimalno 1,5 m v peščenjaki. Razmerje med debelinami plasti laporovca in peščenjaka se spreminja, prav tako se spreminja tudi povprečna debelina posameznih plasti. V splošnem se trdnost kamnin povečuje z višjo granulacijo.

V Flišu so razvite značilne Boumove sekvence turbiditnih tokov, ki so bodisi razvite popolno ali le delno. Plasti peščenjakov pripadajo siliciklastičnim turbiditom, plasti laporovcev so bile delno odložene s turbiditnimi tokovi, deloma pa z normalno sedimentacijo v hemipelagičnem okolju. V peščenjaki nastopajo zrnca kremenca in apnenca v približno enakem razmerju, z manjšimi variacijami. Plasti peščenjaka so navadno gradirane, z ostrimi spodnjimi mejami in občasno razvitimi tokovnimi odlitki in sledovi vtiskanja. Na spodnjih straneh ploskvah plastovitosti so pogosto ostanki sledi fosilov kar tako kot sledovi vtiskanja velja kot kriterij pri določitvi normalne ali inverzne lege plasti. Navzkrižna plastnatost in laminacija sta le redko razvita. Preperele flišne kamnine so ponavadi rjavkaste barve (oksidacija reduciranega železa), medtem ko so nepreperele sive barve. Omenjene teksture se vedno nahajajo na spodnjih površinah bolj groboklastičnih plasti kot pozitivna izbočenja. Na redkih mestih najdemo tudi pretežno kalkarenitne plasti, v katerih prevladujejo zrna apnenca. V peščenjaki so pogosti tudi rastlinski ostanki.

Trasa poteka po flišnih plasteh na območju brahisinklinale Velikega Gradišča na površini od km 5+500 do km 5+950. Fliš Gradišča leži v večjem delu konkordantno nad Prehodnimi plastmi, razen na vzhodnem krilu Velikogradiške brahisinklinale, kjer ga močan prelom v smeri sever - jug loči od Alveolinsko-numulitnega apnenca.

Zaradi hitrega preperevanja in poraščenosti terena je izdankov z laporovcev in glinastih laporjev malo, razen v vzhodnem krilu brahisinklinale, kjer so zaradi bližine preloma močno tektonizirani. Debelina fliša v Velikogradiški brahisinklinali verjetno nikjer ne presega 100 m in ostaja v najnižjem delu najmanj 150 m nad načrtovanim predorom.

Na območju Ocizelske brahisinklinale so močno nagubane flišne plasti od km 8+975 do km 11+280. Nekako do km 9+500 se menjavajo laporovci in meljevci napram peščenjakom v razmerju 40:60, nato do km 10+500 prevladujejo peščenjaki, nekatere plasti dosežejo debelino do 1,5 m, v povprečju pa prevladujejo do 0,4 m debele plasti. Med peščenjaki se nahajajo laporovci in meljevci v podrejeni debelini. Ponekod se pojavljajo do 5 m debeli vložki laporovcev, za katere pa se ne da ugotoviti njihovo lateralna razširjenost zaradi relativno slabo vidnih izdankov izven grap. Od km 10+500 naprej je razmerje med laporovci in meljevci proti peščenjakom približno 40:60. Flišne laporovce nad Prehodnimi plastmi najdemo na površini

še na km 14+000, vendar so tam izdanki zelo redki. Zaradi geometrije in strukturnih pogojev se v globini tektonsko relativno hitro izklinijo, zato jih tunel T2 ne prečka (glej poglavje o strukturni zgradbi). Flišne laporovce najdemo na površini tudi na km 15, predor T2 pa naj bi jih presekala na stacionaži med km 14+050 in 14+300. Laporovci in meljevci nastopajo na površini na južnem portalu predora T2. Fliš gradi tudi celotno območje Tinjana in tudi predor T8 bo zgrajen v flišu.

2.1.2.8 Podorni bloki, koluvialni sedimenti

Med recentne sedimente prištevamo na novo odkrit obsežen koluvij flišnih kamnin na območju Velikega gradišča, koluvialno zapolnjena dolinica pri Mihelah, kjer je bila izvedena nova vrtina T2-15/17, podorne bloke na strmih pobočjih pod Črnokalskim narivnim prelomom na območju južnega portala predora T2, pod Socerbskim in Kastelskim narivom, ki so sestavljeni iz Alveolinsko-numulitnega apnenca, v nekaterih erozijskih grapah pa tudi iz blokov flišnega peščenjaka. Pod magistralno cesto Kozina - Koper je tudi melišče iz apnenca, ki pa je najverjetneje antropogenega izvora kot nasutje materiala pri gradnji ceste. Dolino Rižane v spodnjem delu trase pokrivajo aluvialni sedimenti.

Izrazito območje sprijetega grušča Alveolinsko-numulitnega apnenca je tudi v zahodnih pobočjih grape potoka Griža.

2.1.2.9 Lehnjak

V potočnih strugah, pritokih Glinščice in na območju Plavskega in Škofijskega potoka se na flišnem območju, v pretežno v bolj strmih predelih in slapiščih pojavljajo bolj ali manj debele skorje lehnjaka. Lehnjak je relativno kompakten.

2.1.2.10 Zapolnitve kraških jam, vrtač

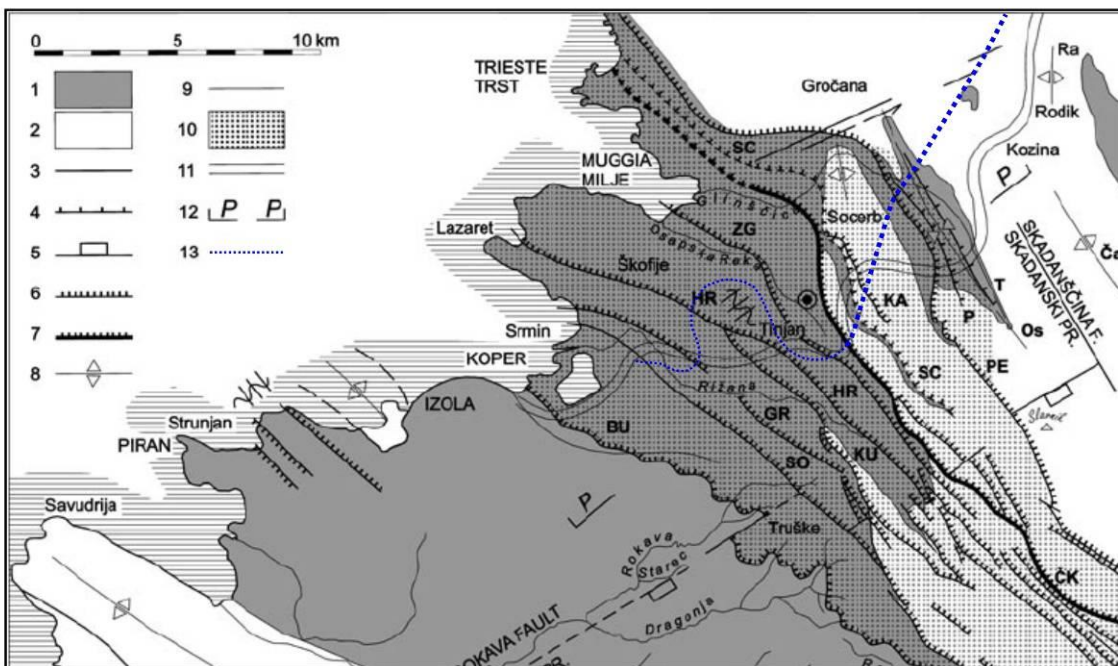
V Alveolinsko-numulitnem apnencu se na ovinku servisne ceste za AC nahaja presek in s sigo ter peščeno - meljastim sedimentom zapolnjen jamski rov, ki se lahko nadaljuje tudi v globino v bližino nivelete predora T2. V vrtačah se nahaja nekoliko več preperine, deloma tudi antropogenega izvora.

2.1.3 Strukturna zgradba

V strukturnem smislu poteka trasa deloma po Reškemu sinklinoriju in deloma po območju Kraškega narivnega roba (slika 2/1) na stiku med Zunanji Dinaridi (Kras in Čičarija) in Jadransko - Apulijskem predgorjem (Istra). V reškem sinklinoriju prevladuje sinklinalna zgradba. Na območju Kraškega narivnega roba je prevladujoča narivna zgradba, ki je nastala zaradi premikov ob reverznih in narivnih prelomih. Narivna zgradba je prevladujoča in z narivanjem povezane deformacije so glavne strukture Kraškega

narivnega roba. Ostale deformacije na tem območju so podrejenega obsega. Kraški narivni rob je nastal zaradi podiranja Istre pod Zunanje Dinaride, ob hkratni protiurni rotaciji Istre nasproti Zunanjim Dinaridom, kar se odraža v različnih dolžinah narivanja vzdolž slemenitve narivov. Narivi kažejo klasični proti predgorju (JZ) vergirajoči (foreland vergent thrust system) narivni pas, v katerem so sukcesivno nižje narivne ploskve vedno bolj položne. Najverjetneje narivi izhajajo iz ločilne (detachment) ploskve, iz katere se odcepljajo posamezni narivni prelomi, ki so propagirali navzgor. Narivanje ob narivnih prelomih je torej najverjetneje povezano z mehanizmom gubanja ob napredujočih prelomih. Premik ob posameznih narivnih prelomih bočno zamira, le ti preidejo v gubo napredujočega preloma, nakar bočno zamira tudi guba. Ponekod se nekateri narivi naslanjajo na druge narive. V tem primeru se pojavi problem poimenovanja narivnih enot, ki so označene po narivnem prelomu ali narivni coni, ki narivno enoto omejuje od spodaj. Takrat za narivno enoto uporabimo ime tistega narivnega preloma ali cone, ki je po naši oceni pomembnejši (ob njem je bil opazovan večji premik).

Celoten kumulativni premik v narivni coni je porazdeljen na množico lomnih in duktilnih stuktur različnih tipov. V narivni coni se generalno na njenem obrobju pojavljajo majhne simetrične blage gube m-dm dimenzij, ki proti jedru postajajo vedno bolj poševne in zaprte, v jedru narivne cone pa skoraj izoklinalne. Njihove vergenca je navadno enaka smeri narivanja. Pričnejo se pojavljati narivni prelomi, ob katerih so plasti zavahane v prevrnjene obnarivne gube, narivni prelomi po lezikah, duplexi različnih dimenzij, skrilavost in klivaž.



Slika 2/1. Tektonska skica podrivnega pasu, z vrisanim potekom trase tira Divača - Koper. Odsek Divača - Črni Kal je odebeljen. Skrajni severni del trase pri Divači je izven skice. Dopolnjeno po Placerju

(2007).1. Fliš (F/E) - Eocen; 2. Kamnine Jadransko - Dinarske karbonatne platforme od zg. krede do Alveolinsko-numulitnega apnenca (ANA/E) - Eocen; 3. Prelom; 4. Reverzni prelom: T - Trmunki reverzni prelom, P - Preški reverzni prelom; 5. Normalni prelom; 6. Narivni prelom, narivna cona: PE - Petrinjski narivni prelom, KA - Kastelski narivni prelom, SC - Socerbski narivni prelom, ČK - Črnokalski narivni prelom, ZG - Zanigradska narivna cona, HR - Hrastoveljska narivna cona, KU - Kubejska narivna cona, GR - Gračiška narivna cona, SO - Sočerska narivna cona, BU - Buzetska narivna cona; 7. Črnokalski narivni prelom (Palmanovski narivni prelom); 8. Guba: Ra - Rodiška antiklinala, Ča - Čičarijski antiklinorij, Os - Ocizeljska poševna do prevrnjena brahisinklinala; 9. Geološka meja; 10. Podrivni pas; 11. AC Ljubljana - Koper; 12. Lega projekcijske ravnine P-P geološkega prereza po avtocesti (ni prikazano); 13 - Trasa drugega tira.

2.1.3.1 Definicija in opis geoloških razmer v strukturnih enotah, preko katerih poteka trasa

Trasa poteka po naslednjih strukturah enotah, ki si sledijo od zgoraj navzdol:

2.1.3.1.1 Območje med Divačo in Krvavim potokom

Kraški del raziskanega ozemlja med Divačo in Krvavim potokom predstavlja del Tržaško-komenske planote, ki se razprostira v dinarski smeri (NW-SE) nad Tržaškim zalivom in je bolj znana pod imenom Kras. Krasu pripisujemo v ožjem pomenu besede le apnenčevo in dolomitno ozemlje, ki ga na zahodu in jugozahodu omejuje fliš Goriško-vipavskega sinklinorija, njegov osrednji del pripada Tržaško-komenskemu antiklinoriju, na jugu pa prehaja v strukture Reškega sinklinorija. S stališča tektonike plošč leži Tržaško-komenska planota na severnem deformiranem robu Jadranske mikroplošče.

Območje leži južno od močnega dinarsko usmerjenega Divaškega preloma in pripada Reškemu sinklinoriju. Zahodno od raziskanega območja je razvita velika Lipiška sinklinala, ki predstavlja najzahodnejši del Reškega sinklinorija. Gradi jo niz manjših gub v smeri severozahod - jugovzhod z osmi nagnjenimi proti jugozahodu. Vse karbonatne formacije njenega severovzhodnega krila prehajajo na raziskano območje, kjer se generalni vpad plasti (od 15° do 20°) obrne proti jugu z manjšimi odstopanji proti vzhodu in zahodu. Za celotno raziskano območje med Kozino in Krvavim potokom je značilna izrazita razpakanost karbonatnih kamnin. Tip plastovitosti in sistemi razpok, ki so prikazani na geološki karti v veliki meri vplivajo na geomorfološke značilnosti terena in zakrasevanje. Kljub močnim in pogostim zdrobljenim conam v prvem delu trase vse do vasi Prelože ni opaznih močnejših prelomov, ki bi povzročili večje premike stratigrafskih (formacijskih) mej. V tem delu prevladujejo sistemi navpičnih razpok v približni smeri sever - jug z rahlim odstopanjem proti vzhodu ali zahodu. Posebej je potrebno omeniti močno razpoklinsko in tektonsko zdrobljeno cono v Liburnijski formaciji južno od Prelož med 3. in 4. km trase (prostor kmetijske farme).

Velikogradiška brahisinklinala

V smeri proti Velikemu Gradišču se plasti Kraške grupe razvijejo v Velikogradiško brahisinklinalo, ki predstavlja gubo s flišem v jedru. Vzhodni del brahisinklinale je nekoliko pogreznjen ob normalnem prelomu sever - jug.

Južno od Velikogradiške brahisinklinale leži skupina gub v smeri severovzhod - jugozahod. To so sinklinala na Goliču, antiklinala na področju Vrhpoljskega polja in sinklinala na Polanščku (Videž). V njih so nagubane predvsem plasti Kraške grupe in fliša, ki je večinoma že povsem erodiran. Tudi te gube so nastale najverjetneje zaradi horizontalnih zmičnih prelomov v dinarski smeri.

Območje med Preložami in Velikim Gradiščem seka subvertikalni prelom v smeri severoseverozahod - jugojugovzhod ter močan normalni prelom v smeri sever - jug ob katerem je nekoliko spuščen zahodni blok.

Ob prelomih so široke zdrobljene cone, bloki med prelomi pa kažejo izrazito navpično razpokanost v približni smeri sever - jug. Močno so izražene tudi razpoke z vpadom 80° proti vzhodu. V flišu Velikogradiške brahisinklinale so cone razpok zaradi preperevanja in poraščenosti terena slabo vidne. Na širšem območju brahisinklinale pa je tektonika v karbonatni podlagi fliša zelo izrazita (prikazano na geološki karti), kar se bo nedvomno odražalo v tektonski porušenosti karbonatnih kamnin Kraške grupe pod Velikim Gradiščem, skozi katere je načrtovan predor.

Celotno južno pobočje Velikega Gradišča kaže vse do Krvavega potoka enotno vsesplošno prisotnost razpok v smeri 160° - 340°. Ta del trase sekata blizu km 7 dva navpična preloma s širokimi zdrobljenimi conami. Od pomembnejših prelomov sta na raziskanem območju prisotna dva močna vzporedna dinarsko usmerjena preloma z rahlo spuščenicama jugozahodnima kriloma, ki ju lahko sledimo od Kozine preko Krvavega potoka naprej v Italijo. Ob njih je razvita široka zdrobljena cona. Novo odkrita pretežno zapolnjeni kraški jami v vrtini T1-13/17 je opisana v poglavju 2.2.2.3 in v krasoslovnem poročilu.

2.1.3.1.2 Območje med Krvavim potokom in Črnim Kalom

Ocizeljska brahisinklinala z notranjimi strukturami

Ocizeljska brahisinklinala je obsežno flišno območje med Prešnico na JZ in Steno nad Glinščico v Italiji. Definirana je kot v smeri JV - SZ razpotegnjena sinklinala, katere os iz njenega JV konca tone proti SZ in os iz SZ konca tone proti JV. Apnenci torej izdajajo tudi na SZ in JV izpod fliša. Glavne strukture v Ocizeljski brahisinklinali so Trmunski reverzni prelom, Prešniški reverzni prelom in Petrinjski narivni prelom. SV krilo je sestavljeno iz Alveolinsko-numulitnega apnenca, ki strmo vpada proti JZ (220/70), jugozahodno od Krvavega potoka, v okolici vasi Mihele in na površini na stacionaži km 8+855 preide v bazalni konglomerat (debeline do 1m) in v Prehodne plasti. Kontakt vpada z elementi 240/70-80 in postane glede na novo izvedeno vrtino T1-15/17 v globini inverzen, kjer ga preseka Trmunski narivni prelom. Kontakt je na nekaterih mestih zamaknjen ob desnozmičnih prečnodinarsko (SV-JZ) usmerjenih prelomih (Sv. Trojica med Mihelami in Nasircem, potok Krvavi potok). Flišne plasti JV od kontakta z Alveolinsko-numulitnimi apnenci so močno nagubane in deformirane. Prevladujejo različni tipi in velikosti gub z osmi v smeri SZ-JV, ki vergirajo proti JZ. Navadno so poševne, redko pogle in prevrnjene. Njihova geneza je povezana s

splošnim gubanjem območja in lahko nastopajo gube nižjega reda, lahko pa nastajajo tudi kot spremljajoče gube reverzних prelomov.

Cona Petrinjskega narivnega preloma in guba napredujočega preloma

Cona Petrinjskega narivnega preloma leži v JZ krilu Ocizeljske brahisinklinale. Navzgor je deloma omejena s cono Preškega reverznega preloma. Petrinjski narivni prelom je bil definiran v useku AC Klanec - Srmin, kjer je Alveolinsko-numulitni apnenec narinjen (60/35) na Prehodne plasti. Alveolinsko-numulitni apnenec v krovni nariva tvori ozko proti SSZ tonečo antiklinalo, ki je nastala kot posledica narivanja. Na njenem SV krilu je viden kontakt s Prehodnimi plastmi (70/50). Naklon kontakta na mestu antiklinalnega hrbtna, tam kjer potone pod Prehodne plasti, ni viden. Proti SZ je ob Petrinjskem narivnem prelomu narinjen Fliš na Prehodne plasti in še bolj proti SZ sta narinjena Fliš na Fliš. Glede na nove rezultate in vrtino T2-16/17 na območju trase, prelomna deformacija popolnoma zamre in nastopa guba napredujočega preloma (za podrobnejšo razlago glej poglavje 2.2.2.2).

Škrkloviška narivna enota

Škrkloviška narivna enota leži pod cono Petrinjskega narivnega preloma in nad Škrkloviškim narivnim prelomom. Sestavljena je iz Alveolinsko-numulitnega apnenca na njenem jugozahodnem območju, ki vpada proti SV pod naklonskim kotom med 15 in 25° in preide na območju Loke v Prehodne plasti na stacionaži km 11+420 (površina) in v predoru na stacionaži km 11+300. Meja poteka približno po dnu doline in je definirana z jamami kontaktnega krasa, ki so se razvile na stiku Alveolinsko-numulitnega apnenca in Prehodnih plasti. Potoki pritečejo iz flišnega območja in ko naletijo na prepustne apnenice, poniknejo. Kontakt med Alveolinsko-numulitnim apnencem in Prehodnimi plastmi se da slediti še proti SZ mimo opuščenega kala Na Mazariji, v dolino potoka Griža. Tudi tukaj vpada proti SV. Prehodne plasti navzgor prehajajo v Fliš, v katerem prevladujejo peščenjaki.

Škrkloviški narivni prelom

Škrkloviški narivni prelom je bil definiran na AC v predoru Kastelec na stacionaži 14.000 m (60/45) nad predorom pa poteka narivnica po nizu vrtač. Škrkloviški narivni prelom je nadaljevanje dobro definiranega narivnega preloma na italijanski strani grebena Malega krasa (pobočja nad levim bregom Glinščice), kjer je Alveolinsko-numulitni apnenec narinjen na ozek pas Prehodnih plasti. Na meji s Slovenijo se Prehodne plasti v talnini nariva tektonsko izklinijo, tako da je proti JV Alveolinsko-numulitni apnenec narinjen na Alveolinsko-numulitni apnenec. Narivnica je v slabo plastnatem apnencu težko opazna, lahko pa jo sledimo po nizu v smeri slemenitve narivnice razpotegnjenih vrtač nekako do sredine Podgorskega krasa. Še bolj proti JV premik ob narivnem prelomu najverjetneje zamre.

Kastelska narivna enota

Kastelska narivna enota je navzgor omejena s Škrkloviškim narivnim prelomom, navzdol pa s Kastelskim narivnim prelomom. Alveolinsko-numulitni apnenci vpadajo pretežno proti SV, prisotne so dinarsko usmerjene razpoke.

Kastelski narivni prelom

Kastelski narivni prelom je na površju jasno viden, saj tvori njegovo čelo morfološko stopnjo Alveolinsko -numulitnega apnenca nad Prehodnimi plastmi v Socerbski narivni enoti. Od Socerbskega narivnega preloma se odcepi nad vasjo Kastelec in se nadaljuje proti JV in prečka AC predor Kastelec na stacionaži 14.960 m (80/30, 80/40). Strukturne razmere v predoru kažejo, da je proces narivanja doživel več faz, narivanju je sledilo gubanje in ponovno narivanje. Struktura vzhodno od magistralne ceste in še naprej proti JV je navidezno bolj preprosta, saj se da narivni kontakt jasno slediti pod značilno morfološko stopnjo Alveolinsko-numulitnega apnenca, ki je narinjen na Prehodne plasti. SV od kamnoloma Črnotiče se Prehodne plasti v talnini nariva tektonsko izklinijo, tako da je Alveolinsko-numulitni apnenec narinjen na Alveolinsko-numulitni apnenec. Proti JV se intenzivnost narivanja najverjetneje manjša.

Socerbska narivna enota

Socerbska narivna enota predstavlja asimetrično antiklinalo z blagim SV krilom in bolj strmim JZ krilom, ki je nastala kot posledica narivanja ob Socerbskem narivnem prelomu. Os antiklinale je vidna v skrajnem JZ delu kamnoloma Črnotiče, tako da JZ krilo, gledano v tlorisu, zavzema le manjši del površine celotne strukturne enote. Sestavljena je pretežno iz Alveolinsko-numulitnega apnenca, deloma pa iz Prehodnih plasti. Stratifikacija v SV krilu blago vpada proti SV (50/10) in navzgor prehaja v Prehodne plasti. V JZ delu kamnoloma Črnotiče se plasti previjejo in vpadajo proti JZ.

Socerbski narivni prelom

Socerbski narivni prelom predstavlja spodnjo mejo Socerbske narivne enote. Definira jo izrazita morfološka stopnja v Alveolinsko-numulitnem apnencu. Glede na podatke kartiranja in podatke iz vrtin na območju kamnoloma Črnotiče, je narivna ploskev nekoliko nagubana. Narivna ploskev izdanja na več mestih in je zelo dobro morfološko definirana kot strma skalna stopnja v apnencih. Na narivnem stiku z apnenci so Prehodne plasti navadno močno deformirane. V kamnolomu so med poglobljanjem presekali tudi narivnico apnenca na Prehodne plasti, tako da sedaj Prehodne plasti izdanjajo v obliki tektonskega okna.

Osapska narivna enota

Zaradi novih ugotovitev v okviru teh raziskav smo vpeljali novo strukturno enoto in sicer Osapsko narivno enoto (za podrobnosti glej poglavje 2.2.2.5). Južni del predora T2 v zaledju izhodnega portala je lociran v Alveolinsko-numulitnem apnencu Osapske narivne enote, ki jo navzdol omejuje Osapski narivni prelom.

Osapski narivni prelom

Kot Osapski narivni prelom smo poimenovali bivši Črnokalski narivni prelom, ki ločuje Alveolinsko-numulitni apnenec v Osapski narivni enoti in Prehodne plasti v zgornjem delu Črnokalske narivne enote (za podrobnosti glej poglavje 2.2.2.5).

Črnokalska narivna enota

Črnokalska narivna enota je glede na podatke iz tega projekta redefinirana in je navzgor omejena z Osapskim narivnim prelomom, navzdol pa s Črnokalskim narivnim prelomom. Na območju trase je širina te enote zelo majhna in močno pokrita (za podrobnosti glej poglavje 2.2.2.5).

Črnokalski narivni prelom

Tudi Črnokalski prelom je glede na podatke iz tega projekta na novo definiran. Zaradi pokritega terena ni neposredno viden, vendar ga bodo presekala bodoča gradbena dela. Ker je po nekaterih indikacijah ta prelom aktiven, ga je potrebno takrat natančno raziskati in vzpostaviti morebitno geodetsko spremljavo njegove aktivnosti. Prehodne plasti (PP/E) so narinjene na Fliš (F/E) (za podrobnosti glej poglavje 2.2.2.5).

2.1.3.1.3 Območje med Črnim Kalom in Koprom

Ker je bila na odseku Črni Kal - Koper izvrtana samo ena vrtina na območju tunela T8, so tu opisane le strukture na območju tunela T8.

Gračiška narivna enota

Gračiška narivna enota leži pod Hrastoveljsko narivno cono. Na površini prevladujejo laporovci in meljevci, ki vpadajo proti SV, deloma tudi N, ki navzdol preidejo v peščenjake. Na območju Drsalce, vzhodno od trase, so ob vertikalnem prelomu SSV - JJZ v kontaktu peščenjaki (50/35) v zahodnem krilu in laporovci ter meljevci (280/5-30) v vzhodnem krilu. Predvidevamo, da ta prelom zaradi lege ne bo segal čez predor. V neposredni krovlini Gračiške narivne cone so flišne plasti že znatno bolj deformirane in nagubane.

Gračiška narivna cona

Gračiška narivna cona je razmeroma ozka (v profilu tanka) in se na trasi na površini nahaja približno med km 25+650 in km 25+700, v predoru pa glede na njen vpad med km 25+050 in km 25+150 (za podrobnosti in interpretacijo glede na novo izvedeno vrtino T8-1/17 glej poglavje 2.2.3.2).

Sočerska narivna enota

Gračiška narivna cona navzdol prehaja v Sočersko narivno enoto. Meje se ne da natančno določiti, ker so izdanki redki.

2.2 Rezultati novih raziskav (2017-2018)

2.2.1 Predor T1

2.2.1.1 Uvod

Na območju predora T1 so bile izvrtane 4 nove vrtine (T1-12/17 (250 m), T1-13/17 (350 m), T1-14/17 (260 m), T1-15/17 (200m)) z namenom dodatnega ugotavljanja strukturne zgradbe Velikogradiške brahisinklinale in NE krila Ocizeljske brahisinklinale. Glede na nove ugotovitve v vrtinah, so bili ponovno pregledani in smiselno reinterpretirani obstoječi geofizikalni podatki (Car, 2010; Stopar & Car, 2010a; 2010b)

2.2.1.2 Vrtina T1-12/17

Ugotovitve

Globina 250 m (0-65 m udarno vrtanje, 65-125 m vrtanje na jedro, 125-180 m udarno vrtanje, 180-250 m vrtanje na jedro) (zvezek 2).

Vrtina je namenjena natančnejšemu ugotavljanju položaja posameznih formacij.

Vrtina v celotni dolžini poteka v apnencih Kraške grupe. Preseka spodnji del ANA/E, celotno TF2/Pc in približno polovico TF1/Pc (zvezek 5). Meje litoloških enot in njihovi vpadi so v posodobljenem profilu iste, kot so prikazane v prognoznem profilu.

Zgornjih 65 m vrtine (med 0,0 in 65,0 m) je bilo izvrtano z destrukcijo. Drobci iz tega odseka pripadajo svetlo rjavemu do sivemu apnencu. V nekaterih večjih drobcih so opazni odlomki velikih foraminifer - numulitin, ki kažejo, da se na tem odseku pojavlja Alveolinsko-numulitni apnenec (ANA/E). Takšen apnenec je bil kartiran tudi na površini. Na podlagi odsotnosti izraziteje rdeče obarvane izvrtanine je mogoče sklepati, da na tem odseku ni večjih jamskih prostorov zapolnjenih z glino ali terra rosso.

Med 65,0 in 125,0 m sledi odsek strukturnega vrtanja na jedro. Od 65,0 do 111,0 m se pojavlja svetlo siv do svetlo rjav foraminiferni apnenec. Večja koncentracija foraminifer je med 107,0 in 109,0 m. Fosilna združba (foraminifere vrste *assilina*) kaže na apnenec Zgornjih trsteljskih plasti (TF2/Pc) (zvezek 5). Apnenec večinoma ne kaže izrazitih sedimentnih tekstur (slika 2/1). Neizrazita usmerjenost večjih foraminifer na odseku med 73,0 in 83,0 m nakazuje na laminacijo apnenca, na podlagi katere je mogoče sklepati na vpad kamnin pod kotom okoli 20°. Apnenec je deloma razpokan z razpokami pod kotom 70 - 90°. Nekoliko bolj razpokan odsek je med 99,8 in 100,5 m, kjer so razpoke tudi zakrasele in odprte. Med 111,0 in 113,8 m sledi sistem vertikalnih razpok pod kotom 85 do 90°. Pod njim med 113,8 in 115,9 m pa močno zdrobljena in zakrasela cona. Na tem mestu so imeli med vrtanjem večjo izgubo vode. Od 116,0 do 125,0 m globine sledi razmeroma kompakten siv foraminiferni apnenec. Pojavljajo se redke razpoke z naklonom 70 -90°. Bolj zdrobljen je med 124,7 in 125,0 m.



Slika 2/1. Vrtina T1-12/17. Kompakten apnenec Zgornjih trsteljskih plasti z redkimi razpokami na odseku med 105,0 in 110,0 m.

Od 125,0 do 185,0 m je bilo vrtano s klavdom, zato popis jedra ni bil mogoč.

Od 185,0 do 250,0 m je vrtina prevrtala apnenca, ki pripadajo Spodnjim trsteljskim plastem (TF1/Pc). Večinoma je kamnina sive do temno sive barve, pojavljajo pa se tudi svetlejši odseki. Od fosilov so prisotne predvsem foraminifere - miliolide. Sedimentne teksture večinoma niso prisotne. Na odseku med 202,0 in 206,0 m so foraminifere koncentrirane v neizrazito laminacijo pod kotom okoli 40°. Na celotnem odseku je apnenec razpokan, zelo redki so bolj kompaktni odseki. Gosto razpokani odseki so od 185,0 do 190,2 m, od 193,2 do 195,1 m ter od 198,3 do 200,0 m. V teh delih kamnino sekajo gosti sistemi subvertikalnih razpok z vpadom okrog 90°. Razpoke niso izrazito zakrasele in zaglinjene. Med 202,5 in 232,5 m sledijo podobne razmere, vendar je apnenec še bolj razpokan in zdrobljen, razpoke pa so močno zakrasele in večinoma zapolnjene z glino ali celo jamskimi sedimenti. V karotažnem diagramu se na tem odseku kažejo kontinuirani odkloni caliperja. Pomen te cone v krasoslovnem pogledu je opisan v krasoslovnem delu poročila. V obstoječi vrtini na km 4+900 m, okoli 250 m stran od te vrtine, podobne deformirane cone v celotni njeni dolžini ni bilo navrtane. Odseki najbolj zdrobljene kamnine so med 202,5 in 208,0 m, 209,5 in 212,3 m, 215,1 in 218,30 m ter med 221,0 in 232,5 m. Nagib razpok je večinoma med 85 in 90°. Med 229,00 in 229,50 je vrtina prevrtala zakraselo razpoko (jamo) zapolnjeno z rdečo glino (slika 2/2).



Slika 2/2. Vrtina T1-12/17. Močno razpokan apnenec na odseku med 225,0 in 230,0 m. Odprte zakrasele razpoke so zapolnjene z rdečo glino.

Od 232,5 m do konca vrtine (250 m) je apnenec še vedno sistematično razpokan s subvertikalnimi razpokami (80 - 90°) (slika 2/3) vendar kamnina ni več močno zdrobljena. Opaznejša zdrobljena cona je le med 244,9 in 246,5 m.

Od globine 240,0 do 250,0 m apnenec postane precej svetlejši (svetlo sivo-rjav) in bolj zrnat. Foraminifer - miliolid je vse manj in prevladujejo odlomki drugih fosilov.



Slika 2/3. Vrtina T1-12/17. Svetel, sistematično razpokan apnenec s subvertikalnimi razpokami na globini med 235,0 in 240,0 m.

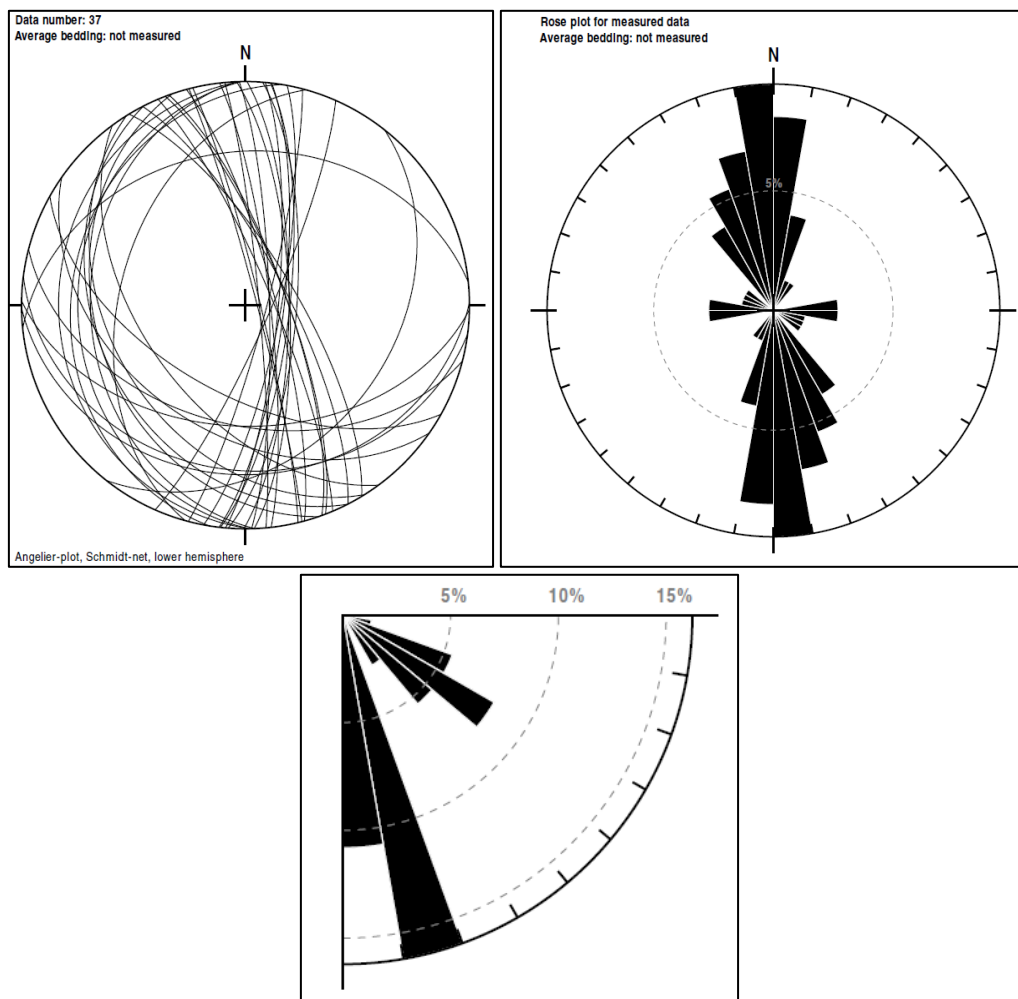
Iz karotažnih meritev (Lapanje et al., 2018, zvezek 3) lahko ugotovimo, da je od globine 56 m do globine 65,3 m odsek s povišano vrednostjo naravne gama aktivnosti (celoten odsek je bil izmerjen med 1,3-235

m), maksimum 51 API pa je na globini 62,1 m. Ta odklon pripisujemo zaglinjenim razpokam. Od 65,3 m do globine 81,9 m je odsek z zelo nizko povprečno vrednostjo naravne gama aktivnosti, ki znaša 12,9 API, kar pripisujemo bolj čistim apnencem. Do globine 100 m se povprečna vrednost dvigne na 21 API. Na globini 107,9 m je bilo zaznано povišanje do 39 API, do globine 123 m pa vrednosti zopet padejo in se gibljejo v povprečju okoli 12 API. Med 123 m in 145 m je odsek s povprečno vrednostjo okoli 20 API, od tu dalje pa do globine 184 m pa je odsek z večjimi nihanji naravne gama aktivnosti, ki se gibljejo med 10 in 47 API, v povprečju pa je vrednost 26,3 API. Na odseku med 184 m in dnem vrtine so vrednosti naravne gama aktivnosti malce nižje in se gibljejo okoli 19 API, brez večjih nihanj. Zaznано je le manjše povišanje na globini 223,5 m in 229,3 m z vrednostmi do 33 API. Povišanja vrednosti povezujemo s prisotnostjo večje količine glinastega materiala ali kraške ilovice.

izmerjene vrednosti in njihove spremembe torej ne kažejo spremembe tipa matične kamnine ampak prisotnost bodisi tektonskih (razpoklinskih con), ki so lahko zakrasele in zapolnjene z glinastim sedimentom.

OBI sonda je izmerila odsek med 56,9 - 125,4 m in 115,1 - 205,8 m, ABI sonda pa odsek med 115-206 m in 125,4-234,8 m. Uporabni podatki so vidni med 56,9-125 m. Plastovitost je vidna kot menjavanje svetlih in temnih pasov, katerih meje so neostre, tako da se jih le težka odčita na posnetku. Najbolj jasno izražene vpadajo 15-20° proti SW do W, kar se sklada z vpadom plasti, izmerjenimi na površinskih izdankih. Razpoke so pretežno subvertikalne in imajo SSZ-JJV smer, kar se prav tako sklada s površinskimi podatki geološkega kartiranja. Kraško razširjene razpoke so vidne med 99,0 - 100, 113,0 - 116,6, na 173,1 m, 175,4 m, 175,8 m in 198 m. Na globini 144 m - 151 m je vidna manjša kaverna. Tektonsko razpokana odseka sta interpretirana v globini med 204 m in 216,8 ter med 220 m in 232 m. Bolj kompakten apnenec je ugotovljen tudi iz krivulj električne upornosti v globini med 217 in 220 m.

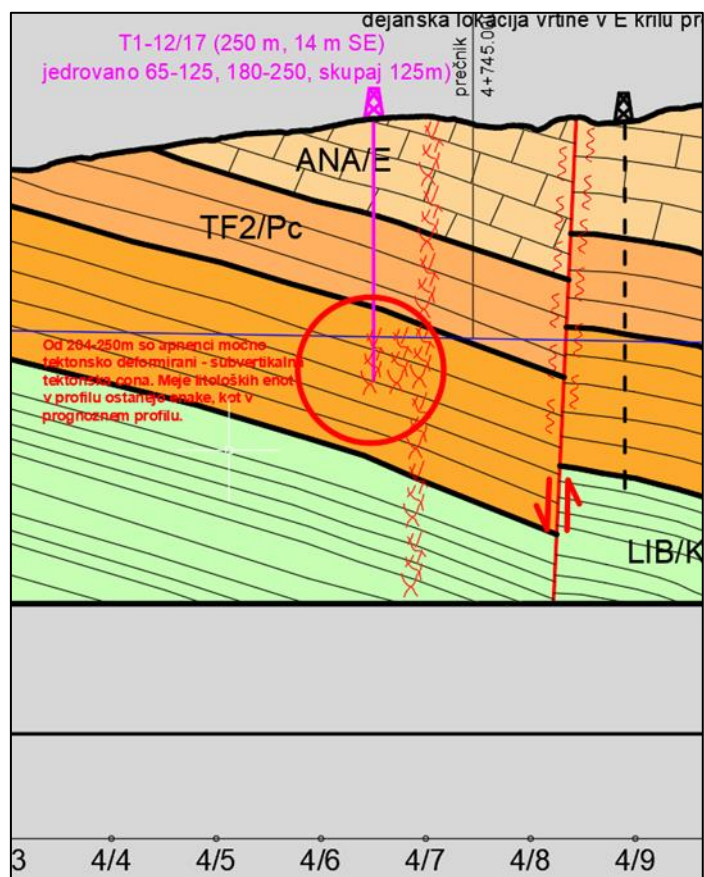
Čeprav je bilo analiziranih le 37 meritev na odseku od 56,9 - 234,8 m (slika 2/4), je orientacija diskontinuitet (pretežno razpoke) podobna kot v bližnji vrtini T1-7 in v izdankih na površini (Celarc et al., 2010) - prevladujejo S-J do SSZ-JJV usmerjene razpoke. Manj je dinarsko usmerjenih razpok.



Slika 2/4. Diskontinuitete, izmerjene z akustičnim/optičnim skeniranjem v vrtini T1-12/17. Odsek 56,9 - 234,8 m. Posnetki in drugi podatki so v Lapanje et al., 2010. Zgoraj levo: ravnine diskontinuitet; Zgoraj desno: rozetni diagram slemenitve diskontinuitet; spodaj: diagram naklonov diskontinuitet.

Interpretacija

Meje litoloških enot in njihovi vpadi so v posodobljenem profilu (priloga G.3) iste kot so prikazane v prognoznem profilu (Celarc et al., 2010). Domnevamo, da se tektonsko pretrta (razpoklinska) cona, ki je bila v prognoznem profilu prikazana na 4+700 m, še nekoliko razširi (slika 2/5). Glede na podatke geološkega kartiranja sklepamo, da ima smer SSZ-JJV.



Slika 2/5. Strukturno geološke razmere na območju vrtnice T1-12/17 (glej tudi prilogo G.3).

2.2.1.3 Vrtina T1-13/17

Ugotovitve

Globina 350 m (0-30 m udarno vrtanje, 30-115 m vrtanje na jedro, 115-195 m udarno vrtanje, 195-350 m vrtanje na jedro) (zvezek 2).

Vrtina je namenjena ugotavljanju natančne meje med F/E, PP/E in ANA/E, ter geološkim razmeram na nivoleti.

Zgornjih 30 m vrtine (med 0,0 in 30,0 m) je bilo izvrtano z destrukcijo. Mehka glinasta zemljina s posameznimi drobcami peščenjaka kaže na pobočni sediment (koluvij) flišnih kamnin.

Med 30,0 m in 39,8 m je jedro zajelo apnenčevo brečo Prehodnih plasti (PP/E), katere klasti pretežno pripadajo Alveolinsko-numulitnemu apnencu (ANA/E). V vrhnjem delu (med 30,0 in 32,5 m) je breča zakrasela, žepi so zapolnjeni s flišno preperino, zato je jedro deloma zajelo apnenčevo brečo, deloma pa zaglinjeno zemljino s kosi flišnega peščenjaka (slika 2/6).



Slika 2/6. Vrtina T1-13/17. Apnenčeva breča med 30,0 in 35,0 m. V zgornjem delu (30,0 - 32,5 m) jedro zajame kraški žep zapolnjen s preperino fliša.

Od 39,8 do 48,0 m, sledi temno siv laporovec do lapornati apnenec (PP/E), ki pripada Prehodnim plastem med ANA/E in Flišem (F/E) (slika 2/7).

Med 48,0 in 50,20 m vrtina prečka kraško jamo v celoti zapolnjeno z rumeno in rjavo glino s posameznimi manjšimi preperelimi kosi peščenjaka (slika 2/8). Z jedrom zajeti sedimenti dokazujejo, da zapolnjeni kanali deloma segajo še navzgor, najmanj do 44,7 m.



Slika 2/7. Temno siv prehodni laporovec do lapornati apnenec med 40,0 in 45,0 m.



Slika 2/8. Vrtina T1-13/17. Jamski sedimenti (rumena in rjava glina s posameznimi manjšimi preperelimi kosi peščenjaka) med 45,0 in 50,0 m. Navzgor (45,0 do 48,0 m) jedro deloma zajame še laporovec.

Med 50,2 in 59,1 m sledi bolj ali manj tektonsko razpokan svetlo siv apnenec (ANA/E). Razpoke vpadajo pod kotom 70°. Bolj razpokana cona je tik pod jamskimi sedimenti med 50,2 in 53,4 m.

Med 59,1 in 70,0 m se pojavi temno siv do rjav apnenec do lapornati apnenec brez velikih foraminifer, ki ga uvrščamo med Alveolinsko-numulitni apnenec. Kamnina je večinoma razpokana s posameznimi razpokami z vpadom 70 do 90°. Bolj razpokane cone so med 61,3 in 61,6 m, 62,7 in 63,0 m, 65,0 in 66,3 m ter med 69,0 in 69,5 m.

V nadaljevanju, od 70,0 m do konca (350 m), vrtina zajame debelo zaporedje sivega do svetlo sivega apnenca (ANA/E), ki ga večkrat prekinjajo jamski prostori. Strukturno vrtanje na jedro je bilo izvedeno do globine 115,0 m ter med 195,0 in 350,0 m.

Na 80,2 m usmerjenost velikih numulitin nakazuje laminacijo z vpadom 10 - 20°. Prav tako na odseku med 92,0 in 98,0 m foraminifere nakazujejo laminacijo pod kotom 5 do 15°. V tem delu je apnenec kompakten, brez razpok. Med 102,0 in 105,0 m laminacija vpada pod kotom okrog 10°, na odseku med 109,0 in 112,0 m pa med 10 in 20°.

Med globino 70,0 in 100,0 m prevladujejo razpoke pod kotom 70°, med 100,0 in 115,0 m pa te večinoma vpadajo pod kotom 45°. Kamnina je bolj razpokana na odsekih 77,0 do 80,0 m, 89,0 in 91,0 m ter 114,0 do 115,0 m. Odsek med 115,0 in 195,0 m je bil izvrtan z destrukcijo.

Med 195,0 in 204,7 m se pojavlja relativno kompakten siv do svetlo siv apnenec z velikimi foraminiferami - numulitinami. Redke razpoke vpadajo pod kotom 70°.

Med 204,7 in 208,5 m je vrtina prevrtala kraško jamo. Na dnu (208,3 do 208,5 m) se pojavlja 20 cm rdeče gline, ki je ponekod laminirana.

Od 208,5 do 215,0 m se pojavlja relativno kompakten apnenec (ANA/E). Redke razpoke večinoma vpadajo pod kotom 45° in so zakrasele ter zapolnjene z glino. Od 215,0 do 234,8 m je apnenec nekoliko bolj razpokan. Eden sistem razpok vpada 20-30°, drugi pa okrog 70°. Večinoma so razpoke zelo odprte in zapolnjene z glino ali meljem. Med 218,0 in 220,0 m usmerjene in deformirane foraminifere nakazujejo laminacijo/plastnatost pod kotom okoli 40°.

Glavni in največji jamski prostor se nahaja med 234,8 in 274,7 m globine. Jama je v celoti zapolnjena z rjavo-rdeče-rumeno meljasto glino, meljem in drobnnozrnati peskom (slika 2/9; 2/10). Sediment je v večjem delu jame izrazito laminiran. Lamine vpadajo pod kotom 40 - 50°, ponekod celo do 60°. Zlasti na odseku med 236,0 in 250,0 m se v jedru pojavljajo posamezne strukturne diskontinuitete (45-50°), ki jih ne pripisujemo tektonskim razpokam pač pa konsolidaciji sedimenta.



Slika 2/9. Vrtina T1-13/17. Jamski sedimenti na globini 235,0 in 236,0 m. Laminirana (45°) meljasta glina, melj in drobnnozrnati pesek.



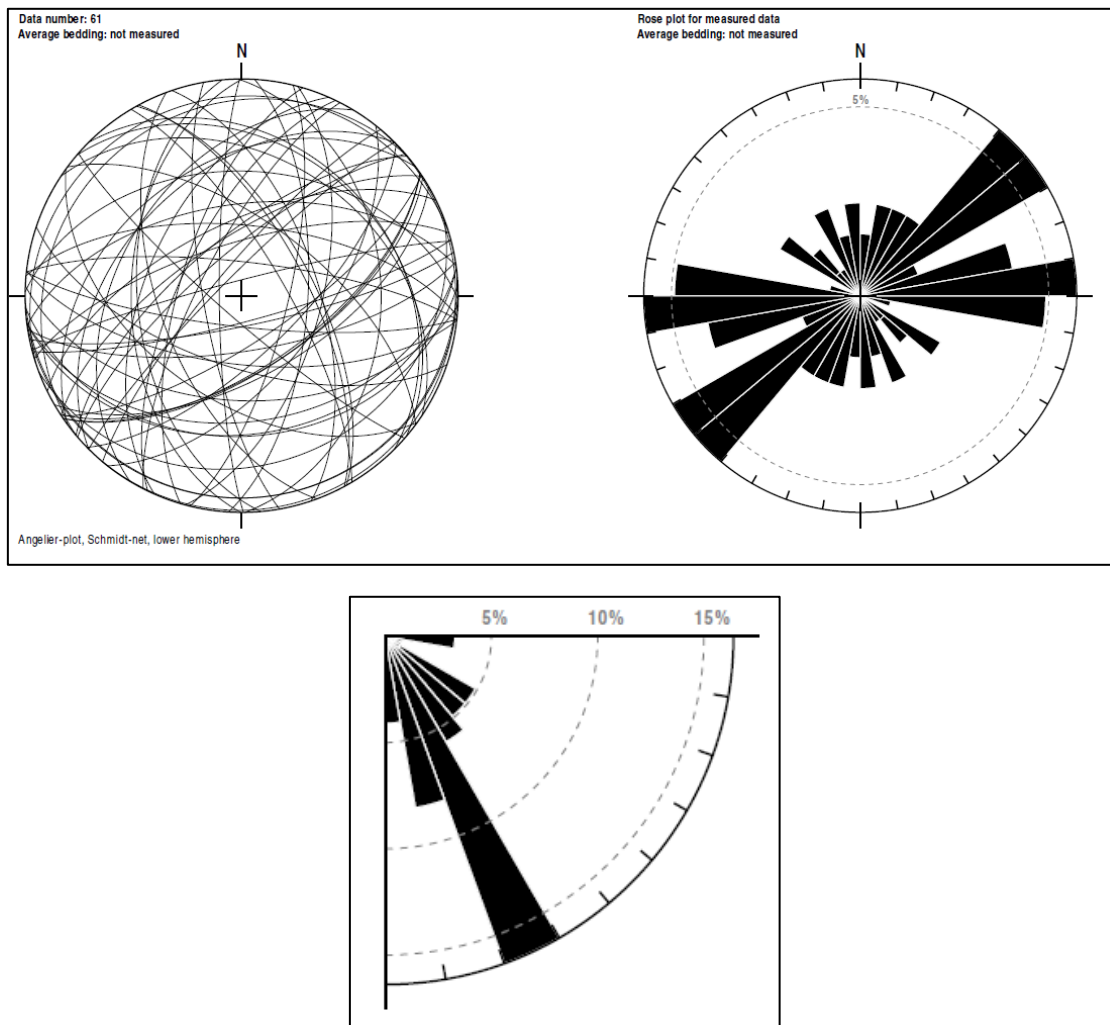
Slika 2/10. Jamski sedimenti v vrtini T1-13/17 med 240 in 245 m (območje nivelete).

Vrtina je poleg jamskega sedimenta mestoma odrezala apnenec (ANA/E) v jamski steni (na primer 255,7m) oziroma med 261,5 in 263,6 m kamnino med dvema večjima jamskima prostoroma.

Od 274,7 m navzdol se pojavlja malo do srednje razpokan apnenec (ANA/E). Običajno sive barve, vmes pa so tudi izrazito temno sivo obarvani horizonti. Mestoma so velike koncentracije velikih okroglih foraminifer - alveolin (na primer med 330 in 340 m). Na odseku med 277,0 in 295,0 m foraminifere nakazujejo laminacijo/plastnatost pod kotom okoli 35°, na odseku 299,0 in 302,0 m okoli 25°, med 312,0 in 339,0 m pa je laminacija razmeroma pogosta in večinoma vpada 30-35°. Na odseku med 290,0 in 297,0 m se pojavljajo vertikalne razpoke (80-90°) ponekod zapolnjene z glino. V tej coni tektonske drse nakazujejo zmične deformacije. Posamezne subvertikalne razpoke se pojavljajo še na odsekih 303,0 do 319,0 m in 339,0 do 349,0 m.

Podatki karotaže (naravna gama, caliper) (Lapanje et al., 2018, zvezek 3) zelo dobro sovpadajo s spremembami v litologiji (karbonati/klastiti) in pri ugotavljanju kavern. Na odsekih, kjer ni bilo izvedeno jedrovanje, je po podatkih karotažnih meritev kaverna med 115,6 in 117,6 m, očitno deloma zapolnjena s sedimenti (optični/akustični pregledovalnik, gama aktivnost). Zapolnjena kaverna je tudi med 122,8 in 128,4 m (optični/akustični pregledovalnik, naravna gama aktivnost).

Razpoke, ugotovljene s pomočjo OBI sonde na odseku med 57,9 - 152,3 m (slika 2/11) nimajo dominantne smeri, do neke mere prevladujejo SV-JZ in V-Z usmeritve. V-Z usmeritve so bile zaznane tudi na površju (Celarc et al., 2010). V obstoječi bližnji vrtini T1-8 (Celarc et al., 2010) so podobne smeri (SV-JZ), vendar prevladujejo smeri SZ-JV, ki v vrtini T1-13/17 niso bile zaznane.

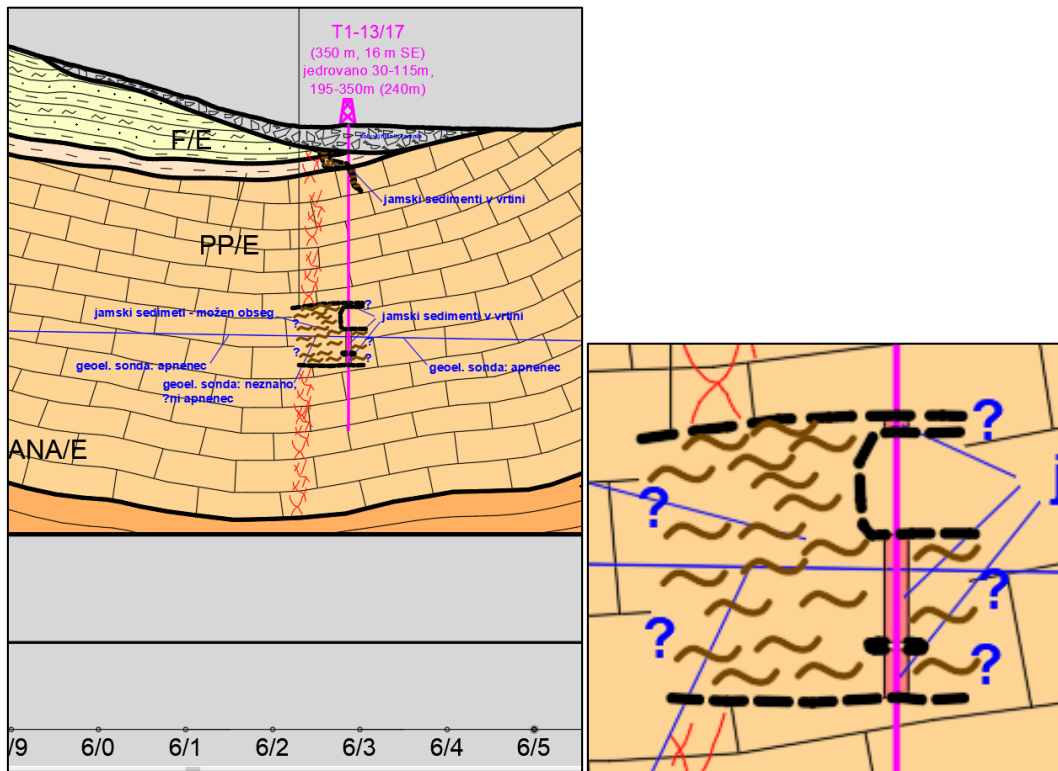


Slika 2/11. Diskontinuitete, izmerjene z optičnim skeniranjem v vrtini T1-13/17. Odsek 57,9 - 152,3 m. Posnetki in drugi podatki so v Lapanje et al., 2010, zvezek 3. Zgoraj levo: ravnine diskontinuitet; Zgoraj desno: rozetni diagram slemenitve diskontinuitet; Spodaj: diagram naklonov diskontinuitet.

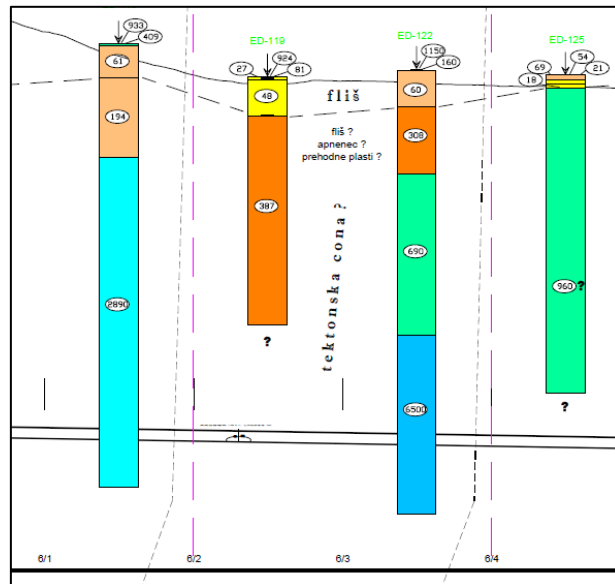
Interpretacija

Interpretacija prognoznega profila je prikazana na prilogi 12 in na sliki T1/12. Fliš očitno do lokacije vrtine ne seže, ampak tu nastopa na prehodnih plasteh (PP/E) flišni koluvij, katerega izvorno območje so fliši v zaledju. Zgornja meja ANA/E je višje, kot je bila prikazana na prognoznem profilu, med ANA/E se pojavlja še sedimentacijsko pogojen tanek vložek lapornatih apnencev. Do dna vrtine je nato matična kamnina Alveolinsko-numulitni apnenec (ANA/E). Pomembno novo odkritje in pomemben podatek na nivoju nivelete pa je relativno debelo zaporedje jamskih sedimentov. V tem poglavju je opisan njihov možen obseg izključno na podlagi geoloških indikatorjev. Krasoslovna razlaga geneze (in tudi mogočega prostorskega obsega tega sedimenta), je prikazana krasoslovnem poročilu, o geomehanskih lastnostih sedimenta pa geomehanskem poročilu. O geoloških dokazih za oceno možnega obsega tega sedimenta lahko sklepamo le glede na rezultate geoelektričnega sondiranja iz prejšnje faze raziskav. V geoelektrični sondi (slika 2/13 (Car, 2010)) na 6+150 m je na nivoju nivelete interpretiran apnenec. V geoelektrični sondi

na 6+250 m je na nivoju nivelete interpretiran material, ki ni apnenec in v geoelektrični sondi na 6+150 m je na nivoju nivelete ponovno interpretiran apnenec. Vrtina se nahaja na niveleti 6+297 m. Sklepamo lahko, da se jamski sedimenti raztezajo torej vsaj še preko sonde 6+250 m, ne segajo pa do ostalih dveh sond, v katerih je bil interpretiran apnenec. Ne moremo ugotoviti, kje je njihova zunanja meja. Tudi za njihovo zgornjo in spodnjo mejo nimamo nobenih indikacij, razen iz vrtine. V vzporednih geoelektričnih profilih sta sondi pravokotno na sondo 6+250 m s podobnimi lastnostmi, kar kaže da se jamski sistem s sedimenti razteza približno pravokotno na smer nivelete. V profilu (slika 2/13) smo označili torej dejansko ugotovljene jamske sedimente v vrtini in njihovo domnevno razširjanje v profilu. Če se na podlagi vseh indikatorjev ugotovi, da so ti sedimenti lahko potencialno problematični pri gradnji in da je potrebno ugotoviti njihov bolj natančen obseg, je potrebno predvideti ustrezne dodatne raziskave.



Slika 2/12. Strukturno geološke razmere v okolici vrtine T1-13/17 in možen obseg jamskih sedimentov. Glej tudi prilogo G.3.



Slika 2/13. Geoelektrične sonde na delu območja predora T2 (v bližini vrtine T1-13/17) in njihova interpretacija (Car, 2010).

2.2.1.4 Vrtina T1-14/17

Ugotovitve

Globina 260 m (0-130 m udarno vrtanje, 130-260 m vrtanje na jedro) (zvezek 2).

Vrtina je namenjena ugotavljanju meje med formacijami ANA/E, TF2/Pc, TF1/Pc in LIB/K-Pc in posledično ugotavljanju premikov ob prelomih med km 7+000 in 7+300.

Vrtina v celotni dolžini poteka v apnencih Kraške grupe (za sedimentološke in paleontološke analize glej prilogo 11). Določili smo mejo med Spodnjimi trstelskimi plastmi (TF1/Pc) in Liburnijsko formacijo (LIB/K-Pc) na globini med 211 in 216 m. V vrtinah se zaradi tipa kamnine težko najdejo indikatorji za lego plasti. Po nekaterih indikatorjih ugotavljamo, da vpadajo pod naklonskim kotom do 10°. Smeri vpada ne moremo ugotoviti, saj na OBI/ABI pregledovalniku niso zaznane. Izrazitejše razpoklinske cone so na 190,20 m (100/80); 191,20 m (80/80). Tudi na splošno so ostale registrirane razpoklinske cone subvertikalne. Prelomnih struktur v jedru nismo našli.

V profilu so vpadi subhorizontalni zaradi njihove korekcije glede na smer profila. Menimo, da so si apnenci matične kamnine glede naravne gama aktivnosti dokaj podobni, oziroma jih med seboj ne moremo ločiti, v bolj organsko bogati Liburnijski formaciji (slika 2/14) pa je aktivnost nekoliko povišana. Iz spremembe krivulje naravne gama aktivnosti lahko sklepamo na s sedimenti zapolnjene kaverne in razpoklinske cone, kjer se med posameznimi ploskvami razpok nahaja glineni material. Nekatere variacije naravne gama aktivnosti v makroskopsko podobnih in tektonsko malo deformiranih odsekih apnenca so očitno posledica naravnih variacij ali razlik v mineralni sestavi apnencev.

Odperte kaverne manjših dimenzij (nekaj dm) se nahajajo na globinah 48,60 m, 50,60 m, 53,40 m, 55,80 m, 68,0 m. Zapolnjena votlina je med 76,0 in 82,6 m, kjer je povišana naravna gama aktivnost, vidna indikacija povečanja premera v caliperju, vidni podatki iz georadarja (zvezek 4). Tudi na 86,4 m je zapolnjena votlina, povečana gama naravna aktivnost in razširjen caliper.

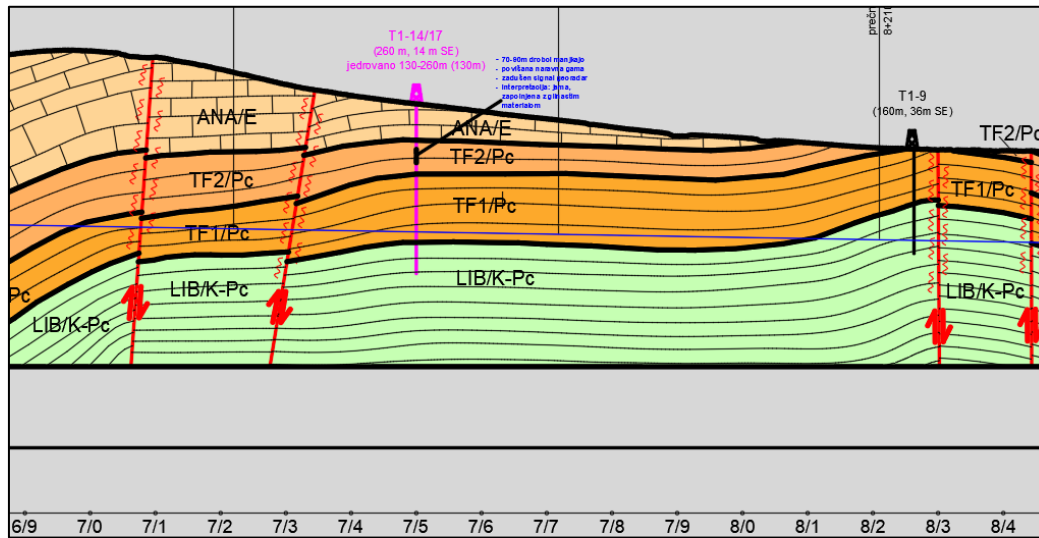
Med 76,0 in 82,60 m je naravna gama aktivnost povišana, hkrati pa močno niha. Na OBI posnetku je videti, da tu nastopa z sedimenti (?glinasto meljasti grušč) zapolnjena votlina, kar se vidi tudi na razširitvi caliperja. Glede na rezultate georadarskih meritev (zvezek 4) je na tem odseku vidno močno dušenje signala, kar dodatno potrjuje ugotovitve glede zapolnjene votline. V matični kamnini, pod votlino gama aktivnost zelo hitro pade. Med 86,0 in 86,80 m gama aktivnost naraste (prav tako caliper), videti je, da tu nastopa razpoka, zapolnjena z glinastim sedimentom, ki strmo vpada proti JV. Med 136,8 in 138 m je povišana naravna gama, ki sovпада s strmimi razpokami, zapolnjenimi z glinastim materialom.



Slika 2/14. Vrtina T1-14/17, odsek med 230-235 m. Organsko bogata Liburnijska formacija.

Interpretacija

Glede na to, da je meja med TF1/Pc in LIB/K-Pc višje, kot smo predvidevali v prognoznem profilu, smo korigirali položaj mej med posameznimi formacijami in predvidene premike ob prelomih v bližini te vrtine, tako da se je interpretirana struktura v globini na odseku nivelete med 6+600 m in 8+300 m (slika 2/15) smiselno prilagodila (spremembe položaja mej med posameznimi formacijami) novim spoznanjem iz vrtine. Smisel premika ob prelomih ostaja isti, zmanjšajo se le iznosi premikov, kar je v bistvu bolj logično glede na majhne premike, ki so bili ugotovljeni na površini, z geološkim kartiranjem v prejšnjih fazah raziskav.



Slika 2/15. Strukturno geološka interpretacija razmer v predoru T1, glede na novo izvedeno vrtino T1-14/17.

2.2.1.5 Vrtina T1-15/17

Ugotovitve

Globina 200 m, 62 m JV od trase (celotna dolžina vrtana na jedro) (zvezek 2).

Vrtina je namenjena za preverjanje strukturne zgradbe SV krila Ocizelske brahisinklinale oziroma JZ meje Velikogradiške brahisinklinale. Glede na geološko kartiranje je bilo predvideno, da kontakt Alveolinsko-numulitnega apnenca (ANA/E) in prehodnih plasti (PP/E) vpada strmo (70-80°) proti JZ. Vrtina, locirana v PP/E, naj bi na približno 70 m globine prešla v ANA/E in se v njih tudi zaključila. Izkazalo se je, da je situacija nekoliko drugačna. Strukturna interpretacija temelji na popisu jeder (zvezek 2, slika 2/16) in glede na rezultate karotažnih meritev.

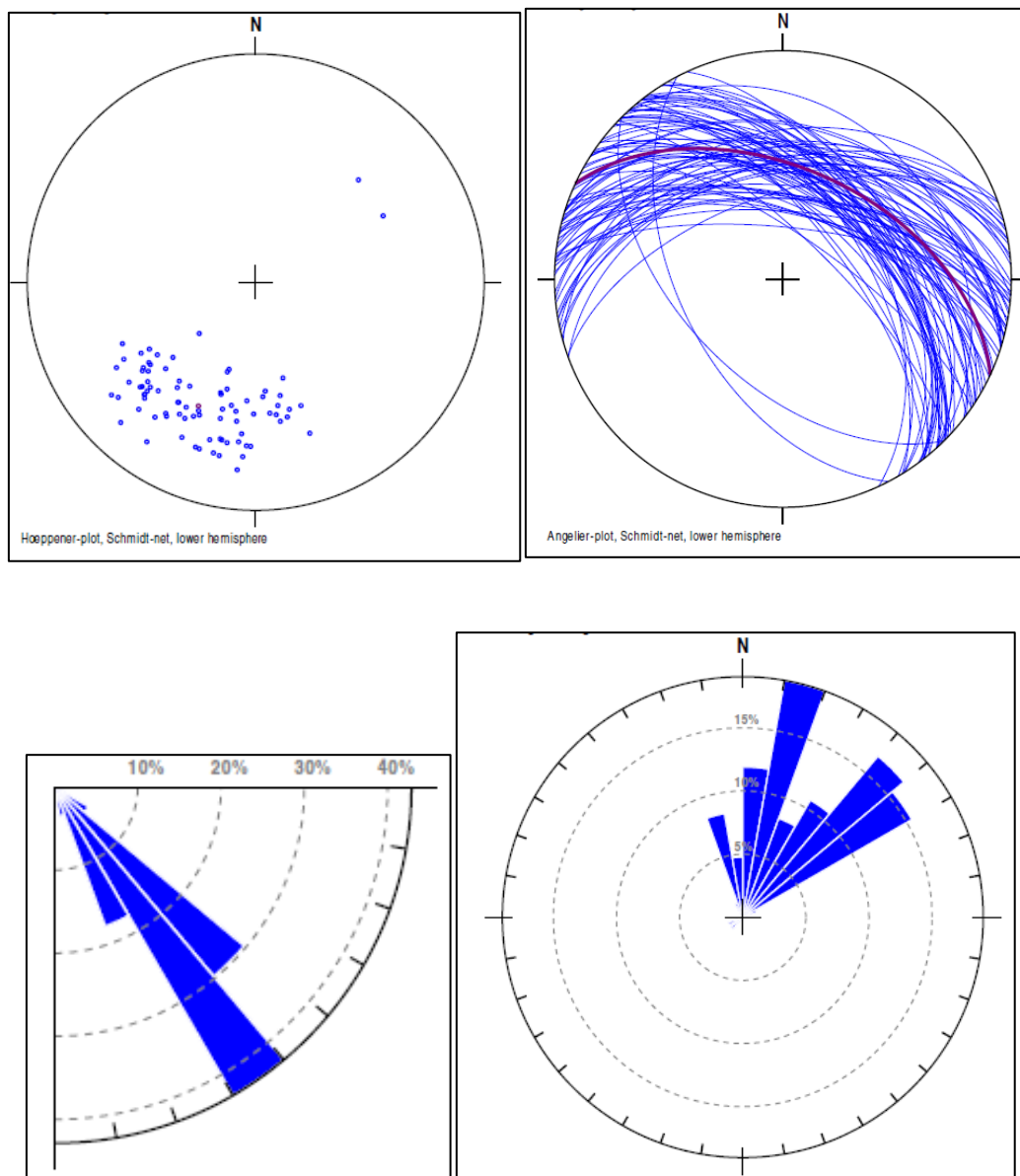
Na 23,30 m je vrtina preko koluvialnih sedimentov prešla v laporovce (PP/E) s strmimi laminacijami, ki pa jih televiver ni zaznal. Domnevamo, da vpadajo proti JZ. V laporovcih so prisota gnezda pirita. Na 44,20 m vrtina preide v menjavanje lapornatih apnencev in breč, to zaporedje se konča na 59,50 m. Domnevamo da opisano zaporedje leži v normalni legi (na tem odseku nismo našli neposrednih sedimentoloških dokazov za normalno ali inverzno lego plasti) in se vrtina skoraj približa ANA/E, saj prehaja že skozi bazalne breče. Od 59,50 m pa do 91,95 m vrtina ponovno poteka v laporovcih PP/E, stratifikacija je precej strma (50-70°), zazna jo tudi televiver, vpada proti SV. Iz položaja zaporedja (laporovci PP/E ležijo pod bazalnimi brečami PP/E), sklepamo, da je sukcesija tu v inverzni legi. Na 91,95 m do 93 m (slika 2/17) je kamnina tektonsko zelo deformirana, laporovci prenehajo in prične nastopati tipično flišno zaporedje. Vrtina preide skozi reverzni prelom, ki pod kotom približno 40° vpada proti SV. Navzdol je glede na sedimentne teksture flišno zaporedje v inverznem položaju do približno 160 m, nato pa do konca vrtine (200 m) v normalnem položaju. Tako normalne, kot tudi inverzne plasti vpadajo proti SV (slika 2/18), kar kaže na prevrnjeno sinklinalo, ki vergira proti JZ, z SV krilom v inverznem položaju. Podatki karotaže, ki kažejo litološko zgradbo (naravna gama, kratka upornost) se dobro skladajo z litološkimi razmerami (menjavanje paketov laporovca in peščenjaka).



Slika 2/16. Glavne litološke enote v vrtini T1-15/17. 38-39 m: PP/E normalna lega (glede na zaporedje); 58-59 m: PP/E bazalne breče: apnenčevi klasti z lapornatim vezivom; 69-70 m: PP/E inverzna lega (glede na zaporedje); 93-94 m: prelomno deformiran fliš; 161-162 m flišno zaporedje v inverzni legi (sedimentološki kriteriji); 193-194 m: flišno zaporedje v normalni legi (sedimentološki kriterij).



Slika 2/17. Vrtina T1-15/17, 90-95 m, deformiran odsek, cona naravnega preloma.



Slika 2/18. Vrtina T2-15/17. Prikaz plastovitosti. Schmidtova mreža, spodnja hemisfera. Zgoraj levo: poli plastovitosti; zgoraj desno: ravnine plastovitosti; spodaj levo: diagram naklonov plastovitosti; spodaj desno: rozetni diagram smeri vpadov plastovitosti.

Interpretacija

Novo ugotovljena struktura (slika 2/18) kaže, da je vrtina presekala precej strm reverzni prelom, ki vpada proti SV, pri katerem se je v krovninskem bloku razvila obprelomna antiklinala (z inverznim JZ krilom), v talninskem bloku pa obprelomna sinklinala (z inverznim SZ krilom). Geoelektrične raziskave (Stopar & Car, 2010a) kažejo litološko spremembo, ki je bila upoštevana že v prejšnji fazi raziskav, vendar se na njihovi podlagi ni dalo sklepati o sami geometriji kontakta. Niveleta tunela bo glede na prejšnjo prognozo iz PP/E

prešla v ANA/E nekoliko bolj v smeri proti Divači. Ker vrtina ni bila zvrtna nad niveleto, ampak 62 metrov proti JV, je natančna geometrija nekoliko nezanesljiva.

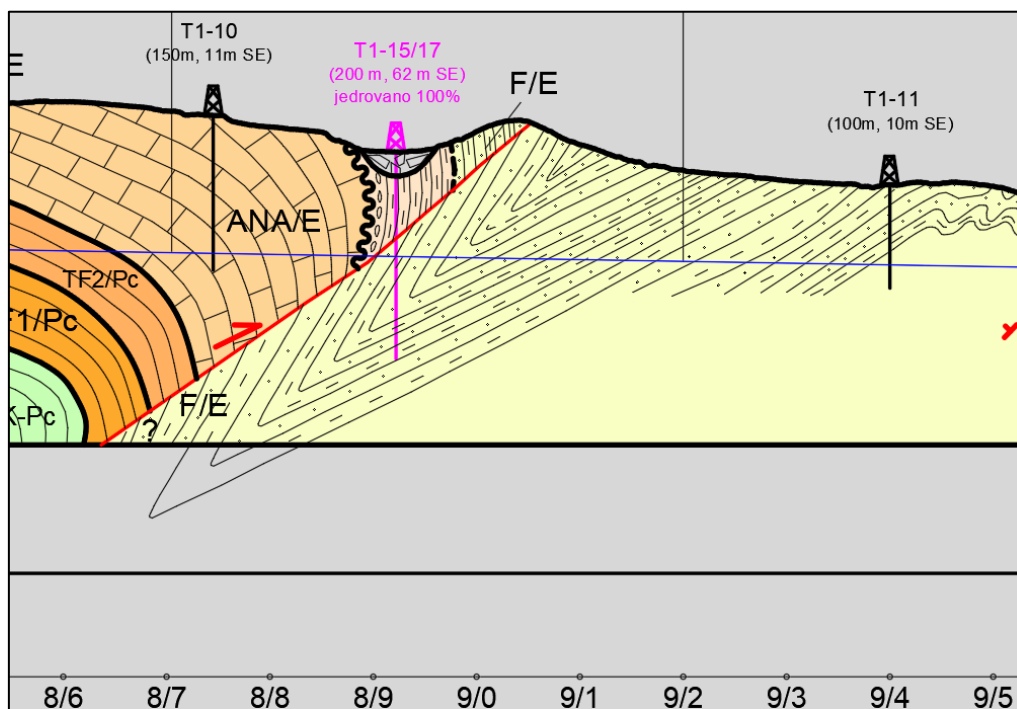
1. varianta preseka strukture z niveleto:

V smeri proti Divači niveleta iz talninskega bloka v flišu (F/E) preko reverznega preloma preide v krovinski blok iz PP/E in nato preko litološkega prehoda v ANA/E (kontakt vpada proti SV). Fliš in PP/E sta na medsebojnem prelomnem kontaktu tektonsko deformirana.

2. varianta preseka strukture z niveleto:

V smeri proti Divači niveleta iz talninskega bloka v flišu (F/E) preko reverznega preloma preide neposredno v ANA/E krovinskega bloka. V tem primeru bo medsebojni kontakt fliša in apnenca vpadal cca 40° proti SV. Na kontaktu bo fliš tektonsko deformiran, apnenec pa nekoliko v manjši meri, zaradi relativno različnih reoloških lastnosti obeh tipov kamnin.

Ta vrtina je torej pomembno prispevala k razumevanju strukturne meje med Velikogradiško brahisinklinalo na SV in Ocizelsko brahisinklinalo na JZ in k strukturnim razmeram na niveleti med 8+500 m in 8+900 m.



Slika 2/18. Strukturno geološka interpretacija razmer v predoru T1, glede na novo izvedeno vrtino T1-15/17. (Glej tudi prilogo G3).

2.2.2 Predor T2

2.2.2.1 Uvod

Na območju predora T2 je bilo izvrtanih 5 novih vrtin T2-16/17 (250 m), T2-17/17 (150 m), T2-18/17 (200 m), T2-19/17 (300 m), T2-20/17 (150 m), z namenom ugotavljanja strukture JZ krila Ocizeljske brahisinklinale in položaja Petrinjskega narivnega preloma ter za ugotavljanje geometrije Črnokalskega narivnega preloma. Poleg novih pridobljenih podatkov so bile smiselno pregledane in reinterpreterirane še obstoječe raziskave (Celarc, 2010; Vučković et al., 2009; Vučković et al., 2010).

2.2.2.2 Vrtina T2-16/17

Ugotovitve

Globina 250 m (celotna dolžina vrtana na jedro) (zvezek 2).

Vrtina je namenjena za preverjanje strukture preko Petrinjskega narivnega preloma, ki je bil ugotovljen na območju Petrinj in v avtocestnem useku pred severnim portalom predora Kastelec. Na teh mestih je na površini terena apnenec ANA/E narinjen na laporovce Prehodnih plasti (PP/E). Na območju, kjer to strukturo prečka tunel T2, smo predvidevali, da se ta narivni prelom lateralno nadaljuje in je fliš narinjen na fliš, podobna situacija, kot je v avtocestnem useku, pa je nekje na območju nivelete, kjer bi bil lahko v krovninskem bloku še del apnenca ANA/E, omejen spodaj s flišem. Vrtina je pokazala nekoliko drugačno situacijo, ki pa je pričakovana glede na širše strukturno-geološke razmere in novejša raziskave.

Celotna vrtina poteka v flišnih plasteh. Do 93,8 m flišne plasti vpada strmo proti VSV, s povprečnim vpadom 61/60 (smer je ugotovljena z OBI/ABI pregledovalnikom), od 93,8 do 250 m pa proti ZJZ, s povprečnim vpadom 274/74 (razlika med smerjo vpada plasti in smerjo prognoznega profila je 30°, zato so v profilu prikazani navidezni vpadi, ki so nekoliko položnejši od dejanskih vpadov). Osna ravnina ima vpad 64/83.

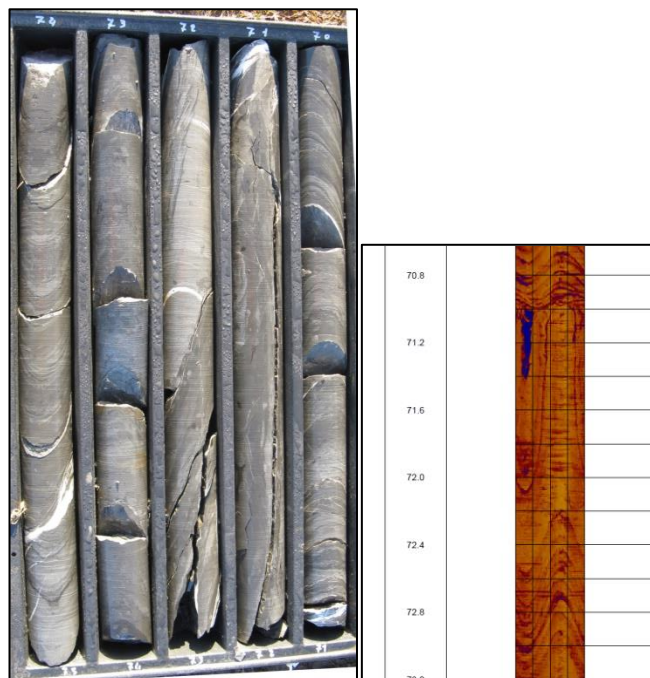
Med 6,50 in 50 m plasti pretežno vpada pod naklonskim kotom 35-50°, le med 11 in 13 m so plasti navpične (slika 2/19), tu je verjetno prisotna manjša guba. Plasti ležijo v normalni legi, kar se vidi po ostrih prehodih med sekvencami, pogreznitvenih teksturah v peščenjakih in postopni zrnivosti (slika 2/20). Včasih se pojavljajo majhne parazitske gube (70-75 m) (slika 2/21). Nato sledi na 93,8 m oster prehod smeri vpada proti JZ (optični/akustični pregledovalnik) (slika 2/22), ki se pojavlja vse do konca vrtine. Ponekod so plasti zelo strme do subvertikalne (slika 2/23). Med 184 in 185 m je viden čisto kratek odsek, kjer se plasti postavijo rahlo inverzno subvertikalno, kar se zelo dobro vidi tudi na akustičnemu pregledovalniku (slika 2/24). Na splošno so plasti precej kompaktne, brez izrazitih prelomnih con, npr. med 200 in 205 m (slika 2/25). Podatki karotaže, ki kažejo litološko zgradbo (naravna gama aktivnost, upornost) se dobro skladajo z litološkimi razmerami (ločijo se paketi peščenjaka in laporovca). Na sliki 2/26 so prikazane projekcije geometrije diskontinuitet. Razvidno je, da so nakloni v VSV krilu gube razporejeni precej bolj v širokem intervalu kot v ZJZ krilu, kjer so bolj skoncentrirani. VSV krilo ima povprečen vpad 61/60, ZJZ krilo pa povprečni vpad 247/74. Vpad osne ravnine gube znaša 64/83.



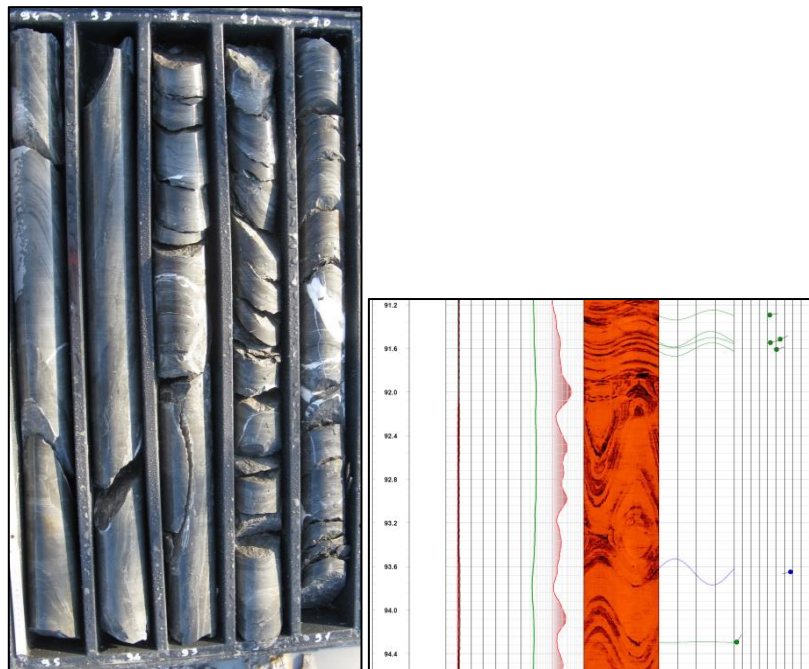
Slika 2/19. Vrtina T2-16/17. Navpične plasti na odseku med 11 in 13 m.



Slika 2/20. Vrtina T2-16/17. Zaporedje v normalni legi glede na sedimentološke kriterije. Zgoraj: odsek 25-30 m; spodaj: odsek 50-55 m.



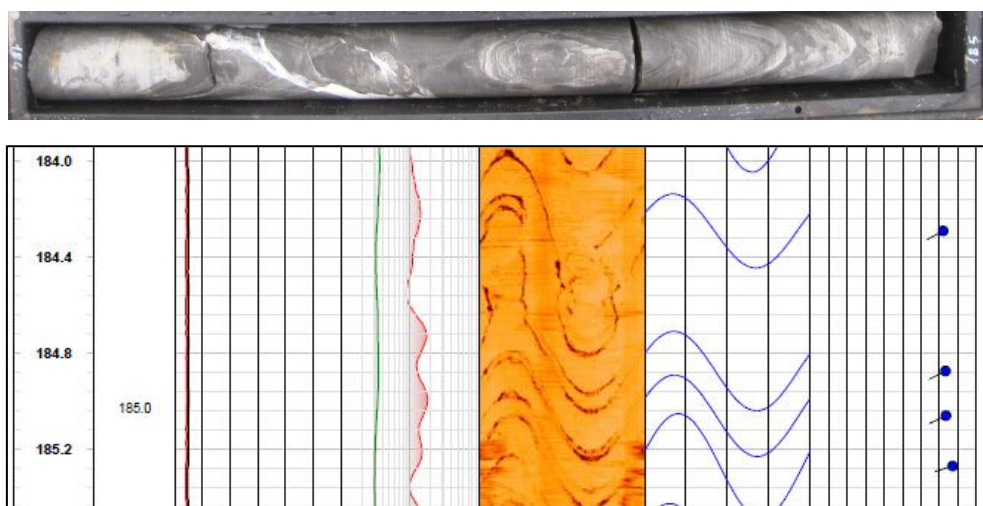
Slika 2/21. Vrtina T2-16/17. Posnetek ABI pregledovalnika v vrtini T2-16/17. Levo: jedra med 70-75 m. Majhna parazitska guba: od zgoraj navzdol se plasti prevesijo iz srednje položno normalno ležečih v subvertikalno inverzno ležeče in v strmo normalno ležeče plasti, vse vpadajo proti SV, kar je razvidno iz ABI posnetka na desni.



Slika 2/22. Vrtina T2-16/17. Desno: Območje osi antiklinale med 90 in 95 m. Zgoraj plasti vpadajo proti SV, spodaj pa strmo proti JZ. Levo: Območje osi antiklinale, kot je razvidna iz ABI posnetka.



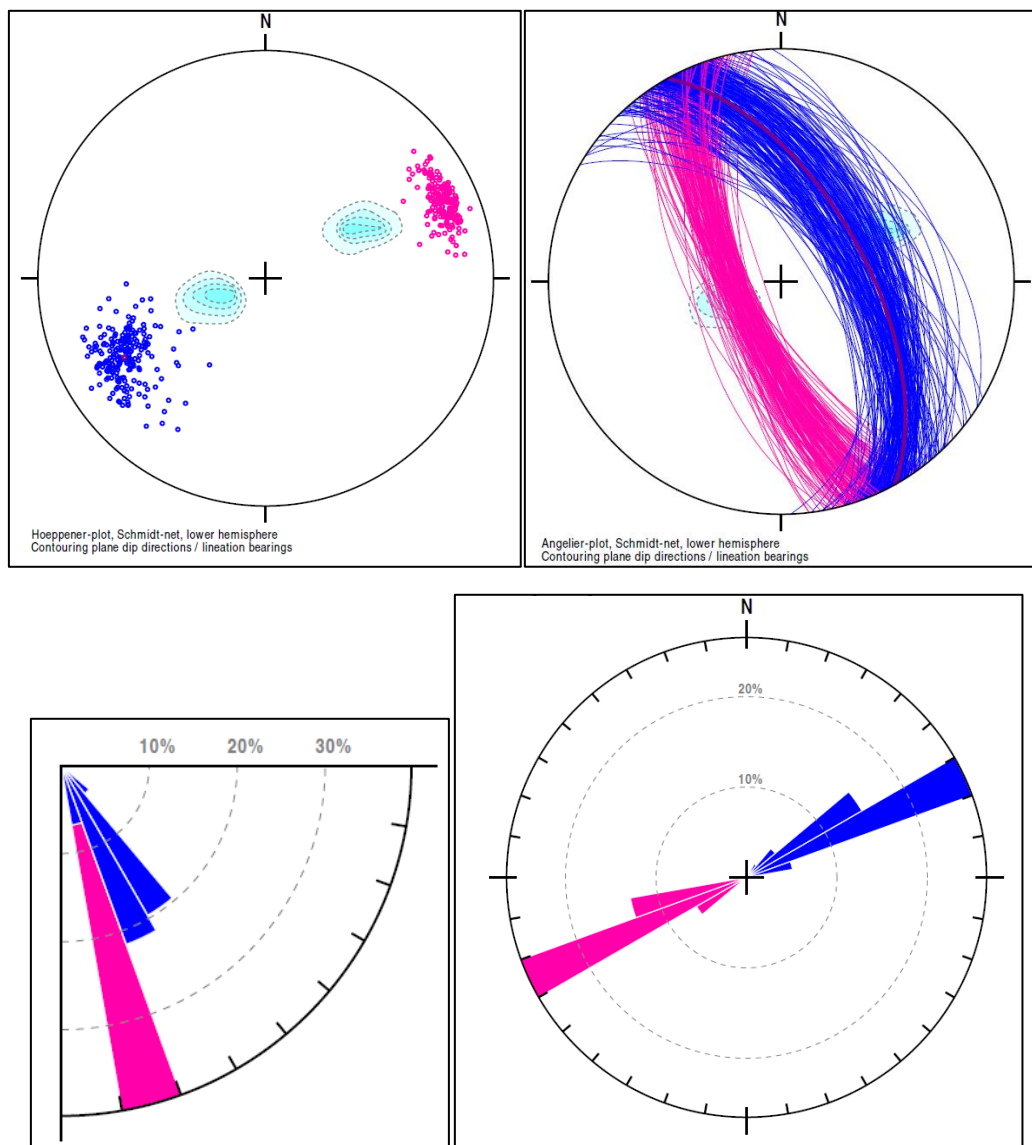
Slika 2/23. Vrtina T2-16/17. Strme do subvertikalne plasti na odseku med 155 in 160 m.



Slika 2/24. Vrtina T2-16/17. Odsek rahlo inverznih subvertikalnih plasti med 184 in 185 m. Zgoraj: v jedru; spodaj: na ABI posnetku.



Slika 2/25. Vrtina T2-16/17. Kompaktne flišne plasti na odseku med 200 in 205 m.



Slika 2/26. Vrtina T2-16/17. Prikaz plastovitosti. Schmidtova mreža, spodnja hemisfera. Modra barva: plasti od 0-93,8 m, VSV položnejše krilo gube; vijoličasta barva: plasti od 93,8-250 m (ZJZ strmejše krilo gube). Zgoraj levo: poli plastovitosti; zgoraj desno: ravnine diskontinuitet; spodaj levo: diagram naklonov; spodaj desno: rozetni diagram smeri vpadov.

2.2.2.3 Vrtina T2-17/17

Ugotovitve

Globina 150 m, 34 m SE od trase (0-30 m vrtana udarno, 30-150 m vrtana na jedro) (zvezek 2).

Vrtina je namenjena za ugotavljanje/potrditev položaja litološkega kontakta med Prehodnimi plastmi (PP/E) zgoraj in apnenci (ANA/E) spodaj, z namenom natančnejše ugotovitve, kje bo niveleta presekala ta

kontakt (sosednja vrtina T2-8 iz prejšnje faze raziskav (Celarc et al., 2010) je bila pred tem kontaktom zaključena) in ali v ANA/E nastopajo kakšni kraški pojavi, glede na to, da se v bližini nahaja Beško-Ocizeljski jamski sistem.

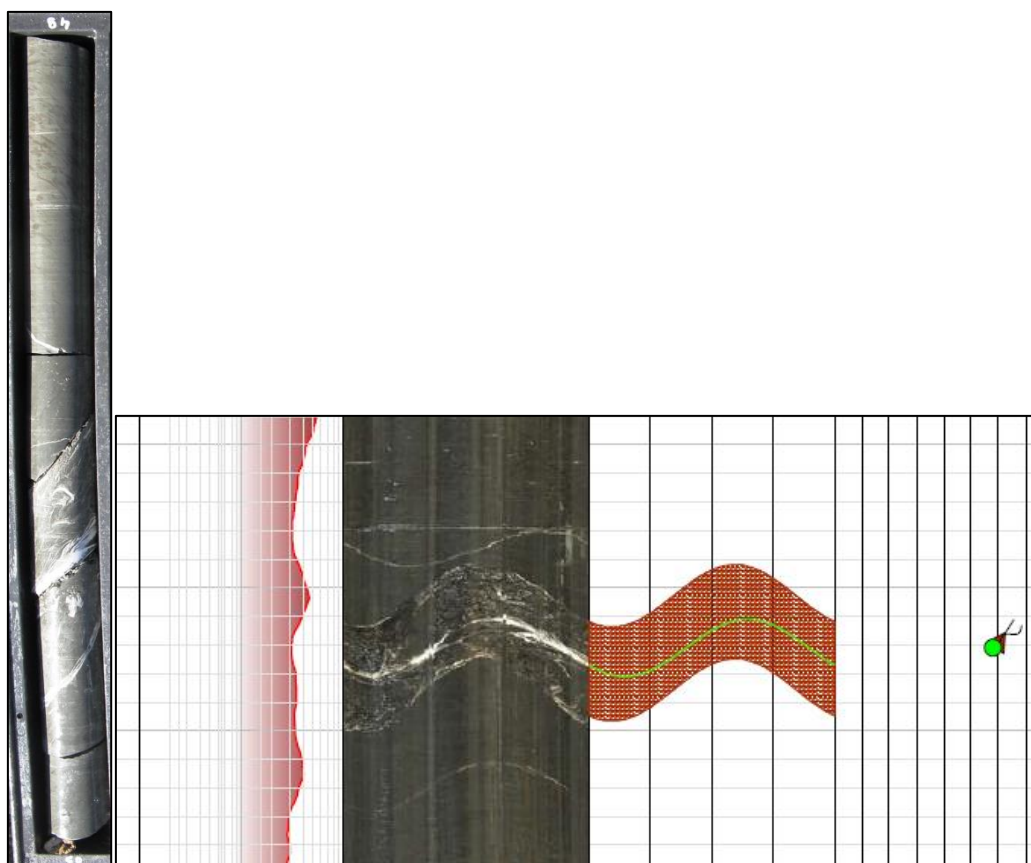
Vrtina do 120 m poteka v laporovcih PP/E, v katerih nastopa relativno veliko pirita (slika 2/27), preide v lapornate apnenice, ki navzdol postopoma preidejo v apnenice (ANA/E). Prehod je izrazito postopen, menjavajo se horizonti bolj in manj laporastega apnenca. Ta prehod torej ne predstavlja erozijske diskordance, kot je bilo to prikazano v profilu prejšnje faze raziskav (Celarc et al., 2010). Na tem prostoru je v odvisnosti od lokalnih pogojev v času sedimentacije prehod med ANA/E in PP/E lahko oster, erozijski (navadno nastopajo na meji breče) ali postopen. Litološka meja v profilu se nahaja praktično tam, kjer je bila predvidena v zadnji verziji prognoznega profila (Celarc et al., 2010).

Stratifikacija (laminacija) vpada proti SV (podatki iz OBI/ABI pregledovalnika) pod koti od 25-40°. Lokalno so plasti bolj strme: med 31 in 42 m so subvertikalne in glede na razmere na terenu predstavljajo majhne parazitske gube z vergenco proti JZ. Med 40,6 in 41,0 m je prelomna cona, do 45,50 m pa tektoniziran odsek s kalcitnimi žilami, ki prepredajo laporovce. V jedru je vidna laminacija pod kotom 40°. Med 44,90 in 45,40 m je tektonska pregnetena cona z naklonom 45° in smerjo vpada proti JV. Med 49,50 in 49,80 m je prelomna cona z naklonom 50° in smerjo vpada proti NE, kar je vporedno z laminacijo v njeni krovlini in talnini (slika 2/28). Drse v obeh mejnih prelomnih ploskvah kažejo na reverzni premik. Nižje je laporovec kompakten, z naklonom laminacije od 25-30°. Prepredajo ga redke kalcitne žile in prelomne ploskve. Med 69,20 in 69,40 m nastopa prelomna cona z nagubanimi in medsebojno prepredenimi kalcitnimi žilami. Laminacije v jedru vpadajo pod kotom od 25-30°. Tektonska cona s prepredenimi kalcitnimi žilami se ponovno pojavi med 73,20 in 75,0 m, laminacije so tu nekoliko bolj strme (do 50°). Zgornjo meja tektonske cone tvori debela kalcitna žila ki vpadajo pod naklonskim kotom 50° proti SV, vzporedno z laminacijo v jedru, ki torej vpadajo v isti smeri. Na 82 m je videti, da se vpad laminacije spremeni, vendar ni čisto gotovo, ali se obrne v inverzno lego. Med 84,80 in 85,50 m je izrazita zgnetena cona, katere zgornja in spodnja meja vpadajo proti JZ pod kotom 50°, prisotna je močna razširitev caliperja. Glede na smer vpada prelomne cone ni jasno, ali je bila ta mogoče zarotirana med gubanjem. Na odseku med 90 in 91,10 m je odsek z zelo strmimi 75-80° laminacijami, kar kaže na majhno gubo z strmim JZ krilom. Nižje je kamnina ponovno manj deformirana, med 106,0 in 106,20 m je izrazita prelomna cona z naklonom 50° in smerjo vpada proti SV ter drsami po vpadu z reverznim značajem premika. Podobna in enako orientirana cona je med 112,20 in 112,50 m (indikacija caliperja). Nižje je laporovec popolnoma kompakten, postaja svetlejši z enakomernim naklonom laminacije 40° in prehaja v lapornati apnenec, kar je razvidno tudi iz znižanja naravne gama aktivnosti in zvišanje upornosti pri karotažnih meritvah. Navzdol lapornati apnenec prehaja v kalkarenit, ponekod se vmes vrivajo temnejši, bolj lapornati deli, kar je razvidno tudi v krivuljah naravne gama aktivnosti in električne upornosti. Pod 137 m niso več vidne laminacije. Tam, kjer apnenice prepredajo žile ali pa v oksidirani coni na 139,50 m je upornost nekoliko znižana, generalno pa z globino narašča. Čisto na dnu vrtine se pričnejo v apnencih pojavljati redke foraminifere.

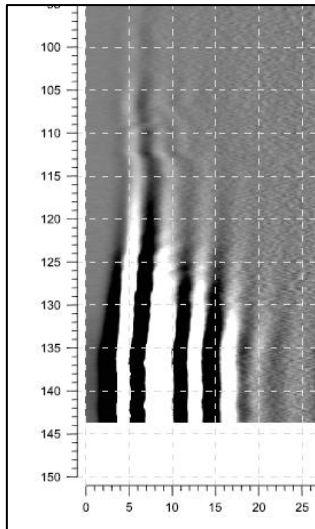
Kraški pojavi v ANA/E niso ugotovljeni. Podatki karotaže, iz katere lahko sklepamo na litologijo (naravna gama se na prehodu iz laporovcev v apnenice zmanjša, električna upornost se poveča) se dobro skladajo z litološkimi razmerami glede na popis vrtin. Kontakt med laporovci in apnenci je zelo dobro viden tudi na georadarskem posnetku, kot mejo med cono izrazitih odbojev v apnencih in cono dušenega signala v laporovcih (slika 2/29).



Slika 2/27. Vrtina T1-17/17, prehodne plasti (PP/E), gnezdo pirita na 105,33 m.



Slika 2/28. Vrtina T2-17/17. Prelomna cona med 49,50 in 49,80 m. Levo: Jedro med 49 in 50 m; desno: prelomna cona, kot je vidna na OBI posnetku.



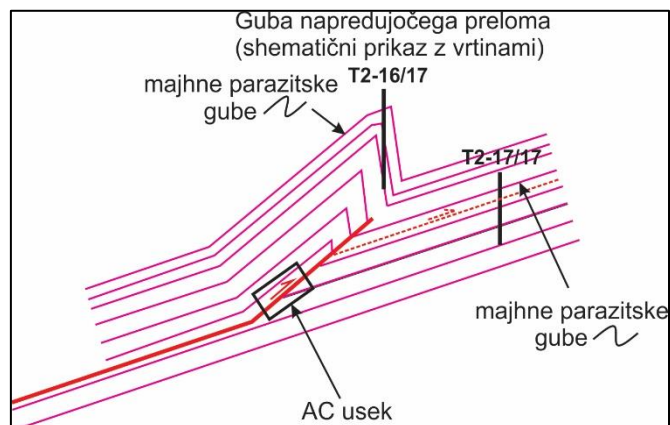
Slika 2/29. Vrtina T2-17/17, georadarski posnetek (zvezek 4), na globini 120 m (vertikalna os) je zelo dobro vidna meja med dušenim signalom (zgoraj) in izrazitimi odboji (spodaj), ki karakterizirajo mejo med laporovci in apnenci.

Interpretacija (T2-16/17 in T2-17/17) (priloga G.4)

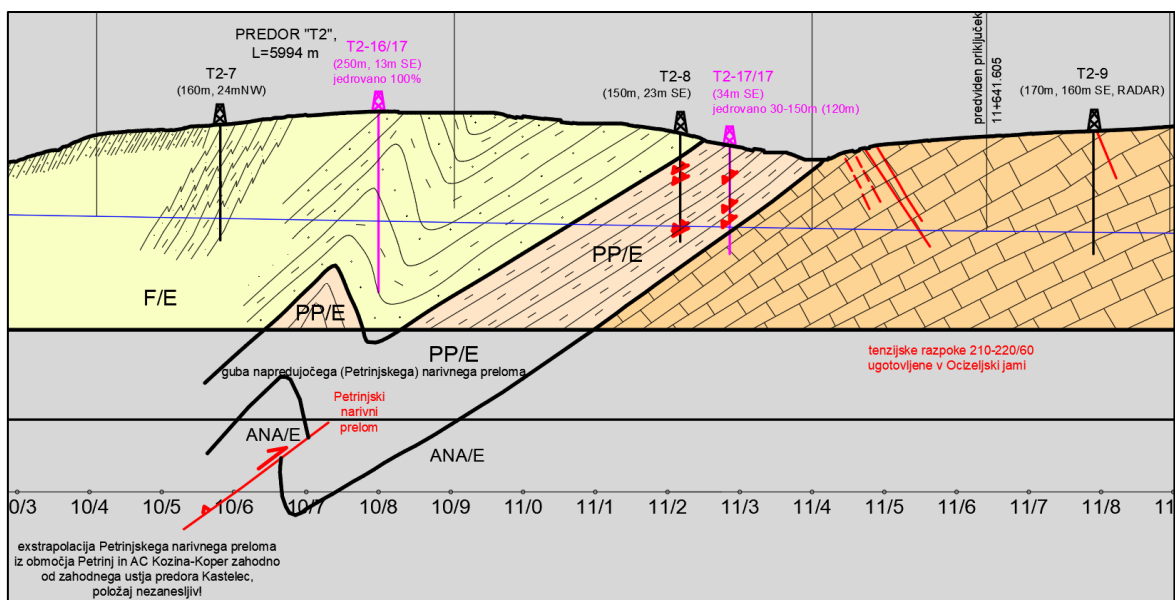
Vrtina T2-16/17 je presekala ZJZ krilo proti ZJZ vergirajoče antiklinale, ki predstavlja del gube napredujočega preloma (za razlago nastanka glej npr.: Suppe & Medwedeff, 1990) pred Petrinjskim naravnim prelomom (slika 2/30; 2/31), katere VSV krilo tvori zaporedje pod 93,8 m v vrtini T1-16/17. Prelomna deformacija v tem primeru in v tem preseku ni prišla do površine današnjega terena (kot je to primer pri Petrinjah), ampak je premik kompenziran v obliki izrazite gube v flišu. Vendar pa se nekateri njeni vplivi vidijo v obliki manjših, enako orientiranih, vzporednih prelomih v zaporedju PP/E. Ker je tu plastovitost enako orientirana kot prelomni nariv, so geološko šibkejše ploskve plastovitosti (stratifikacije) predstavljale logičen horizont za razvoj deformacije. Prisotne so manjše parazitske gube metrskih do 10 m dimenzij z strmimi JZ krili. Pri gubanju so lahko nagubane tudi strukture iz prejšnjih faz.

Podobna guba je za primerjavo vidna npr. v useku v vasi Prešnica pod Slavnikom (slika 2/32). Za sam tunel je torej situacija iz geotehničnega stališča bolj ugodna, saj niveleta ne bo prečkala tektonsko deformirane flišne hribine, v vsakem primeru pa ne bo prečila izolirane leče ANA/E apnencev, ki je po zdajšnji preliminarni interpretaciji precej nižje, kot smo predvidevali.

Kraški pojavi - votline so očitno vezani na današnji medsebojni položaj meje med PP/E in ANA/E na površini in razvoj kontaktnega krasa. Kraških jam torej ne gre pričakovati na območju kontakta, kjer ga bo presekala niveleta.



Slika 2/30. Shematični prikaz gube napredujočega preloma z vrisanimi vrtinami.



Slika 2/31. Strukturno geološka interpretacija razmer v delu predora T2, glede na novo izvedeni vrtini T2-16/17 in T2-17/17.



Slika 2/32. Sinklinalni del gube napredujočega preloma v vasi Prešnica pod Slavnikom.

2.2.2.4 Vrtina T2-18/17

Globina 200 m, (131-171 m jedrovano, ostalo destruktivno) (zvezek 2)

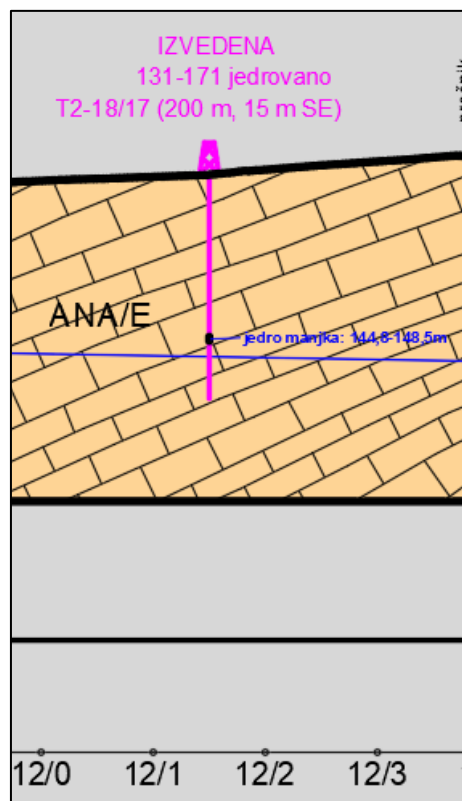
Namen vrtine je v osnovi sicer hidrogeološki in krasoslovni in v manjši meri strukturno geološki. Vrtina je v celotni globini 200 m izvrtana v Alveolinsko-numulitnem apnencu (ANA/E). Apnenec je masiven do slaboplastnat, prepreden z belimi kalcitnimi žilami, ponekod so v njem opazne laminacije v obliki usmerjenih koncentracij foraminifer, ki so ponekod vidne tudi na optičnem pregledovalniku in vpadajo proti NE. Apnenec je razpokan; gostota razpok razvidna na optičnem in akustičnem posnetku in tudi v jedrih, je največja v odseku od 110 do 115 m (slika 2/33). Na nivoju nivelete je apnenec nekoliko manj razpokan. Tudi iz krivulj električne upornosti je razvidno, da je bolj razpokan apnenec (manj el. uporen) na odsekih med 108 in 130 m ter 140 do 153 m, manjša upornost pa je razvidna tudi na odseku od 176 do 192 m. Premer vrtine je dokaj enakomeren in ne kaže na večje odprte razpoke, z izjemo kraško razširjene razpoke na globini med 135,8 in 136,05 m. Kraško razširjene razpoke so vidne še na 132,7 m, 141,9 m, 150,8 m in 153,3 m. Med 144,8 in 148,5 m manjka jedro. Karotažne meritve nakazujejo razširjen caliper in apnenec s slabimi geomehanskimi karakteristikami. Domnevamo, da tu nastopa tektonsko bolj deformirana cona, kar je povzročilo, da se jedro izpralo, ne kaže pa na odprto kaverno.



Slika 2/33. Vrtina T2-18/17, Alveolinsko-numulitni apnenec /ANA/E) je na odseku med 110 - 115 m relativno močno razpokan.

Interpretacija

Vrtina v celotni dolžini poteka po ANA/E apnencih, ki vpadajo relativno položno proti SV. Predstavljajo JZ krilo Ocizeljske brahisinklinale. Glede na prognozni profil (Celarc et al., 2010), tu ni nobene spremembe v vpadu enote ANA/E (slika 2/34).



Slika 2/34. Geološke razmere v okolici vrtine T2-18/17.

2.2.2.5 Vrtini T2-19/17 in T2-20/17

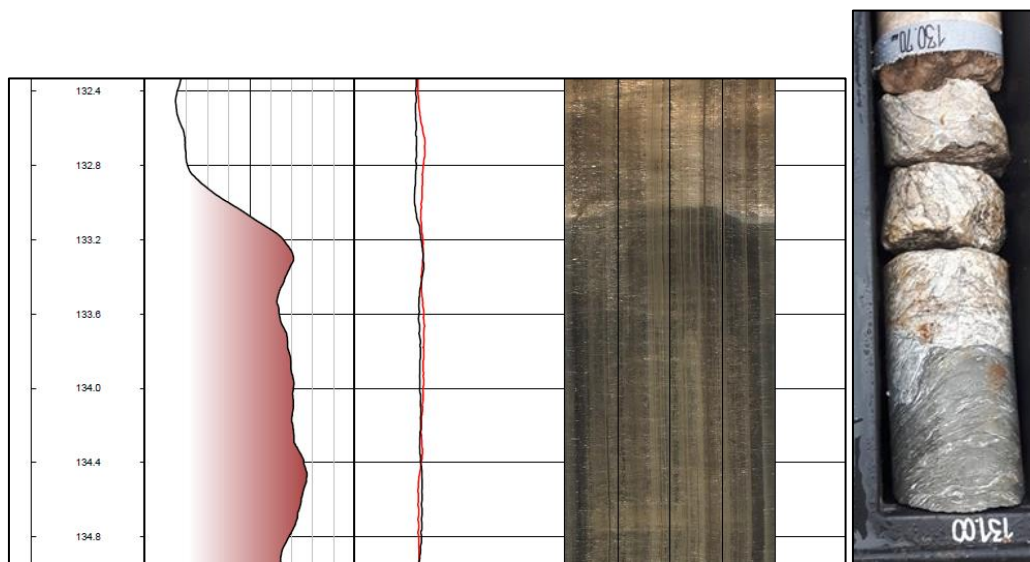
Ugotovitve

Vrtini T2-19/17 in T2-20/17 sta namenjeni za ugotavljanje položaja naravnega kontakta Črnokalskega naravnega preloma. Iz dosedanjih raziskav še ni bilo popolnoma jasno, kje bo niveleta tunela T2 iz južnega portala iz flišnih oz PP/E plasti v talninskem bloku, preko naravnega kontakta prešla v apnenec ANA/E v krovninskem bloku. Ponovno smo pregledali tudi geofizikalne raziskave na tem odseku (Vučković et al., 2009; Vučković, 2010), vendar smo ugotovili da razen v neposredni bližini južnega portala predora T2 ne sežjo do naravnice, sploh pa ne do nivoja nivelete in so iz stališča strukturno geološke interpretacije neuporabni.

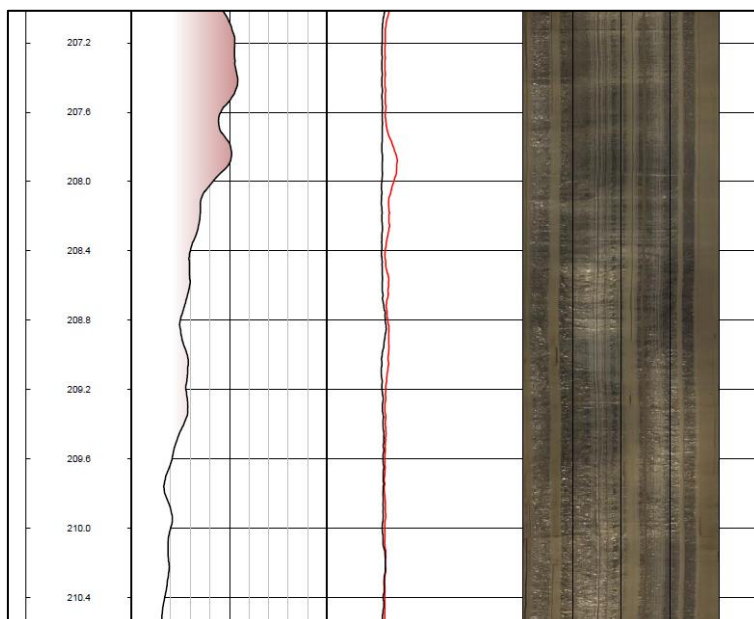
Vrtina T2-19/17

Globina 300 m (0-125 m destruktivno, 125-300 m na jedro) (zvezek 2)

Vrtina T2-19/17 je narivni kontakt med Alveolinsko-numulitnimi apnenci (ANA/E) in Prehodnimi plastmi (PP/E) presekala na globini 130,9 m (slika 2/35), kar je cca 55 m nad predvidenem kontaktom v prognoznom profilu (Celarc et al., 2010) in še zmeraj nad niveleto predora za cca 15 m. Izkazalo se je torej, da bo niveleta potekala pod narivnico v Prehodnih plasteh (PP/E) potrjeno do stacionaže 15+300 m in še določeno razdaljo naprej, proti SV. Na 208 m Prehodne plasti (PP/E) z normalnim postopnim litološkim prehodom preidejo v Alveolinsko-numulitne apnenec (ANA/E), (slika 2/36; 2/37), ki nastopajo do končne globine 300 m. Na globini 300 m je apnenec praktično metamorfoziran (slika 2/38). Značilno je, da Prehodne plasti pod narivnico prepredajo gosti sistemi kalcitnih žil, ki jih je z oddaljevanjem od naravnice postopoma vedno manj in skoraj popolnoma izginejo. Tudi laporovci so navzdol vedno manj tektonsko deformirani.



Slika 2/35. Vrtina T2-19/17, od leve proti desni: naravna gama aktivnost se na narivnem kontaktu močno poveča; caliper ne kaže spremembe; slika OBI pregledovalnika kaže na kontakt nepravilne oblike, vendar lahko razberemo vpad, ki znaša 10/15; jedro vrtine na mestu naravnega kontakta.



Slika 2/36. Vrtina T2-19/17, postopen prehod iz Prehodnih plasti (PP/E) v Alveolinsko-numulitni apnenec (ANA/E) na globini 208 m je dobro viden v znižanju naravne gama aktivnosti.



Slika 2/37. Vrtina T2-19/17, 205-210 m, postopen prehod med Prehodnimi plastmi (PP/E) in Alveolinsko-numulitnim apnencem (ANA/E).



Slika 2/38. Zadnjih 5 m vrtine T2-19/17 (295-300 m). Alveolinsko-numulitni apnenec (ANA/E) je močno tektonsko deformiran, domnevamo da se blizu pod njem nahaja narivna ploskev Črnokalskega narivnega preloma.

Sedimentološke analize

Vzorec T 2 - 19, globina 130,9 m, lab. št. 75024

Orientiran vzorec/preparat predstavlja tektonski stik apneca in laporovca, ki ležita eden nad drugim (slika 2/39). Spodnji del je, glede na orientacijo vzorca, temnejši in močno deformiran. Ima goste strižne slednice, zaradi katerih ima kamnina skrilavo teksturo (slika 2/40) in je ob reverzних premikih lečasto strižena (slika 2/41). Vzdolž skrilavosti so opazne koncentracije neprosojnih mineralov. Kamnina je sestavljena iz kalcita in redkih primesi. Med slednjimi so najpogostejši neprosojni minerali, ki glede na obliko zrn pripadajo v glavnem piritu. Ob njem je pogosto klorit. Kot slučajna primes je kremen. Oblika večjih zrn spominja na delno kalcitizirane odlomke porušjenih žilic. Ob njem sta še klorit in pirit. Laporovec je bogat z alohemi - mikrofosili (slika 2/42), predvsem foraminiferami, vsebuje posamezne odlomke lupin moluskov, ehinodermnih ploščic, spongije in alge?) in malo glavkonita, ki so poškodovani zaradi tektonike. Prečno na skrilavost potekajo redke razpoke zapolnjene s kalcitom. Premik ob njih je neznaten.

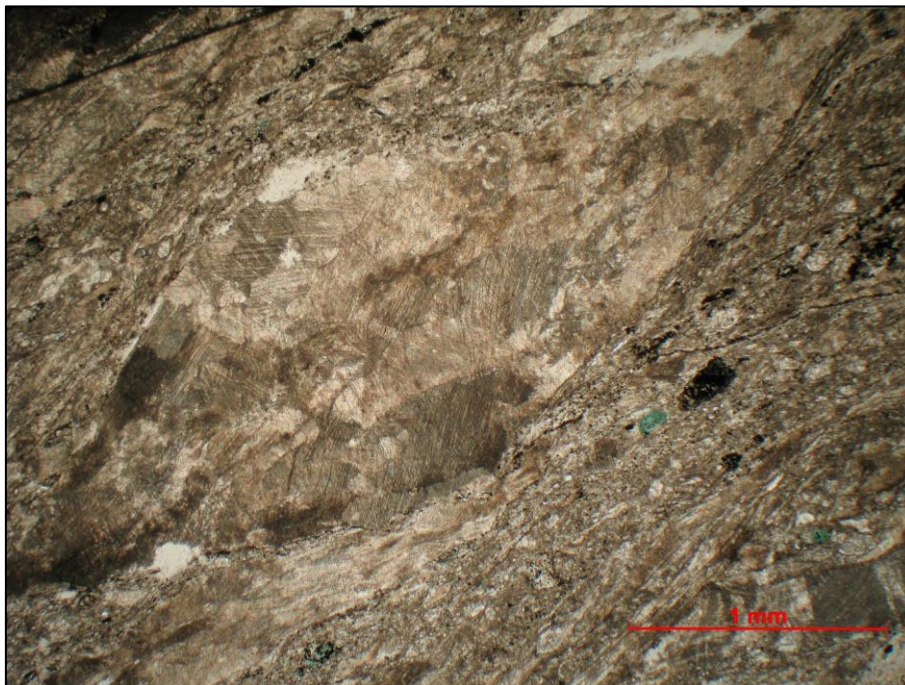
Zgornji del preparata je čistejši apnenec, z manj primesmi in tudi manj fosilnega materiala. Pripada biomikrosparitnemu apnencu. Vzdolž stika obeh različkov kamnin in v lomno deformiranem zgoraj ležečem apnencu, so ob razpokah med odlomki nastali stilolitni šivi. Ob njih je večinoma koncentrirana neprosojna (netopna) materija (delno organska snov) in pogosto pirit (slika 2/43). Ob piritu se le redko nahaja malo klorita. Oba minerala sta pogostejša in bolj izrazita bliže stika med apnencem in laporovcem.



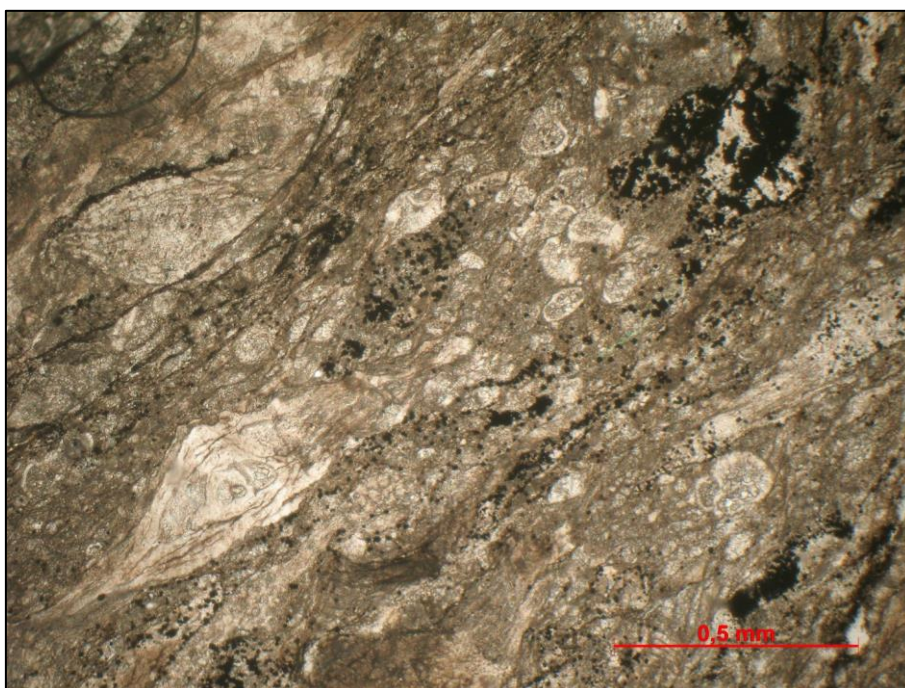
Slika 2/39. Vrtina T2-19/17, 130.90-140.00 m, narivni kontakt.



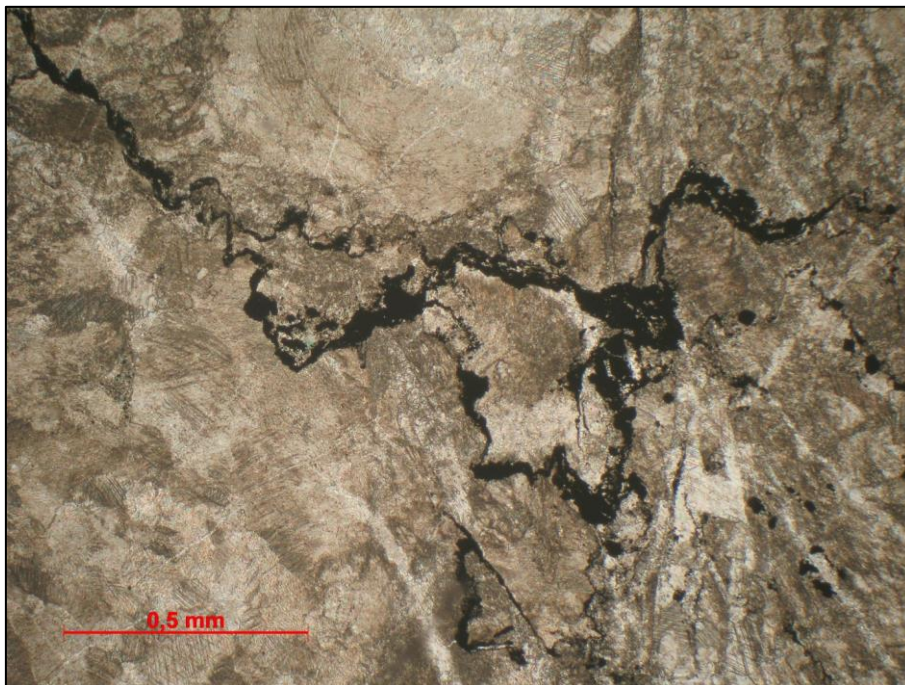
Slika 2/40. Vrtina T2-19, globina 130,90 m.



Slika 2/41. Vrtina T2-19, globina 130,90 m.



Slika 2/42. Vrtina T2-19, globina 130,90 m.



Slika 2/43. Vrtina T2-19, globina 130,90 m.

Vzorec T 2 - 19, globina 299,5 m, lab. št. 75027

Vzorec vsebuje zelo številno mikrofavno, predvsem različne foraminifere (slika 2/44), in redkeje alge ter intraklaste in posamezne pelete (?). Nahajajo se v izpranem mikritu/sparitu. Pogoste izsušitvene pore so zapolnjene s sparikalcitom. Odprte pore obroblja in delno zapolnjuje neprosojna snov, predvidoma limonit in organska snov, zaradi katerih je apnenec rahlo rjavkasto obarvan (slika 2/45). Neprosojna snov se nahaja predvsem v mlajših razpokah, ki so za razliko od starejših, le delno zapolnjene s kalcitom.

Vzorec pripada petrografsko delno izpranemu intrabiomikritnemu, tektonsko prizadetemu apnencu tipa packstone z izsušitvenimi porami.



Slika 2/44. Vrtina T2-19, globina 299,50 m.

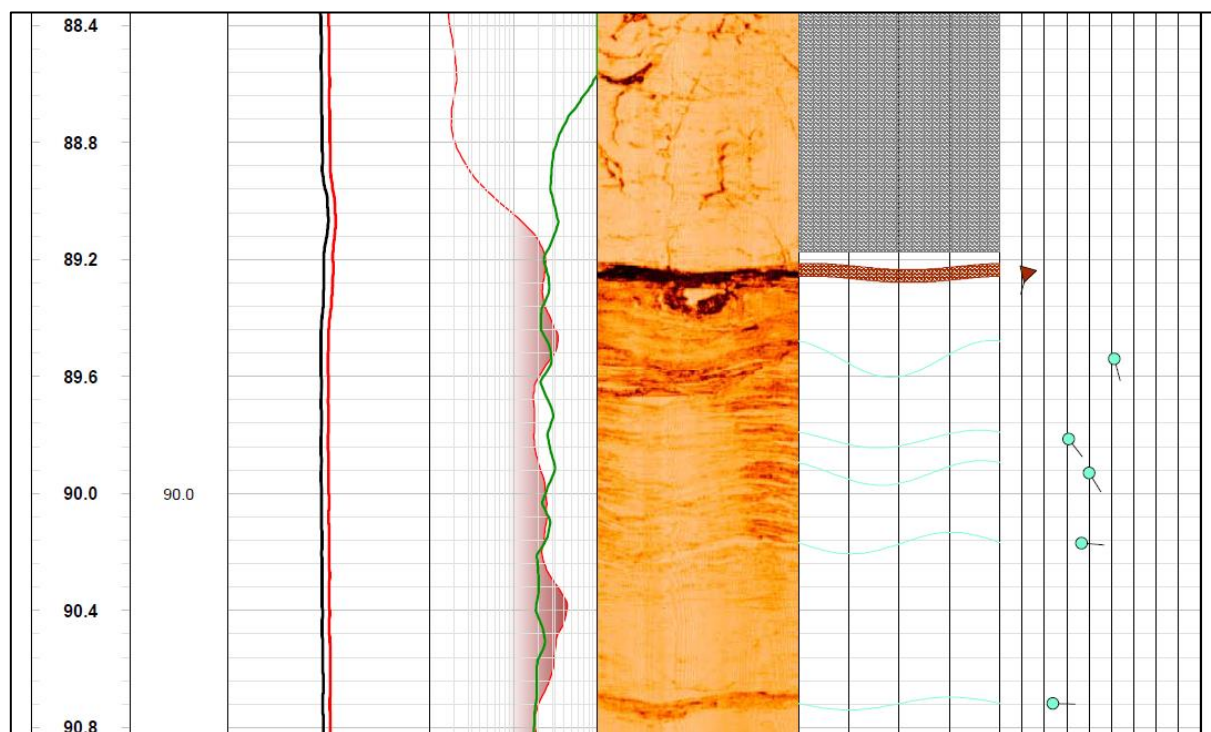


Slika 2/45. Vrtina T2-19, globina 299,50 m.

Vrtina T2-20/17

Globina 150 m (celotna dolžina vrtana na jedro) (zvezek 2).

Vrtina T2-20/17 poteka od 0-89,20 m v Alveolinsko-numulitnih apnencih (ANA/E) in od 89,2-150,0 m v laporovcih Prehodnih plasti (PP/E). Narivni kontakt med Alveolinsko-numulitnim apnencem (ANA/E) in Prehodnimi plastmi (PP/E) je torej presekala na globini 89,20 m, kar je približno 15 m nad predvidenim kontaktom v prognoznem profilu in še zmeraj nad niveleto predora. Kontakt je višje kot v vrtini T2-15, izvrtani v prejšnji fazi. Glede na podatke karotaže (ABI) ima kontakt elemente vpada 192/16, (slika 2/46) natančno je viden na krivulji upornosti in naravne gama aktivnosti.



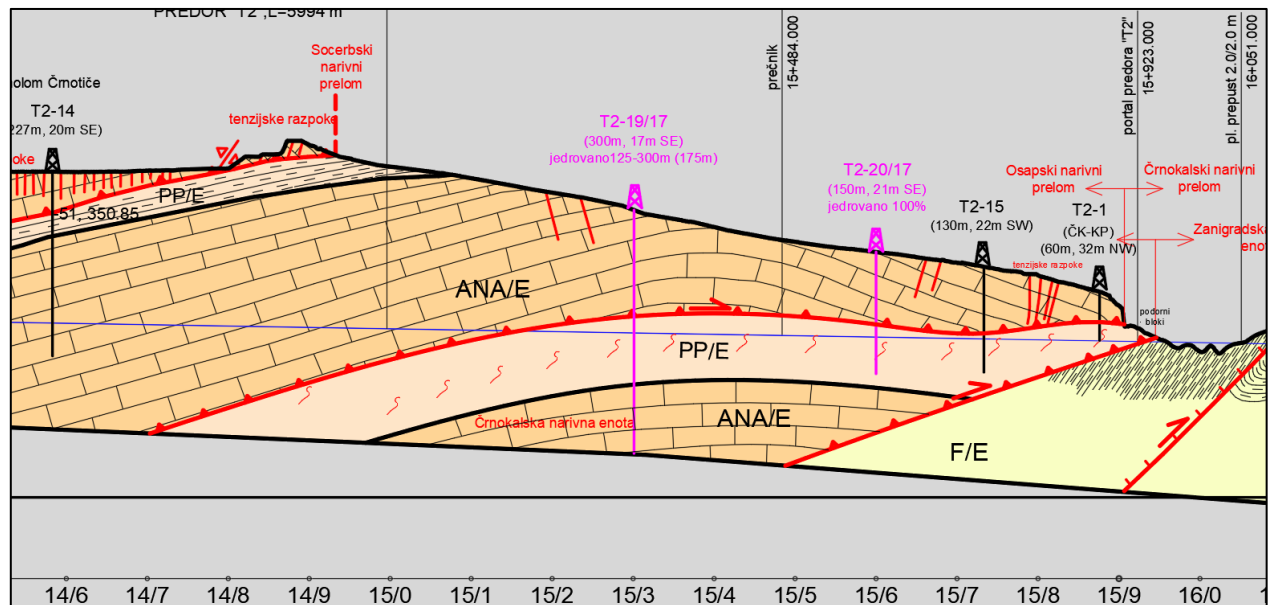
Slika 2/46. Vrtina T2-20/17, na sliki sta prikazana caliper, naravna gama in ABI pregledovalnika narivnega kontakta narivnega preloma na globini 89,2 m. Caliper na kontaktu ne zazna spremembe, naravna gama aktivnost močno naraste (prehod iz apnencev v laporovce). Narivni kontakt ima elemente vpada 192/16.

Interpretacija (T2-19/17 in T2-20/17)

Glede na to, da je vrtina T2-19/17 pod narivnim kontaktom ponovno normalno prešla v Alveolinsko-numulitne apnence (ANA/E), je prišlo do upravičene domneve, da narivni kontakt, ki so ga presekale vrtnice na območju Črnega Kala ni Črnokalski narivni prelom, ki je tu glavna narivna struktura (Placer et al., 2010), z relativno velikim premikom, ampak narivni prelom, ki ima podobne karakteristike kot višje ležeči Socerbski narivni prelom (Placer et al., 2010; Celarc et al., 2010). Delovno smo ga poimenovali kot **Osapski narivni prelom**. Glede na njegovo geometrijo je naguban in od Črnega Kala proti kamnolomu Črnotiče vzdolž trase najprej vpada proti Črnemu Kalu (približno proti JZ) - narivnica se vzdolž nivelete v smeri proti Divači relativno dviga, šele nato se prevesi in prične vpadati proti SV (slika 2/47). Vse

kaže, da ta narivnica ni več aktivna, ker je seveda nagubana in tudi narivni kontakt je popolnoma litificiran (zlepljen, "zapečen"). Za obstoječo vrtino T2-14 (Celarc et al., 2010) na območju kamnoloma Črnotiče je potrjeno, da niveleta poteka v apnencih in da so apnenci vsaj še 40 m pod njo. Torej narivna ploskev prečka niveleto nekje v prvih treh četrtinah razdalje med T2-19/17 in T2/14, bolj verjetno v prvi tretjini in bližje T2-19/17. Za bolj natančnejšo določitev geometrije kontakta, bi bilo (v odsotnosti morebitne dodatne vrtine) smiselno izvesti visoko resolucijske seizmične refleksijske raziskave in georadarske raziskave v kamnolomu Črni Kal, kjer je prav tako viden narivni kontakt med apnenci in laporovci. Šele takrat se bo lahko bolj natančno interpretirala prava prostorska geometrija narivne ploskve.

Pravi Črnokalski narivni prelom torej leži nekje pod apnenci ANA/E v vrtini T2-19/17 in pod Prehodnimi plastmi (PP/E) na območju portala predora T2 in ga predor T2 torej ne prečka (prečka ga v odprtem delu trase med viaduktom Gabrovica in portalom predora). Zaradi njegove potencialne aktivnosti je kljub temu smiselno ugotoviti njegov natančnejši položaj in lastnosti prelomne ploskve (ter relativno primerjavo z prelomno ploskvijo Osapskega narivnega preloma), zato smo za vrtino T2-19/17 predlagali, da se jo podaljša, da bi presekala apnence in preko narivnega kontakta Črnokalskega narivnega preloma prišla v fliš v talnini. S tem bi neposredno dokazali Črnokalski nariv in pridobili pomemben podatek o njegovi geometriji. Vrtina do 300 m globine še ni prišla preko apnencev, vendar so bili ti že zelo tektonsko deformirani. Tudi za ugotavljanje tega kontakta bi bilo smiselno izvesti visoko resolucijske refleksijske seizmične raziskave.



Slika 2/47. Strukturno geološka interpretacija razmer v južnem delu predora T2, glede na novo izvedeni vrtini T2-19/17 in T2-20/17.

2.2.3 Predor T8

2.2.3.1 Uvod

Na območju predora T8 je bila zvrtna 1 nova vrtina (T8-1/17 (200 m), z namenom ugotavljanja vpada flišnih plasti in položaja Gračiške narivne cone.

2.2.3.2 Vrtina T8-1/17

Ugotovitve

Globina 200 m (celotna dolžina vrtana na jedro) (zvezek 2)

Vrtina T8-1/17 na predoru T8, je bila zaradi problemov s pridobivanjem dovoljenja in zahtevnega dostopa zvrtna 142 m zahodno od trase, vendar je bila pozicionirana tako, da smo lahko strukturne razmere projicirali na samo traso. Njen namen je natančnejše lociranje Gračiške narivne cone, ugotavljanja njenega vpada in ugotavljanje splošnega vpada plasti, saj so te po podatkih geološkega kartiranja na površini relativno heterogeni. V prejšnjih fazah raziskav ni bilo v nobenih izmed vrtin na tem območju izvedeno merjenje z optičnim/akustičnim pregledovalnikom, s tem pa se tudi ni dalo ugotoviti smeri vpada struktur in plasti. Nakloni plasti so relativno položni, mestoma tudi bolj strmi, glede na sedimente tekture, (postopna zrnavost, členi Boum-ove sekvence) so ponekod plasti inverzne, kar pripisujemo manjšim prevrnjenim gubam.

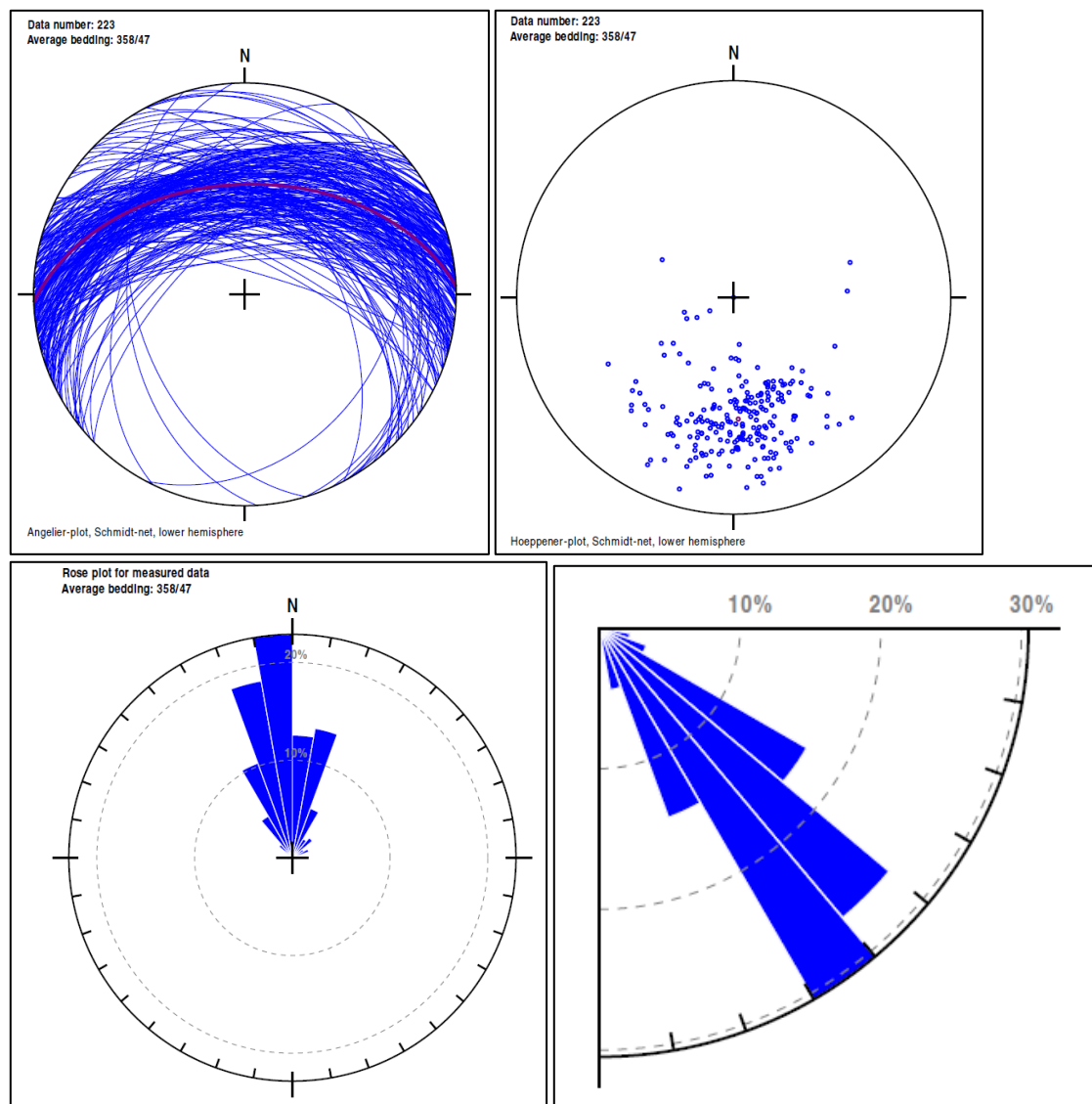
Tektonske cone nastopajo na 18,3 m, 18,9-19,4 m, od 20,3 do 24,4 m, od 251,1 do 26,0 m, od 26,6 do 27,4 m, od 28,2 do 28,7 m, od 29,4 do 29,9 m, (pod njo pa so na kratki razdalji plasti zelo strme). Tektoniziran odsek se pojavi od 32,3 do 32,9 m, od 57,3 do 59,0 m, od 69,1 do 69,9 m, od 83,6 do 84,7 m ter od 87,2 do 88,3 m. Med 87 in 90 m so plasti v inverznem položaju, vendar se narave prehoda iz normalne v inverzno lego v jedru ne da ugotoviti. Lahko da je to obnarivna antiklinala nad prelomno cono med 95 in 111 m, ki jo pripisujemo Gračiški narivni coni (slika 2/48). Pod narivno cono sledi oster prehod v nedeformirano flišno kamnino v normalni legi do 167,30 m, kjer je tanka tektonska cona, pod njo plasti v inverzni legi (majhna guba) in nato spet v normalni legi do dna vrtine.

Tudi v tej vrtini se je lahko z OBI/ABI pregledovalnikom zaradi težav z zaruševanjem izmerilo samo do globine 88,3 m, kar pa je kljub temu dovolj za ugotovitev vpada strukture (slika 2/49). Flišno zaporedje v vrtini po podatkih OBI/ABI vpada med SSZ in SSV, v povprečju proti severu, kar kaže tudi meritev izdanka na lokaciji vrtine. Naravna gama aktivnost in kratka normalna upornost kažeta zelo dobro medsebojno negativno korelacijo pri ločevanju peščenjakov in laporovcev. Med 30-36,2 m prevladuje peščenjak, redki odseki laporovca (močno spreminjanje amplitude gama), med 36,2-38,7 m prevladuje laporovec (povišana vrednost gama), med 38,7-40 m nastopa peščenjak (znižana vrednost gama), med 40-42 m je laporovec (povišana vrednost gama), med 42-52,5 m prevladuje peščenjak, ponekod hitro menjavanje peščenjaka in laporovca (močno spreminjanje amplitude gama), med 53,5-60,1 m nastopa najprej peščenjak, navzdol je več laporovca (povišana vrednost gama), med 60,1-70 m najprej nastopa peščenjak, nato hitro menjavanje laporovca in peščenjaka (najprej nižja vrednost gama, nato hitro menjavanje visokih amplitud), med 70-74,2 m prevladuje peščenjak, tanki vložki laporovca (močno menjavanje amplitude), med 80,3-83,9 m nastopajo laporovci (povišana vrednost gama), med 83,9-88 m je hitro menjavanje, prevladujejo peščenjaki (močno nihanje nižjih vrednosti gama), med 88-91 m je hitro menjavanje laporovca in peščenjaka s trendom povečevanja laporovca (vrednost gama narašča), med 91-140 m je hitro menjavanje laporovca in peščenjaka (enakomerno hitro nihanje), med 110,0-110,5 m plast peščenjaka (nižja vrednost gama), med 140-142,7 m je peščenjak (znižana vrednost gama), med 146-158

m je menjavanje peščenjaka in laporovca (debelejše sekvence) (večje nihanje amplitude gama), med 158-168,5 m se menjavajo debelejše sekvence, kjer prevladuje peščenjak ali laporovci (ciklično nihanje gama), med 168,5-186,2 m najprej hitro menjavanje tankih plasti laporovca in peščenjaka, v spodnjem delu menjavanje debelejših plasti laporovca in peščenjaka (najprej hitro nihanje in manjša sprememba amplitude gama, nato počasnejše nihanje z večjo spremembo amplitude), med 186,2-201 m menjavanje debelih plasti peščenjaka s sekvencami hitrega menjava laporovca in peščenjaka. Izrazito povečanje vrednosti gama na 193m je posledica organske snovi v laporovcih.



Slika 2/48. Vrtina T8-1/17, 95-100 m, tektonsko deformirana flišna kamnina na območju Gračiške narivne cone.



Slika 2/49. Vrtina T8-1/17. Merjen odsek: 1,6 - 88,3 m. 223 meritev. Zgoraj levo: plastovitost; zgoraj desno: poli plastovitost; spodaj levo: rozetni diagram smeri vpadov; spodaj desno: diagram naklonov vpadov.

Sedimentološke analize

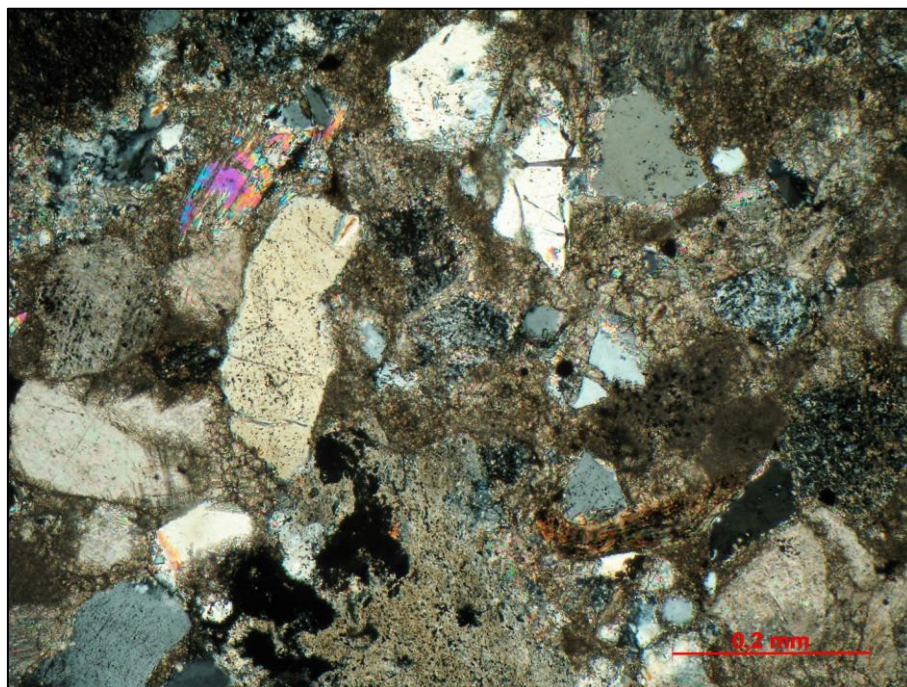
Vzorec T 8 - 1, globina 87,9 m, lab. št. 75020

Vzorec je orientiran in kaže na inverzni položaj zaporedja (inverzna postopna gradacija zrn) (slika 2/50). Predstavlja srednjezrnat peščenjak. V sestavi klastov so tako odlomki kamnin, kot tudi mineralna zrna. Količinsko izrazito prevladujejo poli- in monokristalni kremen in karbonati ter odlomki karbonatnih kamnin (slika 2/51). Pogosti so roženci, malo pa je neprosojnih mineralov, glinencev (plagioklazov in k-glinencev), listastih mineralov (muskovita, biotita in klorita), odlomkov sericitnega skrilavca, laporovca, kremenovega peščenjaka/meljevca, in sledovi zrn vulkanskih kamnin. Redek je kalcedon.

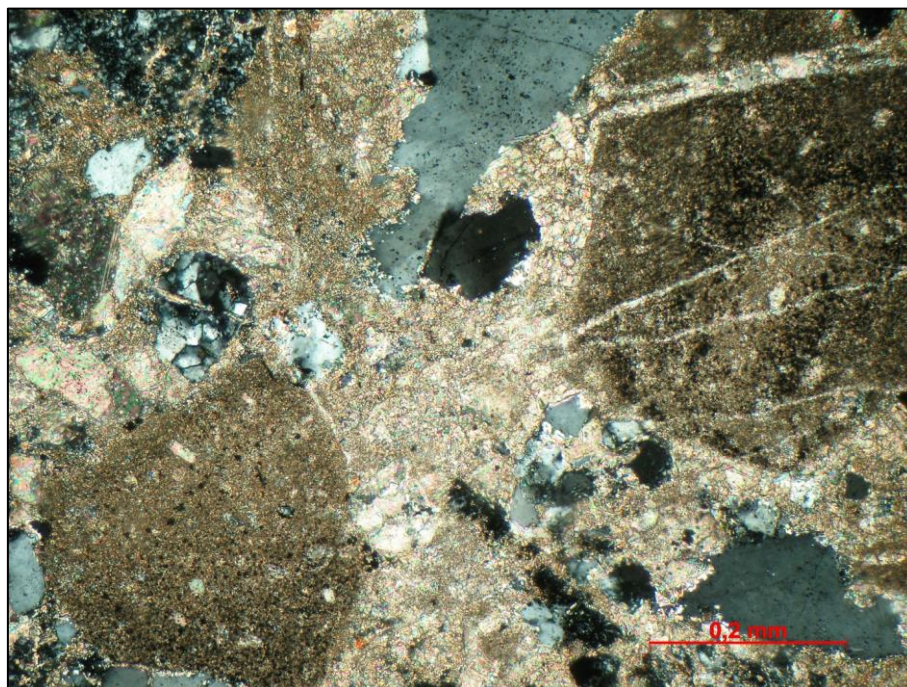
Zrna se v glavnem medsebojno dotikajo in se nahajajo v medzrnskem, podrejeno pornem vezivu, ki je pretežno karbonatno (sparitno, slika 2/52), izjemoma nekoliko lapornato. Vzorec vsebuje posamezne močno kalcitizirane radiolarije. Kamnino uvrščamo k srednjezrnatemu litično karbonatno kremenovemu peščenjaku flišnega iz zaporedja. Prepredajo ga tanke kalcitne žile dveh generacij (slika 2/53).



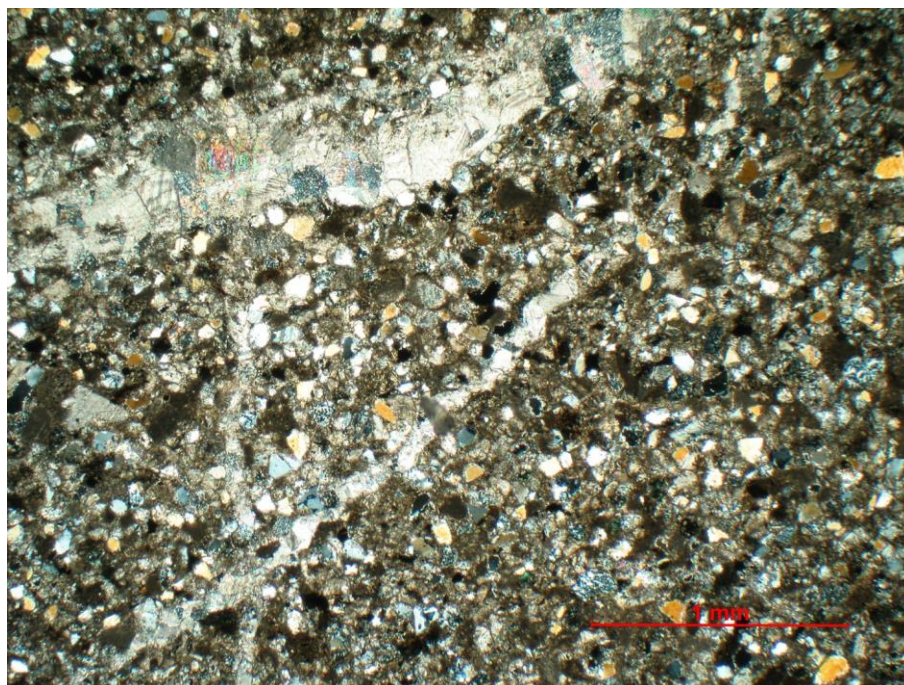
Slika 2/50. Vrtina T8-1/17, globina 87.90-88.00 m, inverzna gradacija.



Slika 2/51. Vrtina T8-1/17, globina 87,9 m.



Slika 2/52. Vrtina T8-1/17, globina 87,9 m.



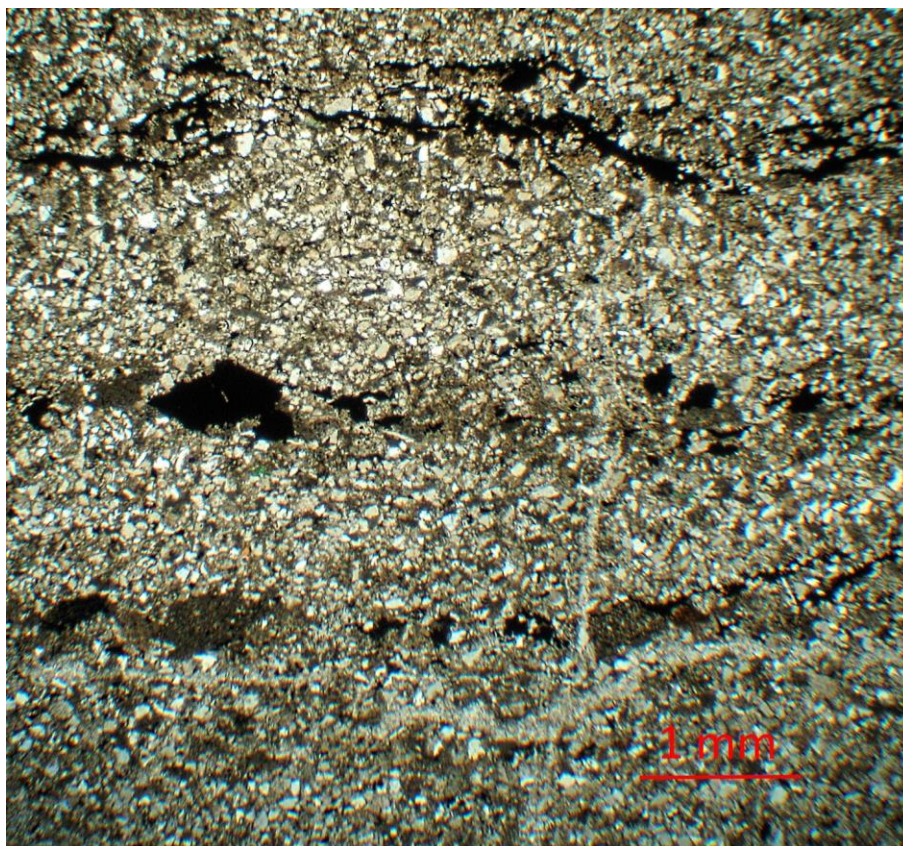
Slika 2/53. Vrtina T8-1/17, globina 87,9 m.

Vzorec T 8 - 1, globina 88,0 m, lab. št. 75020

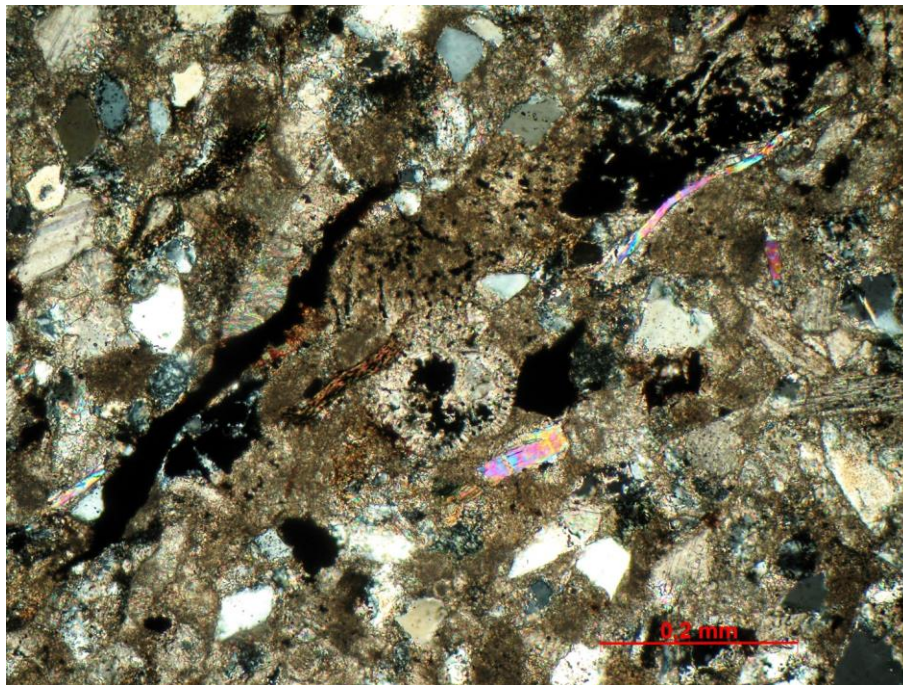
Vzorec je prav tako orientiran in podoben predhodnemu z globine 87,9 m in prav tako pripada flišnemu peščenjaku. Glavna razlika je vidna v teksturi, saj v spodnjem delu vzorca vsebuje tri izrazitejše in tri nejasno vidne lamine v katerih so koncentrirani neprosojni drobci in trakasta organska materija (slika 2/54). Tu je peščenjak drobnnozrnat, navzgor pa velikost zrn postopno narašča (kar dokazuje inverzni položaj), vendar ne doseže zrnivosti predhodnega vzorca. Glede na to, da sta vzorca vzeta zaporedno je iz obeh primerov vidna struktura postopnega naraščanja zrnivosti navzgor (ang. coarsening upward) in s tem inverzni položaj. V sestavi vzorca je zaradi drobnejše zrnivosti manj litičnih zrn, drugače pa je podobna, kot v predhodnem vzorcu. Posebnost tega vzorca je koncentracija mikrofosilov prav v območju najizrazitejše temne lamine z organsko materijo in posameznimi kroglicami framboidalnega pirita (slika 2/55). Prevladujejo drobne foraminifere, ki so v preostalem delu vzorca redke in niso najdene v predhodnem vzorcu. Omenjeni pojav nakazuje kratkotrajne anoksične pogoje.

Vzorec T 8 - 1, globina 186.01-186.18 m

Vzorec (slika 2/56) kaže prehod (od spodaj navzgor) iz gradiranih peščenjakov (člen Ta Boumve sekvence) v valovito in konvolucijsko laminacijo (člen Tc). Zaporedje kaže na normalno lego in nepopolno Boumovo sekvenco.



Slika 2/54. Vrtina T8-1/17, globina 88,0 m.



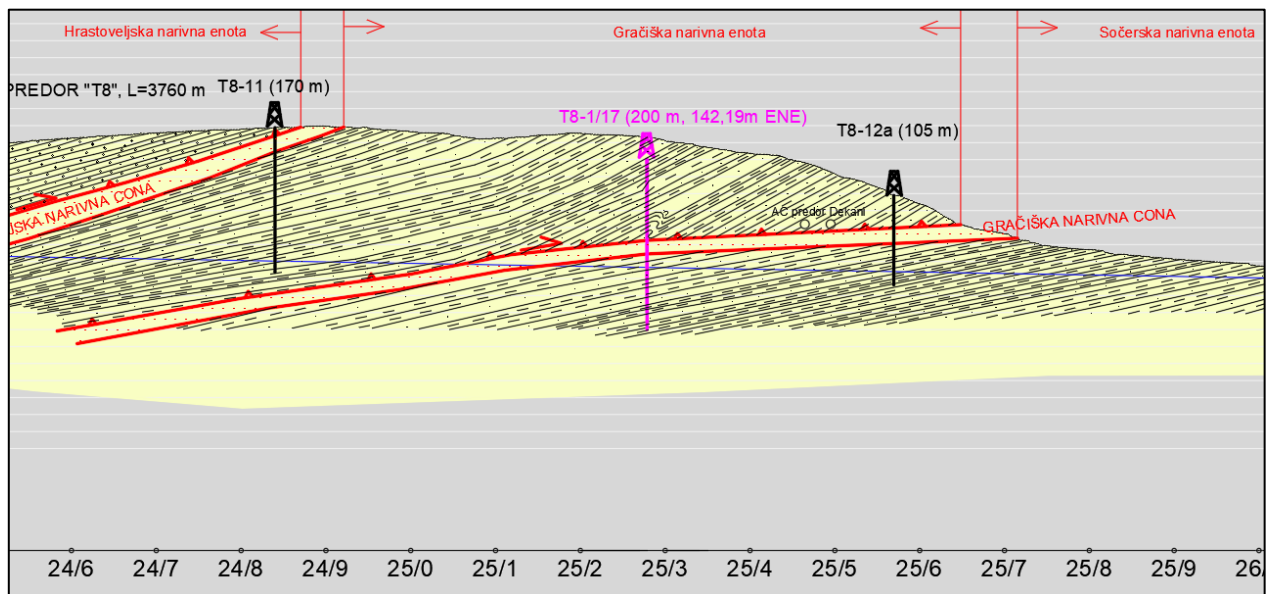
Slika 2/55. Vrtina T8-1/17, globina 88,0 m.



Slika 2/56. Vzorec T8-1, globina 186.01-186.18 m.

Interpretacija

Plasti na delu tunela, ki ga pokriva vrtina T8-1/17 bodo vpadale proti SSZ do SSE pod različnim koti, ponekod tudi inverzno in bodo tvorile majhne poleggle gube, kjer bodo lahko le v prevojih plasti le te navpične. Prelomno cono v vrtini med 95 in 111 m smo glede na njen predviden vpad projicirali na nivo tunela, ter povezali z Gračiško prelomno cono, ki je bila na površju in deloma v vrtini ugotovljena v prejšnjih fazah raziskav. Glede na konstrukcijo in njeno projekcijo na nivo tunela predvidevamo, da bo niveleto presekala med 25+060 in 25+160 m (Slika 2/57). Najverjetneje nad in pod Gračiško naravno cono niso razvite tipične obnarivne gube, kot je to primer v zgornjem delu trase. Natančneje bo možno strukturo interpretirati šele po izgradnji tunela.



Slika 2/57. Strukturno geološka interpretacija razmer v predoru T2, glede na novo izvedeno vrtino T8-1/17. Glej tudi prilogo G.5.

2.3 Literatura

Celarc, B., Jurkovšek, B., Milanič, B. & Šajn, R. 2010: Geološko - geomehanske raziskave in raziskave kraka za potrebe izdelave projektne dokumentacije za fazo PGD za drugi tir železniške proge Divača - Koper, odsek Divača - Črni Kal. Reinterpretacija geološke, strukturne karte, profilov, strukturno geološka interpretacija raziskav. Po reviziji. - Poročilo, 49 str. in priloge, GeoZS.

Kreutzer, I., 2010: Railway Divača - Koper, Tunnel T2, Geophysical investigations. - Poročilo (Elea IC).

Lapanje, A., (Šram, D.,) Mozetič, S., Celarc, B. & Matoz, T. 2018: Izvedba karotajskih meritev v globokih vrtinah z interpretacijo: T1-12/17 (250m) T1-13/17, T1-14/17, T1-15/17, T2-16/17, T2-17/17, T2-18/17, T2-19/17, T2-20/17, T8-1/17. - Poročilo (vsaka vrtina posebno poročilo), GeoZS.

Placer, L., Vrabec, M. & Celarc, B., 2010: Osnove razumevanja tektonske zgradbe NW Dinaridov in polotoka Istre. - Geologija 53/1, 55-86, Ljubljana.

Vučković, D., Vukadin, V. & Merhar, B., 2009: Poročilo o opravljenih geofizikalnih preiskavah na zahodnem portalu predora T2. - 19 str. in priloge, IRGO Consulting, Ljubljana.

Vučković, D., 2010: Poročilo o opravljenih geofizikalnih preiskavah na delu predora T2. - Poročilo, IRGO Consulting, Ljubljana.

Car, M. 2010: PGD za novo dvotirno progo Trst - Divača, odsek Cepišče - Divača (od km 0+800 do km 15+915) za potrebe izvedbe Geološko - geomehanskih raziskav. Objekt trasa km 0+800 - km 2+800. Faza 1: Geofizikalne preiskave. - 11 str. in priloge, Geoinženiring d.o.o., Ljubljana.

Stopar, R. & Car, M. 2010a: PGD za novo dvotirno progo Trst - Divača, odsek Cepišče - Divača (od km 0+800 do km 15+915) za potrebe izvedbe Geološko - geomehanskih raziskav. Širše območje Objekta predor T1 odsek km 2+800 - km 9+800. Faza 1: Geofizikalne preiskave. - 33 str. in priloge, Geoinženiring d.o.o., Ljubljana.

Stopar, R. & Car, M. 2010b: PGD za novo dvotirno progo Trst - Divača, odsek Cepišče - Divača (od km 0+800 do km 15+915) za potrebe izvedbe Geološko - geomehanskih raziskav. Objekt predor T2 odsek km 9+800 - km 10+600. Faza 1: Geofizikalne preiskave. - 20 str. in priloge, Geoinženiring d.o.o., Ljubljana.

Suppe, J. & Medwedeff, D.A. 1990: Geometry and kinematics of fault-propagation folding. - Eclogae geol. Helv., 83/3, Basel.

3 HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

3.1 Uvod

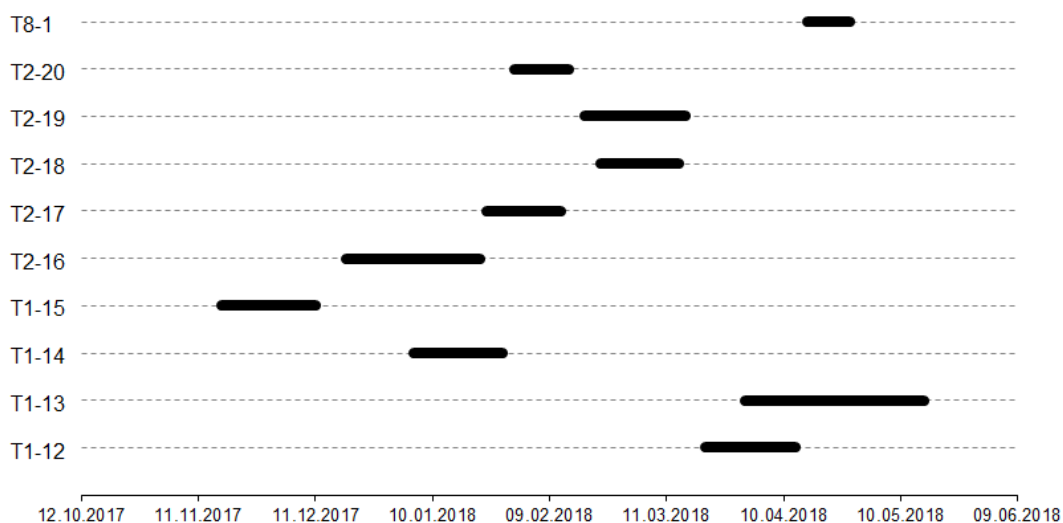
Na odseku Divača - Črni kal je bilo v okviru dopolnilnih raziskav izvrtanih 10 globokih raziskovalnih vrtin. Osem izmed njih se je opremilo kot piezometre, vanje pa se je vgradilo tlačne sonde, s katerimi se izvajajo zvezne meritve gladine podzemne vode. Danes imamo tako na trasi predora T1 sedem piezometrov in na trasi predora T2 petnajst piezometrov v katerih potekajo zvezne meritve nihanja gladine podzemne vode. Piezometre se je opremilo glede na popise navrtanih jeder, ugotovljene dotoke vode in karotažne meritve.

Na podlagi izvedenih dodatnih vrtin in spremljajočih preiskav smo lahko posodobili prognozo hidrogeoloških razmer v trasi predorov. Delni rezultati dopolnilnih hidrogeoloških raziskav so že zbrani v preliminarinem poročilu [2], ki tudi predstavlja osnovo za pripravo vsebin, ki so predstavljene v nadaljevanju. V tem poročilu tako podajamo rezultate in interpretacijo hidrogeoloških preiskav in pa posodobitev ter spremembe hidrogeoloških pogojev gradnje na območju predorov T1 in T2.

3.2 Rezultati opravljenih hidrogeoloških preiskav

3.2.1 Izdelava dodatnih globokih vrtin

Vrtalna dela so se pričela 17.11.2017 (vrtina T1-15/17) in zaključila 16.5.2018 (vrtina T1-13/17). Časovni potek vrtalnih del na posameznih vrtinah je razviden iz slike 3/1. Vrtine so bili načrtovane s projektno nalogo »Projektna naloga za izvedbo **dopolnilnih strukturno geoloških, hidrogeoloških, krasoslovnih in geotehniških raziskav za PZI** drugega tira železniške proge med Divačo - Koprom (2TDK) - nivo obdelave PZI« v letu 2017, zato smo jim pripisali naziv »/17«, kar se bo tudi upoštevalo pri pripravi nadaljnjih dokumentacij.



Slika 3/1. Časovni potek vrtalnih del na posameznih vrtinah.

3.2.1.1 Hidrogeološki popisi jeder dodatnih vrtin

3.2.1.1.1 T1-12/17

Vrtina T1-12/17 je bila izvedena v dveh ločenih odsekih in sicer je bila jedrovana od globine 65 do 125 m in 185 - 250 m, preostali del vrtine je bil vrtan z udarnim pnevmatskim kladivom. Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T1 12/17 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer do globine 250 m, aktivirana in opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

Vrtina je v celotni dolžini izvrtana v alveolinsko numulitni in miliotidni apnenec. Kontakt apnencev v jedrovanem odseku se nahaja na globini 92 m. Do globine 80 m sledimo razmeroma kompaktnemu apnencu z velikim številom preperelih in zakraselih razpok, ki so manjše odprtosti ca. 1 cm, razpoke pa so redko zapolnjene z glino. Globlje je kamnina močno razpokana, oziroma v nekaterih predelih povsem pretrta. Razpoke so večje odprtosti tudi do 5 cm in zapolnjene z rumeno rjavo peščeno preperino in rdečo rjavo glino. V zgornjem jedrovanem odseku na odsekih 99,7 - 100,5 m, 114 - 115 m, 115,6-116 m, se pojavlja popolnoma porušena kamnina z velikim deležem glinene komponente. V spodnjem jedrovanem odseku, globlje od 185 m, je kamnina še močnejše razpokana ter pretrta, v nekaterih odsekih pa povsem porušena. Razpoke so zapolnjene z rumenorjavo peščeno preperino in glino. Delež glinene komponente v povsem pretrtem in porušenem apnencu je na nekaterih odsekih tudi do 10 % (207-209 m, 211,5-212,4 m, 220-225 m,...).

Karotažne meritve s temperaturno krivuljo in krivuljo električne prevodnosti fluida v vrtini niso nakazale večjih dotokov vode. Meritev gladine podzemne vode, izmerjene med karotažo, je znašala ca. 207 m, medtem ko je kasneje, pred izvedbo aktivacije dne 15.5.2018, znašala 200,57 m.

3.2.1.1.2 T1-13/17

Vrtina T1-13/17 je bila izvedena do globine 350 m. V zgornjih 30 m se pojavlja mehka glinasta zemljina s posameznimi drobci peščenjaka, ki kaže na pobočni sediment flišnih kamnin (koluvijski). Vrtina je v nadaljevanju, v zgornjem delu navrtala še prehodne plasti (PP/E). Do dna vrtine pa je nato izvedena v alveolinsko numulitnem apnencu (ANA/E), ponekod s tankimi vložki lapornatih apnencev. Apnenec je masiven do neplastnat, prepreden z belimi kalcitnimi žilami.

Vrtina je izvedena v izrazito kraških in razpokanih kamninah. Na podlagi pregleda jeder so bili ugotovljeni naslednji odseki zakraselosti, razpokanosti in kavern: Delna zakraselost in razpokanost je bila ugotovljena na globinah 30 - 38 m, 45,30 - 59,3 m (kraška jama med 48,0 in 50,20 m), 61 - 63 m, 65 - 80 m, 89 - 90,6 m, 115 - 115 m. Med 200 - 208,5 m se med razpokanimi conami vrstijo tudi kaverne. Razpoka apnenec se pojavlja tudi med 234,8 in 274,7 m globine. Glavni in največji jamski prostor se nahaja med 234,8 in 274,7 m globine. Jama je v celoti zapolnjena z rjavo-rdeče-rumeno meljasto glino, meljem in drobnnozrnatim peskom. V spodnjem delu vrtine med 291 in 349,5 m pa je ugotovljen relativno kompakten apnenec s posameznimi razpokami in kavernami. Karotažne meritve kažejo, da je gostota razpok največja v odseku od 110 do 150 m. Pri optičnem pregledu v okviru karotažnih meritev so bile ugotovljene večje kaverne na

tudi na odsekih 62 - 69,5 m, 75 m, 113 - 119 m ter 122 - 136 m. Izrazito kraško razširjena razpoka se pojavi na globini med 135,8 m 136,05 m. Kraško razširjene razpoke so vidne še na 132,7 m, 141,9 m, 150,8 m in 153,3 m. Na nivoju nivelete predora se je pojavilo debelo zaporedje jamskih sedimentov (med 225 in 275 m pod terenom). Krasoslovna razlaga geneze (in tudi mogočega prostorskega obsega tega sedimenta), je prikazana v poglavju o krasoslovju, o geomehanskih lastnostih sedimenta pa geomehanskemu delu tega poročila. Večja kaverna se pojavila tudi pri povrtavanju vrtine na odseku med 332 - 348 m, kar je onemogočilo predvideno cevitev do globine 350 m.

Meritve gladine podzemne vode med vrtanjem niso zanesljive, ker je voda pritekla iz zgoraj prevrtanih vodonosnih plasti, ujela pa se je v slabše prepustni, še ne prevrtani plasti. Med vrtanjem oprijemljiva gladina podzemne vode ni bila zabeležena, prva zanesljiva meritev 302,5 m od ustja je bila zabeležena po cevitvi z vodnjaškimi cevmi in sicer med karotažnimi meritvami (kamera).

Vzdolž celotnega odseka vrtine so bili med karotažnimi meritvami opaženi dotoki vode. Gladina podzemne vode pa se je pojavila na globini 156,4 m., kasneje po cevitvi pa na globini 82,7 m pod ustjem. Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T1-13/18 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer. Ko bo izvedena aktivacija bo vrtina opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode in vključena v monitoring gladine podzemne vode.

3.2.1.1.3 T1-14/17

Vrtina T1-14/17 je bila izvedena do globine 260 m. Do globine 130 m je bila vrtina vrtana z udarnim vrtanjem in do globine 260 m z vrtanjem na jedro.

Vrtina v celotni dolžini zvrtna v alveolinsko numulitni in miliolidni apnenec. Kontakt apnencev se nahaja na globini 136,8 m. Iz spremembe krivulje naravne gama aktivnosti lahko sklepamo na s sedimenti zapolnjene kaverne in razpoklinske cone, kjer se med posameznimi ploskvami razpok nahaja glineni material. Odprte kaverne dimenzij nekaj decimetrov se nahajajo na globinah 48,60 m, 50,60 m, 53,40 m, 55,80 m in 68,0 m. Zapolnjena votlina je med 76,0 in 82,6 m in na 86,4 m. Izrazitejše razpoklinske cone so na 190,2 m in 191,2 m. Registrirane razpoklinske cone subvertikalne. Prelomnih struktur v jedru nismo našli.

Karotažne meritve s temperaturno krivuljo in krivuljo električne prevodnosti fluida v vrtini niso nakazale večjih dotokov vode.

Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T1-14/17 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer, aktivirana in opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

3.2.1.1.4 T1-15/17

Vrtina T1-15/17 je bila izvedena do globine 200 m oz. po interpretaciji karotažnih meritev do globine 199 m. Na 23,30 m je vrtina preko koluvialih sedimentov prešla v laporovce (PP/E).

Na podlagi pregleda jeder so bili ugotovljeni naslednji odseki zakraselosti, razpokanosti in kavern: razpoke in kaverne so na globini med 11 in 20 m, med 25 in 140 m se z menjavanjem meljevca in peščenjaka vrstijo razpoke, med katerimi so nekatere zapolnjene s slabo prepustnim polnilom glinaste sestave, med 145 m in do končne globine 200 m so manjše razpoke in ponekod tektonsko zmlet meljevec. Na globini 90,25 m je nakazana prelomna cona med laporovci prehodnih plasti in flišnimi plastmi. Navidezna debelina prelomne cone je večja od 1 m. Razpoke med plastmi se pojavljajo še na globini 145 - 154 m in zapolnjene razpoke na globini med 166 - 175 m. Večji dotoki podzemne vode so bili ugotovljeni v kavernah med 11 in 20 m, manjši dotoki pa po celotni globini vrtine, kjer so ugotovljene razpoke, odvisno od nivoja gladine podzemne vode. Med vrtanjem je bila gladina podzemne vode večkrat izmerjena na globinah med 29 m in 46 m, merjeno od površine.

Karotažne meritve s temperaturno krivuljo in krivuljo električne prevodnosti fluida v vrtini nista registrirala dotokov vode.

Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T1-15/17 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer, aktivirana in opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

3.2.1.1.5 T2-16/17

Vrtina T2-16/17 je bila do globine 6,3 m je zvrtna v preprino fliša, do končne globine 250 m pa v večinoma kompakten fliš (laporovec, peščenjak). Vrtina T2-16 po končanih vrtalnih delih ni bila zacevljena z vodnjaškimi cevmi. Premer vrtanja je bil 152 mm na odseku 0 - 6 m in 127 mm na odseku 6 - 250 m.

Vrtina T2-16/17 je zvrtna po celotni globini fliš (menjavanje laporovca in peščenjaka), ki je večinoma kompakten. Čeprav so bile med hidrogeološkim popisom jeder ugotovljene razpoke (večinoma plastovita razpokanost), so te zapolnjene z glinasto komponento in so zaradi tega slabo prepustne, kar so dokazali tudi nalivalni preizkusi. V nadaljevanju je zapisanih nekaj odsekov (globin), kjer je prisotnost razpok večja: 55 m - 57 m, 76 m - 79 m, 89 m - 92 m, 115 m - 116 m, do 195 m so redke posamezne razpoke, 196 m - 199 m, 221.4 m - 228.7 m, 234.4 m - 241.2 m, 242 m - 246.3 m.

Gladina podzemne vode je bila med vrtanjem ugotovljena na 5,7 m do 6,3 m pod površino. Po zaključku vrtalnih del, med spomladansko odjugo v kombinaciji z dežjem, je bila gladina vode na 0,16 m in 0,23 m pod površino, po koncu odjuge pa na 2,29 m pod površino (meritve izvedene v marcu 2018).

Karotažne meritve s temperaturno krivuljo in krivuljo električne prevodnosti fluida v vrtini so nakazale na manjši dotok vode na globini 88,0 m. Vrtina po zaključenem vrtanju ni bila zacevljena s piezometrijskimi cevmi je pa vrtina ostala odprta (razen zgornjih 5 m, kjer je bila izvedena cevitev premera 152 mm). Po končanem vrtanju je bila vrtina opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

3.2.1.1.6 T2-17/17

Vrtina T2-17/18 je bila izvedena do globine 150 m. Vrtanina je do globine 124,5 m navrtala laporovec, najprej pa je postopen prehod v apnenec. Premer vrtanja je bil 134 mm na odseku 0 - 30 m in 127 mm na odseku 30 - 150 m.

Vrtina T2-17/17 je zvrtna večinoma v fliš (laporovec), le na globini 135 m do končne globine 150 m v apnenec, ki sta oba večinoma kompaktna. Čeprav so bile med hidrogeološkim popisom jeder ugotovljene razpoke in tektonske cone, so te zapolnjene z glinasto komponento in so zaradi tega slabo prepustne, kar so dokazali tudi nalivalni preizkusi. V nadaljevanju je zapisanih nekaj odsekov (globin), kjer je prisotnost razpok in tektonskih con večja: 32.2 m - 33.8 m, 40.8 m - 41.4 m, 45 m - 45.5 m, 74 m - 75 m (večinoma tektonske cone). Do končne globine 150 m se ponekod pojavljajo posamezne manjše razpoke in tektonski con.

Med vrtanjem je bila gladina podzemne vode izmerjena na globinah 7,8 m in 8,9 m pod površino, vendar se je voda v obeh primerih dvigala zaradi vgradnje packerja. Po cevovodu z vodnjaškimi cevmi in aktivaciji je bila gladina vode izmerjena na 5,47 m od ustja (27.3.2018) in na 3,21 m od ustja (18.6.2018).

Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T2-17/18 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer, aktivirana in opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

3.2.1.1.7 T2-18/17

Vrtina T2-18/18 je bila izvedena do globine 200 m. Vrtina je v celotnem odseku do globine 200 m navrtala alveolinsko-numolitni apnenec (med 171 m in 201 m je bilo vrtano s kotalnim dletom. Ker ob uporabi izplake - vode ni bilo cirkulacije, ni bilo tudi izvrtanine). Premer vrtanja je bil 178 mm na odseku 0 - 6 m, in 134/140 mm na odseku 6 - 131 m in do končne globine (tudi s povrtavanjem) 127 mm. Alveolinsko-numolitni apnenec je masiven do neplastnat, večje razpoke pa se pojavljajo na odseku med 110 in 150 m. Tudi iz karotažnih meritev (električna upornost) je razvidno, da je bolj razpokan apnenec na odsekih med 108 in 130 m ter 140 do 153 m. Prisotnost razpokane kamnine potrjujeta tudi nalivalna preizkusa izvedena na odsekih 132,10 m in 139,50 m ter med 140,60 m in 171,00 m, kjer je nalita voda razmeroma hitro ponikala v razpoke.

Do globine 131 m je bilo za vrtanje uporabljeno kotalno dleto ob uporabi izplake. Vzorci izvrtanine so bili pridobljeni iz izplake v obliki različno zdrobljenega apnenca. V prilogi 2 so v preglednici pod Litološki popis (zrnavost) opisi zrnavosti vzorca na določeni globini. Pod drobno zrnato so delci < 1 mm, srednje zrnato = 1 mm in debelo zrnato > 1 mm. Glede na zrnavost bi se lahko sklepalo tudi stopnjo razpokanosti. Večji kot so delci večja bi lahko bila razpokanost. Drobno zrnato lahko označimo kot kompaktno kamnino, srednje zrnato kot delno razpokano kamnino, debelo zrnato pa kot razpokano kamnino.

Na podlagi popisa jeder, ki so bila pridobljena z metodo vrtanja Wireline med 131 m in 171 m globine, so bile ugotovljene naslednje razpokane cone: med 131 in 132,6 m delno razpokan, 132,6 - 138 m zelo razpokan, 143,5 - 143,85 razpokan, 144,5 - 149,6 m manjka jedro (verjetno kaverne), oziroma zelo

razpokano. Na globinah med 149,6 - 151,6 m, 156 - 157 m, 162 - 164 in 165,4 - 166,3 m so večje, ali manjše razpoke.

Med vrtnimi in drugimi spremljevalnimi deli smo zabeležili tudi tri meritve gladine podzemne vode, in sicer med 128,65 m in 145 m pod koto terena. Po cevitvi in aktivaciji vrtine je bila gladina podzemne vode izmerjena na globini 158,63 m (18.6.2018), 157,55 m (10.7.2018) in na 153,27 m (20.7.2018), vse izmerjeno od ustja vrtine.

Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T2-18/18 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer, aktivirana in opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

3.2.1.1.8 T2-19/17

Vrtina T2-19/17 je bila izvedena do globine 125 m z udarnim kladivom in nato do končne globine 300 m jedrovana z metodo wire-line. Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T2-19/17 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer do globine 250 m, aktivirana in opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

Vrtina je bila na globinah 0,0-130,95 m zvrtna v svetlo siv do temno siv foraminiferni apnenec. Iz jedrovanega odseka, od globine 125 m do 130,95 m je razvidno, da je apnenec večinoma kompakten le na posameznih delih razpokan in zakrasel. Razpoke so zapolnjene z mastno glino, mestoma se v apnencu pojavljajo večji žepi, ki so zapolnjeni z rumenorjavo peščeno preperino in glino. Narivni kontakt se nahaja na globini 130,95 m, kjer foraminiferni apnenec preide v spodaj ležeči flišni laporovec. Gre za temnosivi kompaktni laporovec s posameznimi gnezdi pirita in je delno razpokan s prevladujočimi nakloni 10-35°. Na globini od 207,7 m se pojavi prehod iz laporovca v lapornati apnenec, ki nato na globini 211 m preide v foraminiferni apnenec v katerem prevladujejo subvertikalne razpoke. Razpoke so odprtosti od 2-4 mm, večinoma brez polnila, nekatere so zapolnjene s kalcitom. Lokalno se pojavljajo tudi posamezni brečasti predeli in porušeni odseki kateri omogočajo pretakanje podzemne vode.

Karotažne meritve s temperaturno krivuljo in krivuljo električne prevodnosti fluida v vrtini niso nakazale večjih dotokov vode. Meritev gladine podzemne vode izmerjene med karotažo je znašala 236,3 m, medtem ko je kasneje, pred izvedbo aktivacije dne 9.4.2018, znašala 231,15 m.

3.2.1.1.9 T2-20/17

Vrtina T2-20/17 je bila izvedena do globine 150 m. Vrtina je bila na globinah 0,9-89,2 m zvrtna v apnenec. V zgornjem delu preperel siv do rjavosiv apnenec z žepi gline je nižje preperel samo še po razpokah. Preperel apnenec prehaja v zakrasel in razpokan apnenec, kjer so posamezne razpoke preperele, zakrasele ali zapolnjene z rumenorjavo peščeno preperino. Na globini 7,4-7,5 m se pojavlja kraška kaverna zapolnjena z rdečo pusto glino. Apnenec je ponekod kompakten s posameznimi foraminiferami in numuliti. Na globini 26,5 m je bilo navrtano 30 cm zdrobljenega apnenec. Od globine 30,2 m se mestoma pojavi tektonska breča. Narivni kontakt s spodaj ležečim flišnim laporovcem predstavlja na globini 89,2 m, do 3

cm debela plast sivorjave gline. V zgornjem delu močno tektonsko poškodovan laporovec preide v spodnjem delu v kompakten laporovec s posameznimi strižnimi conami. Na globini 123,4-123,6 m v kompaktnem laporovcu poteka tektonska cona in na globini 145,5 m močno zgubana in prestrižena cona debeline 5 cm.

Karotažne meritve s temperaturno krivuljo in krivuljo električne prevodnosti fluida v vrtini nakazale dotok vode na globini ca 68,0 m.

Na podlagi hidrogeološke spremljave vrtanja in pregleda rezultatov karotažnih meritev je bila vrtina T2-20/17 po končanem vrtanju opremljena kot piezometer, aktivirana in opremljena z avtomatsko sondo za meritve gladine podzemne vode. Vrtina je vključena v monitoring gladine podzemne vode.

3.2.1.1.10 T8-1/17

Vrtina T8-1/17 je bila do globine 7,5 m izvrtana v preperino fliša, do končne globine 200 m pa večinoma v kompakten fliš (laporovec, peščenjak). Vrtina po končanih vrtalnih delih ni bila zacevljena s piezometričnimi cevmi razen v zgornjih 5 m za zaščito ustja, kjer je bila izvedena cevitev premera 168 mm. Gladina podzemne vode se je v maju 2018 nahajala na okoli 14,5 m pod koto terena.

Vrtina je zvrtna po celotni globini fliša (menjavanje laporovca in peščenjaka), ki je večinoma kompakten in zelo slabo vodoprepusten. Čeprav so bile med hidrogeološkim popisom jeder ugotovljene razpoke (plastovita razpokanost, podrejeno vertikalna razpokanost), so te večinoma zapolnjene s kalcitnim cementom in so zaradi tega slabo prepustne. Glavni dotok podzemne vode se pričakuje v tektonsko pretrtih in zdrobljenih delih vrtine, ki so slabo prepustni, a vseeno predstavljajo dominantno pot podzemni vodi zaradi slabše prepustnosti okoliške kamnine. Najbolj izrazita pretrta in zdrobljena cona v vrtini T8-1/17 se nahaja na globini med 90 m in 110 m, zato se na tem odseku, kjer bo niveleta presekala to cono, pričakuje določene sicer manjše vtoke podzemne vode. Območja slabše zdrobljenih in pretiranih flišnih kamnin v vrtini se nahajajo še na naslednjih odsekih 18,5 - 23 m, 36 m - 38 m, 51 m - 59 m, 141 m - 145 m, 167 - 169 m.

Rezultati karotažne meritve s temperaturno krivuljo in krivuljo električne prevodnosti fluida v vrtini še niso na voljo.

3.2.1.2 Cevitev

Cevitev piezometričnih vrtin se je izvedla po koncu vrtanja, ko se je v vrtinah izvedlo vse potrebne geološke ter hidrogeološke raziskave in preizkuse.

Cevitveni načrt vrtin, po katerem se je izvedla cevitev, je bil izdelan glede na ugotovljeno litologijo, strukturo in hidrogeološke značilnosti posameznih odsekov vrtin. Bistveni kriterij je bila razpokanost ali kavernoost kamnine, ki smo jo ugotavljali na podlagi karotažnih meritev premera vrtin, sprememb temperature in konduktivnost vode ter posnetkov z videokamero ali akustično kamero. Namen cevite s filtrskimi cevmi je predvsem, da se v teh conah omogoči še tudi kakršnekoli kasnejše meritve v času do gradnje in med gradnjo, če bi se to izkazalo za potrebno.

V vseh vrčinah gre za navadno cevitev, kjer se izmenjujejo filtrske in polne cevi. Odseki vgrajenih filtrskih in polnih cevi so prikazani v preglednici (Preglednica 3/1). Odseki niso ločeni z mostovi.

Preglednica 3/1. Filtrski odseki piezometrov in njihova globina od terena.

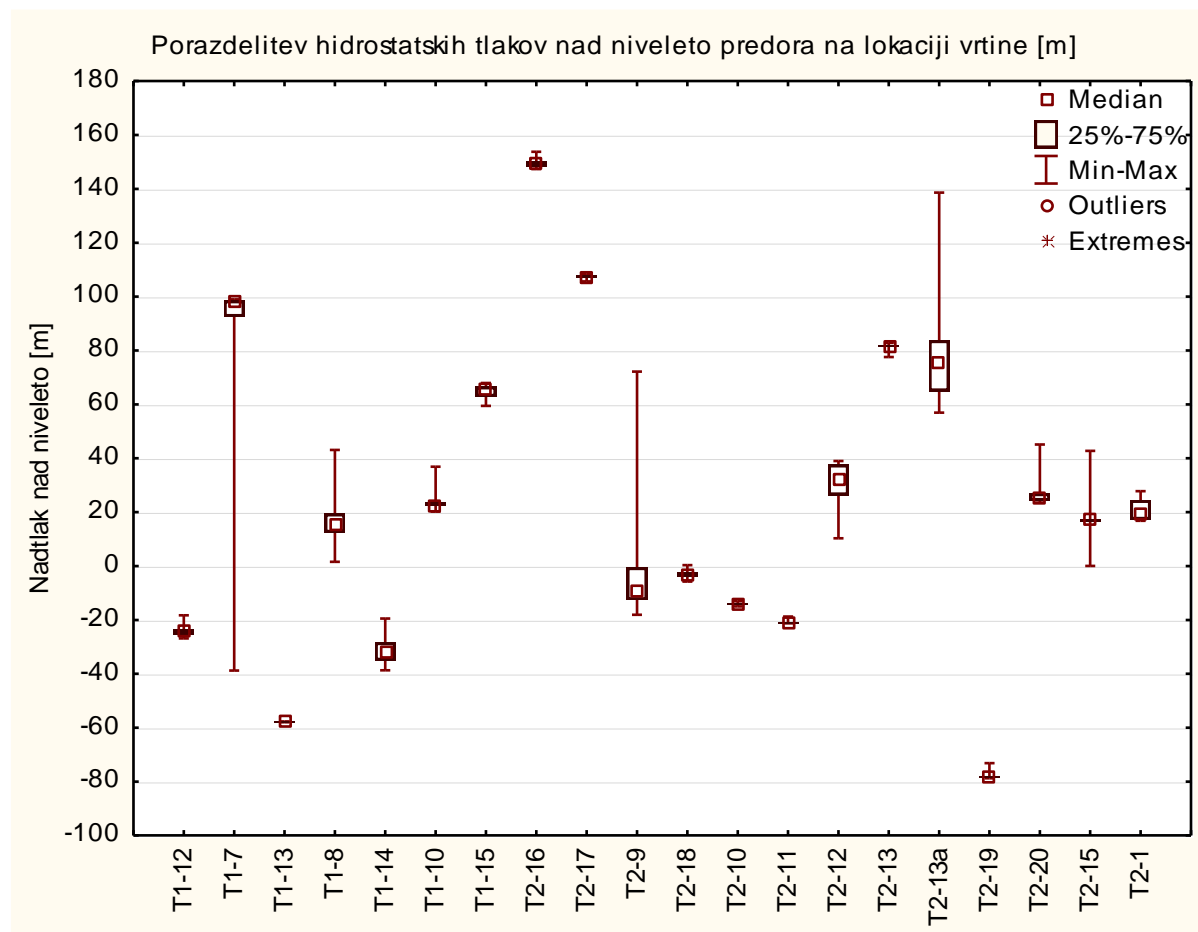
Filtrski odseki piezometrov in njihova globina od terena (m)																		
	T1-12/17		T1-13/17		T1-14/17		T1-15/17		T2-16/17		T2-17/17		T2-18/17		T2-19/17		T2-20/17	
Filtrski odsek			69-327				40-196		0-250		82-148		39-199					
Globe posameznih odsekov vgrajenih filtrskih cevi	od	do	od	do	od	do	od	do	od	do	od	do	od	do	od	do	od	do
	247,35	191,35	327	293	254,3	242,3	196	193	0	250	148	145	199	193	247,7	199,7	148,7	142,7
	179,35	168,35	284	275	240,3	152,3	187	184			127	121	187	181	148,7	139,7	136,7	133,7
	159,35	157,35	210	207	146,3	131,3	175	166			115	109	178	175	136,7	124,7	124,7	121,7
	153,35	136,35	195	190	128,3	125,3	154	151			103	100	172	124	122,7	110,7	112,7	82,7
	130,35	128,35	173	167			148	145			88	82	121	119	107,7	101,7	73,7	70,7
	123,35	121,35	158	142			142	139					116	114	98,7	95,7	67,7	64,7
	118,35	110,35	139	136			133	130					108	105	92,7	86,7		
	104,35	93,35	132	125			121	109					96	93				
	82,35	79,35	118	104			100	88					84	81				
	64,35	61,35	102	93			85	79					72	69				
			87	69			73	70					57	54				
							61	55					42	39				
							52	49										
							46	40										
Skupaj	115		124		118		75		24		24		85		96		48	

3.2.2 Meritve nivojev, temperature podzemne vode ter pretokov površinskih voda

Glavni rezultati meritev nivojev in temperature podzemne vode so podani v periodičnih poročilih, zadnje obsežnejše poročilo z interpretacijo je Zbirno poročilo iz junija 2018 [3]. V prilogah tega poročila so podani grafi nihanja gladine podzemne vode v piezometrih v celotnem obdobju monitoringa 2010 - 2018, kjer so sicer v zelo kratkem časovnem intervalu zajeta tudi nihanja gladine podzemne vode v novih piezometrih. Za nadgradnjo podatkov iz zbirnega poročila smo podatke iz monitoring mreže ponovno pregledali in obdelali tudi za obdobje, vključno z mesecem septembrom 2018.

Večina piezometrov povsem izraža vodna stanja, kot jih navajajo letna poročila ARSO in so opisana v poročilu o monitoringu [3]. To velja za piezometre v kraškem vodonosniku kot tudi za piezometre v aluvialnem vodonosniku prodno-peščenega zasipa Rižane pri Dekanih. Le na redkih piezometrih navedena vodna stanja niso izrazita.

Na sliki 3/2 so tlaki prikazani v obliki nadtlakov nad nivoletu posameznega predora, ki neposredno vpliva na obremenitve na oblogo predorske cevi.

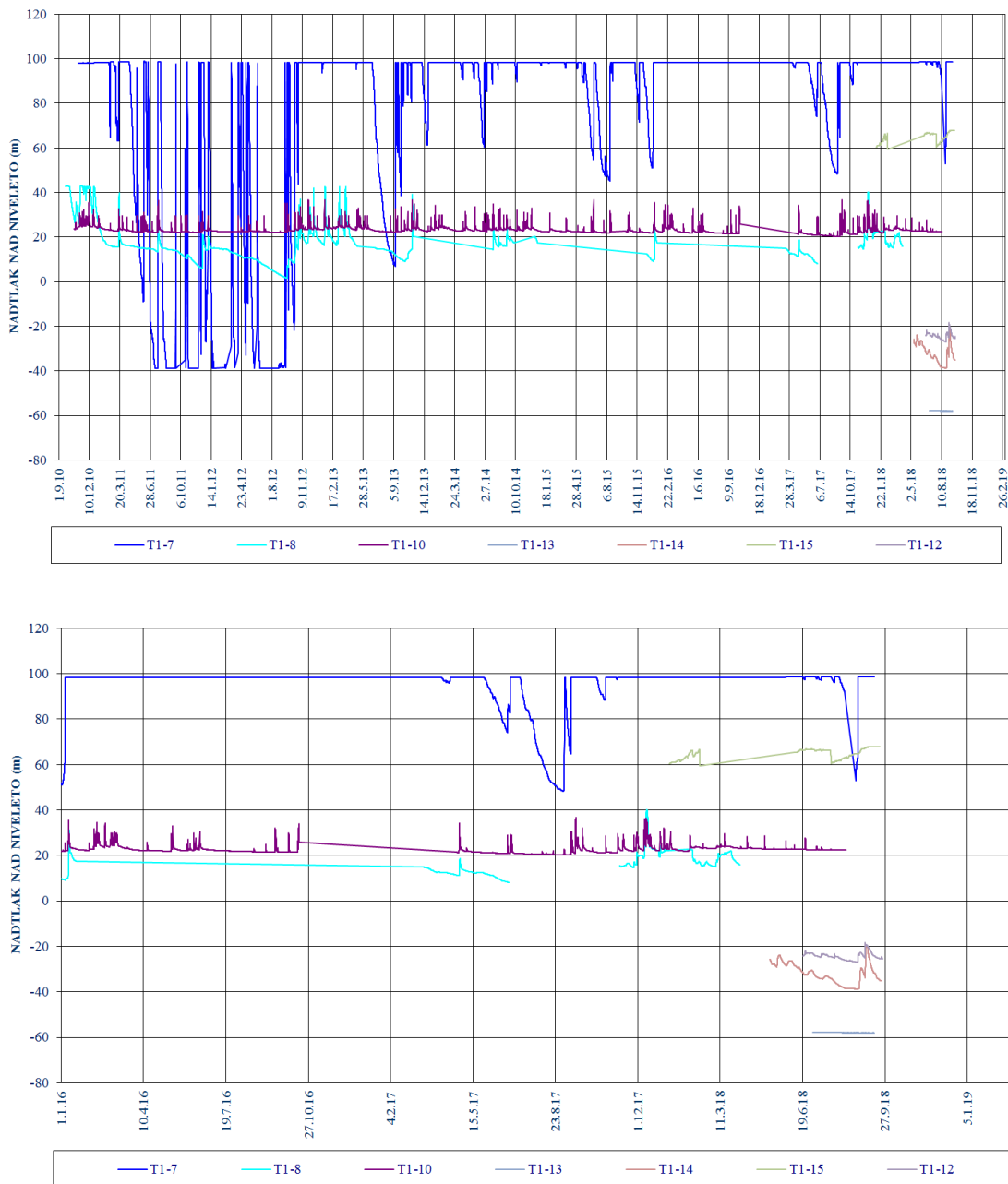


Slika 3/2. Razponi vrednosti nadtlakov podzemne vode na območju predorov T1 in T2.

3.2.2.1 Predor T1

V predoru T1 niha gladina podzemne vode nad nivoletu v petih piezometrih. V dveh (oba nova piezometra) pa dosedaj izvedene meritve v razmeroma kratkem opazovalnem obdobju kažejo na nihanje pod nivoletu (Slika 3/3. /3). Pri tem se izrazito visoki konični tlaki (99 m) pojavljajo le v piezometru T1-7, ki je po naši interpretaciji značilen za Trsteljske (TF1 in TF2/Pc) plasti. Za T1-7 je značilen največji razpon nihanja gladine podzemne vode (137,8 m) in zadrževanje gladine na najvišje izmerjeni koti 473,48 m n.m. Na tej koti je vrh kavernoznega odseka v katerem so bile tudi izgube izplake in se nahaja 20 m nad mejo med trsteljskimi plastmi in plastmi aveolinsko numolitnega apnenca. V ostalih dveh piezometrih, ki sta značilna za alveolinsko numolitne apnenca (ANA/E), so nihanja bistveno manjša. Nihanje gladine podzemne vode v piezometru T1-8 je izrazito z razponom meritev 41,5 m. Na koti okoli 387 m n.m. se nahaja kaverna, zaradi katere se gladina podzemne vode v vrtini ne dvigne višje od te kote. To pomeni, da je dejanska gladina visokih vod na območju piezometra T1-8 še nekaj metrov višje. Razpon nihanja gladine podzemne vode v vrtini T1-10 znaša 17,5 m. Iz grafa je razvidno, da gladina podzemne vode hitro reagira na padavine in večji

del spremembe gladine traja krajši čas po padavinskem dogodku, manjši razpon dviga gladine po padavinskem dogodku pa traja dalj časa. Hitre dvige in upade pripisujemo kratkotrajnemu zasičenju nenasičene cone, kjer je smer toka večinoma vertikalna, dolgotrajno nihanje gladine pa je posledica nahajanja gladine podzemne vode v plitvi zasičeni coni hidrogeološke enote antiklinale med flišnimi plastmi in spodnje trsteljskih plasti, ki jo od piezometričnih vrtin zajema le vrtina T1-10. To zasičeno cono lahko imenujemo tudi viseča podzemna voda, ki jo omejujejo in pogojujejo slabše prepustne flišne in spodnje trsteljske plasti. Podzemna voda iz območja vrtine T1-10 se v severovzhodni smeri pretaka hidrogeološko enoto, ki jo zajemajo ostale vrtine.



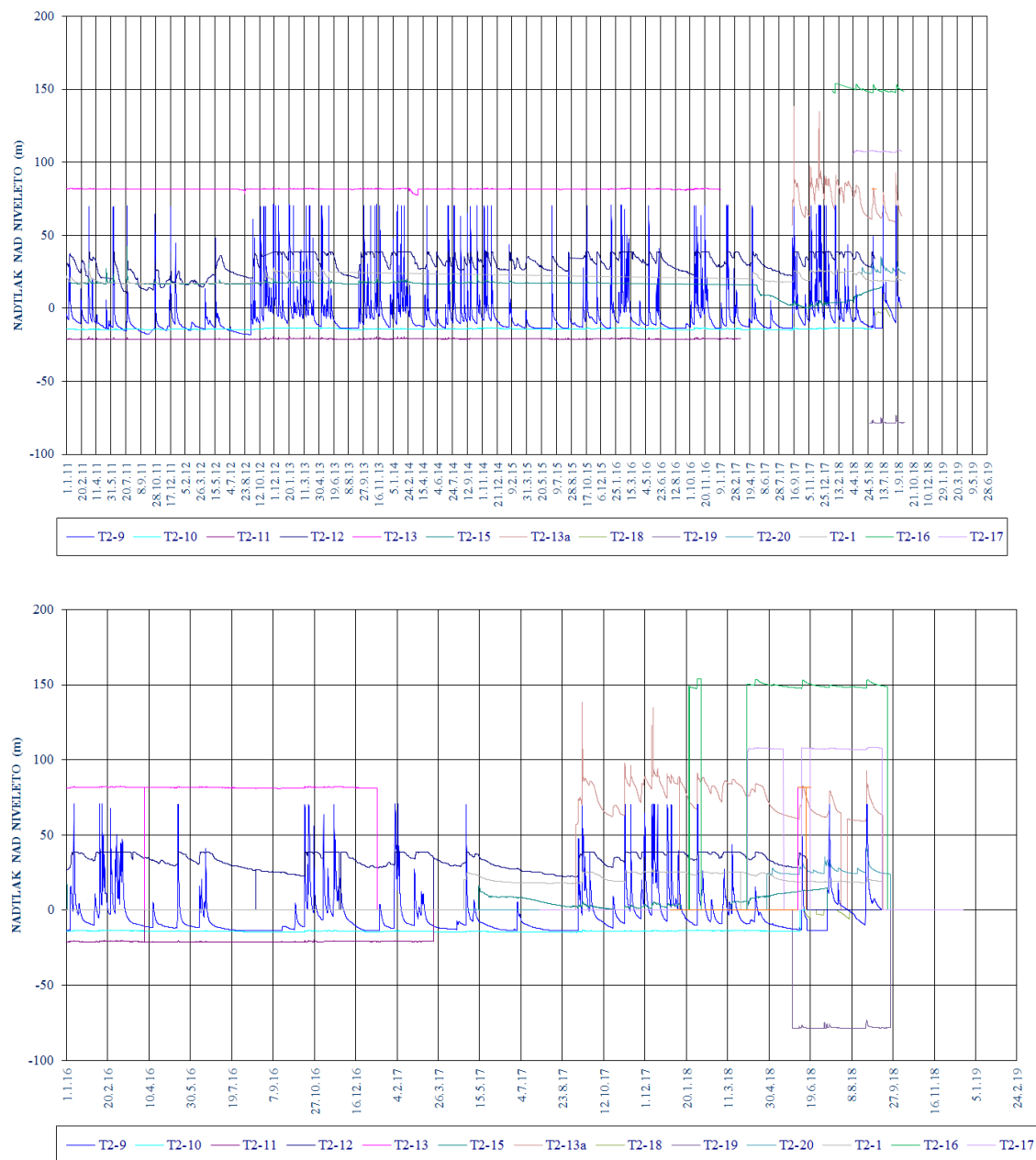
Slika 3/3. Nihanje GPV nad/pod niveleto v piezometrih v predoru T1. (spodaj: samo od leta 2016)

Za nove vrtine na območju predora T1 je na razpolago zelo kratek niz podatkov oz. meritev gladine podzemne vode. Do sedaj so meritve potekale večinoma v nizkem in srednjem poletnem vodnem stanju, kar se odraža v razmeroma majhnem razponu nihanja gladine podzemne vode. Padec gladine vode ob sušah v Trsteljskih plasteh v vrtini T1-7 preko 38 m pod niveleto predora prav tako pa dosedaj izmerjene gladine podzemne vode v vrtini T1-13/17 dokazuje, da je bazna gladina vode precej nižja. Sklepamo, da se bazna gladina podzemne vode spušča proti osi sinklinale, ki jo predor T1 prečka med km 6,0 in km 6,5.

Gladina vode v piezometru T1-12/17 reagira na padavine, posebno na padavine ki znašajo več kot 40 mm/dan, ko se gladina lahko dvigne za več kot 6 m. Sklepamo, da izmerjena gladina kaže realne razmere zajetih lokalno prepustnejših razpokanih spodnje trsteljskih plasti na območju predora. Podatki meritev kažejo nižje izmerjene gladine kot od pričakovanih. Nižja gladina od pričakovanje je lahko posledica, da se skozi pretrto cono v okolici piezometra T1-12/17 podzemna voda vertikalno steka proti regionalni bazni gladini podzemne vode v spodaj ležečih liburnijskih plasteh. Do sedaj so meritve potekale večinoma v nizkem in srednjem poletnem vodnem stanju. Pričakujemo, da bo najvišja gladina še višja približno za 10 m in prevladujoča in srednja gladina na približno do 5 m višji nadmorski višini. Gladina podzemne vode V piezometru T1-14 reagira na padavine in verjetno odraža dejansko gladino na tem območju. Filtrski odsek se nahaja v spodnje trsteljskih plasteh in v plasteh liburnijske formacije (od globine 125,5 do 254,5 m). Do sedaj je gladina vode v vrtini zabeležena le v liburnijskih plasteh, ki se na mestu vrtine nahajajo pod niveleto, kjer so bile navrtane kamnine z razpoklinsko poroznostjo. Na koti 311,33 m n.m. (globina 214,25 m) meritve nakazujejo na možno ustalitev gladine podzemne vode, kar približno sovпада z dnem bolj razpokanega odseka, kateremu do dana vrtine sledi odsek z manj pogostimi razpokami. Meritve na piezometru T1-15/17 kažejo, da gladina vode reagira na padavine, vendar se po približno pol mesečnih obdobjih z manj padavinami pojavijo hitra znižanja gladine podzemne vode. Vrtina T1-15/17 ne zajema apnencev, temveč v celoti poteka v flišnih plasteh. To pomeni, da izrazitega nihanja z večjimi razponi ni pričakovati.

1.1.1.1. Predor T2

V območju predora T2 je visoka gladina podzemne vode s konico 83 m nad niveleto v piezometru T2-13 nad Črnokalsko lusko (Slika 3/4). Še višja je bila zabeležena na T2-13a, kjer se nivo sicer pretežni del časa nahaja med 65-80 m nad terenom, ko je ob enkratnem dogodku nivo narasel v nekaj urah na 134 m nad predorom ter nato ponovno v nekaj urah padel na prejšnjo vrednost (ca 80 m nad predorom). Visoka konična gladine (72 m nad niveleto) je izmerjena še v piezometru T2-9 v bližini Beško ocizeljskega jamskega sistema. V piezometrih T2-10 in T2-11, ki sta značilna za alveolinsko numulitne apnence (ANA/E) med kraškima zaledjema Boljunca ter Rižane in Osapske reke, je gladina vode ves čas vsaj 13 do 19 m pod niveleto. Na izstopnem delu predora T2 je gladina podzemne vode v piezometrih T2-15 in T2-1 (južni portal) vedno okoli 20 m nad koto nivelete, ob visokovodnih konicah pa do 43 m ter je vezana na preliv vode iz kraškega sistema preko naravnega stika kraškega masiva na flišne plasti.



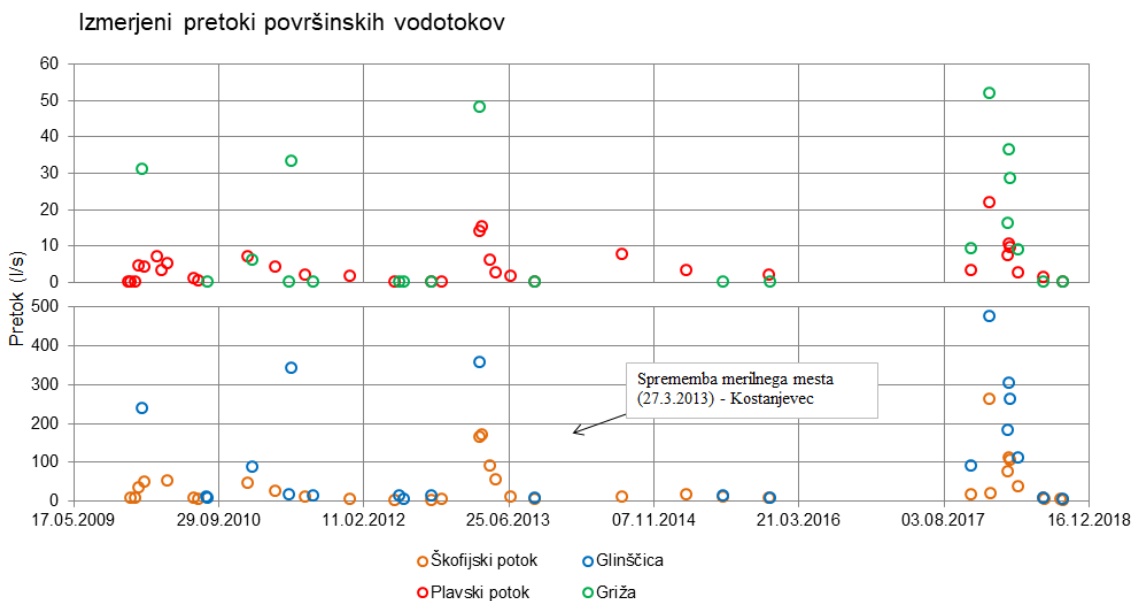
Slika 3/4. Nihanje GPV nad/pod nivoletu v piezometrih v predoru T2. (spodaj: samo od leta 2016)

Za nove vrtine na območju predora T2 je na razpolago zelo kratek niz podatkov oz. meritev gladine podzemne vode. Gladina podzemne vode v novi vrtini T2-16/17 se tako v povprečju nahaja 151 m nad nivoletu v flišnih kamninah, kar je približno na koti 425,5 m n.m. oziroma 5 m pod površjem. Za vrtino T2-17/18 so na razpolago 3 ročne meritve gladine podzemne vode. Gladina podzemne vode se je v času teh meritev gibala na globini med 4 - 9 m pod površjem, oziroma na kotah med 368,6 - 373,4 m n.m. Ocenjujemo, da se nadtlaki gibljejo približno na 105 m nad nivoletu.

Gladina podzemne vode v vrtinah T2-18 (1x meritev) in T-2/19 (2x meritev) pa se v času meritev nahaja pod niveleto predora. Še posebej nizko nihanje glede na niveleto lahko pričakujemo v vrtini T-2/19, medtem ko pa v vrtini T2/18 lahko govorimo o gladini podzemne vode v območju nivelete. V vrtini T2-20 sta na razpolago dve meritvi, ki kažeta, da se gladina podzemne vode nahaja med 23,6 in 40,0 m nad niveleto predora, kar je na koti med 221 in 238 m n.v.

3.2.2.2 Površinski vodotoki

V okviru hidrogeološkega monitoringa površinskih vodotokov se izvajajo zvezne meritve višine vode v strugi posameznih vodotokov. Na podlagi zveznih podatkov o višinah vode v strugi, smo iz relacije teh in občasnih meritev pretoka izdelali pretočno krivuljo. Pretočno krivuljo smo lahko izdelali za merilni mesti Glinščica in Škofijski potok [3]. V mesecu marcu 2018 smo izvedli tri zaporedne meritve pretokov s katerimi smo zajeli tudi visoko vodno stanje. V mesecu juliju in septembru pa še meritve s katerimi smo zajeli nizko vodno stanje, ki je prevladovalo v poletnih mesecih. Z rednim izvajanjem ročnih meritev pretokov v celotnem opazovanem obdobju smo že zajeli različna vodna stanja s katerimi že lahko ocenimo razpon pretokov na posameznem merilnem mestu (Slika 3/5). Večje pretoke smo izmerili pozimi 2012/2013 in pozimi 2017/2018. Največje pretoke smo izmerili 11.1.2018 (s soljo) in sicer Glinščice 476 l/s, Griže 51,8 l/s, Plavski potok 21,8 l/s in Škofijski potok 261 l/s. Najnižji pretok Glinščice 4 l/s smo izmerili 3.7.2012. Ostali trije vodotoki v suši presahnejo. Dodatno pa so zvezne meritve pretočne višine v strugi pokazale, da so ti pretoki lahko še nekajkrat višji ob ekstremnih padavinskih dogodkih.



Slika 3/5. Ročno izmerjeni pretoki površinskih vodotokov.

Glede na rezultate monitoringa pričakujemo največje konične pretoke na mestu nizkih nadkritij predvsem v jesenskem času ter tudi v zimskem in spomladanskem obdobju. Najvišja konična višina vode v strugah

Plavskega in Škofijskega potoka je bila izmerjena septembra oziroma decembra, medtem ko se je avgust izkazal za izrazito suh mesec.

3.3 Interpretacija opravljenih hidrogeoloških preiskav

3.3.1 Nalivalni preizkusi

Spodnja tabela (Preglednica 3/2) podaja rezultate vseh opravljenih nalivalnih poizkusov, ki so bili opravljeni tako v prejšnji kot v tej fazi preiskav. Pri tem je podano leto izvedbe preiskav, vrtina, na katero se rezultati nanašajo, litologija testiranega odseka ter merodajni koeficient prepustnosti glede na obdelavo (podano v ločenem poročilu).

Preglednica 3/2. Rezultati koeficientov prepustnosti iz opravljenih nalivalnih poizkusov na območju predorov T1, T2 in T8.

Leto	Vrtina	Testirana litologija	K [m/s]
2018	T1-12	TF1/Pc	4,9E-08
2018	T1-12	ANA/E	5,5E-07
2018	T1-12	ANA/E	3,7E-07
2018	T1-12	TF1/Pc - TF2/Pc	1,6E-08
2018	T1-14	TF1/Pc	1,4E-07
2018	T1-14	TF1/Pc	3,3E-07
2018	T1-14	TF1/Pc	2,3E-06
2018	T2-19	PP/E	1,2E-09
2018	T2-19	ANA/E	6,4E-08
2018	T2-19	ANA/E	1,9E-07
2018	T2-20	ANA/E	1,7E-06
2018	T2-20	ANA/E	1,2E-06
2018	T2-20	ANA/E	1,7E-07
2018	T8-1	F/E	3,3E-07
2018	T8-1	F/E	1,5E-08
2018	T8-1	F/E	1,5E-07
2018	T1-13	ANA/E	1,2E-06
2018	T1-13	ANA/E	1,2E-08
2018	T1-13	ANA/E	1,6E-07
2018	T1-15	PP/E	1,2E-06
2018	T1-15	PP/E	9,3E-07
2018	T1-15	PP/E	1,4E-08*
2018	T2-16	F/E	4,7E-09
2018	T2-16	F/E	6,5E-10
2018	T2-16	F/E	1,4E-10*
2018	T2-17	PP/E	7,2E-09
2018	T2-17	ANA/E	1,1E-08
2018	T2-17	ANA/E	6,3E-09
2018	T2-18	ANA/E	3,1E-06
2018	T2-18	ANA/E	7,1E-06
2018	T2-18	ANA/E	3,6E-06

Leto	Vrtina	Testirana litologija	K [m/s]
2010	T2-7	F/E	8,0E-07
2010	T2-7	F/E	4,3E-07
2010	T2-8	PP/E	1,3E-07
2010	T2-8	PP/E	3,7E-07
2010	T2-11	ANA/E	5,8E-05
2010	T2-11	ANA/E	8,2E-06
2010	T2-13	ANA/E	1,6E-07
2010	T2-13	ANA/E	7,2E-08
2010	T2-15	ANA/E	2,0E-07
2010	T2-15	PP/E	4,1E-08
2010	T1-4	Lib	4,5E-04
2010	T1-7	TF1/Pc	1,7E-08
2010	T1-8	ANA/E	4,6E-09
2010	T1-9	TF1/Pc	4,0E-06
2010	T1-10	ANA/E	1,3E-05
2010	T1-10	ANA/E	1,9E-06
2010	T1-10	ANA/E	1,1E-06

3.3.1.1 Interpretacija

Za interpretacijo nestacionarnih nalivalnih preizkusov, kjer smo glede na potek upadanja gladine vode interpretirali dve premici, smo izračunali povprečje izračunane prepustnosti za obe premici. Na podlagi rezultatov obdelave nalivalnih preizkusov podajamo ocenjene vrednosti koeficientov prepustnosti glede na različne preizkušane odseke.

Najvišje vrednosti koeficienta prepustnosti se kažejo v vrtini T1-15/17. Iz grafične obdelave preizkusa izhaja, da smo imeli opravka s hitrejšim ponikanjem v zgornjem delu vrtine (do 20,5 m pod ustjem vrtine), kje se nahajajo plasti pobočnih nanosov. Ločeno smo zato interpretirali odsek 0 - 20,5 m, kjer se pojavlja pobočno nasutje. Izračunana prepustnost tega odseka znaša $1,46 \times 10^{-6}$ m/s, vendar pa je potrebno upoštevati, da izračunana vrednost izhaja iz dobljenih povprečnih vrednosti prepustnosti za nalivalna odseka globine 94,4 m in 131,15 m. Pri izračunu je privzeta bistveno večje dolžina nalivanega odseka kot je dejanska debelina pobočnega nasutja, zato je ocenjujemo, da je prepustnost tega nasutja bistveno višja, lahko tudi za dekada. Podobno velja tudi za preostala odseka v vrtini T1-15/17, kjer izračunane nizke vrednosti prepustnosti ($5,76 \times 10^{-9}$ - $7,97 \times 10^{-9}$ m/s) veljajo brez upoštevanja hitrega ponikanja v zgornjem delu vrtine. Posledično lahko pri omenjenih odsekih računamo z nekoliko višjimi prepustnostmi, kot jih dejansko kažejo izračuni.

Heterogeno polje prepustnosti lahko opazujemo tudi v primeru vrtine T1-13/17. Boljša prepustnost se kaže v zgornjem odseku vrtine do 115 m. V tem odseku je vrtina navrtala zakrasel in razpokan apnenec, kjer zato prepustnost ustreza srednji prepustnosti med $1,44 \times 10^{-6}$ m/s in $2,55 \times 10^{-6}$ m/s. V odseku med 197,50 - 240,00 so prepustnosti že bistveno slabše (med $2,50 \times 10^{-8}$ m/s in $6,10 \times 10^{-9}$ m/s), saj je tudi apnenec bolj kompakten, kraške jame, ki se pojavljajo v tem delu pa so zapolnjene s zelo slabo prepustnimi jamskimi

sedimenti. Srednjo prepustnost lahko opazujemo v vrtini T2-18/17, kjer je vrtina navrtala razmeroma homogene plasti plastovitega apnenca (ANA/E). Prepustnost teh plasti lahko opredelimo s povprečno vrednostjo $4,09 \times 10^{-6}$ m/s.

V preostalih vrtinah pa obdelava nalivalnih preizkusov kaže na izrazito slabe do zelo slabe prepustnosti. Še posebej slabo prepustne so plasti peščenjaka in glinavca, ki smo jih preizkušali v vrtini T2-16/17. Tudi v tej vrtini so prepustnosti izrazito nizke in v vseh izračunih kažejo na nižjo prepustnost reda velikosti med 1×10^{-8} m/s in 1×10^{-11} m/s. Prav tako slabe prepustnosti lahko privzamemo tudi za nalivane odseke v vrtini T2-17/18, kjer je prepustnost v vseh primerih na intervalu med 1×10^{-8} m/s in 1×10^{-9} m/s. V tem primeru so bili obravnavani odseki, ki vključujejo plasti laporovca, lapornatega apnenca in apnenca.

Pri interpretaciji dobljenih vrednosti koeficienta vodoprepustnosti je potrebno upoštevati, da so uporabljene in-situ metode izračuna prepustnosti zelo robustne, kar bistveno zmanjša zanesljivost dobljenih vrednosti za nizke prepustnosti. Že prepustnosti reda velikosti 1×10^{-8} m/s so tako nizke, da je tok podzemne vode v takšnih plasteh že praktično zanemarljiv. Za plasti, ki smo jih preizkušali z nalivalnimi preizkusi je značilno, da se voda v teh plasteh pretaka in zadržuje v majhnih razpokah in strukturnih elementih, ki se med vrtalnimi deli lahko povsem zapolnijo z izplačnim medijem. Slednje pa lahko bistveno vpliva na izračun prepustnosti plasti.

3.3.1.2 Sinteza dobljenih vrednosti in predhodnih interpretacij

Izhodišče za oceno značilnih prepustnosti posameznih litoloških plasti predstavlja poročilo o izvedenih nalivalnih poizkusih. Izhodiščne vrednosti so prikazane v preglednici 3/2. Za preloma, ki na območju nivelete potekata znotraj flišnih plasti oziroma znotraj spodnje trsteljskih plasti, privzemamo prepustnost prelomne cone, ki izhaja iz meritev v vrtinah na odseku Črni kal - Koper in je za prelomne cone ocenjena na $4,81 \times 10^{-6}$ m/s.

Iz obdelave nalivalnih preizkusov lahko zaključimo, da smo imeli v preizkušanih vrtinah opravka s slabo prepustnimi plastmi. Slaba prepustnost velja tako za prehodne plasti (PP/E), kot tudi flišne plasti (F/E), izjemoma pa za plasti ANA/E. Zaradi negotovosti v izračunu koeficientov prepustnosti ocenjujemo, da v primeru prehodnih in flišnih plasti lahko računamo s prepustnostjo $K = 1 \times 10^{-7}$ m/s. Višje prepustnosti se kažejo za pobočno nasutje, v katerega pa predor ne bo posegel.

V splošnem lahko glede na vrednosti koeficientov prepustnosti iz prejšnje faze preiskav ugotovimo, da so v povprečju prepustnosti iz dodatnih vrtin nižje od 30 do celo 90 % (en red velikosti) za posamezni preiskovan litološki člen.

Zato lahko zaključimo, da so bile doslej uporabljene ocene prepustnosti za plasti F/E in PP/E konzervativne in podane v dovolj širokem razponu, da so dovolj zanesljive za oceno dotokov.

Pri tem se kažejo tudi razlike v prepustnostih predvsem prehodnih plasti med predoroma T1 in T2 in sicer poldrugi red velikosti. To bo lahko upoštevano tudi pri izračunih dotokov v predor, vendar zaradi nizke prepustnosti ne bo predstavljalo bistvenega elementa tveganja.

Spodnja tabela predstavlja bistvene statistične značilnosti prepustnosti posameznih litoloških členov na območju T1 in T2 (srednja vrednost in standardna deviacija), pri čemer so še ločeno podane statistike za posamezen predor ter ločeno za kampanjo raziskav.

Preglednica 3/3. Glavne statistike prepustnosti po posameznih litoloških členih (skupaj, ločeno po predorih in ločeno po letih).

	ANA/E	F/E	Lib	PP/E	TF/Pc
K _{sr} rednji(vsi)	4,3E-07	5,0E-08	4,5E-04	7,8E-08	1,8E-07
K _{sr} T1	3,2E-07	-	4,5E-04	1,1E-06	1,8E-07
K _{sr} T2	5,3E-07	3,2E-08	-	2,8E-08	-
K _{sr} 2010	8,0E-07	5,8E-07	4,5E-04	1,2E-07	2,6E-07
K _{sr} 2018	2,9E-07	1,9E-08	-	5,5E-08	1,5E-07

	ANA/E	F/E	Lib	PP/E	TF/Pc
K _{sr} +stdev (vsi)	5,2E-06	7,2E-07	-	1,0E-06	1,6E-06
K _{sr} +stdev T1	3,4E-06	-	-	1,3E-06	1,6E-06
K _{sr} +stdev T2	7,5E-06	1,0E-06	-	2,7E-07	-
K _{sr} +stdev 2010	1,5E-05	9,2E-07	-	3,7E-07	1,2E-05
K _{sr} +stdev 2018	2,7E-06	2,3E-07	-	1,8E-06	1,0E-06

3.3.2 Analiza indikacij pojavljanja kavern iz nihanja piezometrične gladine in nalivalnih poizkusov

Povezava med kavernami v vrtinah in nihanjem piezometrične gladine se kaže iz grafov nihanja gladine podzemne vode in krivulj trajanja [3]. Nihanje v piezometrih je odvisno od kavern, zakraselosti posameznih odsekov, prelivanja po jamskih sistemih ter povezave po z vodo zapolnjenih razpokah večjih razsežnosti na ravni celotnega vodonosnega sistema.

Na območju trase predora T1 smo s dosedanjim monitoringom ugotovili, da se v piezometrih T1-7/10 in T1-8/10 nizka voda dejansko spusti pod niveleto predora. Prav tako se je potrdilo, da je bazna gladina kraške podzemne vode pod niveleto predora in sicer na odseku od vkopa pred severnim portalom do stika s prehodnimi in flišnimi plastmi na km 8,9. Razpon nihanja v posameznih piezometrih pa kaže, da se tudi v tem delu v času nalivov pretakajo kraške podzemne vode predvsem v kraških kanalih nad niveleto. Piezometra T1-8/10 in T1-10/10 kažeta pojave prelivanja voda tudi do 30 in 40 nad niveleto, sicer pa prevladuje gladine podzemne vode med 15 do 25 m nad niveleto. To pomeni, da so v tem tlačnem območju nad niveleto uskladiščene ali se pretakajo večje količine kraške podzemne vode. Potek piezometrične gladine podzemne vode pa bo možno z veliko zanesljivostjo opredeliti, ko bodo na razpolago tudi meritve nihanja gladine podzemne vode ob različnih vodnih stanjih v novih piezometrih T1-12/17, T1-13/17 in T1-14/17.

Z gotovostjo lahko že rečemo, da bo predor T1 potekal v coni pojavljanja razpoklinskih sistemov in kraških kavern. Glede na zadnjo strukturno geološko interpretacijo (Preliminarno poročilo) bo predor T1 posegal v flišne plasti (F/E), prehodne plasti laporovca, lapornatega apnenca in konglomerata (PP/E), alveolinsko-

numulitni apnenec (ANA/E), zgornje trstelske plasti (TF2/Pc), spodnje trstelske plasti (TF1/Pc) in liburnijska formacija (LIB/K-Pc). Dosedanje ugotovitve kažejo, da se izrazito zakrasevanje lahko pojavi predvsem v plasteh ANA/E. Apnenec v teh plasteh je kompakten in ne kaže izrazite plastovitosti prav tako pa tudi ne pojava diskontinuitet zaradi sedimentacije, kjer bi lahko nastajale šibkosti in formirale izrazitejši sisteme kraških razpok in kavern. Apnenec LIB/K-Pc je izrazito bituminozen in vključuje velik delež organske snovi, kar pomeni, da ni pričakovati formiranja večjih kraških razpok in kavern. Podobno lahko ugotovimo tudi za TF2/Pc in TF1/Pc. Dosedanji monitoring v kombinaciji z dopolnilnimi preiskavami, katerih preliminarne rezultati so podani v preliminarne poročilu, že omogočajo bolj gotovo interpretacijo povezave med strukturno geološkimi elementi in pojavljanjem razpoklinskih sistemov ter kraških kavern.

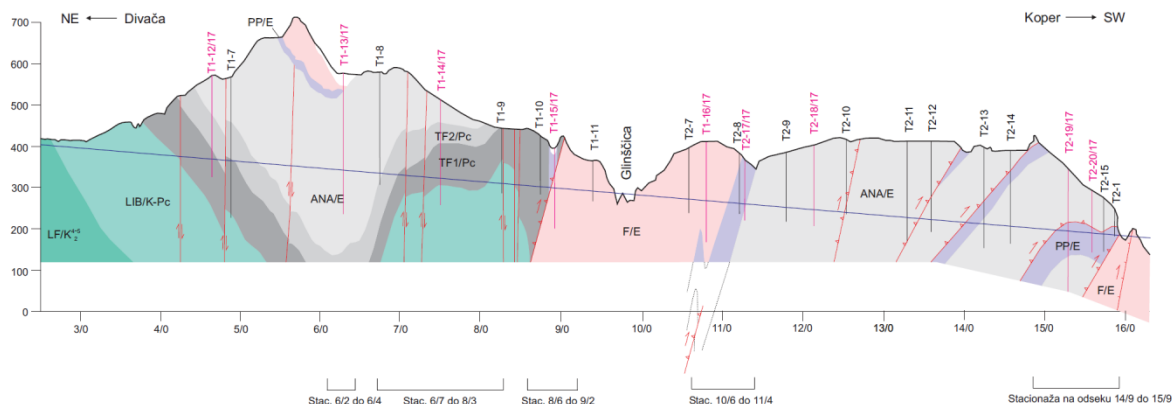
Z večjo gotovostjo lahko trdimo, da se sistemi razpok in kraških kavern lahko pojavljajo predvsem ob prelomnih strukturah, ki so na obravnavanem območju pretežno vertikalni, v katerih lahko med gradnjo z največjo verjetnostjo pričakujemo vdore kraških podzemnih vod iz kraških kanalov. V horizontalni smeri pa lahko pričakujemo pojavljanje kraških razpok in kavern ob litoloških mejah.

Že predhodne preiskave v predoru T1 so pokazale, da se pojavljajo kraške etaže na značilnih nadmorskih višinah: 473, 385, 368, 355 in 335 m n.m. Te ugotovitve potrjujejo tudi novo izvedene vrtine, ki kažejo, da je pojavljanje kraških kavern najbolj izrazito na odsekih: 440 - 447, 474 - 468, 391 - 387, 365 - 322 in 264 - 249 m n.m. Pojavljanje sistemov razpok pa se je potrdilo na litološki meji med TF2/Pc in ANA/E, tudi po podatkih iz novih vrtin T1-12/17 in T1-14/17. Monitoring gladine podzemne vode v piezometrih na območju trase predora T2 v alveolinsko numulitnih apnencih je pokazal, da se pojavljajo kraške etaže (kaverne in/ali razpoke) na nadmorski višini ca 245,5 m (T2-9). Tudi pri izvedbi nalivalnega poizkusa na vrtini T1-12/17 se je pokazala prisotnost kaverne in sicer na globini ca 40 m pod koto terena (kota 551,34 m n.m.). Pri izvedbi nalivalnega poizkusa na vrtini T1-14/17 se je kaverna pri dveh ločenih poizkusih potrdila na globini 133 m pod terenom (kota 392,68 m n.m.).

Iz navedenega lahko z večjo gotovostjo potrdimo dosedanje ocene območij verjetnih vdorov vode po kraških kanalih, kar bistveno izboljša zanesljivost ocene dotokov v območje predora. Pri tem moramo računati z zgoraj prikazanimi kotami, kjer lahko med gradnjo z večjo verjetnostjo pričakujemo viseče kraške podzemne vode in pretok v kraških kanalih. Pri določanju območij največjih verjetnih vdorov podzemne vode, pa je potrebno računati tudi z izboljšanimi ocenami širine prelomnih con, ki so bile pridobljene z dopolnilnimi preiskavami.

3.3.3 Posodobitev pogojev gradnje glede na nove ugotovitve iz vrtin

Pri posodobitvi pogojev gradnje smo izhajali iz rezultatov in interpretacij strukturno geoloških preiskav (v prerezu - slika 3/6). Spremembe in odstopanja poteka litoloških mej in strukturnih elementov, ki lahko vplivajo na izračun dotokov hkrati pa tudi vplivajo na porazdelitev dreniranih in nedreniranih odsekov, glede na predhodne preiskave smo interpretirali na petih odsekih opredeljenih s stacionažami 6/2 do 6/4, 6/7 do 8/3, 8/6 do 9/2, 10/6 do 11/4 in 14/9 do 15/9 (Slika 3/6).



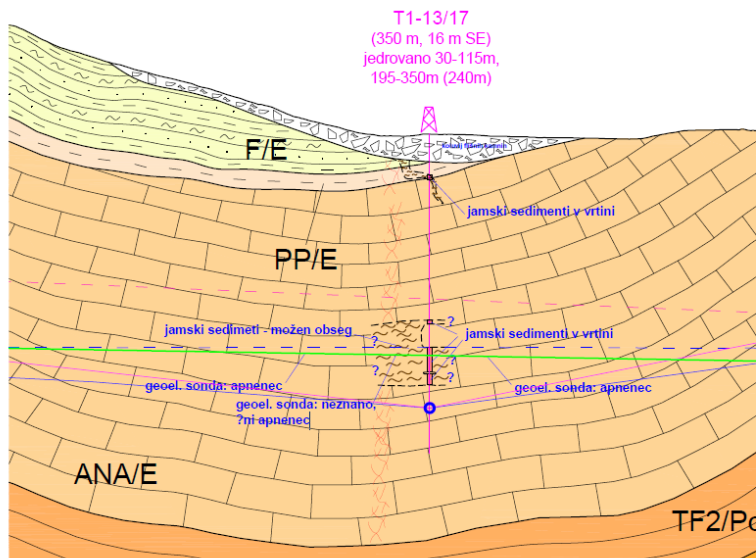
Slika 3/6. Odseki pomembnejših sprememb in odstopanja glede na predhodne preiskave.

- **T1 Stacionaža na odseku 6/2 km do 6/4 km (nova vrtina T1-13/18)**

Vrtina T1-13/17 je na območju navrtala daljše zaporedje manj prepustnih jamskih sedimentov (Slika 3/7). Nad in pod območjem jamskih sedimentov je navrtala tudi kamnine, ki kažejo odprte in prepustnejše razpoke. Krasoslovna razlaga geneze (in tudi mogočega prostorskega obsega tega sedimenta), je prikazana krasoslovnem poročilu. Iz geološkega poročila sledi, da je možno pojavljanje jamskih sedimentov tudi preko stacionaže 6+250 m, kar pomeni, da se ta jamski sistem lahko razteza približno pravokotno na smer nivelete.

Lokalno - na mestu vrtine bodo lahko dotoki iz drobnozrnatih sedimentov na območje pri niveleti manjši, vendar so že v kratkih nekaj metrih razdaljih možni večji dotoki iz kavern. To nakazuje povrtavanje vrtine na odseku od 333 do 350 m (izredno hitro napredovanje kaže na odprto kaverno) in kraško raširjene razpoke približno 100 m nad niveleto.

Strukturno zgradba vrtine še ni v celoti interpretirana. Cevitev vrtine je potekala 14. 5. 2018 ob dodajanju vode v vrtino (za večjo stabilnost). Hidrogeološko interpretacijo razmer bomo lahko podali po daljšem obdobju meritev.



Slika 3/7. Nova vrtina T1-13/17, delovna interpretacija.

- **T1 Stacionaža na odseku 6/7 km do 8/3 km (nova vrtina T1-14/18)**

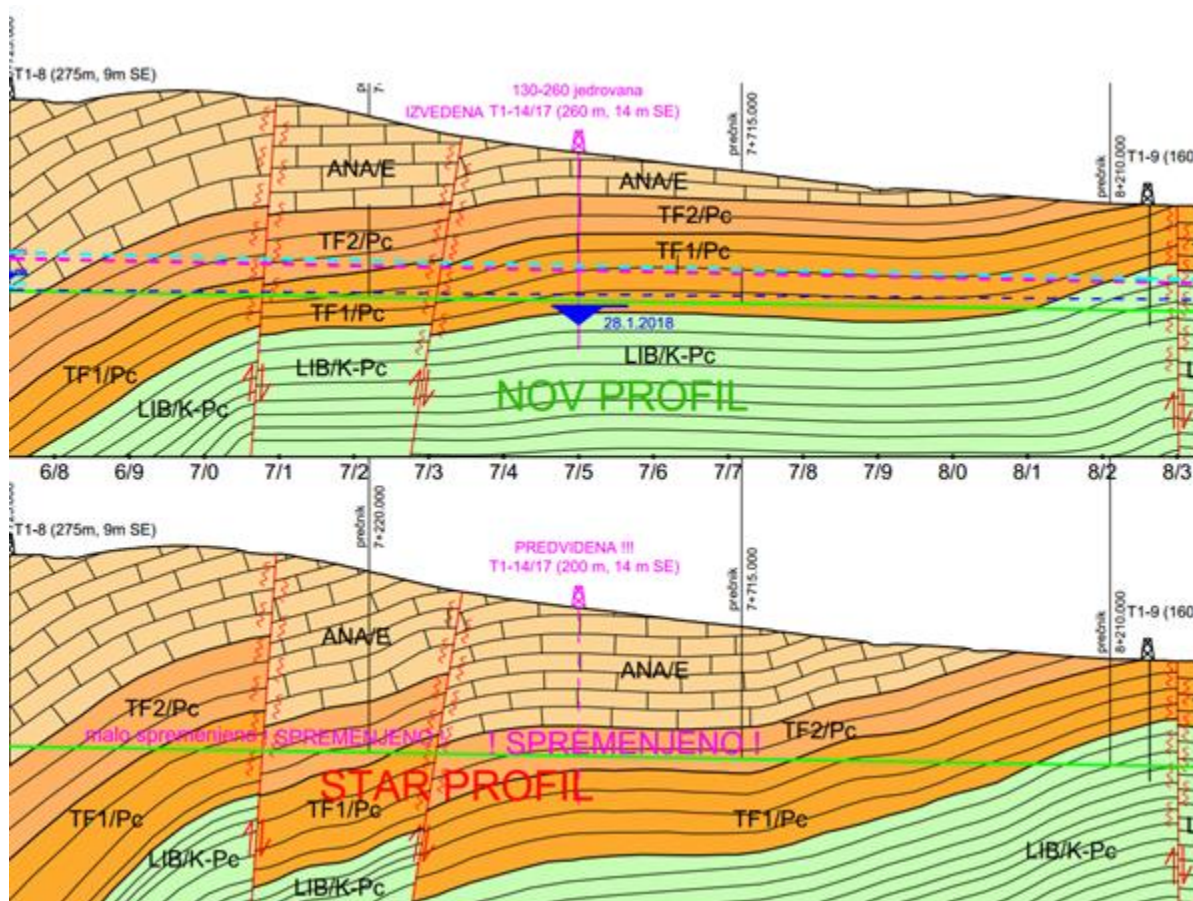
Vrtina T1-14/18 je hidrogeološke meje navrtala na višjih nadmorskih od predvidenih. Njeni podatki so podali nove ugotovitve.

Razlika med prejšnjo in sedanjo interpretacijo (z novo vrtino T1-14/18) je, da niveleta poteka v 450 m večji dolžini v Spodnje trstelskih plasteh (TF2/Pc) in ne v Zgornje trstelskih plasteh (TF1/Pc). Skupna dolžina poteka nivelete na tem odseku stacionaže (6/7 km do 8/3 km) v Spodnje trstelskih plasteh je sedaj 1126 m, po prejšnjih raziskavah je bila 676 m. (Slika 3/8).

Zaradi znatno nižje vodoprepustnosti Spodnje trstelskih plasti **predvidevamo nižje dotoke v predor na tem odseku**. Prepustnost Spodnje trstelskih plasti je predvidoma za dva reda velikosti nižja od prepustnosti Zgornje trstelskih plasti. Nizek podatek meritve gladine podzemne vode v vrtini T1-14/18 iz dne 28. 1. 2018 in malo nižje vrednosti najvišjih gladin na podlagi monitoringa do februarja 2018, prav tako kažejo na nižje dotoke in konične tlake, kot interpretirane v letu 2012 (Slika 3/8). Priporočamo, da se kot relevantna kvantitativna ocena sicer upošteva šele po daljšem nizu meritev gladine podzemne vode in interpretaciji vseh nalivalnih preizkusov.

Poudariti velja negotovost poteka meje med Spodnje trstelskimi plastmi in Liburnijsko formacijo. Že majhna sprememba v interpretaciji naklona te meje spremeni pogoje gradnje na odseku dolžine več 100 m.

Plasti Liburnijske formacije navrtane v vrtini T1-14/18 so bile kompaktnije od pričakovanih, kar je morda posledica lokalnih razmer, morda so te plasti v vrhnjem delu (ob normalni geološki meji) ali globlje pod površjem kompaktnije in manj prepustne. V vrhnjem delu Liburnijske formacije so bile navrtane tanke plasti (lamine) premoga in pirit. **Pri dotokih vode iz Liburnijske formacije je potrebno biti pozoren na agresivnost vode, saj voda teče iz redukcijskega okolja.**



Slika 3/8. Nova vrtina T1-14/18, primerjava med interpretacijo iz leta 2012 in sedanjo.

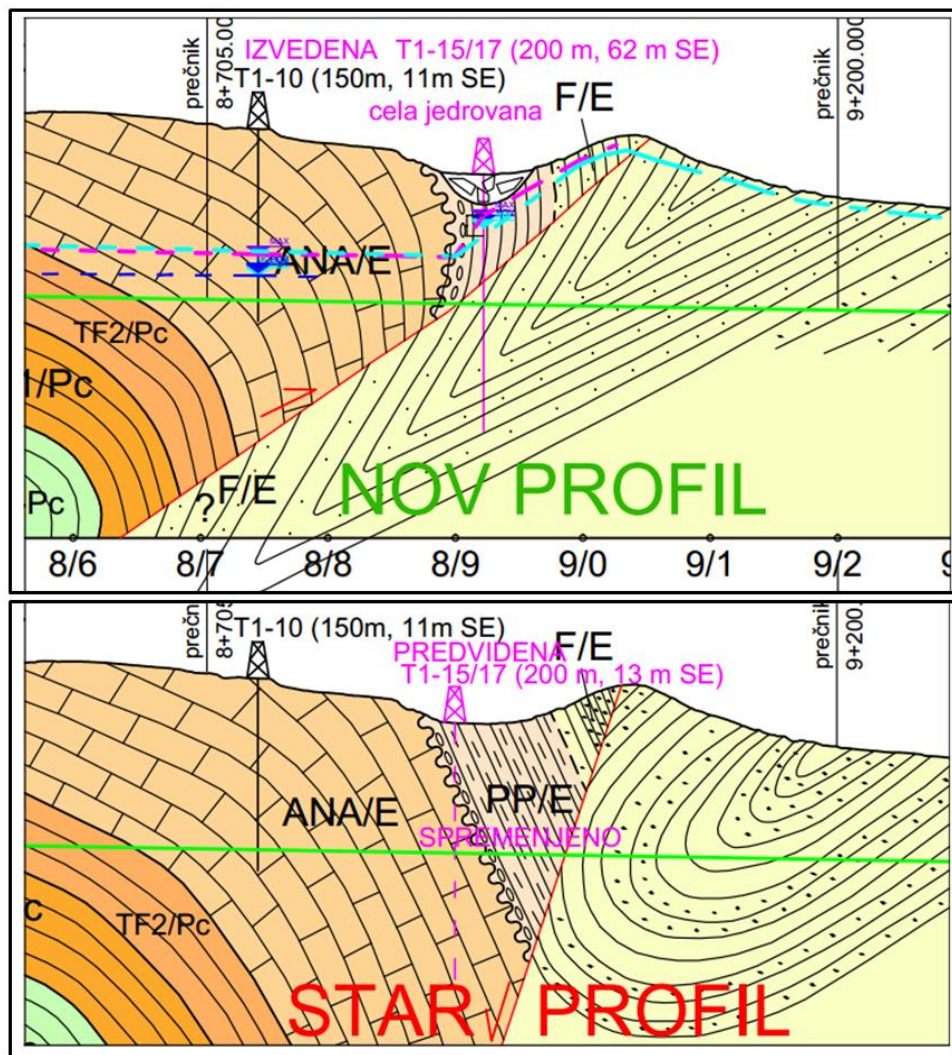
- **Stacionaža na odseku 8/6 km do 9/2 km (nova vrtina T1-15/17)**

Ker je nova vrtina T1-15/17 navrtala nariv ni navrtala pričakovane meje med prehodnimi plastmi (PP/E) in plastmi apnenca (ANA). Navrtan nariv je strmejši od predvidenega. Posledično niveleta poteka v 35 m manjši dolžini v plasteh apnenca (celokupno v tem odseku). Razlika gre na račun 85 m daljšega poteka nivelete v flišnih plasteh (F/E) in 50 m krajšega poteka v prehodnih plasteh (PP/E). (Slika 3/9).

Po sedanjih interpretacijah so konični tlaki v prehodnih plasteh, navrtanih z vrtino T1-15 približno 15 m višji. Rezultati nalivalnih preizkusov v tej vrtini nakazujejo za en do dva reda nižjo prepustnost, kot je bilo ocenjeno v letu 2012. Konični in povprečni tlaki so tudi v bližnji okolici vrtine najverjetneje višji od interpretiranih v letu 2012. Zaradi nižje vodoprepustnosti, ki odtehta višje tlake, na mestu vrtine T1-15/17 in v njeni okolici **pričakujemo nižje dotoke** kot v letu 2012.

Zaradi manjše debeline prehodnih plasti in bolj navpične lege kontakta med plastmi apnenca in prehodnimi plastmi na tem kontaktu lahko pričakujemo večje dotoke vode (ob pričakovanem napredovanju iz smeri obale). Nova interpretacija nakazuje, da je os gube bolj deformirana (Slika 3/9), kar bi lahko povzročilo bolj pretrto kamnino in večje dotoke na tem mestu.

V vrtini T-15/17 smo prvič navrtali in preizkusili vodoprepustnost debelejšega pobočnega nasutja blokov večinoma apnenca, ki je delno sprijet z manjšimi zrnji (Slika 3/9 - bela šrafura, bloki). Ta prepustnost je približno 1×10^{-6} m/s, kar je bistveno višje od prepustnosti prehodnih plasti, ki se pričnejo pod globino približno 22 m od površja. Predor T1 teh plasti predvidoma ne bo navrtal. Pri južnem portalu predora T2 pa so predvideni podorni bloki.

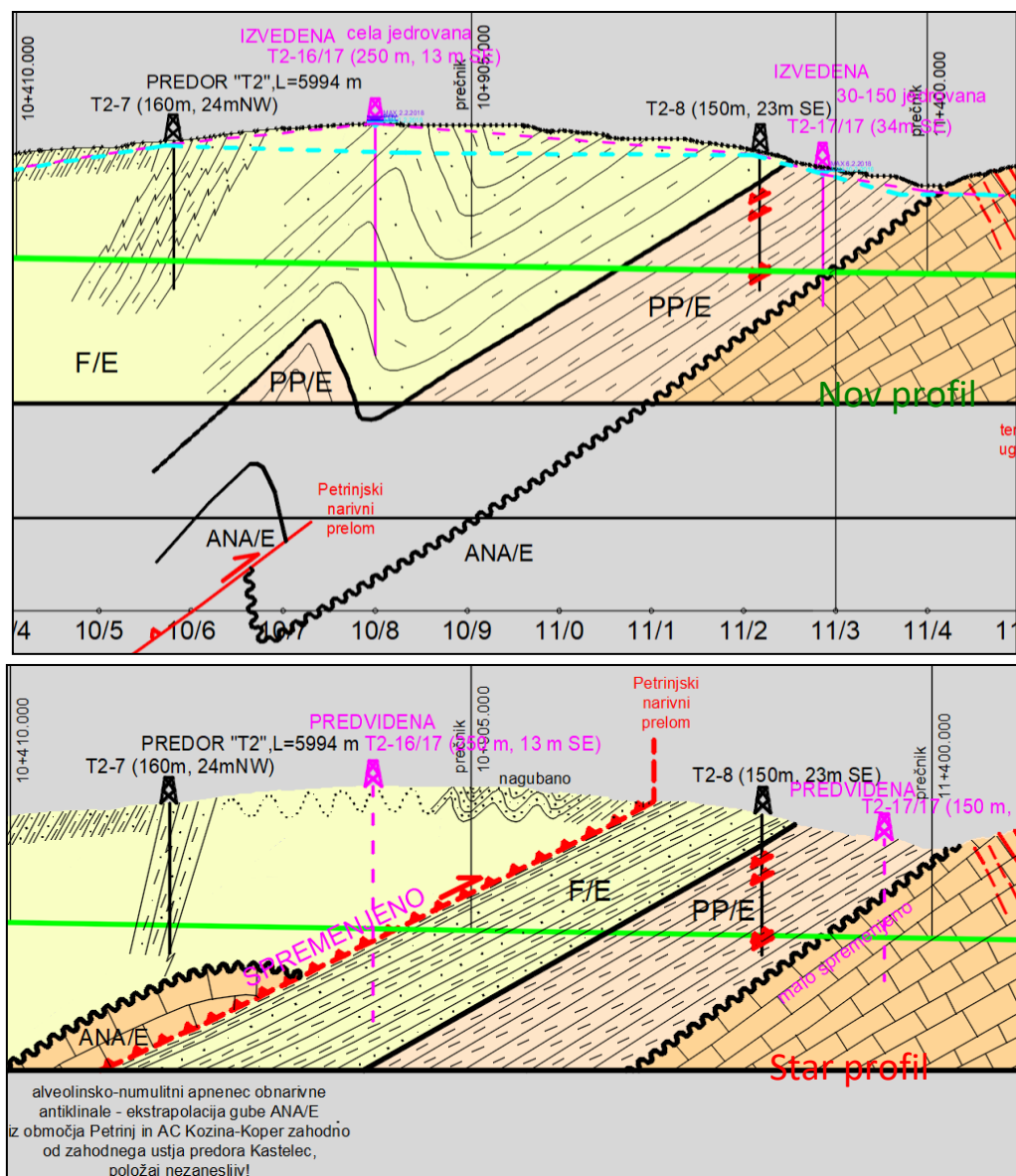


Slika 3/9. Nova vrtina T1-15, primerjava med interpretacijo iz leta 2012 in sedanjo.

- Stacionaža na odseku 10/6 km do 11/4 km (novi vrtini T2-16/18 in T2-17/18)

Vrtina T1-16/18 je navrtala obnaravno gubo, predviden nariv leži globlje (Slika 3/10). Posledično zaradi manjše razpokanosti pričakujemo **nižje dotoke v predor** na območju te vrtine in njeni okolici od predvidenih.

Vrtina T2-17/18 je na 61 m nižji nadmorski višini od predvidene navrtala postopno naravno geološko mejo med prehodnimi plastmi (PP/E) in apneneci (ANA). Ta meja je strmejša od predvidene, posledično je za 11 m krajši potek nivelete v plasteh apnenca (ANA) na račun toliko daljšega poteka v prehodnih plasteh (PP/E). Plasti apnenca so bile manj razpokane in skrasele, v višjem delu niso bile navrtane foraminifere.

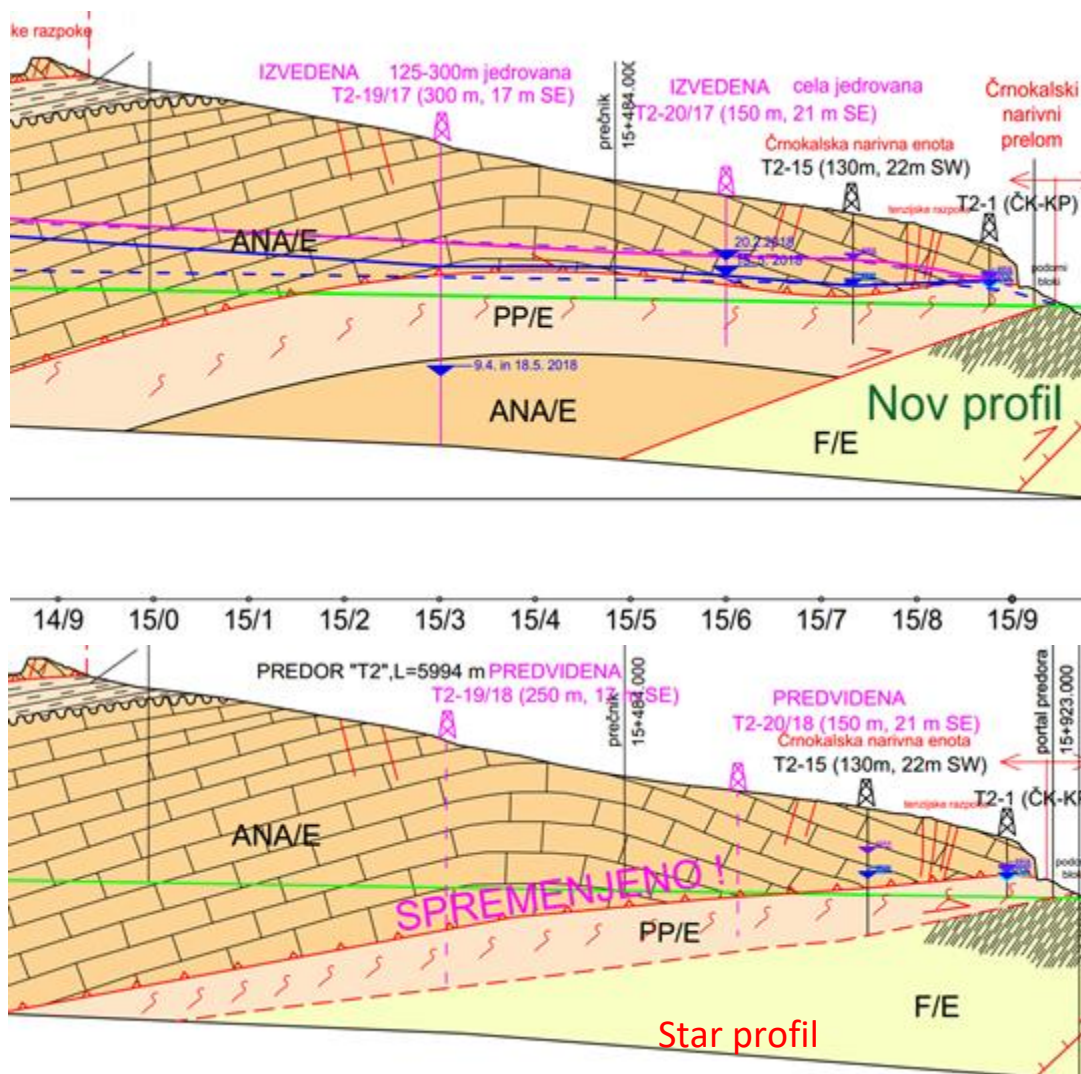


Slika 3/10. Novi vrtini T2-16/18 in T2-17/18, primerjava med interpretacijo iz leta 2012 in sedanjo.

Ker se predviden nariv nahaja globlje pod predorom in so plasti le nagubane, pričakujemo **manjše dotoke v predor**. Manjše dotoke pričakujemo tudi iz flišnih plasti v okolici vrtin T-16/18 in T1-18/18.

- **Stacionaža na odseku 14/9 km do 15/9 km (novi vrtini T2-19/18 in T2-20/18)**

Vrtini T2-19 in T2-20 sta mejo med apnenci (ANA) in prehodnimi plastmi Črnokalskega nariva navrtali na nižji nadmorski višini od predvidene, prav tako je naklon Črnokalskega nariva položnejši od predvidenega. Posledično je za 492 m daljši potek nivelete v narivni coni, na račun poteka v apnencih. Z novimi vrtinami je natančneje podan potek nariva. (Slika 3/11).



Slika 3/11. Novi vrtini T2-19/18 in T2-20, primerjava med sedanjo interpretacijo (zgoraj) in iz leta 2012 (spodaj).

Prepustnost narivne cone je bila s prejšnjimi raziskavami opredeljena za približno eden do dva reda velikosti nižja od prepustnosti apnencev ANA. Večja dolžina poteka v narivni coni bi lahko pomenila manjše dotoke in daljši dreniran odsek. Po drugi strani pa je meja z bolj prepustnimi plastmi malo nad niveleto. Na 723 m dolgem odseku kjer niveleta poteka v plasteh PP/E je v dolžini 171 m razdalja med višina med niveleto in manjša od 10 m, v dolžini 407 m pa je ta razdalja manjša od 20 m. To potrebno še preveriti glede na analizo novih podatkov ter nadaljnjih meritev gladine podzemne vode v vrtini T2-20 in sosednjih vrtinah.

Monitoring gladine podzemne vode na tem odseku ne kaže pomembnih odstopanj v koničnih tlakih, od razmer podanih v letu 2011. Na to kaže tudi meritev gladine podzemne vode v vrtini T2-20 z dne 20. 2. 2018. Interpretacija prevladujočih nivojev nakazuje do približno 9 m višje prevladujoče gladine (vrtina T2-1ju), vendar **bo točnejše ocene možno podati po analizi daljšega obdobja meritev v novih vrtinah**. Možno je, da višji položaj prevladujoče gladine pogojuje višji položaj nariva.

Vrtina T2-19 je pod plastmi PP/E ponovno navrtala ANA/E in tako razkrila lusko, ki do sedaj ni bila opredeljena. Po preliminarnih interpretacijah ANA/E plasti te luske izdanjajo v jugovzhodni smeri. Meritve v vrtini T2-19 nakazujejo, da je gladina vode v spodnji luski ANA/E nižje kot v zgornji. Obstaja verjetnost, da podzemna voda v spodnji luski ANA/E ni v neposredni hidravlični povezavi z območjem predora, vendar je to potrebno preveriti po analizi daljšega obdobja meritev (Slika 3/11).

3.3.4 Spremembe pogojev gradnje glede na nove podatke monitoringa gladin podzemne vode od leta 2012

Amplitude gibanja gladin podzemne vode v obstoječih vrtinah v večjem delu znatno sicer ne odstopajo od opredeljenih v letu 2012. Dodatno so bile z monitoringom določene frekvence pojavljanj posameznih stanj ter hitrosti porasta tlaka, kar je pomembno pri dimenzioniranju predorske obloge.

Dopolnilne raziskave so dale izboljšano sliko poteka piezometrične višine na območju trase predora. Kot se je izkazalo, je bazična gladina podzemne vode nižje, kot je bilo napovedano v predhodnih raziskavah. Dosedanje meritve gladine podzemne vode v novih piezometrih (2017) so bile izvedene v času nizih vod, kar pomeni, da dejanskega razpona še nimamo in o dejanskih srednjih (tudi prevladujočih) še posebej pa visokih vodah še ne moremo govoriti. V nadaljevanju podajamo odseke, kjer so največje negotovosti, oz. odseke, kjer je najnižja možnost napoved višine tlakov, ločeno za predora T1 in T2. Ključne ugotovitve iz meritev nihanja gladine podzemne vode v obdobju 2013 - 2017 so naslednje:

- Rezultati monitoringa gladin podzemne vode in gladin vode v Beško Ocizeljskem sistemu kažejo, da je pri načrtovanju predorov T1 in T2 potrebno upoštevati, da se visoke gladine viseče kraške podzemne vode večino časa zadržujejo nad niveleto predorov z izjemo piezometrov T2-10 in T2-11, kjer običajne poplavne kraške vode ne dosežejo nivelete predora. Na piezometru T2-9 je nivo podzemne vode sicer večino časa pod niveleto, vendar lahko naraste tudi do 72.2 m nad njo. V piezometrih T1-8, T2-1, T2-15, T2-13, T2-12 in T1-10 je gladina ves čas nad niveleto predorov. Tlaki se ob poplavnih kraških vodah gibljejo med 36 - 83 m nad niveleto, še posebej so izraziti visoki tlaki v piezometru T2-13, kjer so večino opazovanja nad 80 m nad niveleto. V piezometru T1-7 sicer padejo tlaki pod niveleto predora, vendar jih lahko ocenimo kot izrazito visoke, saj so približno 65 % opazovanja nad 90 m nad niveleto.
- Z večletnimi meritvami so potrjeni okvirni razponi nihanj nivojev podzemne vode na posameznih piezometrih kot je bilo podano v PGD, dodatno informacijo pa predstavljajo časi trajanja posameznih visokih vodostajev ter sezonska variabilnost preko širokega razpona vrednosti vremenskih dejavnikov.
- Niveleta tako poteka v coni intenzivnega nihanja gladine podzemne kraške vode, ki se pretaka pretežno po kraških kanalih, kavernah in odprtih razpokah, medtem ko je masivna kamnina slabo ali zelo slabo prepustna brez pomembnih tokov pretakanja. Ob izkopu predorov moramo računati, da se lahko te vode bodisi izpraznijo in dotoki ponovno pojavijo šele ob naslednjem nalivu, lahko pa tudi stalno dotečajo. Stalni dotoki lahko nastopajo tam, kjer bi z izkopom naleteli na bolj razvit jamski, oziroma razpoklinski sistem, ki odvaja vodo s širšega območja in ne samo lokalno.
- Poleg visokih vodnih tlakov je za načrtovanje predorske obloge pomemben tudi podatek hitrosti porasta tlaka podzemne vode na razpoložljivih piezometrih. Tako maksimalni porast tlaka podzemne vode v piezometrih v slabo skraselih kamninah (T2-10, T2-11, T2-13) znaša od 0,5 m/h do največ 1,7 m/h; v srednje razvitih sistemih z lokalnim odvajanjem vode (T1-8, T1-10, T2-12, T2-15 in T2-1) znaša

najvišja hitrost porasta tlaka od 3.8 - 9.1 m/h, v dobro razvitih jamskih oziroma razpoklinskih sistemih z odvajanjem vode s širšega območja (T1-7 in T2-9) pa so lahko vrednosti najvišje hitrosti porasta tlaka celo od 42 do 69 m/h.

- Visoki tlaki nad niveleto se v obravnavanem kompleksnem kraško razpoklinskem sistemu pojavljajo trajno (v T2-13 70-80 m nad niveleto), v pretežnem delu leta (65% izmerjenih vrednosti v T1-7 je 90 m nad niveleto) ali pa občasno (v T2-9 70 m nad niveleto za manj kot 1 dan).
- Rezultati monitoringa nakazujejo več značilnih kraških etaž, ki so vzdolž predorov razvite na različnih kotah. V piezometrih T1-7, T1-8 in T2-12 se gladina podzemne vode dvigne do kaverne, v piezometrih T1-10, T2-9 in T2-1 pa se gladina podzemne vode dvigne tudi nad kaverno. Z vidika dimenzioniranja obloge predora je prisotnost kavern relevantna zaradi posledičnega daljšega časa zadrževanja podzemne vode na tem nivoju.
- Ob večletnem opazovanju nivoja lahko časovno gostoto meritev opredelimo kot zelo dobro, negotovost ocene nivojev v časovni komponenti pa kot nizko. Vendarle pa je zaradi visoke stopnje heterogenosti vodonosnega sistema na obravnavanem območju prostorski segment ocene pojavljanja podzemne vode podvržen visoki stopnji negotovosti. Z dodatnimi opazovalnimi vrtinami, ki so predvidene v skorajšnjo izvedbo, ter nadaljnjim monitoringom v novih vrtinah, pa se bo tudi stopnja prostorske negotovosti zmanjšala.

3.3.4.1 Predor T1

V predoru T1 sedanje interpretacije ne kažejo večjih odstopanj koničnih tlakov od predvidenih. Interpretacije skoraj sovpadajo. Iz podatkov novih vrtin se porast koničnih tlakov za 15 m nakazuje na prehodnih plasteh (PP/E) območja pri novi vrtini T1-15/17. Možnost nižjih koničnih tlakov se nakazuje na odseku 7/1 km do 8/3 km, ki je raziskovan z vrtino T1-14/18 (Slika 3/8). Seveda pa bo dejansko in relevantno oceno koničnih tlakov v novih vrtinah možno podatki po daljšem obdobju meritev.

V predoru T1 sedaj lahko točneje interpretiramo položaj nižje gladine podzemne vode od podanega v letu 2012, ko je bila nizka gladina opredeljena kot najnižje izmerjena in prevladujoča. Do sedaj izmerjeni minimumi gladine so nižji od predvidenih, najbolj na mestu vrtine T1-7 (razlika 103 m). Ta razlika se manjša z napredovanjem stacionaže in v naslednji piezometrični vrtini T1-8 znaša le še 16 m, v naslednji T1-10 je ta razlika le 2,5 m. Najnižje izmerjena in prevladujoča gladina podana v letu 2012 je podobna prevladujoči gladini izmerjeni v sklopu večletnega monitoringa do leta 2018. Podobnost je zelo velika in v veliki meri zavisi od interpretacije nahajanja gladine med vrtinami.

V centralnem delu sinklinale, na odseku med stacionažama 5/5 in 6/5 (plasti ANA/E) se kaže, da je gladina podzemne vode celo pod niveleto predora T1 (vrtina T1-13/17), kar bistveno odstopa od predhodnih interpretacij. Kar je za gradnjo bistveno bolj ugodno, vendar pa je to tudi območje največje verjetnosti pojava kraških con, kjer lahko pričakujemo prelivanje visokih kraških voda in posledično tudi visoko porast tlakov.

3.3.4.2 Predor T2

V predoru T2 sedanje interpretacije ne kažejo večjih odstopanj koničnih tlakov od predvidenih z izjemo T2-13a, na kateri se je pojavil enkratni dogodek v zadnjem letu, pri katerem je nivo podzemne vode narasel

do 134 m nad niveleto predora T2 na odseku predvidenega cepišča (še 55 m višje od doslej poznane maksimuma na tem piezometru). Od vrtin izdelanih v prejšnji fazi raziskav se odstopanje koničnih tlakov pojavlja v vrtini T2-11, kjer so novejši podatki koničnih tlakov 35 m nižji od interpretiranih v letu 2011. Odstopanje se nakazuje tudi v flišnih plasteh pri novi vrtini T2-16/18, kjer so konični tlaki približno 32 m višji od predvidenih. Razmere v vrtini T2-16/18 je potrebno še preverjati, saj so meritve začasno potekale v vrtini, ki je necevljena, nekaktivirana in ni predvidena za meritve nivojev.

V predoru T2 sedaj lahko točneje interpretiramo položaj izmerjene prevladujoče gladine podzemne vode od podanega v letu 2011. Do sedaj izmerjene gladine prevladujoče gladine podzemne vode so višje od predvidenih v južnem delu predora od stacionaže 13/5 do 15/3 in nižje od predvidenih na odseku stacionaže od 11/4 do 12/5. Višje so nove prevladujoče gladine v vrtinah T2-13 (64 m višja), T2-14 (48 m višja) in T2-12 (12 m višja). Nižje so nove prevladujoče gladine na vrtinah T2-9 (14 m nižja) in T2-11 (15 m nižja).

Meritve v flišnih plasteh kažejo, da bo prevladujoča gladina tam tudi višja, vendar priporočamo, da se do tega točneje opredeli še vsaj po nekaj mesečnem monitoringu.

3.4 Izhodišča za oceno dotokov

Kot izhaja iz predhodnih poglavij bo potrebno za relevanten izračun dotokov/vdorov podzemne vode zajeti vsaj visoke vode, ki se pričakujejo v jesenskem padavinskem obdobju. Rezultati dopolnilnih raziskav pa že omogočajo opredelitev kriterijev za končni izračun dotokov/vdorov podzemne vode, ki so predstavljeni v nadaljevanju. Pri tem smo izhajali iz rezultatov predhodne faze raziskav, ki so ločeno za predor T1 in T2. Verjetnost dotokov oziroma vdorov vode je pomembna predvsem s stališča gradnje in načrtovanja ustreznih zaščitnih ukrepov med gradnjo. Dosedanje ugotovitve kažejo, da točnega položaja kraških kanalov ni možno napovedati, je pa možno napovedati kje je verjetnost takšnega pojava večja. Takšna ocena odsekov z večjo verjetnostjo dotokov/vdorov vode po kraških kanalih je bila izdelana na naslednjih izhodiščih:

- interpretacija geofizikalnih meritev, krasoslovnih raziskav in geološko tektonskih kartiranj.
- do večjih vtokov ali vdorov vode skozi kraške kanale lahko pride tudi v nezasičeni coni, a le v času močnejšega deževja.
- v nezasičeni coni lahko pride do vdorov po preboju iz masivnega apnenca v razpokanega ali zakraselega, za kar je največja verjetnost v preboju prelomnih con ali skraselih lezik, še posebej med različno prepustnimi sklopi plasti.
- večja verjetnost je tudi v conah povečane infiltracije na območjih kraških polj, suhih kraških dolin in stikih flišnih in karbonatnih plasti.

Na podlagi navedenih izhodišč so bila območja verjetnosti vdorov vode po kraških kanalih uvrščena v tri razrede (srednje, večje in največje verjetnosti), kjer pa je potrebno upoštevati, da so zaradi zakraselosti možni vdori tudi na območjih, ki niso zajeti v te tri razrede.

1. Območja **srednje** verjetnosti vdorov vode po kraških kanalih smo omejili glede na zakrasela območja na površju, ki smo jih določili po metodi IDPR ter zakraselostjo določeno po karti TTN5.
2. Glede na ugotovljene možnosti praznih prostorov oziroma zakraselih območij pod površjem iz rezultatov geofizikalnih raziskav [4] smo omejili območja **večje** verjetnosti vdorov vode po kraških kanalih.

3+725 do 3+900: območje, kjer se glede na geoelektrične podatke pričakuje odprte podzemne prostore večjih dimenzij [4]. Zakraselost na tem odseku določena tudi z analizo IDPR, prav tako pa je ta odsek glede na število jam (ZRC SAZU) in gostoti vrtač (ZRMK) opredeljeno kot zelo zakraselo [1];

4+400 do 4+600, 4+900 do 5+500 in 6+700 do 7+700: predpostavljena prisotnost izrazitejših kraških pojavov, tudi v večjih globinah [4];

7+800 do 8+000 in 8+350 do 8+800: določena na podlagi geoelektričnih profilov v prilogi 4.5.2.2 [4]. Predvidevamo, da v teh conah prihaja do močnejše infiltracije meteornih vod z območja Vrhpoljskega polja in Krvavega potoka;

3. Območja **največje** verjetnosti vdorov vode po kraških kanalih smo predvideli na odsekih, kjer so na višini nivelete pričakovane prelomne cone (prognozni geološki profil) ter kaverne oz. jame zapolnjene z vodo. Zaradi negotovosti napovedi kavern, prelomnih con in širine le teh, smo območja največje verjetnosti vdorov vode po kraških kanalih razširili 50 m na vsako stran od predvidene stacionaže pojava.

Z dopolnilnimi raziskavami se je izkazalo, da so bili ti kriteriji povsem relevantni za napoved dotokov/vdorov vode in da so bili do določene mere celo konzervativni. Z večjo gotovostjo lahko trdimo, da se sistemi razpok in kraških kavern lahko pojavljajo predvsem ob prelomnih strukturah, ki so na obravnavanem območju pretežno vertikalni, v katerih lahko med gradnjo z največjo verjetnostjo pričakujemo vdore kraških podzemnih vod iz kraških kanalov. V horizontalni smeri pa lahko pričakujemo pojavljanje kraških razpok in kavern ob litoloških mejah. Tako smo lahko z novimi podatki posodobili območja največje verjetnosti vdorov vode po kraških kanalih. Za območja srednje in večje verjetnosti vdorov vode pa velja ocena iz predhodnih raziskav.

3.5 Viri in literatura

- [1] Prestor, J., Mavc, M., Klasinc, M., Strojani, M., Medić, M. in Hötzl, M. 2012: Hidrogeološko poročilo za fazo PGD za drugi tir železniške proge Divača - Koper, odsek Divača - Črni Kal. Hidrogeološke razmere na območju predora T1 z oceno dotokov v predor (km 2+979 do km 9+679) (Po recenziji marec 2012). Ljubljana. Geološki zavod Slovenije.

- [2] Prestor, J., Ratej, J., Knez, M., Vukadin, V., Celarc, B., Klasinc, M., Serianz, L., et al. 2018: 9/18D-P2 končno preliminarno sintezno poročilo: (s področja hidrogeologije, krasoslovja, strukturne geologije in geomehanike) : drugi tir železniške proge Divača-Koper. Ljubljana: Gradbeni inštitut ZRMK.
- [3] Prestor, J., Ratej, J., Umek, U., Knez, M., Klasinc, M., Serianz, L., Pečolar, T., et al. 2018: Hidrogeološki, geotehnični in krasoslovni monitoring: (drugo zbirno poročilo) : drugi tir železniške proge Divača-Koper. Ljubljana: Gradbeni inštitut ZRMK.
- [4] Stopar, R., Car, M., 2010: PGD za novo dvotirno progo trst-Divača, odsek Cepišče - divača (od km 0+800 do km 15+9915) za potrebe izvedbe; Geološko -geomehanskih raziskav širše območje objekta predor T1, odsek km 2+800 - km 9+800), Faza 1:Geofizikalne preiskave, Geoinženiring d.o.o., junij, 2010, Ljubljana.

4 KRASOSLOVJE

4.1 Uvod

Z dodatnimi krasoslovnimi raziskavami smo v letih 2017 in 2018 nadaljevali in poglobili raziskave iz predhodnih let na trasi 2. tira Divača-Koper. Primarno smo se opredelili na področja, ki bi prinesla dodatna spoznanja o krasu izključno na območjih tunelov T1 in T2, ki v večjem delu potekata skozi zakrasele kamnine oz. območja kontaktnega krasa, in sicer na:

1. krasoslovni popis (zakraselost) vrtin izvrtanih v letih 2017-2018,
2. hidrogeologija Beško-Ocizeljskega jamskega sistema s površinskim napajanjem (ponikalnicami),
3. hidrogeologija kraških izvirov na vplivnem območju T1 in T2,
4. določitev koncentracije nitratov v zapolnitvah zakraselih delov vrtin.

Na osnovi novih podatkov smo v zaključku vnovič ovrednotili kraško prevotljenost na območju tunelov T1 in T2.

4.2 Rezultati in interpretacija dopolnilnih raziskav

4.2.1 Krasoslovni popis vrtin

4.2.1.1 Rezultati - tunel T1

Na območju predora T1 smo v drugi fazi raziskav spremljali 4 vrtine: T1-12/17, T1-13/17, T1-14/17 in T1-15/17. Prve tri vrtine v celoti potekajo v paleogenskih apnencih, deloma je izjema le vrtina T1-13/17, katere

zgornjih 30 metrov je izvrtanih v »flišnem« koluviju, nadaljnjih okoli 10 metrov pa v apnenčevi breči. Vrtina T1-15/17 poteka v celoti v flišu. Naše ugotovitve o podzemnih kraških pojavih večinoma temeljijo na podatkih, ki smo jih pridobili iz jeder vrtin. V manjši meri smo podatke pridobili tudi iz delov vrtin, ki niso bila jedrovana, deloma med samim vrtanjem (izplake, izguba vrtalne tekočine, praznine...), deloma pa kasneje z različnimi meritvami (karotaža, georadar) in video snemanjem. Podatki pridobljeni iz posnetka vrtine in karotaže na eni strani ter jeder vrtine na drugi se pogosto ne skladajo povsem, saj je jedro vrtine na mestih kjer se pojavljajo votline običajno porušeno iz česar je težko ugotoviti ali gre za porušene kraške kanale/votline ali za tektonsko zdrobljeno kamnino.

V vseh treh vrtinah, ki potekajo v kraških karbonatnih kamninah, so opazni sledovi podzemnega zakrasevanja ter sedimentov, ki različno velike in različno oblikovane kraške praznine zapolnjujejo. Znaki intenzivnejšega zakrasevanja se ne pojavljajo zvezno preko celotne globine vrtin, temveč v več nivojih.

4.2.1.1.1 Vrtina T1-12/17

V vrtini T1-12/17 smo krasoslovno popisali dva jedrovana dela, med 65 in 125 metrom ter med 185 in 250 metrom.

V jedru zgornjega dela vrtine so razpoke so na več mestih korozijsko razširjene in zapolnjene z rdečkasto ilovico (**med 87 in 90 metrom** ter različno intenzivno **med 110 in 120 metrom**). Mestoma je kamnina zdrobljena in »zamazana« z rdečkasto ilovico, kar nakazuje na območja bolj intenzivne prepredenosti kamnine z odprtimi in ilovico zapolnjenimi zakraselimi razpokami (**med 100 in 101 metrom** ter **med 115 in 116,5 metrom**). Ponekod so odprti tudi stiloliti, njihove stene pa deloma preperle.

Jedro spodnjega jedrovanega dela vrtine je izrazito bolj zdrobljeno kot zgornjega, bolj pa je tudi »zamazano« z rjavkasto rdečo ilovico. **Med 185 in 231,7 metrom** (razen krajšega odseka **med 190 in 195 metrom**) je bilo jedro vrtine izrazito zdrobljeno in prepredeno z nepravilnimi zaprtimi in korozijsko razširjenimi razpokami zapolnjenimi s kalcitom in rjavkasto rdečo ilovico (sliki 4/1 in 4/2). Tudi kjer očitnih razpok ne opazimo, sklepamo da je močna zdrobljenosti (nesprijetost jedra vrtine) in »zamazanost« z ilovico posledica gosto prepletajočih se korozijsko razširjenih in z ilovico zapolnjenih razpok. V spodnjem delu med 231,7 in 250 metrom kljub dokaj izraziti zdrobljenosti jedra vrtine, to ni tako intenzivno »zamazano« z ilovico, manj pa je tudi dobro izraženih korozijsko razširjenih in z ilovico zapolnjenih razpok. **Med 226 in 234 metrom** ter v okolici **245 in 250 metra** se pojavljajo tudi drobne korozijske pore. V spodnjem delu vrtine pogosto opazujemo ob odprtih ali z ilovico zapolnjenih razpokah in stilolitih do okoli 1 cm širok preperel (»obeljen«) rob, ki kaže na procese raztapljanja prikamnine razpok.

Območje večje zaglinjenosti razpok potrjuje tudi maksimalna penetracija georadarja, ki se z globino zmanjšuje in je od globine 160 metrov naprej le 15 do 20 metrov, kar je za okoli 35 manj kot med 61 in 160 metri. **Med 61 in 175 metrom** so s podatki pridobljeni z georadarjem v bližji sosesčini vrtine interpretirali številne manjše odprte ali z ilovico zapolnjene kraške razpoke, **med 80 in 105, 120 in 135 ter 180 in 210 metrom** pa tudi kraške praznine neznanih dimenzij.



Slika 4/1. Številne korozivno razširjene nepravilne razpoke, ki so zapolnjene z ilovico, pogosto privedejo do kolapsa jedra vrtine.



Slika 4/2. Jedro vrtine med 225. in 230. metrom.

4.2.1.1.2 Vrtina T1-13/17

Posebej izraziti so kraški pojavi in sedimentne zapolnitve v vrtini T1-13/17. V zgornjem delu se zapolnjene korozivno razširjene razpoke in jame pojavljajo **med 30 in 77 metrom**. Prevladujejo z meljasto glino zapolnjene razpoke, **med 30 in 32 ter med 48 in 50 metrom** pa poteka vrtina le v peščeni meljasti jamski glini s posameznimi flišnimi in apnenčastimi klasti (slika 4/3). Do 115 metra so korozivno razširjene razpoke zapolnjene z ilovico precej manj pogoste. V spodnjem jedrovanem delu vrtine se nahaja **med 205,3 in 208,3 metra** praznina, v katere podlagi se nahaja 20 cm ilovice. Naslednja v celoti z meljasto jamsko glino zapolnjena praznina se nahaja **med 234 in 275 metrom** (slika 4), večji apnenčast klast oziroma prikamnina (?jamska stena) jo prekinja le med 261,5 in 263,6 metrom. Strop jame (**od 232 do 234 metra**) predstavlja zdrobljena kamnina pomešana z ilovico, dno (**do 277,2 metra**) pa nekoliko preperel (obeljen) apnenec z razširjenimi razpokami zapolnjenimi z ilovico. Razširjene razpoke zapolnjene z ilovico se občasno pojavljajo tudi med obema zgoraj opisanima jamama. Čeprav je kamnina do dna jame precej manj razpokana kot nad njo, pa se občasno še pojavljajo tanjša območja zdrobljene kamnine in z ilovico obarvane razpoke.



Slika 4/3. Zapolnitev jame med 45. in 50. metrom.

Slika 4/4. Glina in mestoma laminirana meljasta glina, ki v celoti zapolnjuje velik jamski prostor med 234. in 275. metrom.

4.2.1.1.3 Vrtina T1-14/17

Za vrtino T1-14/17 je bila značilna velika izguba vrtalne izplake, kamnina pa je v celotni globini močno razpokana in pretrta. V jedru vrtine razen manjših kraških votlinic centimetrskih dimenzij na nekaj mestih **med 215 in 246 metrom** (med 215 in 216, 232 in 233 ter 245 in 246 metrom) (slika 4/5) nismo zaznali večjih jam, so nas pa že vrtalci opozorili, da so v vrtini **med 72 in 74 metri** globine, kjer so vrtali z udarno tehniko, naleteli na glino. Na podlagi posnetka vrtine in karotaže so bile v delu, kjer je potekalo udarno vrtanje, deloma z glino zapolnjene kraške votlinice in razširjene razpoke decimetrskih dimenzij pogoste **med 48 in 88 metrom**, v delih kjer so jedrovali pa s prekinitvami **med 136 in do okoli 195 metra**, vendar gre v slednjem primeru večinoma za zaglinjene razpoke. Do neke mere kažejo podobno sliko tudi posnetki georadarja, predvsem na mestu, kjer je intenzivnost votlin največja (**med 70 in 88 metrom**). Votlinic na mestih med cca. 10 in 48 metrom, ki jih je nakazal georadar v prikamnini vrtine pa niti karotaža, niti posnetek vrtine nista razkrila.



Slika 4/5. Korodirane in zaobljene stene votlinice med 215 in 216 metrom.

4.2.1.2 Rezultati - predor T2

Na območju predora T2 poteka v celoti v kraških kamninah le vrtina T2-18/17, deloma pa tudi vrtini T2-19/17 in T2-20/17. Ostali vrtini na trasi tunela T2, to sta T2-16/17 in T2-17/17, potekata v celoti v nekraških flišnih kamninah.

4.2.1.2.1 Vrtina T2-18/17

Jedrovanje vrtine T2-18/17 je potekalo le od globine 131 do 171 metrov. Večji del pregledanega jedra je močno razpokan in zdrobljen (slika 6), ponekod do te mere, da jedro skoraj v celoti manjka (med 145 in 150 metrom). Glede na poročanje vrtalcev na teh mestih niso naleteli na votline, temveč naj bi bila kamnina le močno razpokana in pretirna.

Izrazitih geomorfni oblik, ki bi kazale na podzemno zakrasevanje na pregledanem odseku jedra vrtine nismo opazili, čeprav tega ne moremo povsem izključiti na odsekih, ki manjkajo (**med 145 in 150 metrom**) in kjer je kamnina močno zdrobljena. Le redko kažejo na zakrasevanje odprte razpoke, ki pa so redko širše od 1 milimetra (npr. na **168,85 metru**) (slika 4/6).

Tudi s karotažo in video kamero kraške votline v vrtini niso bile zaznane. Kot je razvidno iz preliminarnih poročil georadarskih meritev, kraške votline ravno na območju jedrovanega dela vrtine tudi z georadarjem niso bile zaznane, čeprav so bočno od vrtine interpretirali votline tako nad kot pod omenjenim območjem.





Slika 4/7. Med 128,75 in 129,30 metrom se nahaja kraška votlinica zapolnjena z rdečkasto rjavo in rumenkasto rjavo glino.



Slika 4/8. Zapolnjena kraška votlinica okoli 2 metra nad tektonskim kontaktom s flišem.

4.2.1.2.3 Vrtina T2-20/17

Jedro vrtine T2-20/17 smo krasoslovno popisali do globine **89 m** kjer se z ostrim nekoliko zaglinjenim kontaktom začneja fliš. Karbonatni (kraški) del jedra vrtine je razen nekaterih krajših močno razpokanih in pretrtih odsekov generalno gledano zmerno razpokan (pretrg jedra na vsake cca. 25 cm). Geomorfne oblike, ki kažejo na podzemno zakrasevanje se nahajajo na globinah med **7 in 8 metrov** (z rdečo ilovico zapolnjena kraška votlinica velika do 15 cm ter manjša odprta votlinica velika nekaj cm) (slika 4/9), v **okolici 15 metra**, kjer se nahaja nekaj do par mm širokih zaglinjenih razpok ter odprtih in zaglinjenih votlinic cm dimenzij ter med **74 in 75 metrom**, kjer se nahaja manjša nekaj centimetrov velika odprta korozijska votlinica (slika 10). Verjetno je bilo tudi nekaj razpok in nekaterih »zdrobljenih« odsekov (npr. **med 10,8 in 11 metrom**) deloma podvrženih kraškim procesom, na prevodnost in začetne faze korozije pa kažejo tudi nekatere razpoke, ob katerih je kamnina razbarvana (npr. **med 70 in 75 metri**).



Slika 4/9. Z rdečo ilovico zapolnjena manjša kraška votlinica med 7 in 8 metrom.



Slika 4/10. Manjša nekaj centimetrov velika odprta korozijska votlinica med 74 in 75 metrom.

Tudi glede na georadarske meritve je okolica vrtine **med 21 in 83 metrom** močno zakrasela, saj se skoraj preko celotne globine pojavljajo območja z veliko verjetnostjo kraških jam in zakraselih prelomov. Video posnetek in karotaža sicer ne razkrivata kraških votlin v stenah vrtine, lepo pa je opazen kontakt med apnencem in flišem na 89 metrih globine.

4.2.1.3 Rezultati - predor T8

Vrtina T8-1/17, ki kot edina v sklopu dodatnih raziskav leži na trasi tunela T8, je bila izvrtana v celoti v nekraških flišnih kamninah, zato ni bila predmet krasoslovnih raziskav

4.2.1.4 Diskusija

Običajni kraški geomorfni in hidrogeološki sistem delimo v grobem na zalito (freatično) in nezalito (vadozno) cono. Pore v zaliti coni so stalno zapolnjene z vodo, razen v t.i. epifreatični coni, kjer kraška voda niha, odvisno od dotoka meteorne vode. Ločimo tudi epikraško cono, to je zgornji del vadozne cone, neposredno pod kraškim površjem, ki je pod neposrednim vplivom vremenskih in pedogenih procesov. Nastanek horizontalnih jam je običajno vezan na zgornje dele freatične cone, v epifreatični coni pa so jame lahko povečane, preoblikovane in naknadno zapolnjene sedimenti, ki jih običajno nanesejo ponikalnice. Pri tem lahko poplavne vode v okolici jame z ilovico zapolnijo različne razpoke in pore. Bolj ali manj horizontalne jame se lahko oblikujejo tudi v vadozni coni, kjer meteorne vode obvisijo nad neko neprepustno zaporo, npr. flišnimi plastmi. Neposredno pod kraškim površjem je raztapljanje predvsem zaradi povišanega dotoka CO₂ v tleh močno povečano, zato se tam tvorijo kanali in votlinice različnih oblik in velikosti, ki pa so pogosto zapolnjeni ilovico prinešeno neposredno s površja oziroma se kanali ob takem sedimentu tudi preoblikujejo in širijo. Tokovi, ki pritekajo iz nekarbonatnih na karbonatne kamnine in površinski kanali, ki se oblikujejo na nekoliko strmejših kraških pobočjih in tleh lahko tečejo neposredno v vadozno cono, kjer oblikujejo stopničaste jame s prevladujočo vertikalno komponento, ponekod pa tudi povsem vertikalna brezna.

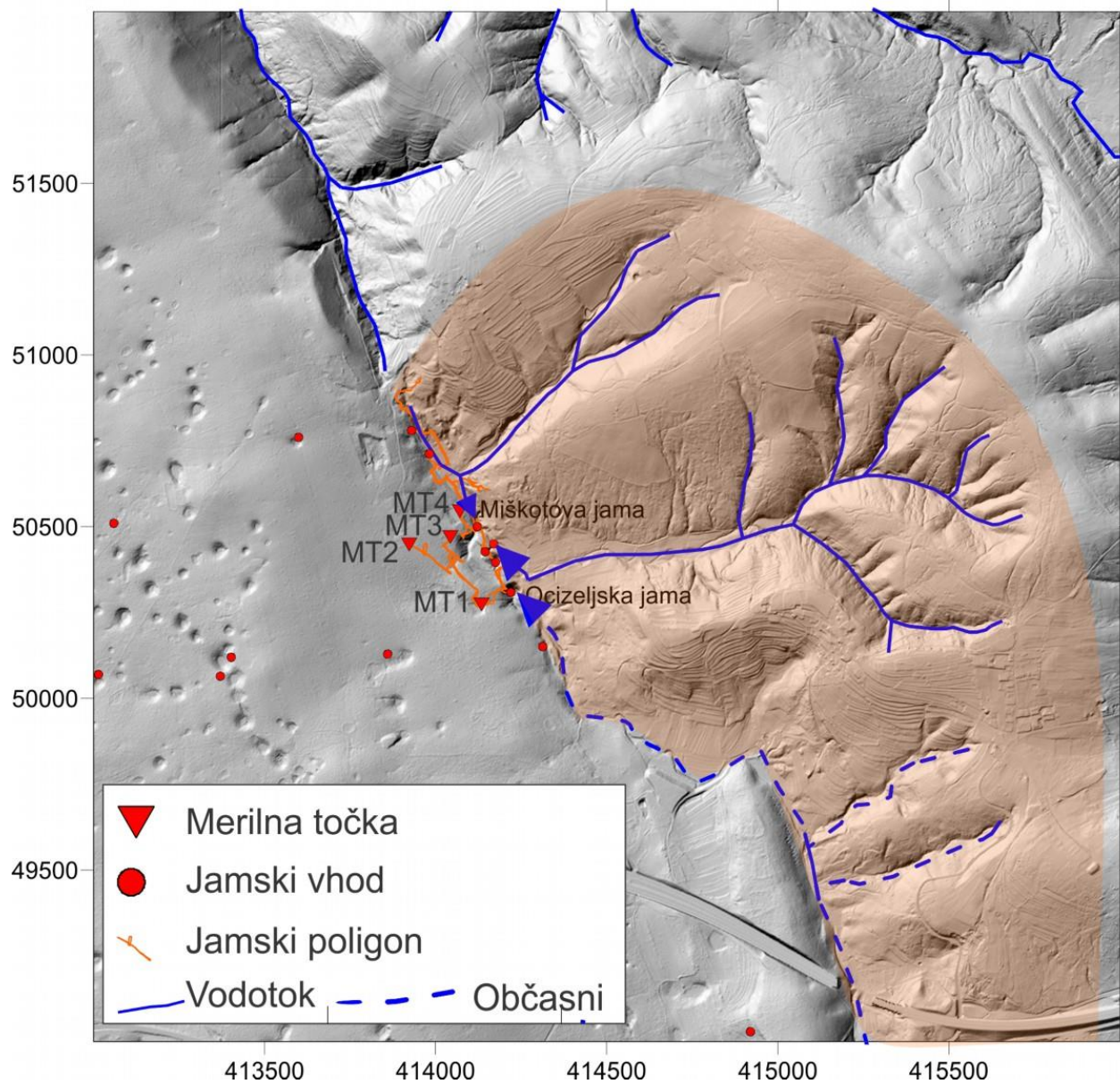
Vadozna cona je tudi območje kjer se ob relativnem zniževanju podtalnice (pogosto zaradi tektonskega dvigovanja ozemlja) srečajo vse zgoraj naštetе kombinacije jam in kraško preoblikovanih razpok. Predhodne freatične kraške jame tu obvisijo v nezaliti vadozni kraški coni, kjer so pogosto fosilizirane (neaktivne, reliktnе), v odvisnosti od pogojev pa v veliki meri zasigane ali zaradi stalnega zniževanja kraškega površja celo razpadle (npr. brezstope jame). Glede na intenzivnost procesov oziroma prevlado katerega od njih so kraške hidrogeološke cone različno obsežno prepredene z zgoraj obravnavanimi kraškimi oblikami. Npr. horizontalne kraške jame so pogosto zaradi načina in hitrosti tvorjenja ter dvigovanja območja v vadozni coni razporejene v svežnjih oziroma nivojih, sekajo pa jih lahko bolj ali manj vertikalni vadozni kanali oziroma brezna.

4.2.2 Hidrogeologija Beško-Ocizeljskega jamskega sistema s površinskimi dotoki

Beško-Ocizeljski sistem je jamski splet, razvit ob stiku eocenskega fliša in alveolinsko-numulitnega apnenca. Sistem predstavlja kraški odtok več stalnih in občasnih flišnih vodotokov. Skupna dolžina jam je preko 3,5 km, najdaljša in najgloblja med njimi je Ocizeljska jama (dolžina = 2750 m, globina = 157 m).

Situacijo na površju prikazuje slika 4/11. Na lidarski podlagi je lepo vidna meja med fluvialni flišnim reliefom na vzhodnem delu in kraškim ravninom na zahodnem delu območja. Senčeni del prikazuje približno zbirno območje vodotokov, ki odtekajo v Beško-Ocizeljski sistem. Skupna površina vodozbirnega območja je približno 4 km². Položaje odtokov prikazujejo modre puščice.

Oranžna črta je tloris poligona jamskega sistema, ki pretežno sledi litološki meji. Raziskani deli jam se končajo z neraziskanimi sifoni, kaj je za sifoni pa lahko le delno sklepamo po meritvah. V raziskanih delih sledimo le dotokom iz fliša, morebitnih dotokov iz apnenčastega območja na zahodu torej ne zasledimo.



Slika 4/11. Območje Beško-Ocizeljskega jamskega sistema. Iz podlage LIDAR je dobro razvidna meja med flišem (vzhodno) in apnencem (zahodno). Vrisani so stalni in občasni potoki na flišu, položaji vhodov v jame, jamski poligoni in merilne točke. Senčeni del označuje zbirno območje na flišu.

4.2.2.1 Beško-Ocizeljski jamski sistem

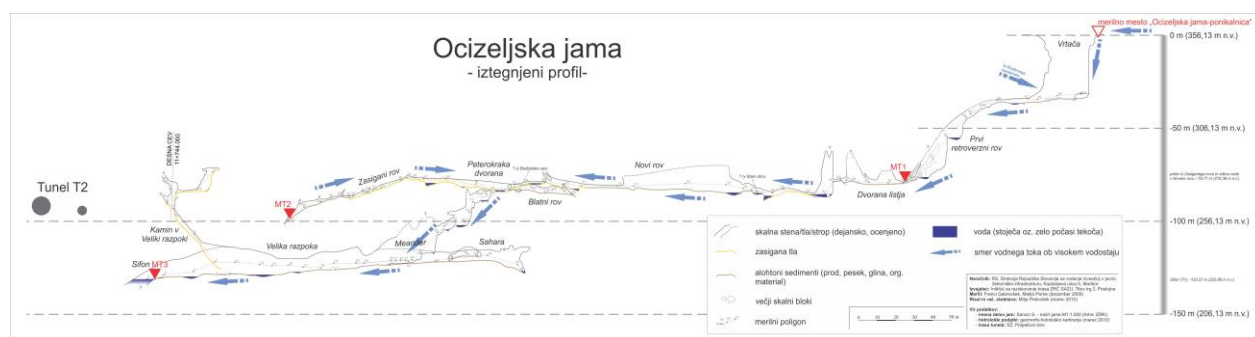
V Beško-Ocizeljskem jamskem sistemu opravljamo samodejne meritve tlaka (vodostaja), temperature in specifične električne prevodnosti na štirih mestih s stalnim in občasnim vodnim tokom (slika 4/12). Meritve opravljamo z avtomatskimi registratorji Onset HOB0 v časovnem intervalu 30 min.

Merilna točka 1 (MT1) je pod prvim nizom brezen (Prvi retroverzni rov) v Ocizeljski jami. Točka je poplavljen ob večjih dogodkih. Ob izjemnih poplavih lahko tu globina vode doseže več deset metrov.

Merilna točka 2 (MT2) je na dnu Zasiganega rova. Točka je večino časa na suhem, a se voda velikokrat dvigne za več kot 20 m in se prelije v najnižje dele jame.

Merilna točka 3 (MT3) je na najgloblji točki jame, v odtočnem sifonu in najbližja predvideni trasi tunela.

Merilna točka 4 (MT4) je na stalno aktivnem prelivu v Jami z naravnim mostom.



Slika 4/12. Presek Ocizeljske jame z merilnimi točkami 1, 2 in 3.

4.2.2.1.1 Rezultati meritev v času dopolnilnih raziskav

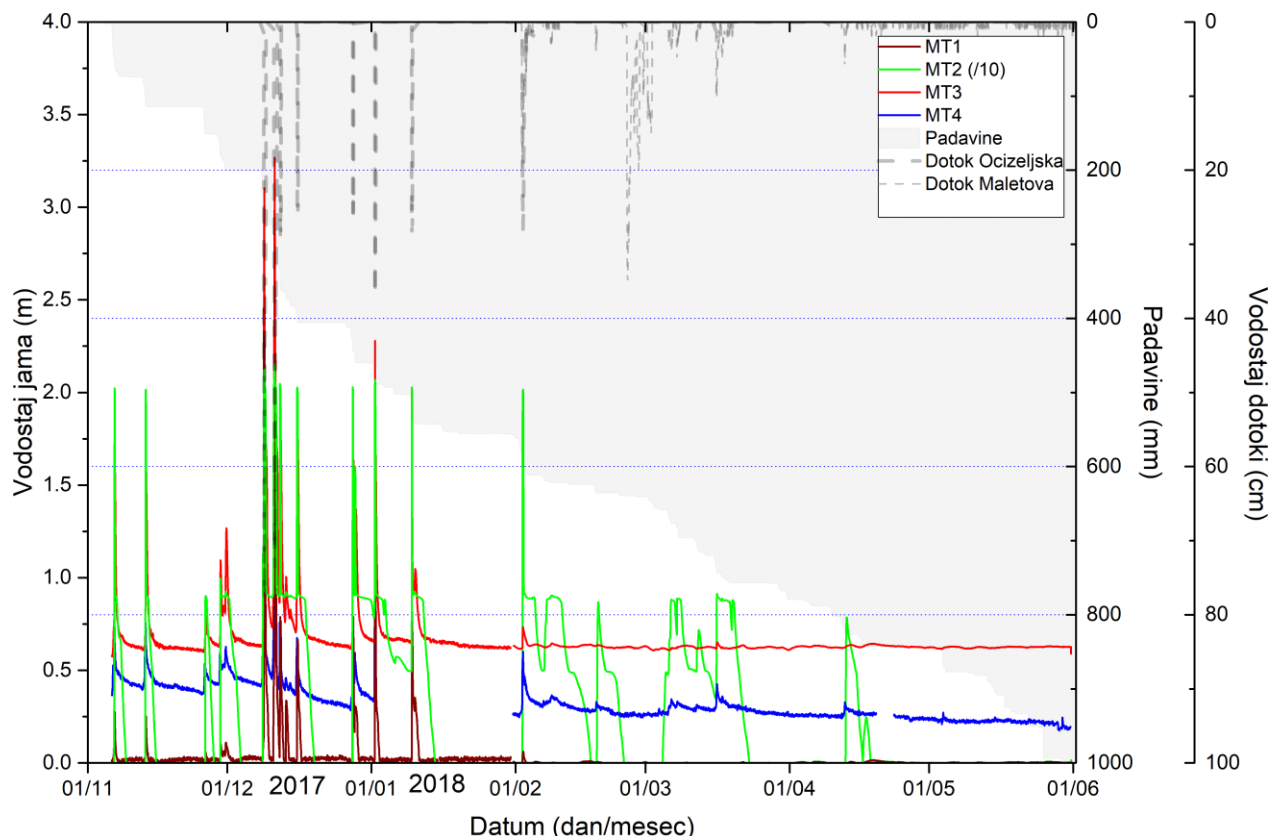
Vodostaji na vseh štirih merilnih točkah med novembrom 2017 in junijem 2018 so prikazani na sliki 4/13. Meritve tlaka smo kompenzirali z barometriškimi podatki meteorološke postaje ARSO Škocjan, od koder so tudi padavinski podatki. Na sliki 4/13 so prikazane tudi meritve nivojev vode na vodotokih, ki ponirata v Ocizeljsko jamo in v Maletovo jamo (= Jama s slapom). Podatki iz Miškotove jame (= Jama z naravnim mostom; MT4) so neposreden odraz pretoka tretjega vodotoka iz flišnega zaledja.

MT1

MT1 je nameščena med dnom vhodnega niza brezen (Retroverzni rov) in Dvorano listja v Ocizeljski jami. Merilno mesto je večino časa na suhem, med 1. novembrom 2017 in 1. junijem 2018 pa smo v jeseni in prvem delu zime zabeležili dvanajst dogodkov, ko je bilo mesto poplavljen. Najvišji izmerjeni vodostaj je 2,3 m, ko je 8. decembra 2017 v desetih urah pri Škocjanu padlo več kot 50 mm dežja. Poplavljanje na MT1 je skoraj izključno vezano na aktivnost potoka, ki doteka neposredno v Ocizeljsko jamo. Potok je na sliki 4/11 označen črtkano, ker nima stalnega toka. Zadnji zabeleženi dogodek na potoku in točki MT1 je iz začetka februarja.

Kljub temu, da ima potok relativno veliko zbirno območje na flišu, je potok večino leta suh. Vzrok je verjetno v tem, da struga poteka neposredno ob meji apnenec-fliš in voda iz fliša vzdolž celotne poti odteka v apnenec. Ocizeljsko jamo doseže le ob večjih dogodkih, ko dotok iz fliša presega puščanje struge oz. ko je vodostaj v bloku apnenca dovolj visok.

Ob izjemnih dogodkih potok predstavlja glavni dotok v sistem. Tak dogodek je bil edino v letu 2010, ko je 19. septembra padlo več kot 150 mm dežja. Na MT1 takrat nismo merili vodostaja, po plavju sodeč pa je bila vhodna udornica Ocizeljske jame zalita vsaj 5 m visoko.



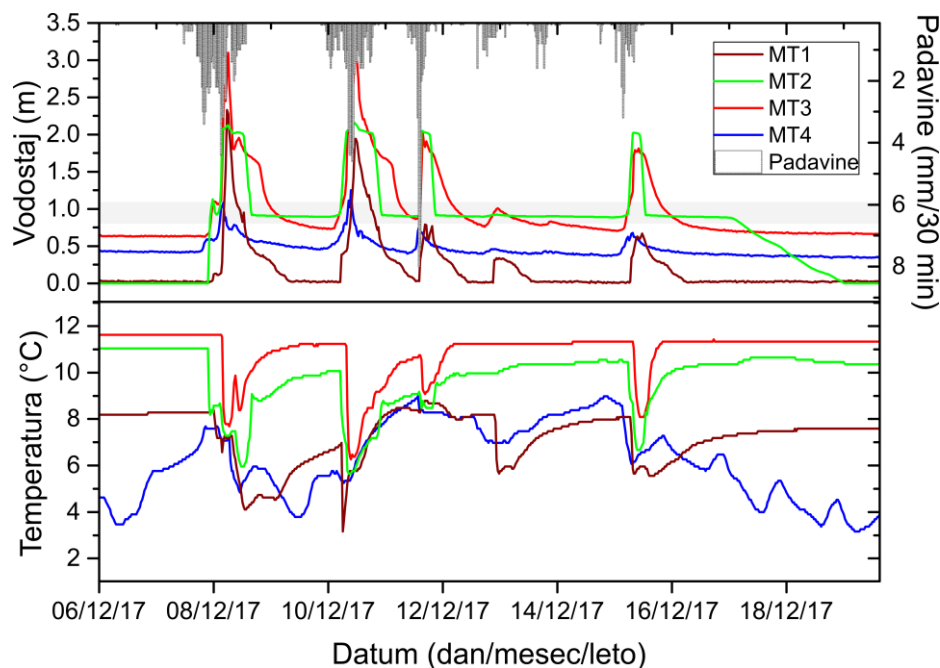
Slika 4/13. Vodostaji na merilnih točkah v Beško-Ocizeljskem jamskem sistemu med novembrom 2017 in junijem 2018. Vodostaj na MT2 je prikazan v razmerju 1:10 (maksimalni dvigi dosežejo višino malo nad 20 m). Na grafu je prikazana tudi kumulativna količina padavin v prikazanem obdobju in vodostaj dveh dotokov v sistem.

MT2 in MT3

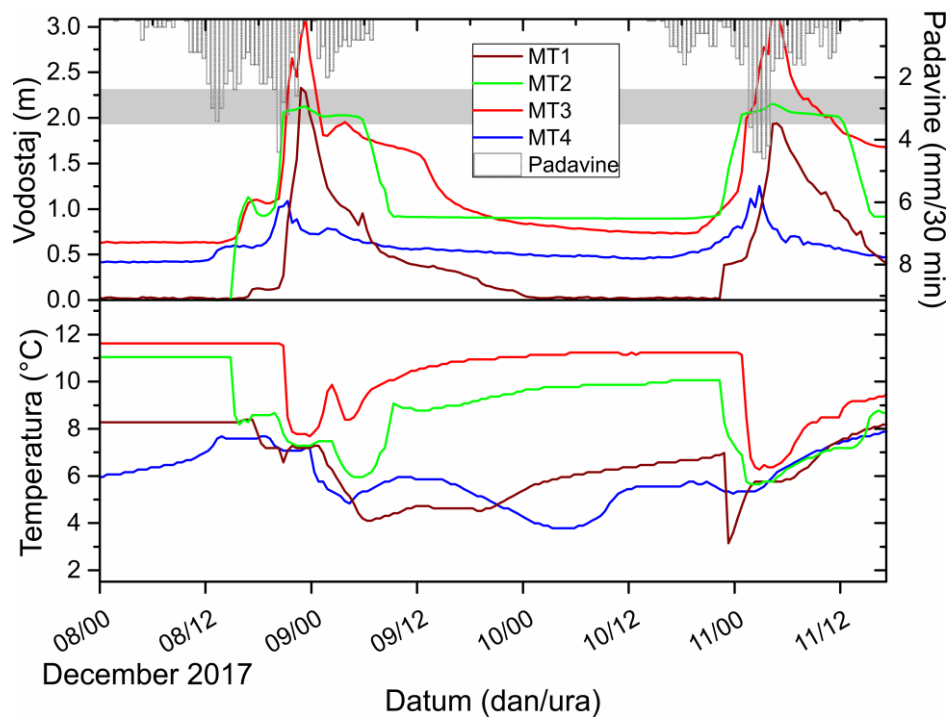
Kot smo ugotovili v predhodnih meritvah, vodostaj pri MT3 skokovito naraste šele, ko tja priteče voda iz Zasiganega rova (MT2), kjer pa se mora dvigniti 20 m do preliva v Peterokrako dvorano. To se lepo vidi na slikah 4/14 in 4/15. Vodostaj na MT3 v nobenem dogodku ni dvignil za več kot 2,5 m, kar spet govori v prid interpretaciji, da sifon na dnu jame prosto preliva v še neznane dele.

Zanimiv je izjemno stabilen nivo na višini 10 m nad dnom Zasiganega rova (MT2), ki ga na sliki 4/14 označuje sivi pas. Ta nivo voda doseže že ob manjših dogodkih. Še najbolj smiselna razlaga je, da je nivo povezan s prelivnim nivojem neznanega rova (slika 4/17D).

Opisano dogajanje še lepše prikaže slika 4/15, ki kaže časovno obdobje dveh od teh dogodkov. Tu se vidi sosledje dotokov v MT2 in MT3. Dotok sveže površinske vode v MT2 se kaže kot padec temperature. Kmalu potem, ko voda doseže zgornji prelivni nivo (sivi pas na sliki 4/15), se skokovito spremenita tudi temperatura in nivo na MT3.



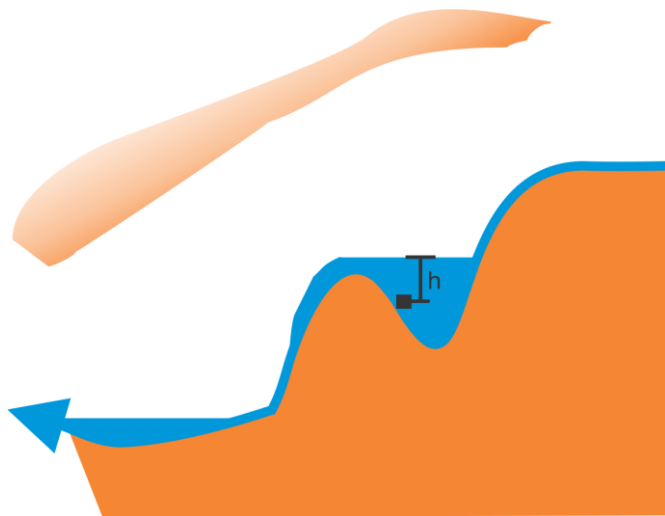
Slika 4/14. Niz padavinskih dogodkov v decembru 2017 in odziv na merilnih točkah. Siv pas označuje stabilen nivo 10 m nad dnom Zasiganega rova, ki morda označuje prelivni nivo neznanega dotočnega rova.



Slika 4/15. Podroben pogled v sosledje dveh decembrskih dogodkov jasno pokaže sosledje dotoka vode v MT2 in MT3.

MT4

Merilna točka v Miškotovi jami je v kotlici, iz katere se voda prosto preliva v 2 m nižjo kotlico (slika 4/16). Vodostaj neposredno odraža dotok v jamo. V času meritev je voda tu narasla do 0,8 m nad osnovni nivo. Ne glede na meritve, pa zagozdeni kosi lesa kažejo tudi na deset metrov višje vodostaje.



Slika 4/16. Shematski prikaz merilnega mesta MT4 v Miškotovi jami.

4.2.2.1.2 Sinteza hidroloških meritev v Beško-Ocizeljskem jamskem sistemu

Dotok v sistem

Sistem napajajo trije potoki, ki drenirajo približno 4 km² veliko flišno območje. Dva potoka dotekata neposredno s fliša v ponorni jami in sta aktivna pretežno del leta. Tretji potok, ki ponira v Ocizeljsko jamo, je aktiven le v deževnem obdobju, ob večjih padavinskih dogodkih (>25 mm/dan). Takrat lahko predstavlja tudi glaven dotok v sistem. Nivoje teh potokov spremljamo od jeseni 2017, a zaenkrat še nimamo umeritvenih krivulj, ki bi nam dale podatke o pretokih. Maksimalne dotoke smo poskušali oceniti z modelom EPA-SWMM. Ocena je groba, saj nekaterih parametrov ne poznamo dobro, skupni maksimalni dotok v sistem pa je po modelski oceni blizu 10 m³/s.

Pretakanje v sistemu

Zaradi kompleksne geometrije in omejenega števila merilnih mest, lahko smer in velikost tokov ob poplavnem dogodku le v grobem opišemo.

Miškotovo jamo neposredno napaja flišni vodotok. Tok večji del poteka vzdolž glavnega kanala, ki se na globini 73 m konča s sifonom, ki ni raziskan. Nedvomno gre za visečo vodo, saj je gladina vsaj 60 m nad dnom Ocizeljske jame. Miškotova jama je povezana tudi z Maletovo jamo in Blaževim spodmolom, preko slednjega pa tudi z Ocizeljsko jamo.

Pretakanje v Ocizeljski jami je ob visokih vodah izjemno kompleksno. Ob visokih pretokih ponikalnice, ki priteče neposredno v vhodno udornico, voda sledi zaporedju brezen in kanalov do najgloblje točke jame na koncu Velike razpoke (MT3). V srednjem delu pretakanje lahko poteka po več vzporednih rovih. Pri izjemnih pretokih (september 2010) se pojavi zanimiva situacija, ko je bil vrhnji del jame povsem zalit (plavje po obodu vhodne udornice je segalo 5 m visoko), nivo vode pri MT5 pa je dosegel 238 m; velik vmesni del jame torej ni bil popolnoma zalit. Meritve in opažanja kažejo, da voda zastaja ob zožitvi v jami. Najbolj verjetna zožitev je prehod med Dvorano listja in Starim dnom, kjer je presek rova najmanjši (1 × 0,5 m), stenske oblike fasete pa kažejo veliko hitrost toka. Enostavni hidravlični izračuni pokaže, da bi pri pretoku 10 m³/s voda pred tem rovom lahko narastla za več kot 60 m, kar govori v prid domnevi.

Dogajanje v spodnjem delu Ocizeljske jame (MT2 in MT3) prikazuje slika 4/17. Na sliki 4/17A je niz dogodkov v decembru 2017. Nivo na točki MT2 (zelena črta) ima tri stabilna območja. Spodnji nivo je položaj merilnika v zraku, ko je kota nivoja vode pod 256 m. Že ob srednjih dogodkih (dnevna količina padavin 20 mm) se nivo dvigne do kote 266 m, ob močnejših dogodkih (>40 mm/dan) pa še deset metrov višje, kjer doseže nivo preliva v spodnje dele jame, in odteče proti Veliki razpoki in točki MT3 na koti 222 m. Na sliki 4/17A se lepo vidi temperaturni in nivojski odziv na MT3 (rdeča črta), ki sledi prelivanju iz Zasiganega rova. Na sliki 4/17B so nivoji na MT2 urejeni po velikosti, kjer se lepo vidi stabilen nivo na 266 m, veliko meritev pa je tudi v območju 262 m, ki se na sliki 17A sicer ne kaže, se pa lepo vidi na sliki 13.

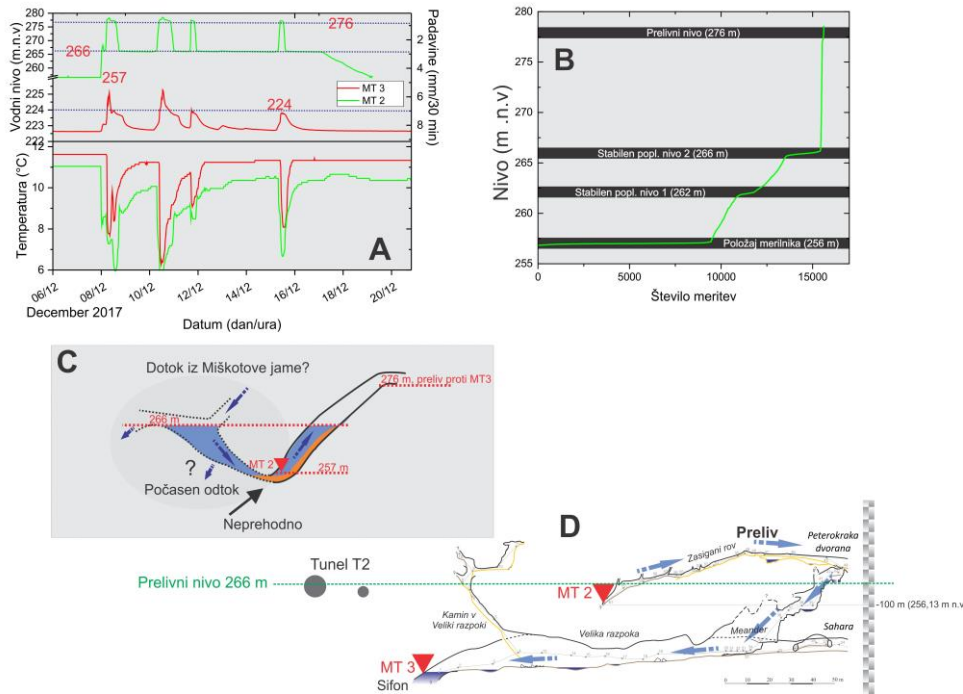
Slika 4/17C prikazuje smiselno interpretacijo dogajanja. Zasigani rov se polni od spodaj navzgor, saj voda doteka iz neznanega rova, v katerega fizično ne moremo. Predvidevamo (!), da gre za dotok iz Jame z naravnim mostom; temu v prid govori tudi tlorisna bližina (slika 4/11). Ker Zasigani rov nima nobenega drugega odtoka od preliva na 276 m, sklepamo, **da stalen poplavni nivo na 266 m vzdržuje prelivni nivo v**

neznanim dotočnem rovu (oziroma spletu rogov). Voda pod nivojem 266 m upada počasi (0,2 m/h), pri tem gre verjetno za praznjenje bazenov ujete vode (končni del zelene krivulje na grafu).

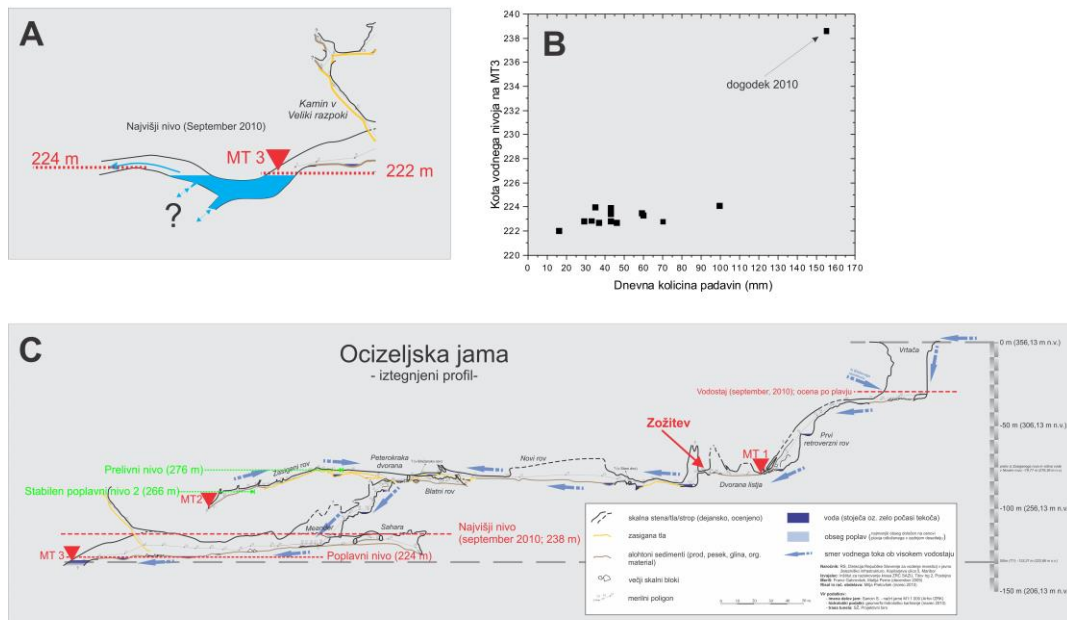
Kljub močnemu dotoku, se vodostaj na točki MT3 le redko dvigne za več kot 2 m. Na koti 224 m je precej stabilen nivo, **kikaže, da se voda za sifonom preliva v dovolj prevoden rov, ki poplavi šele ob izjemnih dogodkih** (slika 4/18A). Čeprav tega rova potapljači ob edinem potopu niso našli, je to zaenkrat edina smiselna razlaga. Slika 4/18B prikazuje maksimalne nivoje na MT3 v odvisnosti od dnevne količine padavin. Nivo na MT3 je narastel do višine 238 m le ob izjemnem dogodku v septembru 2010, ko je v enem dnevu padlo več kot 150 mm dežja.

Slika 4/18C prikazuje profil Ocizeljske jame z najbolj pomembnimi poplavnimi nivoji.

1. Stalni nivo sifona (222 m) z MT3 in poplavni nivo 224 m. Najnižji znani iztok iz jame.
2. Stabilni poplavni nivo 10 m nad MT2, na višini 266 m. Gre za vodo, ki Zasigani rov zalije že ob srednjih dogodkih (≥ 20 mm dnevno). Voda se na tem nivoju zadržuje tudi več kot 50 dni na leto. Verjetno je Zasigani rov vodokaz lokalnega nivoja, ki ga držijo prelivi v jezerih v nedostopnih delih rova (slika 4/17C).
3. Prelivni nivo na višini 276 m. Voda v Zasiganem rovu naraste do preliva na višini 276 m, kjer se prelije v smeri Peterokrake dvorane in od tam navzdol proti Veliki razpoki in točki MT3. Takih dogodkov je bilo v zadnjem letu 11, pri čemer je vselej padlo vsaj 40 mm dežja na dan.
4. Ob izjemnih dogodkih voda zalije vhodni niz brezen in udornico. Pri tem je popolnoma zalit zgornji del jame nad nivojem 275 m (zožitev na sliki 4/18C). Zanesljivo je do preliva zalit tudi Zasigani rov, osrednji nivo s Peterokrako dvorano in niz stopenj do nivoja 238 m v Meandru pa so de delno zaliti.



Slika 4/17. Vodni nivoji na merilnih točkah MT2 in MT3 v Ocizeljski jami. A) Primerjava med poplavnimi dogodki med 6. in 10. decembrom 2017 na MT2 in MT3. B) Ključne nadmorske višine glede na hidrogram MT2. C) Izsek Zasiganega rova z MT2 in interpretacijo prelivnega nivoja na 266 m (senčeno). D) Profil spodnjega dela Ocizeljske jame z merilnima točkama MT2 in MT3.



Slika 4/18. Vodni nivoji na merilnih točkah MT2 in MT3 v Ocizeljski jami. A) Izsek najglobljega dela jame z MT3 in interpretacijo prelivnega nivoja. B) Primerjava med dnevno količino padavin in najvišjo koto poplavnega dogodka. C) Povzetek ključnih poplavnih nivojev na iztegnjenem profilu Ocizeljske jame.

Dosedanje raziskave so nam nakazale osnovne smeri pretakanja vode v Ocizeljski jami in kažejo na več prelivnih nivojev, preko katerih te vode odtekajo naprej v vodonosnik. **Ti nivoji kažejo tudi veliko prevotljenost vodonosnika za znanimi deli Beško-Ocizeljskega jamskega sistema.**

4.2.2.2 Površinski dotoki

4.2.2.2.1 Merilno mesto Ocizeljska jama-ponikalnica

Merilno mesto *Ocizeljska jama-ponikalnica* je locirano na eni izmed ponikalnic tik pred Beško-Ocizeljskim jamskim sistemom, to je pred Ocizeljsko jamo. V neposredni bližini (<100 m) poteka na stacionaži km11,800 tunel T2. Struga je običajno suha, po izdatnejših padavinah pa postane hidrološko aktivna; pri tem se voda preliva v udornico Ocizeljske jame in dalje po njej, kjer so vzpostavljena druga merilna mesta. Merilno mesto na ponikalnici je bilo vzpostavljeno 8. decembra 2017 in od takrat neprekinjeno deluje (podatki na voljo do 3. septembra 2018). Z avtomatskimi registratorji beležimo vodostaj, temperaturo in elektroprevodnost vode vsakih 15 min. Zaradi slabe napovedljivosti količine padavin po prvi ugotovitvi vzorca poplavljanja (5. februar 2018) in odsotnosti dalj časa trajajočega deževja pretočna krivulja še ni vzpostavljena. Namen meritev je merjenje odziva ponikalnice na padavine (postaja ARSO Kozina) ter vzporejanje površinskega poplavnega dogodka s tistim v Ocizeljski jami.

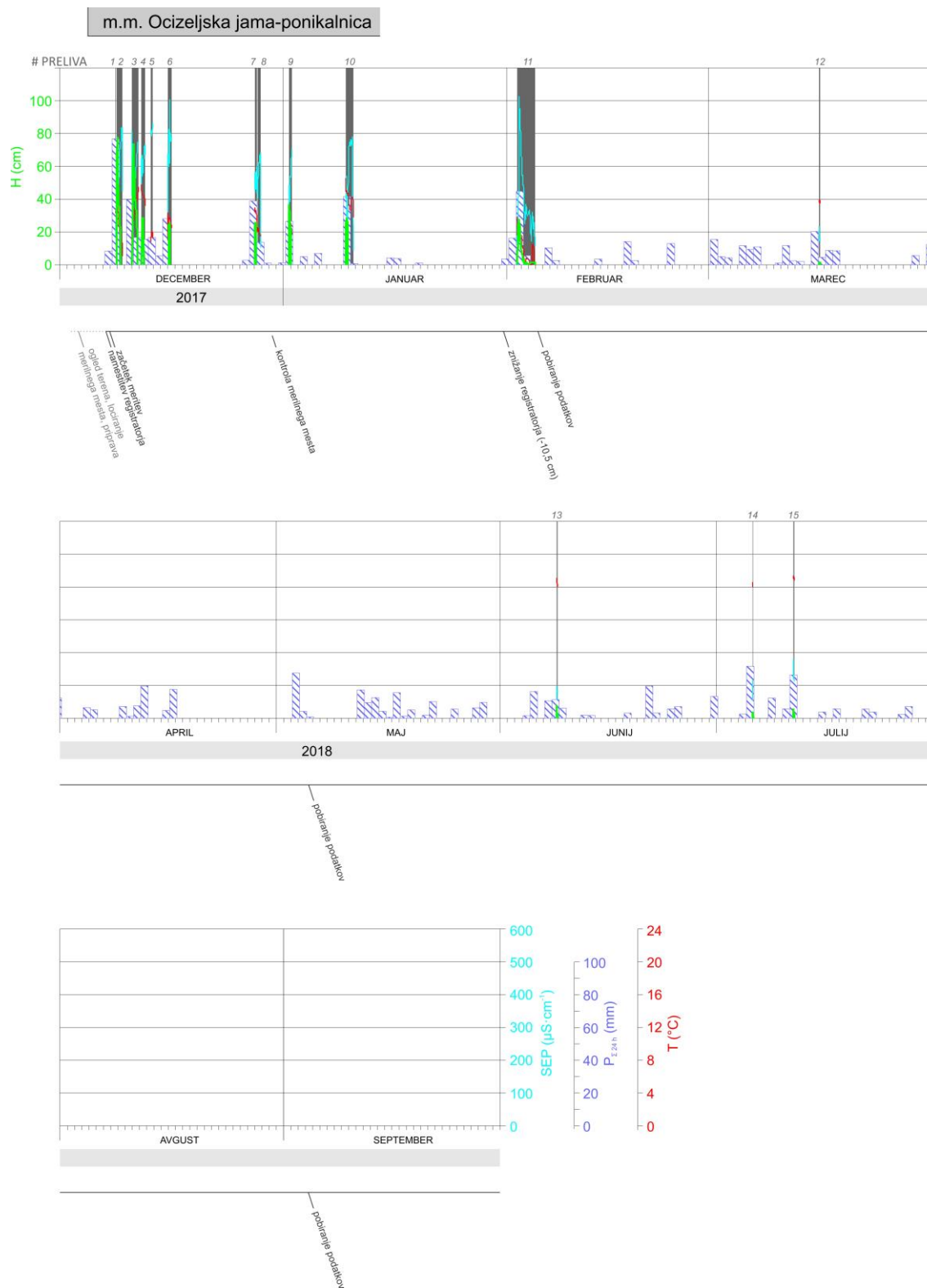
Rezultati

Od začetka delovanja smo zabeležili 15 poplavnih dogodkov (slika 4/19, tabela 4/1), ko je bila struga hidrološko aktivna. Večji del poplavnih dogodkov (73 %) se je zvrstil v prvih dveh mesecih delovanja, torej pozimi, medtem ko je bila struga spomladi in poleti aktivna izjemoma in zelo kratek čas. Z izjemo poplavnega dogodka #11 (2,5 dneva) gre za nekajurne dogodke s povprečnim trajanjem 8 h. Med njimi sta dva (#2 in #3), ki po višini močno presegata ostale. Struga je bila večino merilnega obdobja suha (97 %), 3 % časa merjenja pa je hidrološko aktivna.

Tabela 4/1. Pregled vseh poplavnih dogodkov na merilnem mestu Ocizeljska jama-ponikalnica.

Poplavni dogodek #	Datum najvisjega vodostaja	Najvisji vodostaj (cm)	Trajanje poplavnega dogodka (h)	Povratna doba glede na dnevno vsoto padavin
1	8.12.2017	12	2,25	<1 leto
2	8.12.2017	78	19,50	2-3 leta
3	11.12.2017	74	22,25	<1 leto
4	12.12.2017	29	10,75	<1 leto
5	13.12.2017	13	5,00	<1 leto
6	16.12.2017	26	11,75	<1 leto
7	28.12.2017	26	8,00	<1 leto
8	28.12.2017	14	10,00	<1 leto
9	1.1.2018	37	10,50	<1 leto

10	9.1.2018	29	23,00	<1 leto
11	2.2.2018	28	60,50	<1 leto
12	16.3.2018	2	3,00	<1 leto
13	8.6.2018	8	3,25	<1 leto
14	6.7.2018	4	1,25	<1 leto
15	11.7.2018	6	2,25	<1 leto



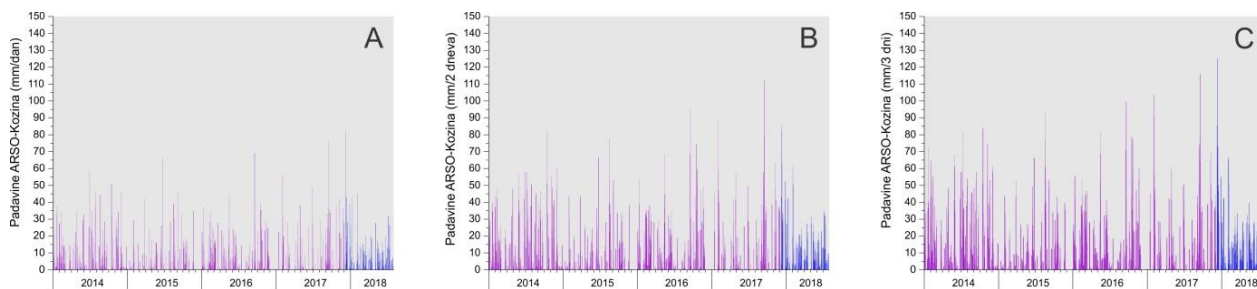
Slika 4/19. Grafična ponazoritev vseh poplavnih dogodkov na merilnem mestu Ocizeljska jama-ponikalnica. Padavinskih podatkov (<http://meteo.arso.gov.si/met>) za avgust in september 2018 do dneva oddaje tega poročila še ni bilo na voljo.

Interpretacija

Primerjava s padavinami kaže, da postane struga hidrološko aktivna, ko dnevna količina padavin preseže 20 L/m²oz. 20 mm, ob poprejšnji namočenosti pa je lahko dovolj že okoli 10 L/m² (poplavni dogodek #13). Nasprotno se po dalj časa trajajoči suši struga ne aktivira tudi po 27 L/m²(3.-4. maj 2018).

Ponikalnica, ki odvaja vodo v Ocizeljsko jamo, je izrazito izrazito hudourniškega tipa, in sicer tako glede na majhen čas hidrološke aktivnosti struge ter kratkotrajnosti poplavnega dogodka kot tudi glede izrazite koničnosti poplavnega vala. Na manjše padavine je slabše odzivna od ponikalnice, ki odvaja vodo v Maletovo jamo (Jama s slapom; merilno mesto *Maletova jama-ponikalnica*), saj se na manjše poplavne dogodke sploh ne odziva (npr. več dogodkov v prvi polovici marca 2018, 12. aprila 2018, 5. junija 2018), medtem ko so vsi dogodki na merilnem mestu *Maletova jama-ponikalnica* zaznani tudi na merilnem mestu *Ocizeljska jama-ponikalnica*. To interpretiramo z relativno majhno požiralno sposobnostjo razpok in manjših kraških kanalov vzdolž struge po apnencih in laporjih, ki so sposobni odvesti vse manjše pretoke še preden slednji dosežejo Ocizeljsko jamo.

Povezanost med vodostajem in padavinami je dobra za vsoto dnevnih padavin ($R^2 = 0,58$), nekoliko slabša za dvodnevno vsoto padavin ($R^2 = 0,39$), spet nekoliko boljša pa za tridnevno vsoto padavin ($R^2 = 0,58$) kar kaže na odvisnost vodostaja na enodnevne vsote, a tudi od poprejšnje namočenosti (manjšo odvisnost od dvodnevne vsote glede na tridnevne pripisujemo slučajnosti, ki je vezana na majhno količino podatkov). Odvisnost se zdi v vseh primerih linearna, ki pa zaradi majhnega števila registriranih večjih poplavnih dogodkov zaenkrat še ni povsem potrjena. Večina registriranih poplavnih dogodkov ima po izračunu (ARSO Kozina 1961-2018) povratno dobo manjšo od enega leta, medtem ko imata dva povezana poplavna dogodka (#2 in #3) povratno dobo med 2 do 3 leta. Vezana sta bodisi na izrazito visoko dnevno količino padavin (#2) (slika 4/20A) bodisi na srednjo količino padavin po dobri poprejšnji namočenosti (#3; slika 4/20C). Tako glede dnevne kot tudi tridnevne vsote padavin gre za prvi tako intenziven dogodek po 19. septembru 2010 (slednji je bil z 154,5 mm/dan zelo blizu empiričnem izračunu stoletne povratne dobe dnevne količine padavin, ki znaša 160 mm/dan). Glede na prečni in vzdolžni prerez struge na merilnem mestu je pretok ob poplavnih dogodkih #2 in #3 ocenjen na preko 1 m³/s. V Ocizeljski jami beležimo takrat dvig vode v končnem sifonu za okoli 2,5 m (slika 4/15).



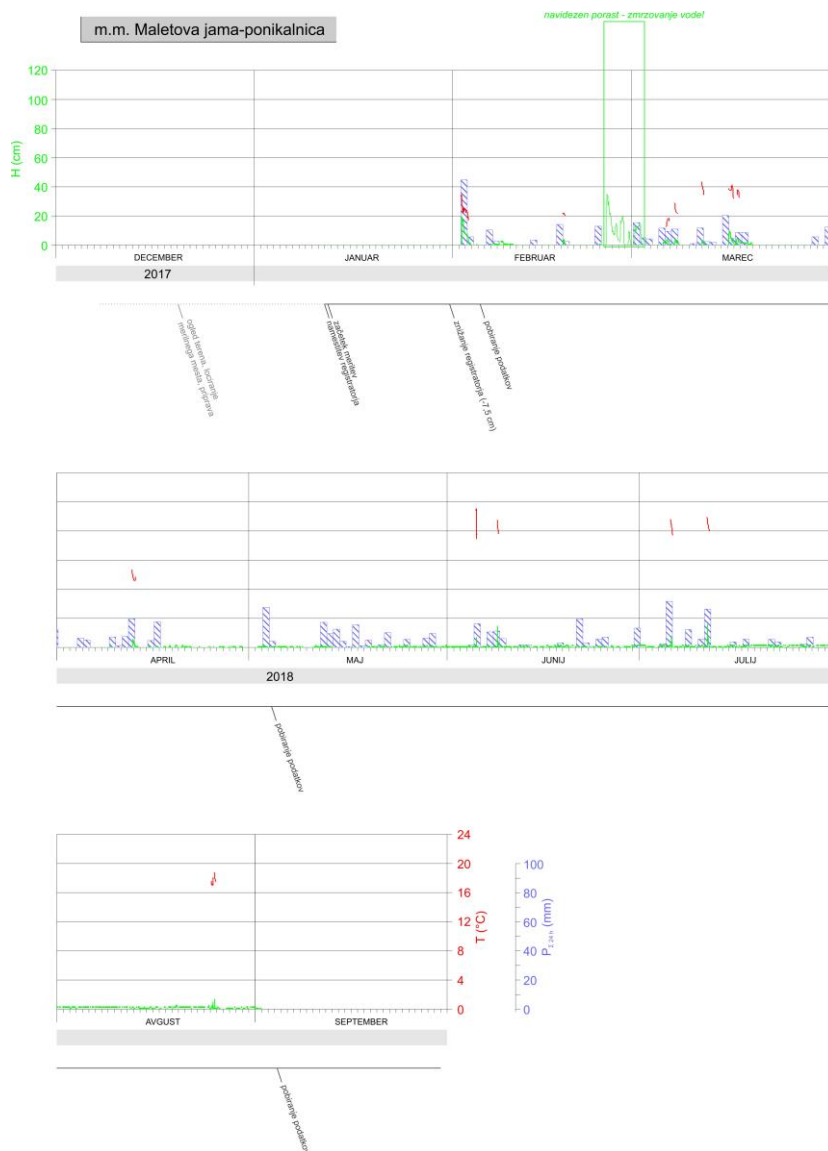
Slika 4/20. Dnevne (A), dvodnevne (B) in tridnevne (B) vsote padavin od leta 2014 z merilne postaje ARSO Kozina (<http://meteo.arso.gov.si/met>). Obdobje meritev na merilnem mestu Ocizeljska jama-ponikalnica je prikazano s temno modro, pred njim pa z vijolično barvo.

Podatki dopolnilnih raziskav potrjujejo zgolj občasno (cca. 15-20 na leto) hidrološko aktivnost ponikalnice, ki se preliva v Ocizeljsko jamo. Poplavni dogodki so kratkotrajnejši od prvotno pričakovanih, kar zmanjšuje vpliv na tunelsko cev v bližini Ocizeljske jame. Potrjeno je, da izrazito konični poplavni dogodki z ocenjeno povratno dobo daljšo od enega leta, ki so vezani na visoko dnevno kot tudi nekajdnevno vsoto padavin, ko

znaša ocenjeni pretok ob konici več kot 1 m³/s, bistveno ne vplivajo na dvig vode vzdolž glavnega rova Ocizeljske jame, na kar bi lahko vplivale lokalne zožitve jamskih rovov. Problematični znajo biti dlje časa trajajoči poplavni dogodki, ko se jamski sistem zasiti z vodo, kar bi se odražalo s splošnim dvigom gladine podtalnice; tovrstne situacije s povratno dobo daljše od enega leta do sedaj še nismo zaznali.

4.2.2.2.2 Merilno mesto Maletova jama-ponikalnica

Merilno mesto *Maletova jama-ponikalnica* je locirano na eni izmed ponikalnic tik pred Beško-Ocizeljskim jamskim sistemom, to je pred Maletovo jamo. Merilno mesto na ponikalnici je bilo vzpostavljeno 11. januarja 2018 in od takrat neprekinjeno deluje; zaradi previsoke postavitve avtomatskih registratorjev so podatki na voljo od 31. januarja 2018 dalje). Z avtomatskim registratorjem beležimo vodostaj in temperaturo vode vsakih 15 min. Namen meritev je merjenje odziva ponikalnice na padavine (postaja ARSO Kozina) ter vzporejanje površinskega poplavnega dogodka s tistim v Ocizeljski jami. Glede na potencialno prelivno strugo pri Maletovi jami, ki vodi v Miškotovo jamo v Lokah (Jama z naravnim mostom), je predmet zanimanja ponorna kapaciteta Maletove jame ter posledični hidrološki odziv Beško-Ocizeljskega jamskega sistema, kjer so vzpostavljena druga merilna mesta.



Slika 4/21. Grafična ponazoritev vseh poplavnih dogodkov na merilnem mestu Maletova jama-ponikalnica. Padavinskih podatkov (vir: <http://meteo.arso.gov.si/met>) za avgust 2018 do dneva oddaje tega poročila še ni bilo na voljo. Porast vodostaja konec februarja in začetek marca 2018 je navidezen, saj je posledica pritiska pri zmrzovanju vode neposredno pri senzorju.

Rezultati

Vodostaj se je gibal med <0 ter 20 cm, pri čemer po višini in trajanju poplavnega vala močno odstopa poplavni dogodek 2. februarja 2018, medtem ko sta 8. junija (15 cm) in 11. julija 2018 (16 cm) bolj kratkotrajna (slika 4/21). Ponikalnica se z merljivim povišanjem vodostaja odzove že ob padavinah, ki znašajo dobrih 10 L/m², po dalj časa trajajočem sušnem obdobju pa ne iti na 27 l/m² (3. maj 2018). Krivulja naraščanja in upadanja je manj koničasta kot v primeru ponikalnice, ki se prelija v Ocizeljsko jamo. Reakcija na padavine je lahko sočasna, lahko pa nastopi celo 4 ure prej.

Interpretacija

Izjemnih povišanj vodostaja v času merjenja nismo zaznali. Primerjava z merilnim mestom *Ocizeljska jama-ponikalnica* je zaradi prekrivanja zgolj 5 poplavnih dogodkov (#11 - #15 na merilnem mestu *Ocizeljska jama-ponikalnica*) močno omejena. Očitno pa je, da uspemo na merilnem mestu *Maletova jama-ponikalnica* registrirati slabo izrazite poplavne dogodke, na katere ponikalnica, ki ponika v Ocizeljsko jamo, niti ne reagira s hidrološko aktivacijo struge.

4.2.2.3 *Kraški izviri in sledilna poskusa*

Monitoring izvirov z zaledjem na območju načrtovane trase železnice smo zasnovali na osnovi predhodnih hidrogeoloških raziskav in rezultatov treh v zadnjih letih opravljenih sledilnih poskusov, s katerimi smo pridobili novo, dopolnilno znanje o pretakanju vode in prenosu snovi znotraj opazovanega kraškega vodonosnika (Gabrovšek in sodelavci, 2015). Zaradi možnega neposrednega vpliva gradnje in obratovanja železnice smo v program monitoringa vključili tri kraške izvire: Rižano in Osapsko reko z Osapsko jamo v Sloveniji ter Boljunec v Italiji.

Osnovni namen monitoringa je ugotoviti obstoječe (»ničelno«) stanje pred začetkom načrtovane gradnje ob različnih hidroloških razmerah. Analiza zbranih podatkov nam omogoča tudi boljše razumevanje značilnosti pretakanja vode in prenosu snovi v kraškem vodonosniku, ki ga bo presekala načrtovana trasa in ki napaja vse tri omenjene izvire. Za bolj natančno omejitev njihovih prispevnih zaledij in določitev smeri in značilnosti toka podzemne vode proti izvirom Timave v Italiji pa bomo ob ugodnih hidroloških pogojih, predvidoma v novembru 2018, izvedli še kombinirani sledilni poskus.

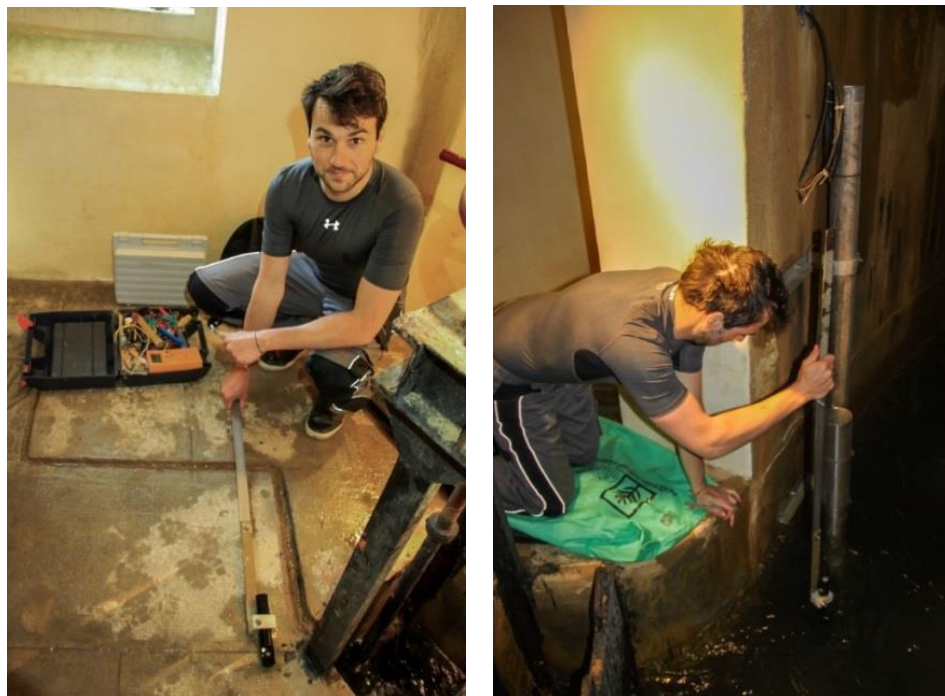
4.2.2.3.1 Rižana in Boljunec

V izviru Rižana smo 25. aprila 2017 postavili samodejni merilnik za merjenje specifične električne prevodnosti in temperature v 30-minutnih intervalih (HOBO Fresh Water Conductivity Data Logger; Part # U24-001). Kovinsko palico s pritrjenim merilnikom smo postavili v izvir v zajetju (slika 4/22). Podatke smo pobrali oktobra 2017, januarja 2018, aprila 2018 in septembra 2018.

Pretoke Rižane merijo na ARSO hidrološki postaji Kubed II. Podatke o izmerjenih pretokih v 30-minutnih intervalih za obdobje od aprila 2017 do septembra 2018 smo pridobili na spletni strani ARSO (www.arso.gov.si/vode/podatki/amp).

Na izviru Boljunec v Italiji smo zaradi slabih izkušenj v preteklosti, ko so nam ukradli dva merilnika, postavljena v strugi izvira, kovinsko palico s pritrjenim merilnikom za merjenje specifične električne prevodnosti in temperature v 30-minutnih intervalih (HOBO Fresh Water Conductivity Data Logger; Part # U24-001) postavili 25. aprila 2017 v stalni tok v Jami pred iztokom Boljunca na površje (slika 4/23-zgoraj). Dodatno smo 27. oktobra 2017 postavili še merilnik nivojev vode za oceno hidroloških razmer. V sklopu projekta je bila odobrena nabava samodejnega merilnika nivojev vode (HOBO 13-Feet Fresh Water Level Data Logger; Part # U20-001-04). Ker na dan zgoraj omenjenega terenskega ogleda naročeni merilnik še ni bil dostavljen, smo začasno namestili merilnik, ki je bil že prej kupljen v sklopu raziskovalnega programa

Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU (slika 4/23-sredina). Nato smo 31. januarja 2018 merilnik zamenjali z za potrebe projekta novo nabavljenim samodejnim merilnikom nivojev vode (HOB0 13-Feet Fresh Water Level Data Logger; Part # U20-001-04) (slika 4/23-spodaj). Podatke smo pobrali v oktobru 2017, januarju 2018, aprilu 2018 in septembru 2018.

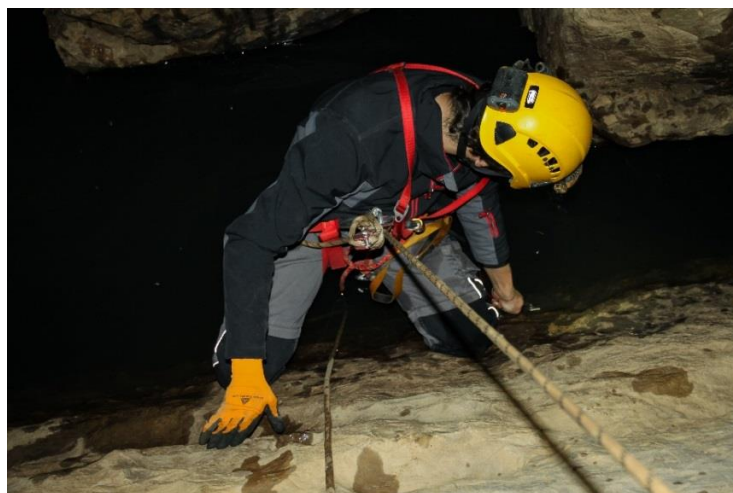


Slika 4/22. Postavitev samodejnega merilnika za merjenje specifične električne prevodnosti v 30-minutnih intervalih v izviru Rižana 25. aprila 2017.

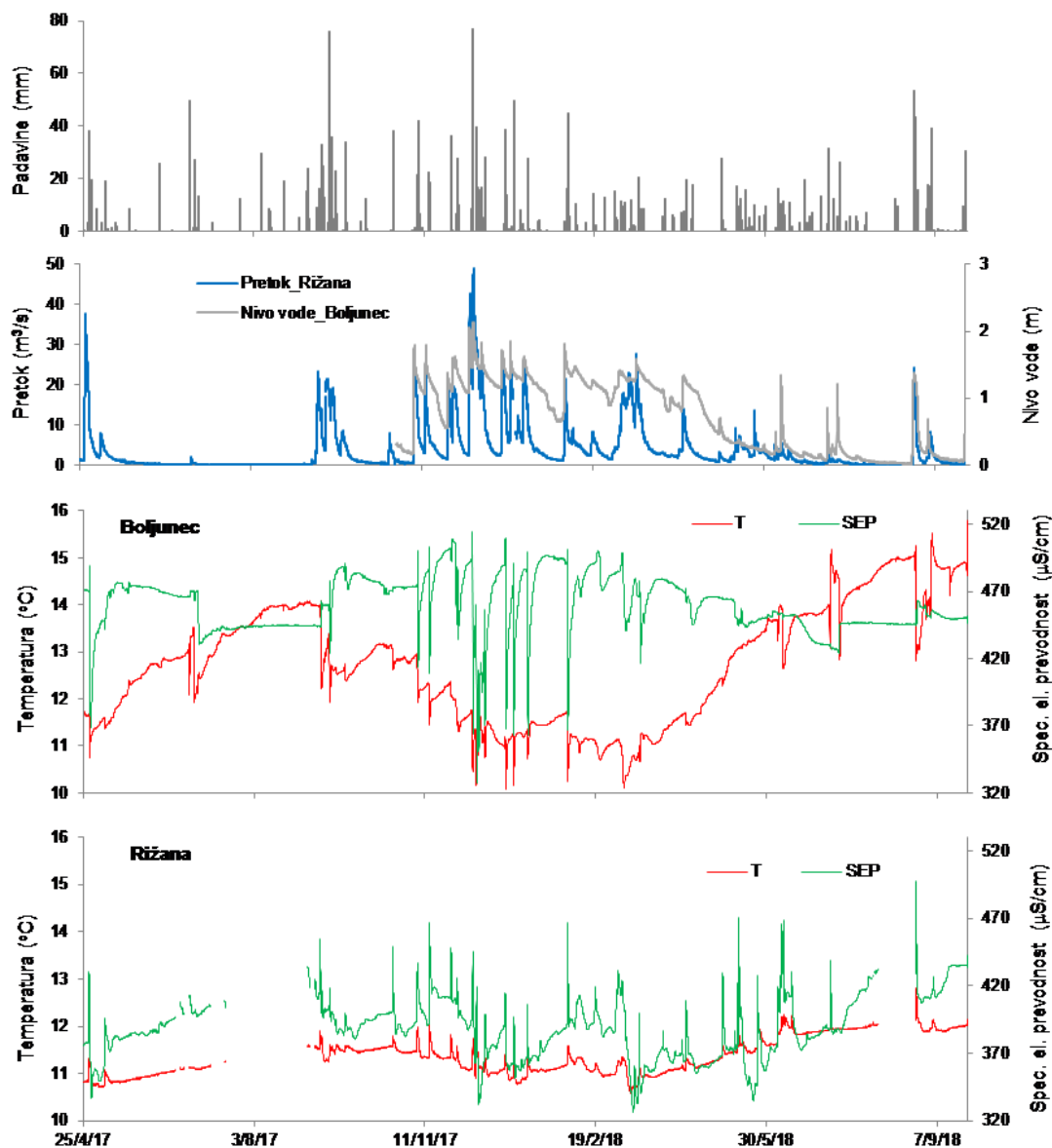
Za korekcijo merjenih vrednosti nivojev vode v Boljuncu smo uporabili podatke o zračnem tlaku v 30-minutnih intervalih z ARSO meteorološke postaje Koper (56 m n.m.), za prikaz padavinskih razmer v zaledju opazovanih izvirov pa dnevne podatke z ARSO padavinske postaje Kozina (486 m n.m.). Ti podatki so prosto dostopni na spletni strani <http://www.meteo.si/>.

Rezultati in interpretacija

Za prikaz rezultatov meritev smo uporabili podatke od aprila 2017 do septembra 2018 (slika 4/24). Dnevne padavine so bile merjene na ARSO padavinski postaji v Kozini, pretoki Rižane pa v 30-minutnih intervalih na ARSO hidrološki postaji Kubed II. Podatki o temperaturi (T) in specifični električni prevodnosti vode (SEP) v 30-minutnih intervalih za izvir Rižano ter podatki o nivojih vode, T in SEP v 30-minutnih intervalih za izvir Boljunec so pridobljeni s samodejnih merilnikov, ki so bili postavljeni v sklopu programa monitoringa. Pri določitvi nivojev vode v izviru Boljunec smo upoštevali korekcijo glede na spreminjanje zračnega tlaka. Uporabili smo podatke o merjenju zračnega tlaka v 30-minutnih intervalih na ARSO meteorološko postajo Koper.



Slika 4/23. Postavitve samodejnih merilnikov v Jamo na izviru Boljunec 25. aprila 2017 (zgoraj), 27. oktobra 2017 (v sredini) in 31. januarja 2018 (spodaj).



Slika 4/24. Padavine na postaji Kozina in pretoki Rižane na postaji Kubed ter rezultati meritev samodejnih merilnikov nivojev vode v Jami na izviru Boljunec ter temperature in specifične električne prevodnosti vode v izviru Rižana (manjkajo podatki v času najnižjih vodostajev, ko je bil samodejni merilnik nad gladino vode) in Jami na izviru Boljunec v obdobju od aprila 2017 do septembra 2018.

V obdobju od aprila 2017 do septembra 2018 je bil razpon vrednosti specifične električne prevodnosti v izviru Rižana med 326 in 497 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Za primerjavo navajamo, da so bile te vrednosti v obdobju monitoringa v letih 2012 in 2013 nekoliko nižje, med 299 in 492 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Knez in sodelavci, 2013). Razlik v

razponih izmerjenih temperatur praktično ni, v letih 2017-2018 se temperatura giblje med 10,6 in 12,8 °C. V izviru Boljunec je razpon vrednosti specifične električne prevodnosti v obdobju 2017-2018 podoben kot v Rižani, med 327 in 515 $\mu\text{S}/\text{cm}$, razpon temperature pa je večji, med 10,1 in 15,8 °C. Zaradi spremenjene lokacije merjenja neposredna primerjava z rezultati predhodnega monitoringa ni možna.

Oba izvira kažeta podobne hidrološke značilnosti s hitrim povečanjem pretokov po padavinskih dogodkih. Spremljanje vrednosti T in SEP pa kaže na razlike v značilnostih pretakanja vode in prenosa snovi v njunem prispevnem zaledju. Izvir Rižane reagira na padavinske dogodke najprej z manjšim povečanjem prevodnosti in temperature, ki traja nekaj ur. Potem sledi zelo hitro in izrazito znižanje, nato pa nekoliko bolj počasno vračanje proti izhodiščni vrednosti. Bolj izrazite spremembe v izviru Boljunec, kjer ne zaznamo začetnega povišanja, ampak padavinam sledi znižanje vrednosti obeh parametrov, kažejo na manjše zaledje ter večji vpliv alogenega napajanja in hitrega pretakanja po glavnih kraških kanalih. V večjem prispevnem zaledju izvira Rižana je ta vpliv manj izrazit, zvišanje SEP po padavinskih dogodkih kaže na pomemben delež iztiskanja vode, ki je bila dalj časa uskladiščena v kraškem vodonosniku.

4.2.2.3.2 Osapska jama

Meritve v Spodnjem sifonu Osapske jame smo z avtomatskim registratorjem pričeli 26. aprila 2017, podatki pa so na voljo do 8. decembra 2017. Spremljamo vodostaj in temperaturo vode. Interval merjenja je 15 min. Gre za prve zvezne meritve (monitoring) v tej jami tako blizu nihanja kraške podtalnice (slika 4/25), pri čemer nas zanima predvsem nadtlak, ki je zaradi zožitev višji kot na merilnem mestu pri vhodu, ter značilnosti upadanja vodostaja. Hkrati gre tudi za monitoring obstoječega (»ničelnega«) stanja prelivnega izvira na vplivnem območju tunela T2.

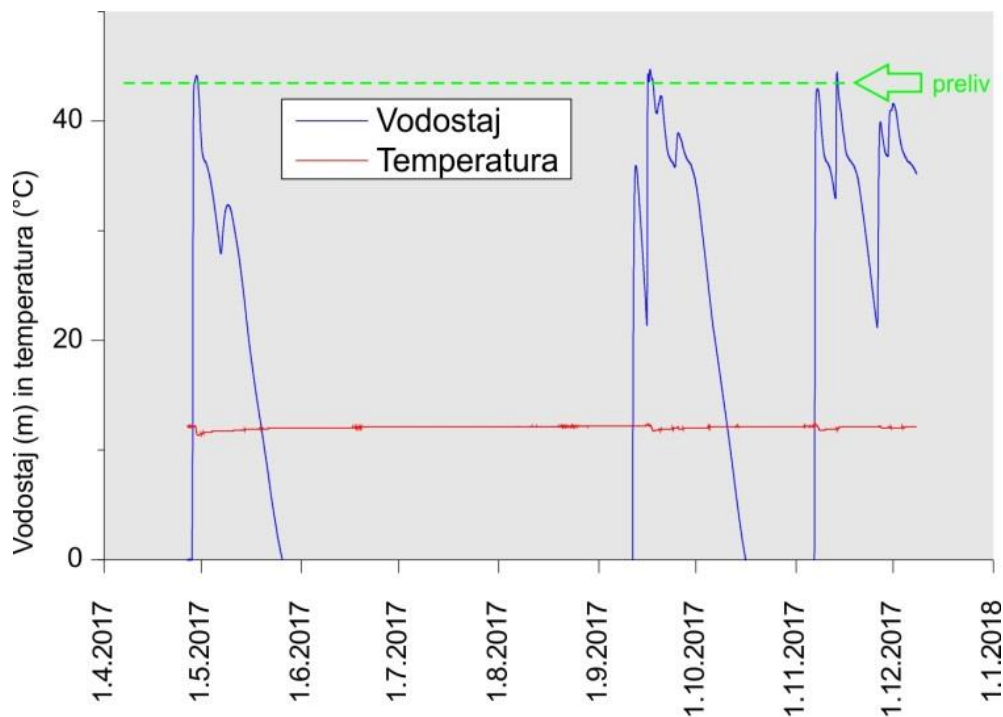


Slika 4/25. Spodnji sifon oz. sifonsko jezero v Osapski jami ob nizkem vodostaju konec maja 2018; viden je z vodo zaliti del jame (zgornja polovica fotografije) ter avtomatski registrator (desno spodaj) približno 1,5 m nad takratnim vodostajem.

Rezultati

Rezultati merjenja kažejo na nihanje podtalnice za slabih 45 m (slika 4/26), kar je ob visokem vodostaju še vedno cca. 100 m pod niveleto portala T2 pri Črnem Kalu. Porasti vodostaja so razmeroma hitri (5-9 m/h), upadanje pa znatno počasnejše (2 m/dan), a praktično zvezno ($\pm 0,5$ m/dan) vsaj v spodnjih 35 m. Rahli pregibi pri upadanju se kažejo 2,5 m in 21 m, izrazitejši pa 35 m nad merilnim mestom. Zvezen dvig vodostaja od merilnega mesta do preliva se zgodi praviloma točno v enem dnevu. Nadtlak zaradi zožitev znaša 1,2 m (gre pa za prvi izračun na osnovi jamarske izmere jame, ki jo bo potrebno nadgraditi s podrobnejšimi meritvami). Baznega (postopnega) upadanja merilno mesto ne zazna, saj je postavljeno za nekaj metrov previsoko.

Temperatura je praktično stalna in se giba med 11,3 °C ter 12,5 °C. Dvigi in spusti podtalnice ne povzročajo sprememb temperature, prelivi preko vhodnega dela pa; ne glede na letni čas med prelivnim dogodkom temperatura upade za nekaj desetink, pozno poleti in jeseni pa pred upadom za nekaj desetink °C naraste.



Slika 4/26. Nihanje gladine in temperature vode na merilnem mestu Osapska jama-Spodnji sifon.

Interpretacija

Interpretacija rezultatov kaže, da merimo nihanje kraške vode med naslednjim višinskima točkama:

- zgornja točka: preliv iz Osapske jame skupaj z nadtlakom, ki ga povzročajo ožine med Spodnjim sifonom in prelivom (bližina vhoda), ter
- spodnja točka: nekaj metrov nad višino domnevne flišne luske, ki drži dokaj stabilen vodostaj Spodnjega sifona.

Zvezen in enakomeren upad vodostaja do 35 m nad merilnim mestom kaže na nihanje vodostaja v regionalnem kraškem vodonosniku. Enakomerna hitrost naraščanja (in v precejšnji meri tudi upadanja) kaže na precej homogeno višinsko prostorsko razporeditev kraške prevotljenosti brez bistvenih prelivanj skozi kraške rove večjih prečnih presekov. Glede na to, da se vodostaj Spodnjega sifona spusti le še nekaj metrov pod merilno mesto in da v hidrogramu ni opaznega postopnega upadanja vodostaja v višini merilnega mesta, sklepamo, da drži nizek vodostaj Spodnjega sifona (delno) nepropustna zapora (flišna luska?), medtem ko regionalni vodostaj onkraj zapore še naprej upada. V tem primeru predstavlja Spodnji sifon ob nizkem vodostaju lokalno ujeto vodo, ob višjem pa komunicira z regionalnim epifreatičnim delom vodonosnika. Kam odteka voda iz Osapske jame ni znano - del odgovora bi podalo spremljanje pretoka Osapske reke.

Bistvenega nadtlaka zaradi zožitev glavnega vodnega rova Osapske jame ni zaznati; merilno mesto na vhodu Osapske jame tako relativno dobro opisuje vodostaj v širšem regionalnem vodonosniku.

Stabilna temperatura kaže na pretežno avtogeni dotok (prenikla voda), kar se ujema z relativno dobro povezavo ugotovljeno s sledenjem na Podgorskem krasu leta 2009 ter slabo povezavo ugotovljeno s sledenji z Beško-Ocizeljskega jamskega sistema in brkinskih ponikalnic.

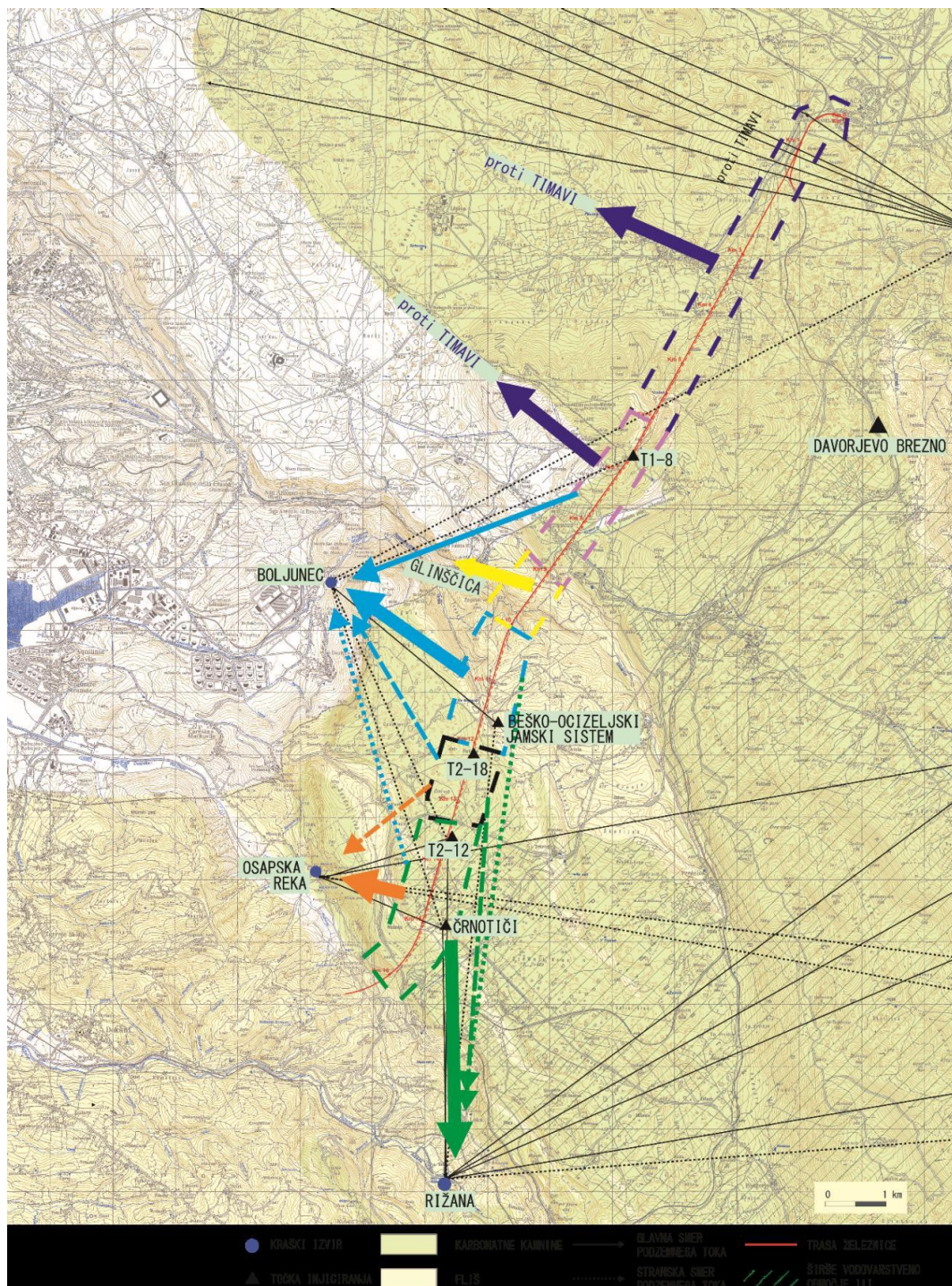
4.2.2.3.3 Načrtovana sledilna poskusa

V preteklih letih izvedeni sledilni poskusi so izboljšali razumevanje smeri in značilnosti pretakanja podzemne vode na območju predvidene trase (Gabrovšek in sodelavci, 2015), vendar je za nekatere odseke ta ocena manj zanesljiva. Zato v sklopu dopolnilnih raziskav načrtujemo izvedbo dveh dodatnih sledenj. Kot točko injiciranja sledila na območju tunela T1 smo izbrali Davorjevo brezno (kat. št. 10060) južno od Kačič (slika 4/27). Lokacija je med ponorom Reke v Škocjanske jame in vrtino T1-8, ki sta že bili točki injiciranja pri prejšnjih sledenjih. Za ponikalnico Reko je zanesljivo dokazano, da teče proti izviru v Tržaškem zalivu, predvsem proti Timavi. Eno od sledenj (Mosetti, 1965) pa je nakazalo tudi možnost odtekanja proti izviru Boljunec, a te povezave ni bilo možno zanesljivo potrditi. S sledenjem v vrtini T1-8 smo dokazali stransko povezavo z izviri Boljunca, zelo verjetna glavna smer pa je proti izvirov v Tržaškem zalivu. Za potrditev te smeri bi morali uporabiti bistveno večjo količino sledila, a tega zaradi bližine izvira Boljunec in nevarnosti njegovega onesnaženja s pojavom sledila v previsokih koncentracijah ni bilo možno narediti.

Z injiciranjem sledila v vodni tok v Davorjevem breznu, ki leži vzhodno od predvidene trase tunela T1, bomo lahko ugotovili smeri in značilnosti toka vode s tega odseka trase ter bolj zanesljivo potrdili položaj razvodnice med najpomembnejšimi izviri območja (Rižana, Boljunec, Timava). Na sestanku, ki je potekal 21. marca 2018 na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU v Postojni, smo se dogovorili za sodelovanje s slovenskimi in italijanskimi jamarji, ki raziskujejo Davorjevo brezno in bodo pomagali pri injiciranju sledila in vzorčenju v kraških jamah ter sodelavci Univerze v Trstu, ki bodo pomagali pri organizaciji vzorčenja v izviri in kraških jamah na slovenski in italijanski strani, določili pa tudi zadolžitve sodelujočih pri posameznih aktivnostih. Na naslednjem sestanku, ki je bil 17. maja 2018, smo potrdili seznam vzorčnih mest, določili način in frekvenco vzorčenja ter ekipe, ki so zadolžene za vzorčenje na posameznih točkah. Izdelali smo načrt injiciranja. Vodo, ki so jo jamarji zajeli v Davorjevem breznu, smo uporabili za izdelavo umeritvene krivulje. Terenski ogled točk vzorčenja in odvzem slepih vzorcev bomo izvedli 2. oktobra 2018. Začetek izvajanja poskusa je odvisen od padavin in hidroloških razmer ter napovedi. Najbolj primerno je obdobje višjega vodostaja po padavinah, ko je vadozna cona dobro namočena, pretoki že začnejo upadati, v dneh po injiciranju pa niso pričakovane močnejše padavine, ki bi povzročile preveliko razredčenje injiciranega sledila. Glede na poznavanje klimatskih razmer na obravnavanem območju predvidevamo, da bodo take razmere v jeseni 2018, verjetno v novembru.

Za bolj natančno določitev obsega zaledja izvira Rižane in razvodnice z izvirov Boljunec pa bodo pomembni rezultati injiciranja v vrtini na območju trase tunela T2, verjetno severno od vrtine T2-12, v katero smo injicirali sledilo pri prejšnjem sledilnem poskusu (Gabrovšek in sodelavci, 2015). Glede na dosedanje rezultate se zdi najbolj primerna vrtina T2-18, ki je bila izvrtana v coni, za katero je napoved smeri

podzemnega toka na osnovi dosedanjih rezultatov najmanj zanesljiva, možna pa proti vsem trem izvirom (Rižana, Osapska reka, Boljunec). Dokončna izbira najbolj primerne vrtine bo odvisna tudi od ugotovljenih hidrogeoloških značilnosti in rezultatov opravljenih testov v vrtinah. Pri odločitvi o njeni primernosti bomo sodelovali s partnerji, ki so zadolženi za hidrogeološki del projektnih raziskav. Ocenjujemo, da bi bilo najbolj primerno to sledenje izvesti vzporedno s sledenjem v Davorjevem breznu z uporabo drugega primerne sledila, saj bi lahko na ta način optimizirali organizacijo vzorčenja na večjem številu zajemnih mest.



Slika 4/27. Smeri podzemnega pretakanja vode na območju trase. Za posamezne odseke trase (črtkani okvirji v različnih barvah) so najbolj verjetne smeri podzemnega toka vode označene s puščicami v ustreznih barvah (temno modra za Timavo, svetlo modra za Boljunec, rumena za Glinščico, zelena za Rižano, oranžna za Osapsko reko); polna črta označuje glavno smer (debelejša črta pomeni večji delež pretakanja v tej smeri), pikčasta črta stransko smer, dokazano s sledilnim poskusom, črtkana črta pa verjetno povezavo, ki ni bila dokazana s sledilnim poskusom. Kot točki injiciranja za načrtovano kombinirano sledenje, ki ga nameravamo izvesti v jeseni 2018, sta označeni jama Davorjevo brezno in vrtina T2-18.

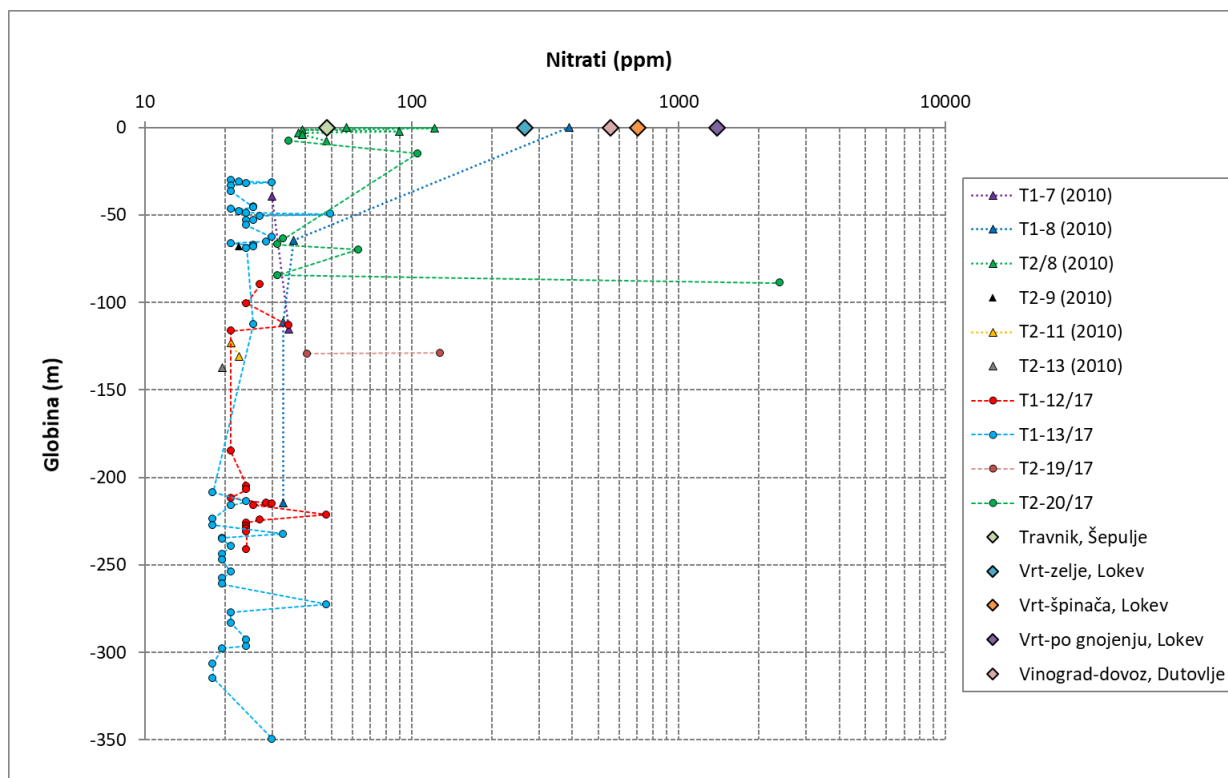
4.2.2.4 Koncentracija nitratov v zapolnitvah zakraselih delov vrtin

4.2.2.4.1 Analiza zapolnitev v vrtinah na prisotnost nitratov

V okviru krasoslovne spremljave izbora trase za gradnjo drugega tira smo že leta 2010 na terenu aseptično vzorčevali nekatere zapolnitve razpok (sedimenti, gline), ki so se pojavile v vrtinah T1-7, T1-8, T2/8, T2-11, T2-13. V letu 2018 so bile vzorčevane zapolnitve še v vrtinah T2-20/17, T2-19/17, T1-12/17 in T1-13/17.

Iz vzorcev smo določili koncentracijo nitratov. Koncentracija nitratov je bila običajno višja v zgornjih vzorčevanih plasteh in kontrolnih vzorcih prsti s kraškega površja. Koncentracije v nižje ležečih zapolnitvah so bile večinoma pod 30 ppm. Nekateri vzorci pa so izkazali precej višje vrednosti, npr. v vrtini T2-19/17 je bila na globini 128,8 m koncentracija nitratov 128 ppm, v vrtini T2-20/17 pa na globini 14,8 m 105 ppm, globini 69,9 m 63 ppm ter na globini 88,8 m pa kar 2400 ppm. Slednja vrednost presega celo najvišjo vrednost, ki smo jo zabeležili v kraški zemlji po gnojenju (slika 4/28, Vrt-po gnojenju, Lokev, 1395 ppm). Za primerjavo so na sliki 28 podane vrednosti nitratov v vrtinah, vzorčevanih 2010 in 2018 ter vrhnjem sloju različnih tipov prsti, pobranih na Krasu.

Povišane koncentracije nitrata v kraškem vodonosniku nakazujejo možnost povišanih vrednosti tudi na izviri. Pomen sledenja nitratov v naravi je vezan na možnost zastrupitve, zlasti preko pitne vode. Ključnega pomena je ugotoviti naravno ozadje koncentracije nitratov oziroma mehanizma, ki uvaja povišane koncentracije v kraški ekosistem. Nitrati so ključne spojine v ciklu dušika v naravi, pri katerem igrajo pomembno vlogo tudi mikroorganizmi. Velikokrat se v naravi povezuje povišane nitrates z fekalno kontaminacijo, zato je izjemnega pomena ugotovitev prisotnosti ključnih predstavnikov fekalne kontaminacije. Pomembno je ugotoviti tudi vlogo mikrobov, ki so vpleteni v cikel dušika (npr. nitrifikacija - biološka oksidacija amonijaka ali amonija v nitrit, čemur sledi oksidacija nitrita v nitrat).



Slika 4/28. Koncentracije nitratov v zapornitvah v vrtinah T1-7, T1-8, T2/8, T2-11, T2-13, T2-20/17, T2-19/17, T1-12/17 in T1-13/17 ter na površju v različnih tipih prsti s krasa (Šepulje, Lokev, Dutovlje).

4.2.2.4.2 Predlog nadaljnjih raziskav (metagenomske analize zapornitev iz vrtin)

Poskusno smo iz nekaterih vzorcev, pobranih leta 2010, kljub majhni količini, uspešno izolirali okoljsko DNA. Na manjšem številu vzorcev smo nato poskusno izvedli sekvenciranje DNA (metoda 454 pirosekvenciranje) za ugotovitev diverzitete bakterij (specifično namnoževanje 16S r DNA genov). Na večini vzorcev nam je uspelo dobiti pozitiven signal.

Iz vzorčevanega materiala zapornitev iz izbranih lokacij (odvisno od koncentracije nitratov, slika 28) nameravamo izolirati okoljsko DNA. Pričakujemo, da bo DNA v nekaterih primerih zaradi majhne količine izhodiščnega materiala (količina nekaterih vzorcev je bila izjemno majhna, tako, da smo lahko določili le koncentracijo nitratov) ali majhne količine biološkega materiala, njena kakovost oziroma količina neprimerna za nadaljnje analize. Na podlagi njene kakovosti bi na ključnih vzorcih opravili sekvenciranje 16S rDNA naslednje generacije (angleško, NGC, next generation sequencing), s katerim bi dobili informacije o pestrosti mikrobne združbe, vključno s prisotnostjo indikatorjev fekalne kontaminacije, in mikrobni metabolni poti vezanih na kroženje dušika (nitrifikacija, denitrifikacija, amonifikacija).

Pričakujemo, da bi s predlagano metagenomsko raziskavo lahko ovrednotili vlogo in vpliv mikrobne združbe na koncentracijo nitratov v globokem krasu, ugotovili morebitno prisotnost ključnih indikatorjev fekalne kontaminacije ter biološki mehanizem, ki zagotavlja/vzdržuje določeno koncentracijo dušičnih komponent v krasu. Te informacije so ključnega pomena za ugotovitev ničelnega oziroma začetnega stanja v krasu pred gradnjo predorov oziroma vnosom umetne motnje v naravni ekosistem.

4.2.3 Zaključki

Krasoslovni popis vrtin

Glede na podatke iz vrtin lahko zaključimo, da je podzemlje pod Velikim Gradiščem, kjer poteka trasa predora **T1** zelo zakraselo. Kljub temu, da so z vrtanjem naleteli le na eno večjo prazno jamo v vrtini T1-13/17 in so ponekod zelo pogoste manjše votlinice (npr. T1-14/17), pa kažejo na intenzivnost zakrasevanja predvsem jame, votlinice centimetrskih in decimetrskih dimenzij ter zakrasele odprte razpoke, ki so zapolnjene s kraško oziroma jamsko ilovico. Predvsem okoli 40 metrov visoka jama v celoti zapolnjena z jamsko ilovico na nivoju predora v vrtini T1-13/17 nakazuje, da je tam pri gradnji predora pričakovati večje jamske prostore (prazne in zapolnjene). Čeprav v ostalih vrtinah (tudi vrtinah izvedenih v 1. fazi raziskav) na območju predora T1 neposredno ni bilo najdenih večjih jam, pa jih v vrtinah nakazujejo manjše kraške votlinice, na bližnjem območju pa tudi več kilometrov dolge jame na podobnih nivojih nad dolino Glinščice. Kot je bilo ugotovljeno zgoraj so v okolici jam, ki jih občasno poplavlja (epifreatična cona) tudi razpoke v njihovi bližini zapolnjene z ilovico. Domnevamo, da spadajo v to kategorijo »zaglinjene« zakrasele razpoke v spodnjem delu vrtine T1-12/17 med 185 in 231,7 metrom, ki se tudi nahajajo na nivoju predora, hkrati pa so na približno enakem nivoju kot velika zapolnjena jama v vrtini T1-13/14. Kot je bilo že omenjeno, tudi to jamo obdaja več metrov debelo območje »zaglinjenih« razpok. Obstaja torej velika verjetnost, da tudi na območju vrtine T1-12/17 pri gradnji predora naletijo na zapolnjene in morda tudi prazne jamske prostore, kar nakazujejo tudi rezultati georadarskih meritev. Podobno situacijo lahko pričakujemo tudi na območju vrtine T1-14/17, kjer se nahaja horizont korozijsko razširjenih in z ilovico zapolnjenih razpok neposredno nad nivojem predora, pod njim pa horizont manjših kraških votlinic.

Čeprav v vrtinah na območju predora **T2** nismo našli večjih jam, govorijo o relativno dobri podzemni zakraselosti kraškega (karbonatnega) dela tega območja predvsem korozijsko razširjene razpoke, v vrtinah T2-19/17 in T2-20/17 pa tudi manjše odprte in z ilovico zapolnjene korozijske votlinice centimetrskih in decimetrskih dimenzij, ki so pogostejše neposredno pod kraškim površjem in neposredno nad kontaktom s spodaj ležečim flišem. Izrazito podzemno zakraselost kraških delov neposredne okolice vrtin so pokazale tudi georadarske meritve.

Analiza zapolnitev v jedrih starih in novih vrtin na **prisotnost nitratov** je podala približno enake vrednosti pri analiziranih vrtinah, odstopajo pa posamični vzorci z močno povišanimi vrednostmi. Najvišje vrednosti so bile zabeležene ravno pri jedrih vrtin izvrtanih v dopolnilnih raziskavah. Vzrok za tovrstna povišanja ni znan, podajamo pa predlog raziskav, ki bi nam lahko podale odgovor na ta pojav.

Hidrogeologija Beško-Ocizeljskega jamskega sistema s površinskimi dotoki

Dodatne raziskave so z razširitvijo mreže merilnih mest potrdile osnovno napajanje Beško-ocizeljskega jamskega sistema s ponikalnicami. Površinska merilna mesta so nam podala informacijo o odzivnosti površinskih vodotokov na padavine, kjer dotok v Ocizeljsko jamo deluje po principu preliva ob znatni, ne pa ob običajni količini padavin. Decembra 2017 smo na več merilnih mestih uspeli dobro

registrirati poplavni dogodek z izračunano poplavno dobo med 2 in 3 leta, ki je na merilnem mestu najbližjem predvideni trasi tunela povzročil dvig vode za okoli 2,5 m. To kaže na dobro pretočno sposobnost neznanega dela glavnega rova na drugi strani sifona. Bistvene vloge pri intenzivnejšem poplavljanju očitno nima dotok skozi udornico na vhodu, temveč stranski dotok iz Zasiganega rova, katerega zaledje bomo lahko bolje opredelili z nadaljnjimi meritvami. Vpliv na poplavljanje imajo ožine, ki lahko dvignejo vodostaj za več deset metrov, medtem ko ostajajo vmesni deli nepoplavljeni. Dodatne raziskave so nakazale osnovne smeri pretakanja vode zlasti v Ocizeljski jami in kažejo na več prelivnih nivojev, preko katerih te vode odteka naprej v vodonosnik. **Ti nivoji kažejo tudi veliko prevotljenost vodonosnika za znanimi deli Beško-Ocizeljskega jamskega sistema.** Nadaljnje analize bodo šle predvsem v smeri ocene maksimalnih pretokov, dodatne zaključke pa pričakujemo tudi od primerjave jamskih pretočnih in temperaturnih hidrogramov z pretočnimi hidrogrami glavnih površinskih dotokov. Na podlagi vseh pridobljenih podatkov ostajamo optimistični, da nam bo do konca raziskav uspelo celoten sistem napajanja Beško-ocizeljskega jamskega sistema opisati z numeričnim modelom.

Monitoring kraških izvirov

Z namenom določitve značilnosti kraških izvirov pred začetkom načrtovane gradnje ("ničelno stanje") ob različnih hidroloških razmerah smo nadaljevali z monitoringom v izviri Rižana in Boljunec, začeli pa smo s pridobivanjem podatkov iz Osapske jame, ki deluje kot visokovodni preliv Socerbskega krasa. Ugotovljene so bile podobne hidrološke značilnosti Rižane in Boljunca, spremljanje vrednosti T in SEP pa je pokazalo na razlike v značilnostih pretakanja vode in prenosa snovi v njunem prispevnem zaledju. Nihanje vode v Osapski jami je pokazalo na relativno majhen nadtlak ob višku poplavnega dogodka ter na izredno zvezno upadanje vodostaja po njem. Majhno nihanje temperature, tudi ob prelivih, kaže na pretežno avtogeno napajanje vodonosnika v zaledju Osapske jame.

Pripravljeni smo na izvedbo kombiniranega sledilnega poskusa, s katerim bomo dodatno pojasnili smeri in značilnosti toka vode z območja tunela T1 ter bolj zanesljivo potrdili položaj razvodnice med najpomembnejšimi izviri območja načrtovane trase (Rižana, Boljunec, Osapska reka, Timava).

Sledilna poskusa

Nadaljujemo z pripravo izvedbe dveh sledilnih poskusov, ki bosta dopolnila dosedanje znanje o smereh in značilnostih pretakanja podzemne vode na območju predvidene trase. Kot točko injiciranja sledila na območju tunela T1 smo izbrali Davorjevo brezno (kat. št. 10060) južno od Kačič. Lokacija je med ponorom Reke v Škocjanske jame in vrtino T1-8, ki sta že bili točki injiciranja pri prejšnjih sledenjih. Za ponikalnico Reko je zanesljivo dokazano, da teče proti izvirom v Tržaškem zalivu, predvsem proti Timavi. S sledenjem v vrtini T1-8 smo potrdili stransko povezavo z izviri Boljunca, zelo verjetna glavna smer pa je proti izvirom v Tržaškem zalivu. Z injiciranjem sledila v vodni tok v Davorjevem breznu, ki leži vzhodno od predvidene trase tunela T1, bomo lahko ugotovili smeri in značilnosti toka vode s tega odseka trase ter bolj zanesljivo potrdili položaj razvodnice med najpomembnejšimi izviri območja (Rižana, Boljunec, Timava). Na sestanku, ki je potekal 21. marca 2018 na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU v Postojni, smo se dogovorili za sodelovanje s slovenskimi in italijanskimi jamarji, ki raziskujejo Davorjevo brezno in bodo pomagali pri

injiciranju sledila in vzorčenju v kraških jamah ter sodelavci Univerze v Trstu, ki bodo pomagali pri organizaciji vzorčenja v izviri na italijanski strani. Izdelali smo osnutek načrta sledenja, v katerem smo predvideli 14 vzorčnih mest v izviri in kraških jamah na slovenski in italijanski strani, določili pa tudi zadolžitve sodelujočih pri posameznih aktivnostih. Začetek izvajanja poskusa je odvisen od padavin in hidroloških razmer ter napovedi. Najbolj primerno je obdobje višjega vodostaja po padavinah, ko je vadozna cona dobro namočena, pretoki že začnejo upadati, v dneh po injiciranju pa niso pričakovane močnejše padavine, ki bi povzročile preveliko razredčenje injiciranega sledila. Glede na poznavanje klimatskih razmer na obravnavanem območju predvidevamo, da bodo take razmere v jeseni 2018, zato je vse potrebno za izvedbo sledenja že pripravljeno.

Druga točka injiciranja bo predvidoma v vrtini na območju trase tunela T2, verjetno severno od vrtine T2-12, v katero smo injicirali sledilo pri prejšnjem sledilnem poskusu. Izbira najbolj primerne vrtine bo odvisna od ugotovljenih hidrogeoloških značilnosti in rezultatov opravljenih testov v vrtinah. Pri odločitvi o njeni primernosti bomo sodelovali s partnerji, ki so zadolženi za hidrogeološki del projektnih raziskav. Ocenjujemo, da bi bilo najbolj primerno to sledenje izvesti vzporedno s sledenjem v Davorjevem breznu z uporabo drugega primerne sledila, saj bi lahko na ta način optimizirali organizacijo vzorčenja na večjem številu zajemnih mest. Opravljeno sledenje bo dodatno pojasnilo značilnosti pretakanja vode v neposrednem zaledju izvira Rižane ter položaj njene razvodnice z izviri Boljunca.

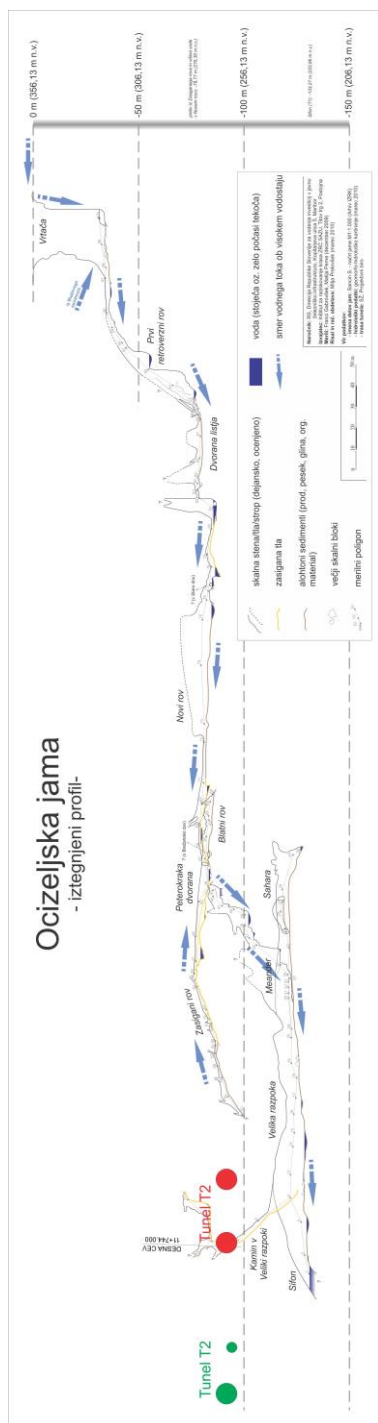
Ocena prevotljenosti

Tunela T1 in T2 potekata v večjem delu skozi karbonatne kamnine, ki so povečini dobro zakrasele. Zaradi velike zakraselosti, ki je botrovala preseku trase z jamskim rovom, se je v preteklosti že premaknilo traso tunela T2 na območju Ocizeljske jame (slika 4/29). Z vidika prevotljenosti prinašajo dopolnilne raziskave neposreden vpogled v značilnosti zakraselega dela kraškega masiva, v kolikor so globoke vrtine pozicionirane na krasu; s tega vidika smo v okviru dopolnilnih preiskav popisati 4 vrtine: T1-12/17, T1-13/17, T2-18/17 in T2-19/17. Posebno pozornost je potrebno nameniti ugotovljeni prevotljenosti v vrtini T1-13/17 oz. prevotljenosti med vrtinama T1-12/17 in T1-14/17, s katero se je napovedana prevotljenost potrdila, na T1-13/17 pa je vrtina celo presekala predvidoma relikten kraški rov, ki je posledica prejšnjih speleogenetskih faz.

Za najbolj zakraselo vrtino se je izkazala vrtina T1-13/17. Jame se pojavljajo tako v zgornjem kot spodnjem jedrovanem delu vrtine, zgoraj med 32. in 34. metrom ter 48. in 50. metrom, korozijsko razširjene razpoke zapolnjene z glino pa so pogoste do 77. metra. V spodnjem delu jedra je odprta jama z 20 cm gline v dnu med 205,3 in 208,5 m, glavno jamo pa predstavlja 41 m gline in meljaste gline med 234. in 275. metrom. Med omenjenima jamama (oziroma nivojema iste jame?) je kamnina preprejena z razširjenimi razpokami zapolnjenimi z glino. Na prvi pogled se jamski sediment v zgornjem jedrovanem delu vrtine nekoliko razlikuje od sedimenta v spodnjem delu. Zgoraj je nekoliko bolj grobo zrnat, bolj nehomogen ter vsebuje tudi večje klaste prikamnine in flišne prodnike, medtem ko je v spodnjem delu sediment drobneje zrnat, bolj homogen in ponekod laminiran (meljasta glina), od večjih klastov pa glede na terenski pregled vsebuje le posamezne preperele drobce apnenčaste prikamnine. Če bi v zgornjem delu še morda lahko šlo za lokalni donos materiala z lokalnimi občasnimi tokovi s fliša, pa gre v spodnjih delih nedvomno za večje jamske

prostore v katerih se je odlagala »poplavna ilovica«, verjetno kot stranski produkt neke večje ponikovalnice, ki je tudi oblikovala to jamo in je prenašala material morda tudi iz bolj oddaljenih območij. Pomembno je tudi, da so tudi v vrtini T1-12/17 v spodnjem jedrovanem delu (nivo približno kot spodnji del vrtine T1-13/17) razpoke razširjene in močno zamazane z ilovico, za katero domnevamo, da ni prišla neposredno iz območja nad jamo, ampak da gre tudi v teh primerih za poplavno ilovico, ki je prihajala od spodaj (iz bližnje jame) med poplavnimi dogodki, ko se voda v krasu lahko dvigne tudi za več deset metrov. Zgornji jedrovani del te vrtine kaže povsem drugačno sliko, saj je precej manj razširjenih in z glino zapolnjenih razpok. Pomembno je, da so na jame oziroma jamsko ilovico naleteli tudi v vrtini T1-8 (oddaljena le dobrih 500 metrov od T1-13/17, ter na dokaj podobni nadmorski višini) na globinah približno med 59 do 65, 67 do 68, 111 do 112 ter 214 do 220 m. Predvsem zadnji podatek kaže na to, da gre lahko za izraziteje zakrasel nivo večjih zapolnjenih jamskih prostorov in z glino zapolnjenih razpok na nadmorski višini okoli 350 m. Okoli 4 km od T1-13/17 in T1-8 se na severovzhodnem robu Glinščice nahaja več kilometrov dolg jamski sistem, ki v grobem ustreza temu nivoju.

Glede na podatke globokih vrtin se izrazitejšo zakraselost lahko pričakuje na območju med vrtinama T1-12/17 in T1-14/17 (predvsem pa na območju vrtin T1-13/17 in T1-8) na nivoju okoli 350 m. Zakraseli deli karbonatne kamnine so lahko tako jame kot tudi zakrasele razpoke z ali brez sedimentov. Na niveletih tunela se prvotna ocena na tem odseku tunela T1, ki je bila podana pred izvedbo Dopolnilnih raziskav, ne spremeni, torej ostaja srednja; kljub temu se lahko glede na podatke vrtine T1-13/17 lahko pričakuje ostanke starejših speleogenetskih faz, ki pa jih je glede na reliktnost praktično nemogoče točneje prostorsko opredeliti. Na območju tunela T2 je na podlagi Dopolnilnih raziskav porušenost kamnine velika, a zakraselost manjša kot pri T1. Prevladujejo manjše zakrasele razpoke in porušene cone, je pa obseg jedrovanih karbonatnih kamnin zelo majhen, s čemer ga ne moremo jemati kot reprezentativnega - ocena zakraselosti, ki je bila podana pred Dopolnilnimi raziskavami, se tako ne spreminja.



Slika 4/29. Prvotno predlagani potek tunela T2 (rdeča) je bil že pred Dopolnilnimi raziskavami prestavljen za okoli 70 m proti ZSZ (zeleni), s čemer se je izognilo neposrednemu preboju znanih rovov Ocizeljske jame.

4.2.4 Reference

Gabrovšek F., Knez M. (avtor, urednik), Kokgovšek J., Mihevc A., Mulec J., Otoničar B., Perne M., Petrič, M. (avtor, urednik), Pipan T., Prelovšek M., Slabe T. (avtor, urednik), Šebela S. (avtor, urednik), Turk J., Zupan

Hajna N., 2015. The Beka-Ocizla cave system (karstological railway planning in Slovenia). Cave and karst systems of the world. Cham [etc.], Springer: 102 str. doi: 10.1007/978-3-319-04456-9.

Knez M. (vodja projekta), Gabrovšek F., Knez M., Kogovšek J., Mulec J., Petrič M., 2013. Hidrogeološki monitoring za drugi tir železniške proge Divača-Koper (končno poročilo). Postojna, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 2013: 59 str.

Mosetti F., 1965. Nuova interpretazione di un esperimento di marcatura radioattiva del Timavo. Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, 7/27: 218-243.

Prestor J., Ratej J., Knez M., Vukadin V., Celarc B., Klasinc M., Serianz L., Pečolar T., Narat D., Kocjančič M., Gabrovšek F., Otoničar B., Petrič M., Prelovšek M., Fux J., Živec T., Petkovšek B., 2018. 9/18D-P1 preliminarno sintezno poročilo s področja hidrogeologije, krasoslovja, strukturne geologije in geomehanike (drugi tir železniške proge Divača-Koper). Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK: 74 str.

Rossman L. A., 2009. Storm Water Management Model (Version 5.0). Cincinnati, US Environmental Protection Agency: 266 pp.

5 GEOMEHANSKE RAZMERE

Na območju predorov T1 in T2 je bilo v tej fazi izvrtanih devet vrtin in ena vrtina na območju predora T8. Jedra vrtin so se sproti inženirsko geološko popisala, odvzeti so bili značilni vzorci za potrebe geomehanskih laboratorijskih preiskav, ki so v tem trenutku še v teku.

Izvedene vrtine, kot je razvidno iz prejšnjih poglavji, so prinesle nova spoznanja o geološki strukturi ozemlja. V skladu s temi spoznanji smo območja predorov T1,T2 in T8 ponovno natančno inženirsko geološko pregledali, predvsem v luči najnovejše strukturno-geološke interpretacije. Podrobnejši opis ugotovljenih sprememb je podan v nadaljevanju.

5.1 Rezultati doslej opravljenih dopolnilnih geomehanskih preiskav

Ker so preiskave v tej fazi usmerjene predvsem na razjasnitev določenih strukturno-geoloških, hidrogeoloških in krasoslovnih pogojev, je obseg predvidenih in izvedenih geomehanskih preiskav relativno majhen. Reinterpretacija geomehanskih podatkov bo tako izvedena predvsem na osnovi IG popisa vrtin, ter rezultatov strukturno-geološke in krasoslovne interpretacije, te na osnovi dodatnih geomehanskih laboratorijskih preiskav s katerimi bomo obogatili obstoječi fond podatkov.

Rezultati IG popisov vrtin, ne kažejo na kakršna koli večja odstopanja v primerjavi z rezultati popisov iz predhodne faze. V času oddaje preliminarne sinteznega poročila pa laboratorijske preiskave še potekajo, tako da za enkrat nimamo vseh rezultatov, da bi jih lahko v tem trenutku celovito obdelali. Smo se pa v okviru laboratorijskih preiskav osredotočili na naslednje pomembne geomehanske parametre kamnine, na podlagi katerih bo mogoče ustrezno ovrednotiti natančnost vhodnih podatkov za projektiranje iz prejšnje faze raziskav:

- poroznost in gostoto kamnine, indeks njene trajnosti (za ugotavljanje uporabnosti izkopanega lapornega materiala, predvsem iz predorov v spodnjem delu trase),
- trdoto in abrazivnost - predvsem flišnega kremenovo kalcitnega peščenjaka in laporovca (v manjši meri tudi apnenca),
- strižno trdnost po diskontinuitetah - predvsem prehodnih in flišnih plasti, v manjši meri tudi apnenca - v območjih, kjer ta močno prepereva v visoko plastično rdečo glino,
- strižno trdnost laporovca in močno tektonsko prizadetih prehodnih plasti - v enoosnem napetostnem stanju, ne glede na položaj diskontinuitet - oziroma v območjih, kjer je struktura kamnine povsem porušena in zabrisana.
- Enoosne tlačne trdnosti z merjenjem deformacije (in Poissonovega količnika) in brez meritve deformacije se izvaja pretežno na vzorcih eocenskega flišnega laporovca in lapornega apnenca predhodnih plasti ter triosne preiskave trdnosti vzorcev iz teh kamnin.

5.2 Interpretacija doslej opravljenih dopolnilnih geomehanskih preiskav

Predor T1

Na območju predora T1 so bile v tej fazi izvedene štiri vrtine: T1-12, do T1-15. Vrtine niso bile v celoti jedrovane, zato podajamo rezultate le iz delov teh vrtin. Glavne ugotovitve, vezane na podatke iz novih vrtin, lahko povzamemo v naslednjih alinejah:

- Apnenci Kraške grupe na stacionaži km 4+650 (vrtina T1-12/17): Popisi jedra vrtine se ujemajo s prognozo iz prejšnje faze; pojavljajo se močno prepereli in močno razpokani/predrobjeni apnenci t.i. kraške grupe, njihova pretrtost se z globino povečuje. V območju predora je hribina izrazito

pretrta in močno razpokana. Prav tako se ne spreminjajo meje med litološkimi enotami. Posebnost v vrtini je izrazita cona zakraselega apnenca z večjo količino gline, ki je bila evidentirana na globini od okoli 204 m do okoli 250 m. Apnenci na tem odseku so močno tektonsko deformirani in kažejo na prisotnost subveritkalne tektonske cone.

- Podatki georadarskih meritev v vrtini kažejo, da se lateralni doseg radarja z globino manjša, kar se ujema z večanjem prisotnosti glinene polnitve v razpokah. Od globine 61 m do 160 m je doseg 40 m do 55 m, medtem ko je doseg na globini pod 160 m le še 15 m do 20 m. Radarska slika odbojev kaže veliko prisotnost kraških razpok v območju nad niveleto predora ter nekaj odprtih kraških prostorov, za katere se smatra, da verjetno niso zelo veliki. Prazna kraška struktura je bila zaznana tudi na nivoju nivelete predora in je najverjetneje vezana na tektonsko cono. Alveolinsko numulitni apnenec na stacionaži km 6+300 (vrtina T1-13/17): Vrtina T1-13/17 s končno globino 350 m predstavlja najglobljo vrtano vrtino v okviru preiskav za predore II. tira. V zgornjem delu poteka v gruščih, meljevcih in glinavcih z posameznimi odseki apnenca. Verjetno gre za prelomno cono, ki bo podrobneje interpretirana v končnem poročilu. Vrtina poteka po močno zakraselih apnenci, kjer se pojavljajo tudi prazni ali zapolnjeni kraški prostori, veliki do nekaj m. Ca 10 m nad niveleto predora se je v globini od 234 m do 275 m pojavila kraška jama, zapolnjena jamskimi sedimenti: visoko plastično glino, meljnim peskom in meljno glino s posameznimi kosi zdrobljenega apnenca s slabimi mehanskimi karakteristikami, značilnimi za kraško preperino. Nad jamo in v okolici kavern je apnenec praviloma bolj razpokan in predrobljen. Tudi nadaljnja povrtavanja za potrebe vgradnje piezometerskih cevi, kažejo da se v bližnji okolici pojavlja več praznih in zapolnjenih kraških struktur, zato lahko že sedaj smatramo ta odsek predora kot zahtevnejši za izgradnjo in bodo zagotovo potrebne dodatne preiskave med gradnjo (predvrtavanje, georadarske preiskave). Karakteristike navrtane zemljine na nivoju nivelete predora so v laboratorijski obdelavi, njihove karakteristike bodo predstavljene v končnem poročilu.
- Apnenci Kraške grupe na stacionaži km 7+500 (vrtina T1-14/17): Popis jeder vrtine večinoma potrjuje podatke iz prejšnje faze. Ugotavljamo, da v pretrtih območjih ohranja kamnina večinoma še vedno ugodne lastnosti v večinoma subvertikalnih razpokah (razpoke so največkrat hrapave, ravne/stopničaste), razen v območju večjih prelomnih con, kjer se pojavlja v razpokah tudi glina, kar povečuje potencial zaruševanja s čela ali za njim pri napredovanju predora T1.

V vrtini opravljene georadarske preiskave (GPR) dosegle širino preiskovanega območja vzdolž vrtine med 90 m (20 MHz antena) in 40 m (100 MHz antena). Rezultati kažejo, da se lahko med gradnjo predora T1 v območju vrtine T1-14/17 v območju celotnega izkopa pričakuje pojavljanje manjših kraških struktur in razpoklinskih con, medtem ko pojavljanje večjih odprtih kraških struktur ni zelo verjetno.

- Območje Ocizeljske brahisinklinale oz. Velikogradiške brahisinklinale na stacionaži km 8+922 (vrtina T1-15/17): V prejšnji fazi je veljalo, da je kontakt med alveolinsko numulitnim apnencem in t.i. prehodnimi plastmi ter flišem strm (pod kotom 70-80°) in naj bi se nanivoju predora pojavil na stacionaži približno km 8+980. Podatki izvedene vrtine T1-15/17 pa so pokazali, da so strukturne razmere drugačne in da je kontakt položnejši (pod kotom okoli 40°). Posledično se lahko v območju predora pričakuje, da se bo odsek alveolinsko numulitnih apnencev zaključil nekoliko prej, prehod v flišne plasti pa bo preko zelo kratkega odseka prehodnih plasti (dolžine okoli 10 m) že na stacionaži km približno 8+900.

Predor T2

Na predoru T2 je bilo izvedenih 5 vrtin, ugotovitve pa lahko povzamemo v naslednjih alinejah:

- Območje petrinjskega narivnega preloma na stacionaži km 10+600 (vrtina T2-16/17); V prejšnji fazi preiskav je ostalo odprto vprašanje ali se bodo na območju Petrinjskega narivnega preloma, na niveleti predora, pojavili ANA apnenci. Izvedene vrtine je to možnost na obravnavanem odseku eliminirala in potrdila pojavljanja flišnih plasti na niveleti predora. S tem bo izkop potekal v homogeni enoti, brez pojave narivnega stika s čimer so se prognoziranje geološko-geomehanske razmere izboljšale.
- Območje stika med flišnimi prehodnimi plastmi in apnenci na stacionaži km 11+000 km (vrtina T2-17/17); Vrtina je potrdila prognozirano litološko mejo. Kontakt je bil zvezen brez izrazitih znakov zakrasevanja s čimer so se prognoziranje geološko-geomehanske razmere izboljšale.
- Določitev položaja narivnega kontakta Črnokalskega narivnega preloma med km 15+000 in km 15+700 (vrtini T2-19/17 in T2-20/17); Popisi vrtin so pokazali, da sega cona narivnega preloma in s tem pojavljanja geomehansko manj ugodnih prehodnih flišnih plasti vsaj za cca 380 m bolj v notranjost predora. Glede na prejšnjo fazo tako lahko z gotovostjo napovemo, da bo predor v zadnjih ca 750 m potekal v laporovcih in v precejšnji bližini narivne cone, kar pomeni, da lahko pričakujemo geomehansko bolj težavne razmere. To območje se lahko še podaljša, saj očitno narivna cona nima enovitega vpada ampak niha tako, da se lahko prehod v geomehansko bolj ugodne apnenice (ANA serije) zgodi še bistveno kasneje. Zaradi tega se bo povečal delež izkopa v geomehansko manj ugodnih razmerah, kar bo imelo vpliv na pogoje podpiranja in hitrost napredovanja.

Opozoriti je potrebno da se v laporovcih prehodnih plasti pojavlja tudi piriti, ki lahko neugodno vplivajo na betonsko oblogo (sulfatna korozija). Preiskave nevarnosti piritne agresije so v teku rezultati pa bodo vključeni v končno sintezno poročilo.

Predor T8

Za predor T8 je bila izvrtana vrtina T8-1/17, dolžine 200 m. Zaradi težav z lastniki parcel je bila vrtina prestavljena 150 m zahodno od poteka predorske cevi. Zato je bilo pri umestitvi v prostor ter interpretaciji razmer potrebno upoštevati azimut vpada glavnih struktur (plasti in narivnih prelomov), kar nekoliko zmanjša zanesljivost projiciranih podatkov na niveleti predora.

Glavne ugotovitve lahko strnemo v naslednjih alinejah:

- V globini med 95 in 111 m nastopa širša tektonizirana cona, ki verjetno pripada Gračiški narivni coni. Po projekciji jo predorska cev seka med km 25+170 in 25+290 (v servisni cevi 25+230 do 25+350), kar je po stacionaži okoli 115 m prej kot predvideno v fazi PGD. Vpad narivne cone naj bi znašal okoli 20°.
- V območju nad narivno cono peščenjak nekoliko prevladuje (60 : 40 do 65 : 35), kar je v nasprotju s predvidevanjem iz faze PGD, da od km 24+950 naprej prevladuje laporovec.

- Tudi vpad plasti nad narivno cono je v splošnem strmejši (30 - 45°) kot je bilo prikazano v prognoznem vzdolžnem profilu iz faze PGD.
- Pod glavno narivno cono, do globine 146 m prevladuje laporovec, vpad plasti je bolj blag. Oboje je v skladu z obstoječim prognoznim profilom. Globlje se izmenjujejo območja s prevladujočim peščenjakom ali laporovcem.

6 ZAKLJUČKI

V tem poglavju podajamo poglobljena spoznanja po posameznih sklopih preiskav.

Strukturna geologija - zaključek

V strukturno geološkem smislu so nove vrtine pripomogle k dodatni interpretaciji in pojasnitvi ključnih negotovosti iz prejšnje faze raziskav. V manjši meri so se spremenili položaji litoloških in tektonskih kontaktov, s tem pa tudi razmerje med posameznimi litološkimi tipi, ki bodo nastopali v predorih. Dodatno je bila razjasnjena tudi vrsta in obseg deformacij, ki jih lahko pričakujemo, kar seveda služi kot vhodni podatek pri geotehničnih in geomehanskih interpretacijah. Bolje je bila pojasnjena struktura severovzhodnega dela Ocizeljske brahisinklinale in območje nadaljevanja Petrinjskega narivnega preloma, ki ne bo segel do nivoja nivelete. S precej boljšo zanesljivostjo so bile pojasnjene strukturno geološke razmere na območju južnega dela predora T2, ugotovljano je bilo, da tunel ne bo prečkal potencialno aktivnega Črnokalskega narivnega preloma, ampak se bo ta pojavil na odprti trasi. Na območju predora T8 je bolje pojasnjena lega flišnih plasti in položaj Gračiške narivne cone.

Hidrogeologija - zaključek

Do sedaj najvišji pričakovani tlaki brez odvodnjevanja predora dosežejo približno 134 m nad niveleto (preko 150 m v flišnih plasteh). Najvišji pričakovani tlaki so bili ocenjeni iz meritev v do sedaj najvišjih vodnih razmerah, ki se pojavljajo enkrat na več let. Takšni tlaki so bili izmerjeni v vrtinah izvedenih v okviru predhodnih preiskav, in sicer z osemletnim monitoringom. Nove vrtine izdelane v letu 2017/18 še niso zajele merodajnega visokega vodnega stanja, vendar pa doslej opravljene meritve kažejo, da je bazna gladina podzemne vode še nekoliko nižje, kot izhaja iz predhodnih ugotovitev.

O dejanskih količinah pričakovanih dotokov podzemne vode v predor zaenkrat še ne moremo govoriti. Tako ocena bo možna, ko bomo z novimi vrtinami zajeli tudi visoko vodno stanje. Smo pa na podlagi rezultatov dopolnilnih preiskav že lahko preverili ustreznost kriterijev za izračun dotokov podzemne vode z vidika zakraselosti in pojavljanja odsekov z največjo verjetnostjo vdora vode, ki so bili uporabljeni v predhodni fazi raziskav za PGD. Kot se je izkazalo so kriteriji povsem ustrezni, vendar pa bo na podlagi jih bo pri novem izračunu potrebno posodobiti. Med gradnjo predora pričakujemo vodne tokove le v ozkih prelomnih conah oziroma ob izkopu v kraške jame zapolnjene z vodo. Ker je prepustnost prelomnih con dobra, kavern pa zelo dobra, lahko vdori vodi dosežejo več sto litrov na sekundo pretoka. Iz dosedanjih raziskav smo lahko bolj podrobneje napovedali le eno tako kaverno zapolnjeno z vodo, ki smo jo označili v prerezu. Na celotnem poteku predora pa smo označili odseke s stopnjo verjetnosti nastopanja vdorov iz dobro prepustnih zakraselih con. Na nevarnost

vdora vode je potrebno računati tudi pri prehodu stika flišnih in prehodnih plasti ter alveolinsko numulitnih apnencev.

Krasoslovje - zaključki

Z vidika zakraselosti smo v okviru dopolnilnih preiskav popisati 4 vrtine, ki so bile izvrtane pretežno v apnencih, in sicer T1-12/17, T1-13/17, T2-18/17 in T2-19/17. Zakraselost vrtin se kaže tako z manjšimi (centimetrsk-decimetrsk dimenzije) kot tudi večjimi kraškimi votlinami (nekaj do več deset metrov) ter zakraselimi razpokami. Zakraseli deli kraškega masiva so tako brez polnila kot tudi s pretežno glineno-illovnatim sedimentom. Predvsem okoli 40 metrov visoka jama v celoti zapolnjena z jamsko ilovico na nivoju predora v vrtini T1-13/17 nakazuje, da je tam pri gradnji predora pričakovati večje jamske prostore (prazne in zapolnjene), ki so lahko posledica starejših speleogenetskih faz. Čeprav v vrtinah na območju predora T2 niso bile odkrite večje jame, govorijo o relativno dobri podzemni zakraselosti kraškega (karbonatnega) dela tega območja predvsem korozijsko razširjene razpoke in manjše odprte in z ilovico zapolnjene korozijske votlinice centimetrskih in decimetrskih dimenzij, ki so pogostejše neposredno pod kraškim površjem in neposredno nad kontaktom s spodaj ležečim flišem. Izrazito podzemno zakraselost kraških delov neposredne okolice vrtin so pokazale tudi georadarske meritve. Na niveletu tunela se prvotna ocena zakraselosti, ki je bila podana pred izvedbo Dopolnilnih raziskav, ni spremenila; kljub temu se lahko glede na podatke vrtine T1-13/17 lahko pričakuje ostanke starejših speleogenetskih faz, ki pa jih je glede na reliktnost praktično nemogoče točneje prostorsko opredeliti.

Dodatne raziskave so z razširitvijo mreže merilnih mest potrdile osnovno napajanje Beško-ocizeljskega jamskega sistema s ponikalnicami. Decembra 2017 smo na več merilnih mestih uspeli dobro registrirati poplavni dogodek z izračunano poplavno dobo 2-3 leta, ki je na merilnem mestu najbližjem predvideni trasi tunela povzročil dvig vode le za okoli 2,5 m. To kaže na razmeroma dobro pretočno sposobnost neznanega dela glavnega rova na drugi strani sifona. Pri poplavnih dogodkih z več kot 50-letno poplavno dobo (sept. 2010) se vodostaj v Beško-ocizeljskem jamskem sistemu dvigne tudi za več deset metrov, a ne zaradi splošnega dviga podtalnice; vpliv na višje poplavljanje imajo ožine, medtem ko ostajajo dobršni deli pod njimi nepoplavljeni. Prelivni nivoji, ki so očitni iz hidrogramov, kažejo veliko prevotljenost vodonosnika za znanimi deli Beško-Ocizeljskega jamskega sistema.

Hidrološki monitoring kaže na podobne hidrološke značilnosti Rižane in Boljunca, spremljanje vrednosti T in SEP pa je pokazalo na razlike v značilnostih pretakanja vode in prenosa snovi v njunem prispevnem zaledju. Nihanje vode v Osapski jami je pokazalo na relativno majhen nadtlak ob višku poplavnega dogodka ter na izredno zvezno upadanje vodostaja po njem. Majhno nihanje temperature, tudi ob prelivih, kaže na pretežno avtogeno napajanje vodonosnika v zaledju Osapske jame.

Pripravljeni smo na izvedbo kombiniranega sledilnega poskusa, s katerim bomo dodatno pojasnili smeri in značilnosti toka vode z območja tunela T1 ter bolj zanesljivo potrdili položaj razvodnice med najpomembnejšimi izviri območja načrtovane trase (Rižana, Boljunec, Osapska reka, Timava).

Geomehanika - zaključek

Ključne preostale negotovosti pri geomehanskih razmerah izhajajo neposredno iz negotovosti, ki so vezane na strukturno-geološke in krasoslovne razmere, opisane v prejšnjih poglavjih. To se odraža predvsem v tem, da se bo glede na negotovost posameznih stikov med fliši in apnenci, povečeval ali zmanjševal delež izkopa v bolj ali manj ugodni geotehnični kategoriji. Skupno gre najverjetneje za nekaj sto metrov trase, kar glede na celotno dolžino predorov predstavlja manj kot 5% celotne dolžine.

S stališča samih pogojev izkopa in varovanja v posameznih izkopnih kategorijah pa ne pričakujemo kakšnih korenitih sprememb - najverjetneje se bo po opravljenih laboratorijskih preiskavah lahko bolj natančno določil razpon geomehanskih karakteristik lapornatih plasti.

GRAFIČNE PRILOGE

G.1.: Pregledna situacija dopolnilnih preiskav v M 1:25000

G.2.: Strukturno geološka karta v m 1:5000

G.3.: Vzdolžni strukturno geološki, hidrogeološki in krasoslovni profil predora T1 v M 1:5000

G.4.: Vzdolžni strukturno geološki, hidrogeološki in krasoslovni profil predora T2 v M 1:5000

G.5.: Vzdolžni IG profil trase predora T8 v M 1:1000