VODOPRIVREDNI I ENERGETSKI SISTEM "RZAV"



Slapište optočnog tunela

Sintezni geološki elaborat o izvedenim dodatnim istražnim radovima za potrebe trajne zaštite kosina leve obale od izlaza optočnog tunela nizvodno 120 m



19010-205-01-01





SINTEZNI GEOLOŠKI ELABORAT O IZVEDENIM DODATNIM ISTRAŽNIM RADOVIMA ZA POTREBE TRAJNE ZAŠTITE KOSINA LEVE OBALE OD IZLAZA OPTOČNOG TUNELA NIZVODNO 120 m

Investitor:

Objekat:

Projektant:

Odgovorno lice:

Vrsta tehničke dokumentacije: Naziv i oznaka dela projekta: Za građenje/izvođenje radova:

A KOMO

Немања М. Бабовић дапл. виж. геол. 391 М670 13 Сорни пролек

Odgovorni projektant:

Vodoprivredni i energetski sistem "Rzav" Čačanska bb,31230 Arillje Slapište Sintezni geološki elaborat

Nova gradnja

Nemanja Babović, dipl.inž.geol. Licenca br. 391 M670 13

Energoprojekt-Hidroinženjering a.d., Bulevar Mihajla Pupina 12, Beograd

2001

mr Bratiślav Stišović dipl.inž.građ. Direktor

Broj dela projekta: Mesto i datum:

19010-205-01-01 Beograd, septembar 2019. god.





S A D R Ž A J

1.	OPŠTA DOKUMENTACIJA	1-1
1.1.	Legenda projekta	1-1
1.2.	Izvod iz privrednog registra	1-2
1.3.	Licenca Energoprojekt–Hidroinženjering a.d	1-2
1.4.	Licence projektanata	1-2
1.5.	Rešenje o određivanju odgovornog projektanta	1-3
1.6.	Izjava odgovornog projektanta	1-4
1.7.	Saglasnost stručnog saveta	1-5
I.	TEKSTUALNA DOKUMENTACIJA	TD.I-1
II.	GRAFIČKA DOKUMENTACIJA	TD.II-1





1. OPŠTA DOKUMENTACIJA

1.1. LEGENDA PROJEKTA

Projektna dokumentacija:

SINTEZNI GEOLOŠKI ELABORAT O IZVEDENIM DODATNIM ISTRAŽNIM RADOVIMA ZA POTREBE TRAJNE ZAŠTITE KOSINA LEVE OBALE OD IZLAZA OPTOČNOG TUNELA NIZVODNO 120 m

izrađena je u ENERGOPROJEKT-HIDROINŽENJERING-u, akcionarskom društvu za projektovanje, konsalting i inženjering hidroenergetskih, vodoprivrednih i infrastrukturnih objekata i sistema Beograd, u skladu sa ugovorom br. 18001, zaključenim između Naručioca Javnog preduzeća za vodosnabdevanje "Rzav", Čačanska bb, 31230 Arilje i Pružaoca usluga Energoprojekt-Hidroinženjering a.d., Beograd, Bulevar Mihajla Pupina 12, 11070 Novi Beograd.

Šef Projekta:

Aleksandar Glišić dipl.inž.građ. Licenca br. 313 713 804

Radna jedinica:

(205) Geologija, Hidrogeologija, Geofizika, Geodezija, Gis

Odgovorni projektant:

Nemanja Babović, dipl.ing.geol. Licenca br. 391 M670 13

Projektanti i saradnici:

Aleksandar Miladinović, dipl.ing.geol. Stefan Stamenković, geol. tehn. Marko Nikolić, geol.tehn.

Vršilac unutrašnje kontrole:

Nebojša Ocokoljić, dipl.ing.geol. Licenca br. 391 M821 13

AGOPR ENERGOP	ROJEKT-HIDROINŽENJERING AD
14	DIREKTOR
	20 -
I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	Rebeece
Pa II mr B	Bratislav Stišović dipl.inž.građ.
NŽENJE	



1.2. IZVOD IZ PRIVREDNOG REGISTRA

ENERGOPROJEKT–HIDROINŽENJERING akcionarsko društvo za istražne radove, projektovanje, konsalting i inženjering hidroenergetskih, vodoprivrednih i infrastrukturnih objekata i sistema Beograda, Bulevar Mihajla Pupina 12 upisano je u Registar Agencije za privredne registre Republike Srbije pod matičnim brojem 07023065.

1.3. LICENCA ENERGOPROJEKT-HIDROINŽENJERING A.D.

Na osnovu rešenja Ministarstva građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture br. 351-02-08826/2016-07 od 29.09.2016. godine utvrđuje se da ENERGOPROJEKT–HIDROINŽENJERING akcionarsko društvo za istražne radove, projektovanje, konsalting i inženjering hidroenergetskih, vodoprivrednih i infrastrukturnih objekata i sistema Beograda, Bulevar Mihajla Pupina 12 ispunjava uslove za dobijanje licence za izradu tehničke dokumentacije za objekte za koje građevinsku dozvolu izdaje ministarstvo nadležno za poslove građevinarstva ili nadležni organ autonomne pokrajine.

Utvrđivanje verodostojnosti navedenih podataka vrši se prema potrebi uvidom u predmetni registar.

1.4. LICENCE PROJEKTANATA

Inženjerska komora Srbije na osnovu Zakona o planiranju i izgradnji i Statuta Inženjerske komore Srbije dodeljuje licence projektantima:

Aleksandar Glišić dipl.ing.građ	Licenca br. 313 713 804
Nemanja Babović dipl.ing.geol.	Licenca br. 391 M670 13
Nebojša Ocokoljić dipl.ing.geol.	Licenca br. 391 M821 13

Utvrđivanje verodostojnosti gore navedenih podataka vrši se prema potrebi uvidom u predmetni registar.



1.5. REŠENJE O ODREĐIVANJU ODGOVORNOG PROJEKTANTA

Na osnovu člana 128. Zakona o planiranju i izgradnji ("Službeni glasnik RS", br. 72/09, 81/09 – ispravka, 64/10 – odluka US, 24/11 i 121/12, 42/13 – odluka US, 50/13 – odluka US, 98/13 – odluka US, 132/14, 145/14 i 83/18) i odredbi Pravilnika o sadržini, načinu i postupku izrade i način vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata ("Službeni glasnik RS", br. 72/2018) kao

ODGOVORNI PROJEKTANT

za izradu Sintezni geološki elaborat o izvedenim dodatnim istražnim radovima za potrebe trajne zaštite kosina leve obale od izlaza optočnog tunela nizvodno 120 m., određuje se:

Nemanja Babović dipl.ing.geol., br. licence 391 M670 13

Pupina 12, Beograd

Projektant:

Odgovorno lice:



Broj tehničke dokumentacije: Mesto i datum: Direktor

Energoprojekt-Hidroinženjering a.d., Bulevar Mihajla

mr Bratislav Stišović dipl.inž.građ.

19010-205-01-01 Beograd, septembar 2019. god.



1.6. IZJAVA ODGOVORNOG PROJEKTANTA

Odgovorni projektant Sintezni geološki elaborat o izvedenim dodatnim istražnim radovima za potrebe trajne zaštite kosina leve obale od izlaza optočnog tunela nizvodno 120 m.,

Nemanja Babović dipl.ing.geol., br. licence 391 M670 13

IZJAVLJUJEM

- 1. da je Sintezni geološki elaborat u svemu u skladu sa izdatim lokacijskim uslovima
- 2. da je Sintezni geološki elaborat izrađen u skladu sa Zakonom o planiranju i izgradnji, propisima, standardima i normativima iz oblasti izgradnje objekata i pravilima struke
- da su pri izradi Sinteznog geološkog elaborata poštovane sve propisane i utvrđene mere i preporuke za ispunjenje osnovnih zahteva za objekat i da je projekat izrađen u skladu sa merama i preporukama kojima se dokazuje ispunjenost osnovnih zahteva

Odgovorni projektant:



Nemanja Babović dipl.ing.geol. Licenca br. 391 M670 13

Broj tehničke dokumentacije: Mesto i datum: 19010-205-01-01 Beograd, septembar 2019. god.



1.7. SAGLASNOST STRUČNOG SAVETA

Na svojoj 73/2019 sednici održanoj dana 26.09.2019. god Stručni savet ENERGOPROJEKT-HIDROINŽENJERING a.d. razmatrao je i usvojio projektnu dokumentaciju:

PROGRAM DODATNIH ISTRAŽNIH RADOVA ZA TRAJNU ZAŠTITU KOSINA LEVE OBALE OD IZLAZA OPTOČNOG TUNELA NIZVODNO 120 m

Na osnovu ove saglasnosti, predmetna projektna dokumentacija se može isporučiti Naručiocu.

PREDSEDAVAJUĆ RUC ST NOG SAV

dr Vladimir Beličević dipl.inž.geol.



I. TEKSTUALNA DOKUMENTACIJA



Sadržaj

1	Uvo	od	10
1	Pre	egled izvedenih istraživanja	11
-	1.1	Istraživanja u toku 2018 godine	11
-	1.2	Istraživanja u 2019 godini	14
2	Op	šti prikaz klizišta – zapažanja iz predhodnih faza projektovanja	18
2	2.1	Prikaz klizišta između profila 32 i 36	18
2	2.2	Prikaz klizišta između profila 24 i 28	19
3	Prik	kaz i analiza rezultata istraživanja	20
(3.1	Korišćena dokumentacija	20
(3.2	Geološka građa mesta brane	21
(3.3	Strukturno – tektonski sklop	22
(3.4	Geološka građa i tektonski sklop terena u zoni kosina iznad slapišta	25
(3.5	Inženjerskogeološka svojstva stenskih masa	27
4 raz	Ana voj p	aliza inženjerskogeoloških uslova formiranja klizišta na kosini iznad slapišta optočnog ojave	tunela i 37
4	4.1	Aktivno klizište	
4	4.2	Nestabilna zona	40
4	4.3	Potencijalno nestabilna zona	42
4	4.4	Sanirano klizište	45
5	Zak	ključći	54



1 Uvod

Nakon druge pojave nestabilnosti u zoni iskopa za slapište, Projektant je bio prinuđen da insistira na uvođenju istražnog postupka, kao dopune istražnog postupka koji nije bio izveden, na zahtev Revizije, u Glavnom projektu.

Prvi istražni postupak je izveden u septembru i oktobru 2018, od strane Izvođača istražnih radova Zajače Ing. d.o.o., iz Loznice. U toku izvođenja istražnog postupka potvrđena je složena geološka građa terena, pri čemu su otkrivene i nove geološke pojave. Nove geološke pojave su zahtevale dodatne istrage sa korigovanom izvođačkom opremom i metodom izvođenja u cilju dobijanja verodostojnijeg prikaza geološke građe kao i dobijanja reprezentativnih uzoraka za laboratorijska ispitivanja.

Program dodatnih istražnih radova za potrebe trajne zaštite kosina leve obale od izlaza optočnog tunela nizvodno 12 m., je urađen od strane Energoprojekta – hidroinženjeringa početkom 2019 godine.

Istražni radovi za potrebe trajne zaštite kosina leve obale od izlaza optočnog tunela nizvodno 120 m, su završeni početkom avgusta 2019. god. Dodatne istrage je izveo Izvođač istražnih radova Beo – Ground engineering d.o.o., Beograd, u skladu sa tehničkim uslovima i propisima koji su propisani Programom istražnih radova, pri čemu su dobijeni relevatni i adekvatni podaci za izradu ovog Elaborata.

Tokom realizacije ove faze istraživanja, odnosno iskopom pristupnog puta od Donjeg sela do lokacija bušotina iznad saobraćajnice S1 uočeni su « nenormalni » odnosi između pojedinih litoloških članova, odnosno pojave kraljušti koje u prethodnim fazama istraživanja nisu uočene. Naime konstatovano je da se laporoviti okcasti krečnjaci donjeg trijasa (T1) nalaze u « sendviču » između masivnih krečnjaka srednjeg trijasa (T2). Ovo zapažanje je zahtevalo dodatnu tektonsku analizu šireg prostora i prostora brane. U tu svrhu angažovan je dr Branislav Trivić, red.prof. koji je uradio specijalistički Izveštaj pod nazivom, "Strukturno-tektonska analiza prostora u zoni nasute brane Svračkovo sa posebnim osvrtom na tektonski sklop u zoni slapišta". U okviru ovog elaborata dat je skraćeni prikaz tektonskog sklopa, kao izvod iz navedene analize.

Analiza tektonskog sklopa je implementirana sa ostalim geološkim podacima koji su dobijeni terenskim i labroatorijskim ispitivanjima.

U cilju boljeg prikaza geološke građe terena kao i fizičko – mehaničkih karakteristika stenskih masa u zoni objekta, u okviru ovog Elaborata su detaljno opisana terenska i laboratorijska ispitivanja.



1 Pregled izvedenih istraživanja

1.1 Istraživanja u toku 2018 godine

1.1.1 Terenski istražni radovi

Na istražnom prostoru, u periodu septembar – oktobar 2018, izvedeno je ukupno 16 istražnih bušotina dubine 19.70 – 40.00 m, ukupno 445.20 m' bušenja. Prostorni položaj istražnih bušotina prikazan je na situaciji sa položajem istražnih radova (prilog br. 1), a osnovni tehnički podaci prikazani su na profilima istražnih bušotina (Dokumentacioni elaborat iz 2018 godine), kao i u tabeli br. 1:

Red.	Oznaka	Kota	Projektovana dubina istražne	Izvedena dubina istražne	Koordinate		
broj		(mm)	(m)	(m)	x	Y	
1.	B-1	401.590	25.00	40.00	4 845 442.455	7 421 747.314	
2.	B-2	389.937	25.00	25.00	4 845 426.381	7 421 730.475	
3.	B-3	368.900	20.00	29.80	4 845 408.137	7 421 712.677	
4.	B-4	399.384	25.00	37.00	4 845 428.173	7 421 761.433	
5.	B-5	390.052	25.00	19.70	4 845 413.698	7 421 746.208	
6.	B-6	369.256	20.00	20.30	4 845 395.659	7 421 726.624	
7.	B-7	389.044	25.00	25.10	4 845 397.674	7 421 761.412	
8.	B-8	369.895	20.00	20.30	4 845 377.915	7 421 740.253	
9.	B-9	394.489	25.00	25.10	4 845 390.933	7 421 792.664	
10.	B-10	389.920	25.00	30.00	4 845 381.626	7 421 779.617	
11.	B-11	370.667	20.00	20.00	4 845 362.689	7 421 757.199	
12.	B-12	390.373	25.00	30.50	4 845 367.842	7 421 794.148	
13.	B-13	397.359	25.00	32.70	4 845 412.103	7 421 776.842	
14.	DB-1	368.980	30.00	30.60	4 845 403.873	7 421 721.346	
15.	DB-2	369.685	25.00	25.20	4 845 406.464	7 421 724.456	
16.	DB-3	368.755	30.00	33.90	4 845 442.160	7 421 682.128	

Tabela 1. Osnovni tehnički podaci istražnih bušotina izvedenih 2018 godine

Uporedo sa istražnim bušenjem, vršeno je i inženjerskogeološko kartiranje i fotografisanje jezgra istražnih bušotina, ukupne dužine od 445.20 m'.

Prilikom kartiranja jezgra, izabrani su reprezentativni uzorci stene za laboratorijska ispitivanja.

Svi uzorci pri kartiranju jezgra su propisno pakovani i obeleženi (mesto, oznaka, dubina, datum). Nakon toga su transportovani i ispitani u geomehaničkoj laboratoriji IMS, Beograd.

Opiti standardne penetracije urađeni su u bušotini B-3, ukupno 7 opita. Podaci o dubini izvođenja i rezultatima opita standardne penetracije prikazani su u tabeli br. 2:



Red. broj	Dubina (m)	Broj udaraca (N)	Dužina utiskivanja (cm)
- 1	5.20	6	15
1.	5.35	50	5
2.	8.20	50	12
2	11.50	9	15
З.	12.05	50	13
4	14.00	8	15
4.	14.15	50	6
	17.00	4	15
5.	17.15	6	15
	17.30	7	15
6	20.00	7	15
0.	20.15	50	8
7.	23.00	50	6

*Opit standardne penetracije se uobičajeno izvodi za definisanje otpornih svojstava tla. U ovom slučaju izvršen je pokušaj definisanja otpornih svojstava alterisanih porfirita.

Sa ciljem da se ustanovi debljina deluvijalne drobine, na kosini puta S1, izvedeno je ukupno 3 istražne jame dubine od 3.00 – 3.50 m.

Tabela 3. Osnovni podaci istražnih jama

		Kota	Dubina	Koordinate			
Red. broj	Oznaka	(mnm)	istražne jame (m)	Х	Y		
1.	RA-1	395.910	3.00	4 845 384.787	7 421 804.029		
2.	RA-2	396.093	3.50	4 845 390.335	7 421 799.132		
3.	RA-3	397.365	3.00	4 845 398.879	7 421 793.271		

1.1.2 Laboratorijska ispitivanja

Paralelno sa izvođenjem istražnog bušenja izvršeno je inženjerskogeološko kartiranje jezgra istražnog bušenja i uzeti su uzorci za laboratorijska ispitivanja. Podaci o dubinama uzetih uzoraka i rezultati izvršenih ispitivanja dati su u sledećoj tabeli.

Tabela 4. Rezultati laboratorijskih ispitivanja na uzorcima iz jezgra istražnih bušotina

Bušotina	Dubina	Vrsta stene	Zapreminska	Zapreminska	Čvrstoća	Zatezna
			masa sa	masa bez	na pritisak	čvrstoća
			porama i	pora i		
			šupljinama	šupljinama	(MPa)	(MPa)
			(g/cm ³)	(g/cm ³)		
B-8	8.0-8.2	Masivni krečniak	2.684	2.727	81.0	
B-8	14.0-14.3	Masivni krečnjak	2.687	2.727	66.0	
B-9	10.7-11.0	Masivni krečnjak	2.622	2.687	78.0	
B-9	15.4-15.6	Laporoviti krečnjak	2.640	2.703	29.0	4.7
B-9	19.2-19.7	Masivni krečnjak	2.683	2.727	96.0	
B-10	21.40-22.0	Masivni krečnjak	2.706	2.735	93.0	



1.1.3.1 Refrakciona seizmička ispitivanja

U ispitivanoj zoni izvedeno je ukupno sedam (7) refrakcionih seizmičkih profila. Refrakcioni seizmički profili RSP-1, RSP-2 i RSP-3 su izvedeni duž saobraćajnica S-1, S-2 i S-3, respektivno u cilju definisanja granice između krečnjaka i porfirita i deformabilnih karakteristika stenskih masa. Sva tri profila su imala dužinu od 120 m. Refrakcioni seizmički profili RSP-4, RSP-6 i RSP-7 bili su postavljeni upravno na prethodna tri, dok je RSP-5 pozicioniran dijagonalno u zoni klizišta iznad saobraćajnice S-1. Ova četiri profila imala su dužnu od 60 m. Oni su izvedeni da bi se definisala debljina drobine iznad puta S1, kao i dubina do kompaktnih krečnjaka (ispod porfirita) između saobraćajnica S1 i S2.

Na taj način ukupna dužina izvedenih refrakcionih seizmičkih profila je iznosila 600 m. Profili dužine od 60 m izvedeni su sa rasponom od 12 geofona na međusobnom rastojanju od 5 m, dok su profili dužine od 120 m izvedeni sa rasponom od 24 geofona na međusobnom rastojanju od 5 m.

Sve tačke pobude seizmičkih talasa, kao i svi prelomi terena ili pravca pružanja refrakcionih seizmičkih profila su geodetski snimljeni.

1.1.3.2 Vertikalno seizmičko profiliranje

U bušotinama koje su predviđene za seizmičko prozračivanje metodom tomografije izvedeno je Vertikalno Seizmičko Profiliranje (VSP) i to u prijemnim bušotinama (B-1,B-3, B-4,B-6, B-8, B-9 B-11 i B-13), postupkom downhole, odnosno pobuda seizmičkih talasa je vršena na ustima bušotine, udarom, dok je registracija vršena na prijemnicima u bušotinama pozicioniranim na svaka 2 m. U predajnim bušotinama (B-2, B-5, B-7 i B-10) ispitivanja su izvedena uphole metodom, odnosno pobuda seizmičkih talasa je vršena trenutnim električnim kapislama, na svaka 2 m počevši od dna bušotine, dok je registracija vršena na prijemniku na ustima bušotine.

1.1.3.3 Seizmičko prozračivanje prostora između bušotina

Seizmičko prozračivanje prostora između bušotina izvedeno je duž četiri ravni koje se povezuju sa tri bušotine, izajamnim međuprostorom i površine terena. Ispitivane ravni su bile obuhvaćene sledećim bušotinama:

- Profil 30 bušotine B-1, B-2 i B-3
- Profil 29 bušotine B-4, B-5 i B-6
- Profil 28 bušotine B-7, B-8 i B-13
- Profil 26 bušotine B-9, B-10 i B-11

Pobuda seizmičkih talasa je vršena trenutnim električnim kapislama, u bušotinama B-2, B-5, B-7 i B-10 na svaka 2 m počevši od dna, dok je registracija vremena nailazaka seizmičkog talasa vršena u prijemnim bušotinama (B-1, B-3, B-4, B-6, B-8, B-13, B-9 i B-11) na bušotinskim prijemnicima (hidrofonima) pozicioniranim takođe na svaka dva metra. Registracija vremena nailazaka seizmičkog talasa je takođe vršena i na površini terena na geofonima koji su takođe, bili pozicionirani na svaka 2 m. Ispitivanja su izvedena 24 kanalnom aparaturom ABEM Terraloc Mark 8, švedske proizvodnje.

1.1.3.4 Geoelektrična ispitivanja

Od geoelektričnih ispitivanja izvršeno je merenje specifične električne otpornosti na 10 lokacija duž saobraćajnice S-1. Geoelektrične sonde sa oznakama, S-1, S-2, S-3 i S-4 su izvedene na geološkim profilima 31, 32, 33 i 34, respektivno, dok su geoelektrične sonde S-5 do S-10 locirane i izvedene nizvodno. Geoelektrična ispitivanja su izvedena postupkom sondiranja, korišćenjem Šlumbergerovog simetričnog četvoroelektrodnog rasporeda, sa dubinskim zahvatom od AB/2=100 m ili AB/2=150 m, u zavisnosti od dobijenih rezultata.



Sonde S-1, S-2, S-3 i S-4 su povezane u geoelektrični presek terena GEP-1 po parametru specifične električne otpornosti, dok su sonde S-5, S-6, S-7, S-8, S-9 i S-10 povezane u geoelektrični presek terena GEP-2.

Izveden je, takođe, i jedan profil geoelektričnog kartiranja dužine 200 m sa tri dubinska zahvata, primenom Šlumbergerovog simetričnog četvoroelektrodnog rasporeda. Rastojanje između potencijalnih elektroda je iznosilo MN=5 m za sva tri dubinska zahvata, dok je rastojanje između strujnih elektroda iznosilo AB=10 m, AB=20 m i AB=30 m, respektivno. Korak merenja je za sva dubinska zahvata iznosio 5 m. Svrha ovih ispitivanja je da se odredi zaleganje granice između krečnjaka i porfirita ispod aktuelne površine iskopa.

Položaji geoelektričnih sondi, početak i kraj profila geoelektričnog kartiranja, kao i svih preloma terena ili pravca pružanja profila geoelektričnog kartiranja su geodetski snimljeni.

1.2 Istraživanja u 2019 godini

Hronologija pojava nestabilnosti u zoni slapišta je detaljno prikazana u prethodnoj dokumentaciji. U okviru ovog Elaborata, kao izvod iz prethodnih dokumentata, u tačkama 2.1. i 2.2 se prikazuje razvoj savremenih egzogenih procesa i pojava.

Programom istražnih radova za potrebe trajne zaštite kosine leve obale od izlaza optočnog tunela nizvodno 120 m, istražni postupak je podeljen u dve Faze.

I Faza ispitivanja je projektovana tako da se definiše dubina kliznih ravni na postojećem klizištu, kao i mogućnost progresivnog širenja savremenih egzogenih procesa uz padinu, sastav i svojstva stenskih masa u zoni "krečnjačkog" bloka.

II Faza istraživanja je projektovana tako da se analizira geološki sklop terena, u slučaju izmene tehničkog rešenja slapišta i dislociranja istog nizvodno od postojeće lokacije.

Tokom realizacije terenskih istraživanja doneta je odluka da se slapište optočnog tunela izvede na projektovanoj lokaciji, tako da su istraživanja II Faze odbačena.

Treba naglasiti da su tokom realizacije istražnih radova izvršene neznatne izmene, saglasno dobijenim rezultatima istražnog postupka. Izvršena je neznatna izmena dubine nekih istražnih bušotina, mikrolokacije bušotina, ukidanje jedne bušotine i sl.

1.2.1 Terenska istraživanja klizišta

Najvećim delom istraživanja su izvedena između profila 25 i profila 30. Izvedeno je 12 istražnih bušotina prosečne dubine od 45.0 do 65 m, samo bušotina NBI-6 koja se nalazi na profilu 30 ima dubinu od 35 m.

U zoni saniranog klizišta izvedene su 3 istražne bušotine i u njih su ugrađeni inklinometri, kako bi se razrešile sve nedoumice vezane za sanirano klizište. Izvedena je jedna bušotina (NBI-21) sa kote 370 i 2 bušotine sa saobraćajnice S2 (kota 390).

Ovde treba dodati i bušotinu NBI-6 koja je izvedena na koti 370, na profilu 30, odnosno neposredno uzvodno od saniranog dela klizišta.

Sve ostale bušotine izvedene su iznad saobraćajnice S1, u cilju definisanja prostornog položaja konture krečnjačkog bloka kao i svojstva porfirita u kontaktnim zonama. Bušotina NBI-10 izvedena je na kosini ispod krečnjačkog odseka (kota 417) i u njoj je ugradnjena inklinometarska konstrukcija.

S obzirom da su u bušotini NBI-10 u pripovršinskoj zoni nabušeni masivni krečnjaci, pored činjenice da je ista izvedena tik uz krečnjački odsek, izvedena je još jedna kosa istražna bušotina NBD-10 dubine 15 m (vidi presek 26). Na osnovu rezultata geološkog kartiranja istražne bušotine NBD - 10 nisu konstatovani krečnjaci već porfiriti.

Položaj izvedenih istražnih bušotina dat je na prilogu br. 1, a detaljan prikaz osnovnih podataka o bušotinama i ispitivanjima u njima dat je u tabeli br. 5.



Tabela 5 – Pregled izvedenih istražnih bušotina u 2019 godini

Naziv bučotino	V	×	7	Br profila	Dubing (m)	Dubina
	I	~	2	Di.prona	Dubina (III)	inklinometra
NBI-1	7.421.800.380	4.845.449.138	432.685	28,00	60,35	
NB-2	7.421.813.66	4,845,467.62	446.70	28,00	44,45	
NB-3	7.421.829.645	4.845.437.261	448.196	26,00	49,80	
NB-4	7.421.863.884	4.845.442.211	466.348	26,00	65,20	
NBI-6	7.421.714.181	4.845.412.454	369.349	30,00	35,00	35,00
NBI-7	7.421.768.322	4.845.468.646	422.710	30,00	46,90	50,00
NBI-10	7.421.822.514	4.845.401.971	416.775	29,00	43,00	35,00
NB-10 kosa	7.421.825.230	4.845.402.063	416.932	25,00	15,00	
NB-12	7,421,858.95	4,845,383.28	433.2	23,00	60,00	
NBI-19	7.421.675.213	4.845.476.989	390.489	34,00	49,00	
NBI-21	7.421.685.563	4.845.439.362	369.066	32,00	50,00	50,00
NBI-22	7.421.701.026	4.845.456.832	390.367	32,00	50,00	50,00
		Uku	pno	568,70	220,00	

Položaj bušotina

Projektom je predviđeno i ispitivanje čvrstoće na smicanje duž diskontinuiteta na uzorcima velikog prečnika (200 mm). Svrha ovih ispitivanja sastoji se u uzimanju većeg broja reprezentativnih uzoraka sa diskontinuitetom ili potpuno alterisanih porfirita sa ciljem da se dobiju odgovarajući parametri čvrstoća na smicanje duž kliznih ravni i potencijalnih kliznih ravni. Predviđeno je da se ispitivanje izvrši na minimum 3 uzorka a optimalno na 6 uzoraka i to po dva uzorka iz sledećih sredina:

- laporoviti krečnjak, ispitivanje duž ravni "
 škriljvosti"
- potpuno alterisani porfirit, ukoliko je moguće uzeti uzorak sa pukotinom u centralnom delu i
- jako alterisani porfirit, uzeti uzorak sa pukotinom u centralnom delu.

Međutim, uzimanje uzoraka na terenu je bilo otežano. Odgovarajući uzorak uzet je posle nekoliko pokušaja, iz laporovitih krečnjaka sa platoa na koti 370 na izlazu iz optočnog tunela.

Ostali uzorci uzeti su u prisustvu predstavnika iz laboratorije Rudarskog instituta. Pregled uzetih uzoraka i rezultati ispitivanja na njima dati su u tabeli 11.

Na uzorcima 1, 2 i 3 izvršeno je smicanje duž ravni "škriljavosti" u laporovitim krečnjacima. Uzorak broj 4 je uzet iz potpuno alterisanih porfirita (P1) tako da u njemu nema jasno izraženih diskontinuiteta pa je smicanje izvršeno kroz masu uzorka. Uzorak broj 5 je uzet iz jako alterisanih porfirita (P2) u okviru kojih je stena izdeljena na sitne komade veličine 5.0-10.0 cm. Na ovom uzorku smicanje je izvršeno po jednoj od nekoliko prisutnih pukotina.

Na kraju, od terenskih radova izvršeno je postavljanje dodatnih 5 geodetskih repera (N7 do N11) na prvoj kosini iznad platoa na koti 370. Nulto merenje ovih repera izvršeno je početkom maja 2019 godine, a prvo kontrolno merenje izvršeno je početkom septembra 2019 godine.

Svi terenski istražni radovi su geodetski snimljeni.

1.2.2 Laboratorijska ispitivanja

U cilju određivanja fizičko-mehaničkih karakteristika stene predviđeno je da se urade laboratorijska ispitivanja na uzorcima. Programom je predviđeno ispitivanje jednoaksijalne čvrstoće, zatezne čvrstoce i čvrstoće na smicanje.



Tokom izvođenja istražnog bušenja doneta je odluka da se što više ispitaju najlošije partije porfirita, odnosno da se ispita čvrstoća na smicanje u potpuno alterisanim porfiritima. U ovim stenskim masa se očekuju pojave nestabilnosti terena.

Pregled uzetih uzoraka i ispitivanja na njima daje se u sledećoj tabeli.

Broj uzorka	Bušotina	Dubina (m)	Odredba stene	Granulacija (%)			Zapremin	Vršna čvrstoća		Rezidualna čvrstoća		Jednoak sijalna	
				Glina	Prašina	Pesak	Šljunak	ska težina	φ (0°)	c (kPa)	φ (0°)	c (kPa)	čvrstoća (MPa)
G-0414/19	NBI-6	18.0-18.3	P1	12	17	29	42	2.09	29	2.0			
G-0415/19	NBI-6	20.5-20.75	P1	14	23	49	14	2.1	33	4.0			
G-0416/19	NB-2	8.0-8.30	P1	7	14	33	46	2.185	27	11.0			
G-0417/19	NB-2	18.0-18.5	P,K1	6	29	44	21	2.099	29	9.0			
G-0418/19	NB-4	25.25-25.55	P2	6	20	42	32	2.092	28	7.0			
G-0419/19	NB-4	26.3-26.85	P2					2.317					2.0
G-0420/19	NB-4	28.65-29.0	P2					2.542					5.2
G-0272/19	NB-22	19.5-19.70	P1	23	34	36	8	2.002	34	7.0	32	4.0	
G-0273/19	NB-22	21.4-21.8	P1	15	22	51	12	2.119	36	3.0	33	0.0	

Tabela 6 – Pregled laboratorijskih ispitivanja na uzorcima iz jezgra istražnog bušenja

1.2.3 Geofizička ispitivanja u 2019 godini

1.2.3.1 Refrakciona seizmička ispitivanja

Izvedeno je 8 refrakcionih seizmičkih profila RSP-8 (kota 370 izlaz iz optočnog tunela), RSP-9 (Saobraćajnica S3), RSP-10 (Saobraćajnica S1), i sledećih 5 profila na padini iznad kote 420, RSP-11, RSP-12, RSP-13, RSP-14 i RSP-15. Ova ispitivanja su izvedena u cilju definisanja granice između krečnjaka i porfirita, kao i utvrđivanja deformabilnih karakteristika stenske mase. Profili RSP-8, RSP-13, RSP-14 i RSP-15 su imali dužinu od po 60 m dok su profili RSP-9, RSP-10, RSP-11i RSP-12 imali dužinu od po 120 m.

Na taj način ukupna dužina izvedenih refrakcionih seizmičkih profila je iznosila 720 m. Profili dužine od 60 m izvedeni su sa rasponom od 12 geofona na međusobnom rastojanju od 5 m, dok su profili dužine od 120 m izvedeni sa rasponom od 24 geofona na međusobnom rastojanju od 5 m. Na svim refrakcionim seizmičkim profilima registrovana su vremena nailazaka longitudinalnih (p) talasa, sa pobudom na 7 tačaka udara i pomoću prijemnika sa vertikalnim kretnim mehanizmom, kao i smičućih (transverzalnih) s - talasa sa pobudom na 3 tačke udara, pomoću prijemnika sa horizontalnim kretnim mehanizmom. Za pobudu elastičnih talasa korišćen je mehanički izvor.

Na osnovu brzina prostiranja p i s talasa sračunati su Poasonovi koeficijenti (v) za odgovarajuće sredine.

Sve tačke pobude seizmičkih talasa, kao i svi prelomi terena ili pravca pružanja refrakcionih seizmičkih profila su geodetski snimljeni.

1.2.3.2 Geoelektrična ispitivanja

Od geoelektričnih ispitivanja izvršeno je merenje specifične električne otpornosti na 10 lokacija. Geoelektrična ispitivanja su izvedena postupkom sondiranja, korišćenjem Šlumbergerovog (Schlumberger) simetričnog četvoroelektrodnog rasporeda, sa dubinskim zahvatom od AB/2=100 – 200 m, u zavisnosti od dobijenih rezultata.

Svrha ovih ispitivanja je bila da se odredi zaleganje granice između krečnjaka i porfirita ispod aktuelnog krečnjačkog odseka iznad kote 470 mnm.

Položaji geoelektričnih sondi su geodetski snimljeni.



1.2.4 Geodetska osmatranja repera

Geodetska osmatranja na reperima se izvode praktično od prve pojave nestabilnosti, 2015 godina.

Reperi sa oznakom S1, S2, S3, S4, S5 i S12 koji su postavljeni u prethodnom periodu i predstavlju stabilne repere sa kojih se izvode geodetska osmatranja.

Tokom decembra 2015 izvršeno je nulto merenje na reperima br. 1 do 25. Reperi 10, 11, 12 i 13 su u međuvremenu uništeni pa su postavljeni novi reperi 10N, 11N, 12N I 13 N na kojima je nulto merenje izvršeno u junu 2016 godine.

Reperi K1 do K 12 postavljeni su na gredi na koti 390, a reperi K13 do K19 su postavljeni na gredi na koti 410. Nulto merenje na ove dve grupe repera izvršeno je u novembru 2016. U međuvremenu reper K18 je uništen, a reper K19 je zamenjen novim K19N na kom je nulto merenje izvršeno u februaru 2017 godine.

Poslednja serija repera na saniranom delu klizišta K20-K23 postavljena je na gredi na koti 370 i na njima je nulto merenje izvršeno u avgustu 2017 godine.

Na klizištu nizvodno od saniranog klizišta, odnosno nizvodno od profila 31 osmatranje se izvodi od septembra 2018 godine. Reperi N1, N2 i N3 postavljeni su na steni na kosini iznad puta S3 (kota 390). Reper N4 je postavljen na kosini ispod puta S3, a reper N5 na samom klizištu na profilu 25 i reper N6 na stabilnom terenu nizvodno. Nulta merenja na ovih 6 repera izvršena su u septembru 2018. Do septembra 2019 na ovim reperima izvršena su 4 kontrolna merenja.

Poslednja grupa repera N7-N11 postavljena je na kosine iznad puta S2 na profilima 26, 27, 28, 29 i 30. U maju 2019 izvršeno je nulto merenje na ovih 5 repera a prvo kontrolno merenje u septembru 2019 godine.

1.2.5 Merenja u inklinometrima

U prethodnim fazama projektovanja nije bilo ugrađenih inklinometarskih konstrukcija, tako da su ova ispitivanja početna u 2019 godini.

Programom istraživanja obuhvaćeno je i proširivanje bušotina izvedenih u septembru i oktobru 2018 i ugradnja inklinometarskih konstrukcija (Tabela 7). Ovih 6 bušotina izvedeno je na delu kosine zahvaćene aktivnim klizištem. Da bi se definisala dubina klizne ravni Programom je predviđeno da se ove bušotine prošire do prečnika od 122 mm i da se u njih ugrade inklinometarske konstrukcije. Izvođač radova je predložio, a Nadzor prihvatio da se neposrednoj zoni pored bušotina predviđenih za proširenje izvedu nove bušotine bez jezgrovanja po istim jediničnim cenama.

Naziv bušotine	Y	Х	Z	Br.profila Dubina (m)		Dubina inklinometra
B-1I	7 421 747.314	4 845 442.455	401.59	30.00	40.00	40.00
B-7I	7 421 761.412	4 845 397.674	389.04	28.00	25.10	25.00
B-8I	7 421 743.956	4 845 380.883	369.90	28.00	20.30	20.00
B-9I	7 421 792.664	4 845 390.933	394.95	26.00	25.10	25.00
B-10I	7 421 779.617	4 845 381.626	390.00	26.00	30.00	30.00
B-13I	7 421 776.842	4 845 412.103	397.60	26.00	32.70	33.00
		Uku	ipno	173.20	173.00	

Tabela 7 – Pregled izvedenih bušotina bez jezgrovanja u koje su ugrađene inklinometarske konstrukcije

Pored navedenih bušotina (tabela br 7) predviđeno je da se i u novoprojektovane bušotine ugrade inklinometarske konstrukcije (tabela br.5).



Zaključno sa 21.06.2019. godine merenje je vršeno na ukupno 8 inklinometara i to : NBI-19, NBI-22, NBI-21, NBI-6, B-7I, B-8I, B-10I i NBI-10. U nastavku se daje crtež sa generalnim rasporedom inklinometara (Slika br. 1).

Od 24.aprila 2019. do kraja maja, merenja je vršila GEOSONDA, da bi nakon toga merenja i obradu podataka preuzeo izvođač radova (Hidrotehnika-Hidroenergetika). Izvođač radova je nakon preuzimanja merenja izvršio novo nulto merenje 5.6.2019. i u odnosu na to merenje dalje radio obradu podataka. Na ovaj način se izgubio kontinuitet u merenju, odnosno merenja iz maja su izgubljena u ukupnoj dobijenoj vrednosti pomeranja.

Da bi bilo jasnije, do kraja maja merenja su računata u odnosu na 24.04.2019. godine i prilikom poslednjeg merenja u maju dobili smo ukupna pomeranja ostvarena u period od mesec dana. Nakon toga izvršeno je merenje 5.6.2019. godine i ono obuhvata sva pomeranja od kraja aprila do trenutka merenja, ali obzirom da je to pomeranje proglašeno za nulto izgubila se ukupna vrednost pomeranja. Samim tim prilikom merenja 7.6.2019. dobijeno je pomeranje koje je ostvareno od 5.6.2019. do 7.6.2019., a ne od početka merenja (24.4.2019).



Slika br.1. Raspored inklinometara u osmatranoj zoni klizišta

2 Opšti prikaz klizišta – zapažanja iz predhodnih faza projektovanja

2.1 Prikaz klizišta između profila 32 i 36

Klizište je prvi put uočeno, formiranjem pukotina u torkretu, između kota 385 (ispod pristupnog puta S3) i 410 (iznad pristupnog puta S1) koje su prvi put uočene 19.10.2015. Od tada do sredine novembra registrovano je pomeranje do 10 cm. Geodetska merenja je izvršio izvođač radova sa "stabilne" tačke koja se nalazila izvan pokrenute mase. S obzirom da nije primenjena adekvatna metoda ova merenja se



ne mogu smatrati merodavnim ali je evidentno da kretanja postoje. Od sredine novembra, prema merenjima izvođača radova, kretanja su se znatno smanjila i svela na nivo greške.

Početkom decembra 2015. godine postavljeni su reperi na klizno telo i uspostavljena pravilna mreža osmatranja. Prvo (nulta) merenje izvršeno je početkom decembra 2015. godine. Od tada do 15.01.2016 izvršena su 3 kontrolna merenja.

Prema rezultatima tih merenja klizište se nalazi u stanju privremene ravnoteže. Naime, pomeranja između 2 serije merenja su manja od 10 mm. Ukupna pomeranja na reperima postavljenim na profilima 32 i 37 takođe su mala (max. 12 mm). Na reperima postavljenim na profilima 33 i 34 pomeranja su veća i variraju između 10 i 18 mm.

Tokom novembra 2015. godine otpočelo je rasterećenje klizišta iskopom i odvoženjem materijala od kote 435 prema saobraćajnici S1. Od kote 435 do saobraćajnice S1 iskop je izveden u kosinama nagiba 1:1, sa bermama širine 3 m, na svakih 5.0 m. Izvršen je iskop ukupno 45 000 m³ materijala.

Nakon toga izvršeno je osiguranje sidrima dužine 25.0 m između profila 31 i 35, na kotama 410, 390 i 377 mnm. Najviši red sidara postavljen je između profila 32 i 35. Red sidara na koti 390 postavljen je između profila 36 i 31, a red sidara na koti 377 do 7 m nizvodno od profila 31. Tek nakon toga nastavljen je iskop do aktuelne kote iskopa od približno 370, gde je urađen još jedan red sidara dužine od 25.0 m.

Paralelno sa sanacionim radovima vršena su i osmatranja pomeranja repera. Prema rezultatima ovih osmatranja najveća pomeranja odvijala su se u početku (6 cm) dok još nije bio uklonjen balast iznad saobraćajnice S1. Nakon njegovog uklanjanja pomeranje klizišta se znatno smanjilo. Dodatno smanjenje pomeranja registrovano je i posle ugradnje sidara sa sobraćajnica S1 i S3. Od avgusta 2017, kada je završena druga faza sanacije i kompletirani reperi do septembra 2018, ukupna prosečna pomeranja na najvišoj gredi (reperi 13-17, kota 406) iznose oko 10 mm, na srednjoj gredi (reperi 1-12, kota 390) pomeranja iznose oko 15 mm, a na najnižoj gredi ukupna pomeranja na reperu 20 iznosi 6 mm (najbliži portalu optočnog tunela, iskop izveden do kote 360,5) reperu 21 iznosi 5 mm, a na reperima 22 i 23 (nizvodni deo grede, iskop do kote 369) oko 3 mm.

Generalno uzevši, od početka sanacije i uklanjanja balasta iznad sobraćjnice S1, vektori pomeranja imaju tendenciju smanjenja do nivoa tačnosti merenja, ali se napominje da su minimalna pomeranja u kontinualnim pravcima niz padinu odnosno u pravcu pojava nestabilnosti.

2.2 Prikaz klizišta između profila 24 i 28

Početkom avgusta 2018 izvršena je zaštita kosine za saobraćajnicu S2 između kota 371 i 376 i počelo se sa daljim iskopima bagerom, bez miniranja, od profila 28 prema profilu 23 (profili su vezani za saobraćajnicu S1). Prilikom probijanja puta S2 na terenu su konstatovani novi ožiljci nizvodno od saniranog klizišta iznad puta S1 i na putu S3, pri čemu je odmah obavešten Investitor i Projektant. Prema terenskim opservacijama nizvodna granica klizišta je jasno izražena i nalazi se u zoni profila 24 (profili saobraćajnice S1), odnosno profila 22 i 23 (profili saobraćajnice S2). Klizanjem je zahvaćen tektonizirani krečnjak iznad potpuno alterisanih porfirita, kao i sam porfirit. Klizna ravan se nalazi u okviru porfirita i na kontaktu sa slabo ispucalim krečnjacima koji se nalaze nizvodno (slika br. 2 i 3).

Iznad saobraćajnice S1 formiran je ožiljak klizišta koji se prati sve do kote 420. Klizanjem je zahvaćena deluvijalna drobina, a delom i potpuno alterisani porfiriti i tektonizirani krečnjaci.

Na putu S2 klizaju krečnjački blokovi preko potpuno alterisanih porfirita, u okviru kojih se mestimično zapažaju laporoviti "okcasti" krečnjaci.





Slika 2 i 3. Konture novog klizišta sa nizvodne strane, između saobraćajnica S3 i S2

Uzvodno od ove granice registrovano je i geodetski snimljeno nekoliko pukotina paralelnih ivici puta sa zevom od nekoliko mm. Na tom delu i ranije je registrovano odvajanje torkreta od kosine, koje je sada intezivirano. Ove pukotine mogu biti uzvodna granica klizišta, a moguće je da predstavljaju lokalno plitko odvajanje dela kosine duž pukotina sa elementima pada 220/50-70, kojih na ovoj kosini ima dosta.

Na saobraćajnici S2 uzvodna granica klizišta, takođe, nije jasno izdiferencirana, ali se stiče utisak da je ona u zoni profila 28.

Početkom 2019 godine nije bilo jasnih vizuelnih indicija da je klizanjem zahvaćen prostor između profila 28 i 31, ali nije isključena mogućnost da je ovaj deo terena zahvaćen blagim kretanjem i da može biti provociran na klizanje nakon iskopa do kote dna slapišta optočnog tunela (kota 349).

- 3 Prikaz i analiza rezultata istraživanja
- 3.1 Korišćena dokumentacija

U okviru analize inženjerskogeoloških uslova formiranja klizišta korišćena je sledeća dokumentacija:

- Brana i akumulacija "Arilje" na profile "Svračkovo", Glavni projekat, Knjiga II Podloge, Sveska 2: Inženjerskogeološke, hidrogeološke, geofizičke i inženjerskoseizmološke podloge (seizmički hazard), Deo 2: Brana i objekti uz branu – Sintezni elaborat.
- IZMENE GLAVNOG PROJEKTA, KNJIGA IV: OPTOČNI TUNEL, ŠAHTNI PRELIV I SLAPIŠTE – GRAĐEVINSKI DEO, Sveska 1: Hidrograđevinski deo, Deo 2: Evakuacioni organi za vreme eksploatacije, Finalna objedinjena dokumentacija o inženjerskogeološkom kartiranju kosina i tunelskog iskopa od 2016 do kraja 2017 godine
- IZMENA GLAVNOG PROJEKTA, KNJIGA IV: OPTOČNI TUNEL, ŠAHTNI PRELIV I SLAPIŠTE – GRAĐEVINSKI DEO, Sveska 1: Hidrograđevinski deo, Deo 2: Evakuacioni organi za vreme eksploatacije, Zaštita iskopa kosina za optočni tunel i slapište
- 4. Dokumentacioni elaborat o terenskim istražnim radovima izvedenim u septembru i oktobru 2018, za potrebe sagledavanja uslova formiranja klizišta.
- 5. Dokumentacioni elaborat o rezultatima laboratorijskih ispitivanja i
- 6. Elaborat o rezultatima geofizičkih ispitivanja izvedenih na kosinama iznad slapišta.
- 7. Dokumentacioni elaborat o terenskim istražnim radovima izvedenim 2019 godini, za potrebe sagledavanja uslova formiranja klizišta.



- 8. Dokumentacioni elaborat o rezultatima laboratorijskih ispitivanja 2019 godine,
- Izveštaj o ispitivanju čvrstoće na smicanje duž diskontinuiteta u sklopu programa dodatnih istražnih radova na projektu izgradnje brane i akumulacije "Arilje" profil Svračkovo.Rudarski institut, 2019,
- 10. Elaborat o rezultatima geofizičkih ispitivanja izvedenih na kosinama iznad slapišta u 2019 godini.
- 11. Parcijalni izveštaji o rezultatima petrografskih ispitivanja na uzorcima stene, Rudarsko geološki fakultet, 2019
- 12. Strukturno tektonska analiza prostora u zoni nasute brane "Svračkovo" sa posebnim osvrtom na tektonski sklop u zoni slapišta, Rudarsko-geološki fakultet,

3.2 Geološka građa mesta brane

Uže područje pregradnog mesta brane je izgrađeno od sedimentnih stena donjeg i srednjeg trijasa, magmatskih stena srednjeg trijasa, te produkata kvartara.

Donji trijas je relativno slabo otkriven uz obod rečnog korita na uzvodnom, središnjem i krajnjem nizvodnom delu pregradnog mesta. Predstavljen je laporovitim "okcastim" krečnjacima škriljave i listaste teksture.

Srednji trijas prostorno dominira na levoj i desnoj obali (prilog 1). Leži konkordantno preko donjeg trijasa, a na površini se javlja u obliku manjih ili većih, diskontinuiranih izdanaka.

Predstavljen je *formacijom Ravni* čiji stub ovde počinje krečnjacima fine mikritske strukture i izrazito slabo naglašene slojevito-bankovite teksture. Već posle desetak metara ovi prelaze u krečnjake masivnog habitusa sa bočno isklinjavajućim proslojcima ili sočivima intezivno dolomitiziranog krečnjaka (mikrita). Debljina dolomitskih interkalacija varira u intervalu od 5-15 m.

Dalje u stubu mikritske krečnjake postepeno zamenjuju spariti, takođe masivne teksture. Jedni i drugi su u izvesnom stepenu rekristalizovani, a na izdancima i jezgru, uglavnom duž pukotina, delimično i karstifikovani. Završni deo stuba grade izrazito svetli sparitski krečnjaci sa gnezdastim sprudovima, zapaženim na levoj obali.

Porfirit se javlja u vidu uske zone koja se kontinuirano prostire sredinom leve dolinske strane, potom na uzvodnom delu povija upravno na rečni tok i nastavlja se na desnu obalu. Odlikuje se homogenom teksturom i reliktima ofitske strukture. Geneza mu je vezana za vulkanizam submarinskog tipa u sinsedimentacionim uslovima. Na to sugerišu:

tanak oreol (<10cm) izmene okolne stene (krečnjaka) i *izrazito nizak stepen mineralne kristalizacije*, što je nesumnjivo rezultat naglog hlađenja lave;

znatno kalcitiziran osnovni matriks stene uzrokovan asimilacijom kalcijum karbonata.

Proces njegovog nastajanja je dalje bio praćen kinetičkom (?) i statičkom diferencijacijom lave od neutralne preko intermedijarne do bazične. Statička diferencijacija je katalizirana *difuznim* geohemijskim razlaganjem primarnih minerala i manje privođenjem eksternih elemenata u kristalnu rešetku, odnosno matriks. Otuda se u njima zapažaju samo *reliktne forme* minerala, a veoma retko i *relikti samih minerala*; plagioklasa, piroksena (?), te dekolorisanih i hloritisanih liski biotita (preparat iz busotine BŠ-2, dubina 35-37.5m). Od akcesornih minerala prisutni su sfen, apatit i metalični minerali. Uz sve to u njega su (primarno ili sekundarno) inkorporirani blokovi krečnjaka, što mu skupa daje izvesna obeležja melanža (?!).



Njegov odnos prema karbonatnom kompleksu je većim je delom "normalan", markiran uskim oreolom termalnih izmena (do 10 cm). Međutim, vrlo često je ovaj kontakt tektonski i praćen je alteracijama porfirita u zoni kontakta.

Kvartarne naslage pokrivaju više od 70% leve i desne obale. Predstavljene su genetski različitim tipovima tvorevina:

- deluvijalno-eluvijalnim naslagama;
- siparima i krečnjačkim blokovima;
- proluvijumom i
- rečnim terasama i aluvijonom.

3.3 Strukturno – tektonski sklop

Tokom donjeg trijasa, najverovatno na granici sajskog i kampilskog potkata spuštanje dna sedimentnog basena prati i značajnija tektonska aktivnost, koja se ogleda u činjenici da je ovaj prostor izložen najverovatnije ekstenziji koja dovodi do tzv. riftovanja odnosno formiranja tektonskih rovova i horstova. Po definiciji, tektonski rovovi nastaju u uslovima planarne ekstenzije kada nastaju blokovi velike dužine a relativno male širine koji se spuštaju (ili u slučaju tektonskog horsta) izdižu po sistemima gravitacionih raseda. Ti sistemi najstarijih gravitacionih raseda nažalost nisu mogli biti pouzdano detektovani uzimajući u obzir da je istraživani prostor u kasnijim periodima geološke istorije bio izložen vrlo intenzivnim tektonskim i geodinamičkim promenama. Ono što se može sa sigurnošću reći jeste da je najverovatnije na granici sajskog i kampilskog potkata došlo do intenzive magmatske aktivnosti u vidu proboja efuzivnih stena, njihovog podvodnog vulkanizma praćenog fazama intenzivne eksplozivne vulkanske aktivnosti kada se u trijaske sedimente utiskuju stene porfiritskog sastava sa svojim vulkanskim piroklastičnim produktima. Svakako treba imati u vidu da prodori magmatskih stena bili predisponirani već formiranim diskontinuitetima stenskih masa u vidu gravitacionih raseda koji uslovljavaju nastanak grabena.

3.3.1 Rasedni sistemi

Analiza kinematske aktivnosti terenski prikupljenih podataka i korelacija rezultata njihove analize i interpretacije sa publikovanim radovima, omogućila je definisanje sledećih tektonskih događaja.

Gornjokredno-paleoceni transpresioni tektonski režim, kada je istraživani prosotor bio izložen SI-JZ kompresiji. Šire posmatrano to je period obdukcije ofiolita kao posledice kolizije tektonskih ploča. Tada nastaju JZ-vergentne navlake, a na istraživanom prostoru zone intenzivnog kraljuštanja koja su posledica navlačenja donjotrijaskih sedimenata preko tvorevina srednjeg trijasa. Posebno su značajni strukturni elementi koji makriraju zonu kraljuštanja, kako oni koji su direktno opservirani na terenu tako i prostorni položaj kraljušti utvrđen na osnovu stratigrafskih odnosa u bušotinama.

Srednji statistički elementi pada kraljušti, generalnog pada ka severoistoku, su 21/44. Treba istaći da se ove strukture pružanja SZ-JI rasipaju u jedan snop ravni u opsegu od 40-45°, što je uglavnom posledica činjenice da se radi o neplanarnim i zatalasanim površinama kraljuštanja sa padnim uglovima u rasponu od 36-52°. Mestimično su padni uglovi kraljušti blaži, kad kad i subhorizontalni, a u ekstremnim slučajevima mogu imati I padni ugao prema jugozapadu (profili 25 i 26).

Za ovaj tektonski događaj su vezana kretanja po rasedima orijentacije ZSZ-IJI i S-J, odnosno po rasedima sa srednjim elementima pada 212/74, pri čemu azimuth varira između 205 i 227, a padni ugao od 55-75.Pored ovog sistema raseda uočava se i manje izražen sistem raseda sa elementima pada 89/79 (Slika br. 4).





Slika br. . 04 Transpresioni režim

Primenom inversnog metoda utvrđena je pozicija osa maksimalnog, srednjeg i minimalnog stresa sa $EP\sigma_1 35/14$, $EP\sigma_2 301/16$ i $EP\sigma_3 165/69$. Imajući vidu da je maksimalna kompresija u pravcu SI-JZ, a subhorizontalna ekstenzija upravna na ovaj pravac, kao i da je osa srednjeg stresa srednjeg pada, sve to ukazuje na kinematiku transpresionog režima ovog seta podataka. Očigledno je da tektonsko suženje prostora po pravcu SI-JZ uz ekstenziju paralelnu orogenu, kontroliše kompresija praćena transkurentnim kretanjima.

Ovakav tektonski režim generalno odgovara naponskom stanju koje je utvrđeno zapadnije od istraživanog prostora, pa se može predpostaviti da su se kretanja po ovim rupturama vezana za gornjokredni-paleoceni period u kome generalno dolazi do JZ-vergentnog navlačenja koje rezultuje i kraljuštanjem u istraživanom prostoru, ali i do formiranja SI-vergentnih reversnih raseda, što se vidi i na dijagramu sklopa.

Tokom Oligocena i početkom Miocena, kao posledica reorijentacije pritisaka i ekstenzije paralelne orogenu po pravcu I-Z, istraživani prostor se nalazi u transtenzionom tektonskom režimu.



Slika br. 05 Transtenzioni režim

Kretanja po ovim rupturama su vezana za transtenzioni režim koji uslovljava dominantno gravitaciona, ali i transkuretna kretanja. Na osnovu primenjenog NDA metoda (jedan sistem ruptura) utvrđena je pozicija osa maksimalnog, srednjeg i minimalnog stresa sa $EP\sigma_1$ 238/66, $EP\sigma_2$ 340/5 i $EP\sigma_3$ 73/23. S obzirom da se rasedi nalaze na velikom krugu morovog dijagrama, najverovatnije da se radi o rupturama koje su i nastale u tom periodu, a ne o reaktiviranim kretanjima po već postojećim diskontinuitetima. Statistički elementi pada ovih rupture su 230/30-40.

Završna faza tektonskog oblikovanja ovog prostora je vezana za miocensku ekstenziju. Najmladja kinematska aktivnost na istraživanom prostoru je posledica delovanja ekstenzionog tektonskog režima tokom Miocena. Na osnovu relativnih odnosa terenski osmatranih raseda izdvojena su dva seta podataka koja ukazuju na postojanje dve sukcesivne kinematske faze tokom istog (ekstenzionog) tektonskog događaja.

Prva faza (E1) je dokumentovana rasedima i njihovom dominantno gravitacionom, a ređe reversnom kinematskom aktivnošću analiziranim na slici 06. Ono što je jasno uočljivo jeste da dolazi do reaktivacije kretanja po već postojećim rupturama generalnog pružanja ZSZ-IJI, koje su rasute u jedan snop ravni po



azimutu i padnom uglu u rasponu od oko 45°. U pitanju su rasedi srednjeg do strmog pada ka JZ, sa statističkim elementima pada 212/74.



Slika br. 06 Ekstenzioni režim (E1)

Pozicije osa stresa sa $EP\sigma_1$ 219/71, $EP\sigma_2$ 19/17 i $EP\sigma_3$ 112/6 jasno ukazuju na ekstenzioni režim koji je konstatovan i na drugim lokacijama u okviru ove tektonske jedinice. Takođe i vrednosti odnosa magnituda R=0.18 ($\sigma_1 >> \sigma_2 > \sigma_3$) pokazuju horizontalnu ekstenziju generalnog pravca IJI-ZSZ, odnosno ekstenziju paralelnu orogenu. Gotovo identičnu orijentaciju ekstenzije pokazuje i sistem pukotina smicanja (faza II) kasnije analiziran, što ukazuje na to da su ovi spregnuti sistemi pukotina najverovatnije vezani za isti kinematski akt, te da su nastali u isto vreme kada je obnovljeno kretanje po rasedima iz ovog snopa ravni.

Druga faza (E2) ekstenzije se manifestuje po rasedima značajno drugačije orijentacije. Uglavnom se radi o rupturama sa dominantno gravitacionim, ali i reversnim i transkurentnim kretanjima koje su rasute u snop h0l-ravni (slika 07). Te rupture su srednjeg do strmog pada ka severu, severozapadu i zapadu. Iako su kretanja po njima vezana za isti tektonski režim, terenski je utvrđeno da se radi o skupu najmladjih ruptura na istraživanom prostoru. Može se takođe konstatovati, na osnovu njihove pozicije na morovom dijagramu, da se uglavnom po ovom setu ruptura reaktivirana kretanja po već postojećim rasedima. Prostorni položaj osa stresa vezanih za ovaj set podataka $EP\sigma_1 347/69$, $EP\sigma_2 161/21$ i $EP\sigma_3 252/2$ ukazuje na ekstenziju pravca ZJZ-IJI. Vrednost R=0.37 pokazuje dosta uravnotežen odnos magnituda napona ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).



Slika. 07 Ekstenzioni režim (E2)

Najverovatnije da je ovo naponsko stanje, posebno ekstenzija orijentisana pravcem S-J aktivno i u recentnom periodu.

3.3.2 Pukotinski sistemi

Na istraživanom terenu su u najvećem broju opservirani sistemi pukotina (diskontinuiteti stenske mase po kojima se kretanja u datom veličinskom području mogu zanemariti) koje po genetskom tipu pripadaju pukotinama smicanja. U znatno manjem broju je meren prostorni položaj tenzionih i relaksacionih pukotina, tako da one nisu uključene u ovu analizu.



Zbirni statistički dijagram svih pukotina smicanja (D7 sm) prikupljenih tokom ovih istraživanja je prikazan na slici 8.



Slika br. 08 Statistički dijagram pukotina

Na statističkom dijagramu pukotina smicanja (D7 sm, sl. 08) obrađeno je skoro 240 strukturnih elemenata pada prikupljenih tokom ovih istraživanja. Jasno se izdvajaju dva maksimuma, prvi u SI-kvadrantu i drugi uz istočnu, odnosno zapadnu periferiju dijagrama. Ovi maksimumi tako markiraju dominantne sisteme pukotina smicanja na istraživanom prostoru sa srednjim elementima pada EPsm1 225/68 i drugi dominantni sistem je subvertikalan sa EPsm2 100/85-90 odnosno 290/85-90. Pored ova dva sistema, takođe je vrlo značajan i sistem pukotina koji markira submaksimum uz severni obod dijagrama sa statističkim EPsm3 191/85. Ostali sistemi pukotina su manje izraženi (markira ih polje druge klase gustine u SI i JZ-kvadrantu), ali svakako nisu beznačajni imajući u vidu ukupan broj merenih pukotina kao i činjenicu da drugo polje gustine obuhvata populaciju od 5-9 merenih podataka. Tako se izdvajaju i podređeni sistemi pukotina smicanja sa srednjim elementima pada EPsm4 230/31 i EPsm5 45/66.

Sistemi pukotine smicanja merenih u trijaskim sedimentima, ne ukazuju na neke suštinske razlike kada je u pitanju njihov prostorni položaj od onih koje su opservirane u porfiritu. To se uočava i na strukturnim dijagramima urađenim posebno za svako homogeno područje.

Dijagram pukotinskog sklopa u porfiritu, ukazuje na postojanje dva dominantna sistema sa EP 98/76 (maksimum uz zapadnu periferiju dijagrama i rasuto polje druge klase gustine) i drugi sistem sa EP 236/60. Za oba ova sistema je karakteristično dosta veliko rasipanje podataka oko statističkih vrednosti. Tako prvi sistem pukotina smicanja markira snop ravni rasutih po azimutu od 45-50°, dok su po drugom sistemu ta rasipanja znatno manja (oko 30°). U svakom slučaju ova dva statistička sistema pukotina zaklapaju ugao gotovo zakonit ugao od 60° i ukazuju na SI-JZ ekstenziju.

3.4 Geološka građa i tektonski sklop terena u zoni kosina iznad slapišta

Istražnim bušenjem u zoni kosina slapišta nabušene su sve geološke jedinice zastupljene na mestu brane.

Na uzvodnom delu kosina preovlađuju porfiriti. Na nizvodnom delu kosina na površini terena su masivni krečnjaci strednjeg trijasa, a ispod njih su porfiriti. Dalje u dubinu registrovani su laporoviti krečnjaci donjeg trijasa, a ispod njih vrlo često ponovo masivni krečnjaci srednjeg trijasa. Ovo je najprostiji geološki stub u zoni slapišta. Na velikom broju bušotina situacija je znatno složenija, pa se na primer laporoviti krečnjak donjeg trijasa pojavljuje 2 puta u istoj bušotini, na dve različite dubine (Bušotina B1



izvedena 2018 godine). Ovakve pojave znatno usložnjavaju geološku građu u zoni slapišta i kosina iznad slapišta, što je pored vulkanizma i izlivanja porfirita uslovljeno i izuzetno jakom tektonskom aktivnošću u periodu od krede do danas.

Naime, izuzimajući škriljce koji se javljaju nizvodno od pregradnog mesta i jako duboko na desnom boku brane (Bušotina BK-2 na dubini od 95 m) najstarije stene u zoni brane su laporoviti krečnjaci donjeg trijasa.

Tokom donjeg trijasa, najverovatnije na granici sajskog i kampilskog potkata, spuštanje dna sedimentnog basena prati i značajnija tektonska aktivnost. Paralelno sa ovom tektonskom aktivnošću najverovatnije na granici sajskog i kampilskog potkata došlo do intenzive magmatske aktivnosti u vidu podvodnog vulkanizma praćenog fazama intenzivne ekplozivne vulkanske aktivnosti kada se u trijaske sedimente utiskuju stene porfiritskog sastava sa svojim vulkanskim piroklastičnim produktima. Svakako treba imati u vidu da su prodori magmatskih stena bili predisponirani već formiranim diskontinuitetima stenskih masa u vidu gravitacionih raseda koji uslovljavaju nastanak grebena. Prema većini autora vulkansku aktivnost prati taloženje vulkanskih piroklastita i tufita, dok su proboji magme ređi. Postoji mogućnost da u tom periodu dolazi do naizmeničnog ili istovremenog taloženja tufita i piriklastita sa laporovitim krečnjacima, na šta indiciraju pojave tufita i piroklastita neposredno pored laporovitog krečnjaka u profilima 25 i 26 na putu S2.

U srednjem trijasu talože se masivni krečnjaci, a vulkanska aktivnost se nastavlja. Sredinom srednjeg trijasa, prema nekim autorima između anizijskog i ladinskog kata, vulkanska aktivnost se intenzivira i upravo tada su formirane porfiritske žice i izlivi u široj zoni pregradnog mesta. U gornjem trijasu završava se i taloženje masivnih krečnjaka i vulkanska aktivnost u ovim područjima.

Nakon toga dolazi do intenzivne tektonske aktivnosti šireg područja istraživanja, što se u potpunosti odrazilo na kosine iznad slapišta optočnog tunela. Analiza kinematske aktivnosti terenski prikupljenih podataka i korelacija rezultata njihove analize i interpretacije sa publikovanim radovima, omogućila je definisanje sledećih tektonskih događaja.

U periodu od gornje kredne do paleocena istraživani prostor je bio izložen SI-JZ kompresiji. Tada nastaju JZ-vergentne navlake, a na istraživanom prostoru se formiraju zone intenzivnog kraljuštanja, koja su posledica navlačenja donjotrijaskih sedimenata preko tvorevina srednjeg trijasa. Zone navlačenja sedimenata donjeg trijasa preko mlađim masivnih krečnjaka direktno su opservirane na terenu, a isto tako je prostorni položaj kraljušti utvrđen na osnovu stratigrafskih odnosa u bušotinama. Upravo iz tih razloga se na bušotini B-1 laporoviti krečnjaci pojavljuju na 2 nivoa. Mnogo češći slučaj na bušotinama je da su laporoviti krečnjaci iznad mlađih masivnih krečnjaka. Upravo se kosine iznad slapišta optočnog tunela nalaze u zoni kraljuštanja.

Srednji statistički elementi pada kraljušti, generalnog pada ka severoistoku, su EPkr 21/44. Treba istaći da se ove strukture pružanja SZ-JI rasipaju u jedan snop ravni u opsegu od 40-45°, što je uglavnom posledica činjenice da se radi o neplanarnim i zatalasanim površinama kraljuštanja sa padnim uglovima u rasponu od 36-52°. Mestimično su padni uglovi kraljušti blaži, kad kad I subhorizontalni, a u ekstremnim slučajevima mogu imati i padni ugao prema jugozapadu (profile 25 i 26).

Za ovaj tektonski događaj su vezana kretanja po rasedima orijentacije ZSZ-IJI i S-J, odnosno po rasedima sa srednjim elementima pada 212/74, pri čemu azimut varira između 205 I 227, a padni ugao od 55-75. Pored ovog sistema raseda uočava se i manje izražen sistem raseda sa elementima pada 89-100/75-90, duž kog je došlo do manjih "raskidanja" formiranih kraljušti.

Od Oligocena do početka Miocena, kao posledica reorijentacije pritisaka i ekstenzije paralelne orogenu po pravcu I-Z, istraživani prostor se nalazi u transtenzionom tektonskom režimu, koji uslovljava dominantno gravitaciona, ali i transkuretna kretanja. U ovom period su nastali rasedi sa statističkim elementima pada 230/30-40.

Kao posledica delovanja ekstenzionog tektonskog režima **tokom Miocena**, na osnovu relativnih odnosa terenski osmatranih raseda izdvojena su dva seta podataka koja ukazuju na postojanje dve sukcesivne kinematske faze tokom istog (ekstenzionog) tektonskog događaja.



Prva faza (E1) je dokumentovana rasedima i njihovom dominantno gravitacionom, a ređe reversnom kinematskom aktivnošću, uočljivo jeste da dolazi do reaktivacije kretanja po već postojećim rupturama sa statističkim elementima pada 212/74.

Druga faza (E2) ekstenzije se manifestuje po rasedima značajno drugačije orijentacije. Uglavnom se radi o rupturama sa dominantno gravitacionim, ali i reversnim i transkurentnim kretanjima. Te rupture su srednjeg do strmog pada ka severu, severozapadu i zapadu, sa srednjim statističkim elementima pada 290/80, 345/70 i 305/70. Terenski je utvrđeno da se radi o skupu najmladjih ruptura na istraživanom prostoru. Duž ovih raseda izvršeno je poslednje « raskidanje » kraljušti, kojim je izvršeno transkurentno kretanje nekoliko desetina metara. Najverovatnije da je ovo naponsko stanje, posebno ekstenzija orijentisana pravcem S-J aktivno i u recentnom periodu.

Na istraživanom terenu su u najvećem broju opservirani sistemi pukotina (diskontinuiteti stenske mase po kojima se kretanja u datom veličinskom području mogu zanemariti) koje po genetskom tipu pripadaju pukotinama smicanja. U znatno manjem broju je meren prostorni položaj tenzionih i relaksacionih pukotina, tako da one nisu uključene u ovu analizu.

Zbirni statistički dijagram svih pukotina smicanja (D7 sm) prikupljenih tokom ovih istraživanja je prikazan na slici 08.

Dominantni sistemi pukotina smicanja na istraživanom prostoru imaju srednje elemente pada 225/68° i drugi dominantni sistem je subvertikalan sa elementima pada 100/85-90° odnosno 290/85-90° (Slika br. 9)



SI. 09 Pukotine sa padom 225/68 na kosini iznad kote 370

Pored ova dva sistema, takođe je vrlo značajan i sistem pukotina koji markira submaksimum uz severni obod dijagrama sa statističkim EPsm3 191/85. Ostali sistemi pukotina su manje izraženi (markira ih polje druge klase gustine u SI i JZ-kvadrantu), ali svakako nisu beznačajni imajući u vidu ukupan broj merenih pukotina kao i činjenicu da drugo polje gustine obuhvata populaciju od 5-9 merenih podataka. Tako se izdvajaju i podređeni sistemi pukotina smicanja sa srednjim elementima pada EPsm4 230/31 i EPsm5 45/66.

3.5 Inženjerskogeološka svojstva stenskih masa

U prethodnom poglavlju prikazana je geološka građa i tektonski sklop područja iznad slapišta optočnog tunela. Time su istaknuti ključni momenti, koji su uslovili ovako heterogen litološki sklop, pa samim tim i izrazito heterogena svojstva stenskih masa. Pre svega treba istaći sledeće bitne elemente:

1. Litološki sastav



- Laporoviti krečnjak (donji trijas),
- Porfiriti, tufiti i porfiritske tufo breče i
- Masivni krečnjaci
- 2. Tektonski sklop
 - Kraljušti,
 - Rasedi rasedne zone,
 - Pukotine i pukotinske zone.

<u>Sedimenti donjeg trijasa</u> su relativno slabo otkriveni u zoni ulaznog portala temeljnog ispusta i u zoni slapišta i u zoni pristupnih puteva. Predstavljeni su laporovitim okcastim krečnjacima, alevrolitsko-glinovitog matriksa, škriljave i listaste teksture. Na ovim stenskim masama intenzivno je razvijen proces površinskog raspadanja, ali je degradirani deo uglavnom erodovan rečnim tokom.



SI. 10 Tektonski kontakt trijaskih sedimenata (levo) i sekundarni nabori u zoni kraljuštanja (desno)

Porfiriti su prisutni na levoj dolinskoj strani i uglavnom su pokriveni eluvijalno – deluvijalnim zastorom. Njihova geneza je vezana za vulkanizam submarinskog tipa u sinsedimentacionim uslovima.

Ove vulkanske stene, po većini autora predstavljaju produkt trijaske zone riftovanja, su različito tretirane na pomenutim susednim listovima osnovne geološke karte. Na listu "Užice", oni su tretirani kao sastavni deo vulkanogeno-sedimentne jedinice gde je konstatovano da se javljaju u vidu porfiritskih tufova, breča i porfirita u smeni sa kristaloklastičnim tufovima.

Petroloških ispitivanja na uzorcima iz jezgra istražnog bušenja izvedenim na Rudarsko-geološkom fakultetu, u laboratoriji za sedimentologiju i u Departmanu za mineralogiju, kristalografiju, petrologiju i geohemiju, konstatovane su slične stene kao na listu Užice.

Bušotina	Dubina	Makroskopska odredba stene
NBI-19	21.4-21.75	Vulkanska, porfiritska tufo breča, sekundarno jako izmenjena
		(hloritizacija i kalcitizacija)
NBI-19	29,6-29,85	Krečnjački brečo-konglomerat
NBI-19	30,5-30,6	Vulkanska, porfiritska tufo breča, sekundarno jako izmenjena
		(hloritizacija)
NBI-22	49,8-50,0	Milonitizirana i sekundarno izmenjena Vulkanska, porfiritska tufo
		breča, (sericitizacija)
NBI -19	10,10-10,15	Litoklastični Tuf, sa fragmentima porfirita veličine do 4 mm u
		tufozmom matriksu
NBI-19	36,05-36-15	Horblenda-pirokseni andezit (porfirit)

Tabela 8. Rezultati petrografskih ispitivanja stene

Početak izlivanja porfirita svakako se može vezati za donji trijas. Pored toga vrlo jasno je dokumentovana i gornja granica trijaskih porfirita činjenicom da su u peščarima dijabaz-rožnačke formacije (ekvivalent jedinici Ofiolitski melanž) konstatovani odlomci i blokovi porfirita i porfiritskih tufova



što ukazuje da je porfiritski vulkanizam završen pre stvaranja pomenute formacije. Sastav i karakteristike porfirita i pratećih piroklastita ukazuju na eksplozivni tip vulkanske aktivnosti sa kratkim periodima izlivanja male količine lave. Pored toga, smena sedimenata sa izlivnim stenama i piroklastičnim stenama ukazuje na submarinski vulkanizam tokom donjeg i srednjeg trijasa.

Porfiriti su vulkanske stene nastale izlivanjem lave pa su samim tim inicijalno veće čvrstoće od vulkanskih tufo-breča. Samim tim vulkanske tufo-breče su kao mekše stene podložnije procesu hidrotermalnih izmena. Na većini uzoraka iz vulkanskih tufo-breča registrovane su hloritizacija i kalcitizacija, a na jednom uzorku i sericitizacija.

Recentno je, u površinskom delu i duž većih ruptura, proces hidrotermalnih izmena dodatno razvijen uticajem atmosferilija.

U okviru pregradnog mesta zastupljeni su porfiriti i vulkanske porfiritske tufo-breče, a na kosinama iznad slapišta preovlađuju u pripovršinskim delovima vulkanske tufo-breče sa potpuno alterisanim porfiritima. Granice između ovih stena su nepravilne, teško se uočavaju na terenu, a mogu biti tektonske (Sl. 11). Mada to nije sasvim pouzdan metod, na prelomu porfirita se uočavaju kvadratići plagoklasa veličine 1-2 mm, što ih vizuelno odvaja od tufo-breča. Prema tom kriterijumu na kosinama iznad slapišta preliva dominiraju vulkanske tufo – breče, hidrotermalno jako izmenjene. Sa većim stepenom sigurnosti se može reći da na bušotini NBI-22 do dubine od 29.0 m dominira vulkanaska tufo breča, a od 29.0-47.50 porfirit, da bi do dna bušotine ponovo bila zastupljena tufo-breča. Na bušotoni NBI-19 tufo-breče su zastupljene do dubine 30.40 m. Od 30.4 m do dna bušotine na dubini 49.0 m zastupljeni su porfiriti.



Slika br. 11. Bušotina NBI-19, dubina 30.0-35.0 tektonski kontakt porfirita i tufo-breča

Na ostalim bušotinama zastupljenost tufo –breča i porfirita je nepravilnog rasporeda bez jasnih granica u složenom sedimentno – vulkanskom matriksu. Može se konstatovati da zone potpuno i delimično aterisanih porfirita su pomešane sa tufo brečama, pri čemu su procesi hidrotermalnih izmena zamaskirali međusobne geološke prelaze i granice. Procesi hloritizacije, kalcitizacije a pogotovu sericitizacije mogu imati ključnu ulogu u degradaciji stenskog materijala pri čemu se sada mogu jasnije opravdati tako niske vrednosti fizičko – mehaničkih karakteristika koje su dobijene na reprezentativnim uzorcima.

Procesom naknadne površinske alteracije stena je dodatno izmanjena i mestimično duž jako ispucalih zona proces alteracija se spušta i po nekoliko desetina metara. Proces površinskih alteracija , gotovo



po pravilu je zastupljen u zoni kontakta sa masivnim krečnjacima. Usled cirkulacija podzemnih voda u zoni ovog kontakta porfiriti su vrlo često jako alterisani, a mestimično i potpuno alterisani, dok su krečnjaci uglavnom jako karstifikovani. Mestimično je u ovoj zoni tokom istražnog bušenja registrovano propadanje pribora.

Pored kontaktne zone, proces površinskih alteracija je intenzivno razvijen duž zone kraljuštanja, rasednih zona i pukotinskih zona. Posebno se ističu rasedne zone i zone povećane ispucalosti sa pružanjem ZSZ-IJI i padom prema reci, odnosno sa statističkim elementima pada 220/70. Rasedi sa ovom orijentacijom nastali su u prvoj tektonskoj fazi, odnosno u vreme formiranja kraljušti. U poslednjoj tektonskoj fazi, u fazi ekstenzije na ovim prostorima, došlo je do reaktivacije kretanja po ovim rupturama tako da se na smičućim ravnima mestimično zapažaju dve generacije strija. Dakle, duž ovih rasednih i pukotinskih zona došlo je u 2 navrata do lomljenja stenske mase, a nakon toga i do procesa alteracija usled cirkulacije podzemnih voda. Treba naglasiti da je pored reaktivacije kretanja duž ovih rasednih zona, u poslednjoj tektonskoj fazi došlo i do formiranja pukotina smicanja sa istom orjentacijom. Prosečno su na rastojanjima od 20-30 cm, a ima i zone gde se ove pukotine grupišu pa im je međurastojanje manje od 10 cm.

U prethodnim fazama projektovanja inženjerskogeološkim kartiranjem istražnih bušotina i kosina su u porfiritima, prema stepenu alteracije, izdvojene sledeće zone:

- Porfirit potpuno alterisan;
- Porfirit jako alterisan;
- Porfirit umereno alterisan;
- Porfirit slabo alterisan i nealterisan;

U tekstu ispred navedeno je da su vulkanske tufo-breče podložnije procesima alteracija i da su na kosinama iznad slapišta zastupljene uglavnom tufo-breče sa potpuno i delimično alterisanim porfiritima. Da bi se održao kontinutet sa prethodnom dokumentacijom u ovom elaboratu zadržana je podela po altracijama iz prethodne dokumentacije s tim što su potpuno alterisani i delimično alterisani porfiriti u međusobnoj smeni sa tufo – brečama, bez jasnih geoloških prelaza i granica.

Detaljniji prikaz izdvojenih sredina po stepenu alteracija daje se u nastavku.

Zona potpuno alterisanog porfirita (P₁)- Stena je dezintegrisana i trošna, pretvorena skoro u "grus", pri čemu je očuvana primarna struktura stene. Pukotine dele stenu na sitne romboedre, centimetarske veličine, koji se lako mogu razdvajati. Boja stene, od osnovne tamno-zelene pretvorena je procesom alteracija u prljavo žutu. U zonama hidrotemralnih izmena stenska masa je kompletno raspadnuta do prašinasto – glinovitih fragmentata.

Iz ove sredine uzeto je 6 uzoraka i na njima izvršeno ispitivanje granulometrije i čvrstoće na smicanje. Granulometrijskim ispitivanjima konstatovano je da u okviru ispitanih 6 uzoraka zastupljenost glinovite komponente varira od 6-23%, a prašinovite komponente varira od 14-24%.

Zona jako alterisanih porfirita (P₂)- Stena je, takođe, jako ispucala i izdeljena na nešto krupnije romboedre i uz to intenzivno alterisana, ali ne do "grusa". Procesom raspadanja boja stene je pretvorena u žuto-zelenu i prljavo-zelenu. *Iskop u ovim materijalima može se izvoditi građevinskim mašinama (bez ripovanja).*

Zona umereno alterisanih porfirita (P₃)- Stena se odlikuje manjom ispucalošću od prethodnih. Rastojanje između pukotina iznosi od 20,0-30,0 cm'. Duž pukotina stena je jače alterisana, a intaktni deo stene znatno manje. Boja intaktnog dela je promenjena od tamno zelene u prljavo zelenu, a duž pukotina u žuto-zelenu. *Iskop se može izvesti mestimično ripovanjem, a mestimično jakim građevinskim mašinama (bez ripovanja)*.

Zona slabo alterisanih i nealterisanih porfirita (P₄) - Stena je jako čvrsta, sa alteracijom duž zidova pukotina. Bušenjem u ovoj zoni vađeni su kernovi dužine i do 20,0 cm'. *Iskop u ovoj sredini može se izvoditi samo miniranjem*.

Važno je napomenuti da su granice između ovih zona postepene i nepravilne i u vertikalnom i u horizontalnom pravcu. Naime, sve prikazane zone registrovane su istražnim bušenjem, a na površini



terena nisu registrovani samo slabo alterisani do nealterisani porfiriti (P4). Ovako "nepravilan" raspored, ukazuje da su alteracije (hidrotermalne izmene i površinsko raspadanje), uglavnom, jače razvijene duž tektonski oštećenih zona, odnosno pukotinskih zona.

Na taj način se zona potpune ili jake alteracije porfirita može spustiti, duž pukotinskih zona i rasednih zona do dubine od 30,0 m' i više, a zona umereno alterisanih porfirita može biti prisutna i na površini terena.

Geotehničke karakteristike stenskih masa su detaljno prikazane u Glavnom projektu, u kom su porfiriti prema stepenu alteracije bili podeljeni na 3 grupe.

Tokom izvođenja objekta izvršena je detaljnija podela porfirita na 4 grupe i naknadno definisne geotehničke karakteristike za te 4 grupe (tabela 9).

Tabela 9. Usvojene fizičko – mehaničke karakteristike stenske mase u fazi izvođenja objekta (2014 godine)

		Usvoje	ene fizičko - me	ehaničke i deforn	nacione karal	kteristike sten	ske mase		
Oznaka	Simbol	Inženjerskogeološka svojstva stenskih masa	Zapreminska težina (MPa)	Jednoaksijalna čvrstoća (MPa)	Kohezija (MPa)	Ugao unutrašnjeg trenja (°)	Poasonov koeficijent	Statički modul elastičnosti (MPa)	Statički modul deformacije (MPa)
1	P1	Porfirit potpuno alterisan - (hidrotermalno izmenjen, sekundarno kompletno raspadnut)	21	< 5	0.01 - 0.05	30 - 33	0.33 - 0.34	1000 - 1500	100 - 500
2	P2	Porfirit jako alterisan - (hidrotermalno izmenjen, sekundarno površinski raspadnut)	24	5 - 10	0.05 - 0.1	33 - 35	0.33	1750 - 2000	500 - 1000
3	P3	Porfirit umereno alterisan - (hidrotermalno izmenjen)	26	10 - 45	0.1 – 0.3	40	0.3	4000 - 5000	2500 - 3000
4	P4	Porfirit slabo alterisan - homogene strukture	27.5	45 - 70	0.3 – 0.5	42	0.25	7000 - 10000	5000 - 6000

Tokom istraživanja izvedenih 2019 godine uzeti su uzorci za ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika stene. Akcenat je stavljen na potpuno alterisane porfirite (P1) iz kojih je uzeto 5 uzoraka i na njima ispitana pored granulometrije i čvrstoća na smicanje. S obzirom da su uzorci uzeti iz jezgra poremećenog bušenjem, odnosno da su praktično uzeti uzorci poremećenih glinovito-prašinovitih peskova, dobijene vrednosti bi mogle odgovarati rezidualnoj čvrstoći.

T I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	D		1.11.1						v	1 V	
Lahela 1()	Prealed	laboratorii	ekih ie	nitivani	a na	1170rcima	17 1070	nra ieti	raznoa	husen	ıa.
	ricgica	laboratorij	01/11/10	բուսներ	ana	uzoronna	12 102	jiu isti	uznog	Dusch	Ju.

Dusiumentos	Dužetice	Dubing (m)	Odredba	Granul	acija (%)			Zapremin	Vršna č	vrstoća	Rezidu čvrstoć	alna :a	Jednoak sijalna
Broj uzorka	Busotina	Dubina (m)	stene	Glina	Prašina	Pesak	Šljunak	ska težina	φ (0°)	c (kPa)	φ (0°)	c (kPa)	čvrstoća (MPa)
G-0414/19	NBI-6	18.0-18.3	P1	12	17	29	42	2.09	29	2.0			
G-0415/19	NBI-6	20.5-20.75	P1	14	23	49	14	2.1	33 4.0				
G-0416/19	NB-2	8.0-8.30	P1	7	14	33	46	2.185	27	11.0			
G-0417/19	NB-2	18.0-18.5	P,K1	6	29	44	21	2.099	29	9.0			
G-0418/19	NB-4	25.25-25.55	P2	6	20	42	32	2.092	28	7.0			
G-0419/19	NB-4	26.3-26.85	P2					2.317					2.0
G-0420/19	NB-4	28.65-29.0	P2					2.542					5.2
G-0272/19	NB-22	19.5-19.70	P1	23	34	36	8	2.002	34 7.0		32	4.0	
G-0273/19	NB-22	21.4-21.8	P1	15	22	51	12	2.119	36	3.0	33	0.0	

Otuda se sasvim pouzdano može konstatovati da usvojene vrednosti parametara smicanja za potpuno alterisane porfirite (P1) i ravni smicanja (klizanja) u porfiritima c=10 kPa i ϕ =30^o predstavljaju realne vrednosti.

Slične vrednosti dobijene su na neporemećenom uzorku broj 4 (Tabela 11) s tim što je dobijen nešto manji ugao φ =27°, a kohezija je veća od usvojene i iznosi c=40.95 kPa.



Uzorak 5 iz tabele 11 uzet je iz jako alterisaih porfirita (P2) i ima ugao smicanja φ =32,62° i koheziju c=44.5 kPa, tako da se na bazi ovog uzorka može reći da su usvojene vrednosti parametara smicanja za jako alterisane porfirite korektne.

Prema ispitivanju čvrstoće na smicanje u laporovitim krečnjacima duž ravni "škriljvosti" parametri čvrstoće variraju u sledećim rasponima c=49.42-168.98 kPa i φ =27.85-33.32°. Otuda se za proračune mogu uzeti sledeće vrednosti c=20-40kPa i φ =30°.

Tabela 11. Pregled laboratorijskih ispitivanja čvrstoće na smicanje duž diskontinuiteta

			Parar	netri čvrs	stoće na	smicanje
Red.			Vršna č	ćvrstoća	Rezidual	na čvrstoća
Broj	Lokacija	IG opis stene	φ (0°)	c (kPa)	φ (0°)	c (kPa)
	Plato na koti 370, na	Listasti i okcasti laporovit				
1	izlazu iz optočnog tunela	krečnjak braon boje	27.85	168.98	19.39	10.23
	Plato na koti 370, na	Listasti i okcasti laporovit				
2	izlazu iz optočnog tunela	krečnjak braon boje	33.32	83.2	26.34	3.5
	Zasek na saobraćajnici					
	S1, na mestu odvajanja	Listasti i okcasti laporovit				
3	saobraćajnice S3	krečnjak tamno sive boje	31.74	49.42	23.82	6.02
		P1 - porfirit potpuno				
4	Profil 29, kota 433	alterisan	27.32	40.95	21.23	8.05
5	Profil 29, kota 433	P2 - porfirit jako alterisan	32.62	44.5	18.08	4.23

Parametri čvrstoće i deformabilnosti za slabo alterisane i nealterisane porfirite ispitani su u Glavnom projektu i oni se prikazuju na tabelama 12 i 13

•



Tabela 13. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava na uzorcima

	Dužetine	Dubine	Vrete etcas	PA R A I	METRI	Č V R	STOĆI	E		DIN D	A M I Č K I E F O R M	I P A R A A B I L N	METRI OSTI
Uzorak	Busotina	Dubina	vrsta stene	Zapre-	Jednoa	ksijalna č	čvrsto}a	Kohe-	Ugao	Brzina	Brzina	Poas.	Dinamički modul ola-
				tezina	stanju	siceno	zamr.	zija	trenja	talasa	talasa	cijent	stičnosti
				(KN/m)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(⁰)	(m/s)	(m/s)	-	(Mpa)
1	BŠ-2	48.4-54.9	Porfirit	27.37	116.25	114.23	113.72	18.75	42.00	5143.00	2394.00	0.36	42750.00
2	ВŠ- 2	8.00-11.0	Porfirit slabo alterisan	26.52	68.18	59.84	60.42	15.25	40.00	5533.00	2214.00	0.40	36850.00
3	BŠ-2	35.0-37.5	Porfirit	27.24	45.49	37.91	35.64	11.50	39.00	5581.00	2345.00	0.39	41990.00
4	BŠ-1	34.5-41.0	Porfirit	27.64	115.56	112.93	120.40	19.53	42.00	5062.00	2376.00	0.36	42620.00
5	BŠ-1	1.00-2.00	Porfirit slabo alterisan	26.60	70.20	68.40	71.30	14.25	40.00	5382.00	2301.00	0.39	39600.00
6	B-2	40.5-41.5	Sedimentna breča	27.38						5375.00	2623.00	0.34	50610.00
7	B-2	40.5-41.5	Sedimentna breča	26.51	25.27	15.16	12.64	50.56	39.00	3186.00	1574.00	0.34	18990.00
8	B-1	11.0-12.0	Masivni krečnjak	27.36	105.78	109.40	100.32	20.40	42.00	5750.00	2880.00	0.33	60510.00
9	B-4	62.0-63.0	Porfirit	27.58	131.41	130.15	131.40	19.53	42.00	5006.00	2339.00	0.36	41090.00
10	P-5	31.5-32.5	Masivni krečnjak	27.14	72.50	63.90	60.42	18.20	40.00	6255.00	2677.00	0.39	54020.00
11	P-5	39.2-39.9	Masivni krečnjak	26.84	88.45	89.23	79.68	9.50	41.00	5325.00	2657.00	0.33	50590.00
12	BK-2	22.0-23.0	Mikrudit –laporovit krčnjak	26.85	11.06	6.89	5.90	4.21	36.00	2366.00	1103.00	0.36	8980.00
13	BK-2	36.2-37.0	Mikrudit –laporovit krčnjak	26.71	10.68	7.17	5.42	3.10	31.00	3608.00	1623.00	0.37	19520.00
14	P-8	26.8-27.3	Porfirit	27.38	118.26	106.59	117.05	16.50	41.00	5567.00	2648.00	0.35	52060.00
		•	Porfirit	27.44	105.39	100.36	103.64	17.16	41.20	5271.80	2420.40	0.36	44102.00
			Porfirit slabo alterisan	26.56	69.19	64.12	65.86	14.75	40.00	5457.50	2257.50	0.40	38225.00
P	ROSEC	NE	Masivni kre~njak	27.11	88.91	87.51	80.14	16.03	41.00	5776.67	2738.00	0.35	55040.00
V	REDNO	STI	Sedimentna bre~a	26.95	25.27	15.16	12.64	50.56	39.00	4280.50	2098.50	0.34	34800.00
			Mikrudit- laporovit krečnjak	26.78	10.87	7.03	5.66	3.66	33.50	2987.00	1363.00	0.37	14250.00



Tabela 14. Rezultati ispitivanja deformabilnosti na uzorcima

				DINA DE	M I Č K I F O R M A	P A R A B I L N	M E T R I O S T I	S	T A T I Č K D E F O R	(I PARAM MABILNO	E T R I S T I
Uzora k	Bušotin a	Dubina	Vrsta stene	Brzina Longitud. talasa	Brzina Transv. talasa	Poas. koefi- cijent	Dinamički modul elastičnosti	Napon	Poas. koefi- cijent	Modul elastičnosti	Modul deformacije
				(m/s)	(m/s)	-	(Mpa)	(Mpa)		(Mpa)	(Mpa)
								18.95	0.10	5638.00	4868.00
1	BŠ-2	48.4-54.9	Porfirit	5143.00	2394.00	0.36	42750.00	31.59	0.21	6862.00	5975.00
								55.60	0.35	8790.00	7600.00
								18.95	0.19	5571.00	4903.00
4	BŠ-1	34.5-41.0	Porfirit	5062.00	2376.00	0.36	42620.00	31.59	0.21	6766.00	5972.00
								55.60	0.33	8684.00	7672.00
								11.36	0.10	5216.00	4785.00
2	BŠ-2	8.00-11.0	Porfirit slabo alterisan	5533.00	2214.00	0.40	36850.00	22.73	0.25	7230.00	5845.00
								45.45	0.33	9735.00	6877.00
								18.95	0.17	5907.00	5746.00
10	P-5	39.2-39.9	Masivni krečnjak	5325.00	2657.00	0.33	50590.00	31.59	0.23	7266.00	6788.00
								55.60	0.31	9133.00	8305.00



<u>Sedimenti srednjeg trijasa</u> prostorno dominiraju na levoj i desnoj obali i čine ih krečnjaci sparitske strukture, masivne teksture, delimično ili potpuno rekristalisali, mestimično nepravilno dolomitizirani, a mestimično sa sočivastim interkalacijama sedimentnih breča. Padine izgrađene od masivnih krečnjaka su strme, a mestimično prelaze u vertikalne odseke. Na izdancima krečnjaka se ističu setovi pukotina, kojima je stena izdeljena na monolite različitih dimenzija. Ovako formirani monoliti se otkidaju sa subvertikalnih odseka i deponuju ispod njih u formi sipara.

Prema terenskim opservacijama i statističkoj analizi, jasno su izdiferencirana četiri seta pukotina. Dominantan je set sa statističkim elementima 105/85-90, odnosno 285/85-90 i set 245/85, odnosno 65/80-90. U zoni saobraćajnice S2 dominira set 220/55-70. Dužina pukotina po pružanju je m-dm reda veličine, a zev im varira 1,0-10,0 mm. Mestimično su duž njih formirani karstni kanali i kaverne. Proces karstifikacije je jače razvijen na višim delovima terena, iznad kote reke, odnosno iznad nivoa podzemnih voda. Na osnovu rezultata izvedenih istraživanja i kartiranja kosina puta izdvojene su, prema stepenu ispucalosti i karstifikacije, četiri sredine:

- 1. Krečnjak i krečnjačka breča, polomljeni, izrazito karstifikovani,
- 2. Krečnjak jako ispucao, karstifikovan i
- 3. Krečnjak slabo ispucao.
- 4. Krečnjak jako čvrst, kompaktan, slabo ispucao

Prva sredina (K₁) čini izrazito tektonizirane i karstifikovane krečnjake i krečnjačke breče. U okviru ove sredine stena je izdeljena u blokove cm do dm veličine , a duž pukotina su formirani karstni kanali otvoreni ili sa kalcitom po zidovima. Kosine izvedene u ovoj sredini su nestabilne i zahtevaju podgrađivanje.

Druga sredina (K₂) je predstavljena *krečnjacima masivne teksture, jako ispucalim i umereno karstifikovanim.* Na površini terena pukotine se u njemu manifestuju na rastojanjima 1,5-2,0 m'. Mestimično se, međutim grupišu u zone, sa internim rastojanjima pojedinih pukotina 20,0-30,0 cm. Veličina zeva varira u intervalu 1,0-10,0 mm' i ispunjava ga sekundarni glinoviti materijal ili kalcit. Pukotine, naime, mestimično prelaze u karstne kanale, a retko i u kaverne.

Treću sredinu (K₃) predstavlja krečnjak sparitske strukture, masivne teksture, delimično ili potpuno rekristalisao, slabo ispucao. Pukotine su retke i sa malim zevom (do nekoliko milimetara) i uglavnom ispunjenim kalcitom. Mestimično se zapažaju slabe alteracije zidova pukotina.

Četvrtu sredina (K₄) predstavlja krečnjak jako čvrst, slabo ispucao, pukotine sa malim zevom, do 1.0 cm ispunjene glinom.

Bušotina	Dubina	Vrsta stene	Zapreminska	Zapreminska	Čvrstoća	Zatezna
			masa sa	masa bez	na pritisak	čvrstoća
			porama i	pora i		
			šupljinama	šupljinama	(MPa)	(MPa)
			(g/cm3)	(g/cm3)		
B-8	8.0-8.2	Masivni krečnjak	2.684	2.727	81.0	
B-8	14.0-14.3	Masivni krečnjak	2.687	2.727	66.0	
B-9	10.7-11.0	Masivni krečnjak	2.622	2.687	78.0	
B-9	15.4-15.6	Laporoviti krečnjak	2.640	2.703	29.0	4.7
B-9	19.2-19.7	Masivni krečnjak	2.683	2.727	96.0	
B-10	21.40-22.0	Masivni krečnjak	2.706	2.735	93.0	

Tabela	14.	Rezultati	laborato	riiskih	ispitiv	/ania na	a uzorcima	iz iezara	istražnih	bušotina	izvedenih 2	018
												• • •



U tabeli br.15. prikazane su usvojene fizičko – mehaničke karakteristike stenskih masa za potrebe Glavnog projekta.

Tabela br.15.Usvojene fizičko – mehaničke karakteristike stenskih masa za potrebe Glavnog projekta

Tabela 10. Pregled rezultata ispitivanja fizičko-mehaničkih i deformacionih karakteristika sa usvojenim vrednostima za stensku masu

	HIDROGE	LOŠKA		DINA	MIČK	I PARA	METE	I DEI	ORMA	BLNO	STI				STATI	CKI PAR	AMETRI	PA	RMH	TRI C	VRST	CE	1		USV	OJEI	A E V	REDE	OSTI	
INŽENJERSKOGEOLOŠKA	STOAS	TVA	TES	RENSK	A IS	PITIV	A NJ A		1 S P	ΙΤΙΥΑ	NJA 1	A U	ZORCI	MA	DEFOR	MABILN	ITZOI													
SVOJSTVA STENSKIH MASA	Opsti opis	Vodopro puszost	Brzina longitudinalnih	Brzina transv.	Poas. koefi-	Dinam. modul	Statički mođul	Statički modul	Brzina longitud.	Brzina transv.	Poas. koefi-	Dinam. modul	Statički mođul	Statički mođul	Poas. koeti-	Modu	1 Modu 5- defor	I Zapre- minsk	Jedno a u suv	aksijaln otu vođ	o posle	Kohe- zija	Ugao unutr.	Zapre- J minska a	edno+ ksijal.	Kohezija	Ugao unutr. trenia	Poas. koefi-	Statički modul elastičnosti	Statički mođul deformmacije
		(11)	(m/c)	(m/s)	cijent	(March)	elastic.	detorm.	talasa	(min)	cijent	eiastić.	elastič.	Idetorm.	cijent	nosh	macij	e tezina	stanjt	A (Mon	zamr.	(Mas)	(Mna	(Mna) (Mna)	(Mpa)	liciju	-	(Mpa)	(Mpa)
Perfirit jako de potpuno alteriran (hidrotamalno izmenjen, sekundarno povrsinski raspadnut), 30-50% stene potpuno dezintegrisano i trofano sa očuvanom primarnom strukturom stene, ekar do prijavo zelene boje. Preostali deo slabo do umereno alterisan, sa monolitima umerene ovrstoce.	Vodopro- pusnost mala do srednja (tesko se ispituje)	< 30.0	2075.0	1090.0	0.28	8455.00	1777.0	482.00	(075)	(11/5)		(Alpa)	(Mpa)	(Mpa)		(Mps	<u>() (Mp</u>		<u>у (мр</u>	a) (161ps	(Mipa	(mpa)	(Mpa	24.0 1	0.0-15.0	0.1-0.3	33.0-35.0	0.33	1750.0-2000.0	500.0-1000.0
Perfirit slabo do umerono alterisan (hidrotemalno iznenjen), stona alterisana duž pukotina, malo čvrstoce, prijavo zešene boje. Isaktni deo stene slabo alterisan, srednje ovrstoce, malo promenjene boje.	Vodopro- pusnost mala do srednja	>10.0	2500.0-3000.0		nali 949	ib alb Koo N	5420.0	2020.0	5457.5	2257.5	0.40	38225.	0 18490.0	9977.0	0.2	25 7230	.0 5845	.0 26.5	6 69.1	9 64.12	65.03	14.75	40.00	26.0 6	5.0-70.0	3.0-4.0	40.0	0 0.30	4000.0-5000.0	2500.0-3000.0
Perfirit sa reliktima ofitske strukture, homogene ukuture, jako cvrst, slabo ispuco, pukotine stisnute II sa zevom do nekoliko milimetara, ispunjene valetkom ili otvorene sa slabo alterisanim zidovima.	Vodopro- pusnost mala,retko srednja	0.0-10.0	3500.0-3900.0	2080.0	0.23	30000.0	13420.0	6582.0	5272.0	2420.0	0.36	44102.	23120.0	13180.0	02	6793	.0 5973	5 27.4	6 105	4 100.4	103.6	17.16	41.2	27.50 1	00-120.0	4.5-5.5	42	0 0.25	7000.0-10000.0	5000.0-6000.0
Lesdajak jako izuezo, izrazilo karstifikovan, spanisko strukture, mazivne teksture. Pukoline se velikim zovom, mestimicno prelaze u karstne kanale, otvorene ili delimicno ispunjene glinom.	Vodopro- pusnost velika do vrlo velika	>100.0	2760.0-3100.0	1520.0	0.27	16000.00	2200.0	1000.0															-	26.0 6	0.0-70.0	1.0-2.0	40	0 0.28	4000.0-5000.0	2000.0-4500.0
Enefnjak sparitske strukture, masivne teksture delimično ili potpuso rekristalisno, mestimično sepavilno dolomitziran, mestimično sa sočivastim inskalacijama sedimentnih breča. Pukotine retke, sa smlim zevom i vrlo retko sa rezvijenom karstifikacijom	Vodepro- pusnost mala, retko srednja	<10.0	3550.0-4400.0	2250.0	0.25	35000.00	8600.0	4700.0	5776.7	2738.0	0.34	55040.0	47800.0	7880.0	0.2	7266	.0 6788	.0 27.1	1 88.9	1 85.5	80.14	16.03	41.00	27.0 8	5.0-90.0	3.5-4.5	40.0-42.0	0.26	7000.0-8000.0	4500.0-5500.0
utarit i mikradit alevrolitsko-sericitsko-glinovitog entrikas, fikriljave i listaste teksture, u gornjim tarizontima brečoidni (krečnjački konglomerat). Fakotlas retke i japunjene kalcitom.	Vodopro- pusnost vrlo mala	0.0-4.0	2300.0-2700.0						2987.0	1363.0	0.37	14250.0	2400.0	790.0				26.7	8 10.8	7 7.0	5.66	3.66	33.50	26.80	11.0	1.0-1.5	31.0-36.0	0.32	2000.0-3000.0	0 1000.0-1500.0
taninatamorfizani poscari i filiti, tanno sive boje, ubrani, sa prosloojoima kvareita tatojine do 10cm. Na površini terena jako raspadnuti.	Vodopro- pusnost vrlo mala	0.0-4.0	Mh											-																

36



4 Analiza inženjerskogeoloških uslova formiranja klizišta na kosini iznad slapišta optočnog tunela i razvoj pojave

Prikaz stabilnosti kosina iznad slapišta nakon izvršenih istraživanja i ispitivanja u 2019 godini izvršiće se prema podeli po stabilnosti usvojenoj u prethodnim fazama istraživanja. U prethodnim fazama istraživanja područje istraživanja (kosine iznad slapišta) podeljeno je na 4 zone prema stabilnosti:

- Aktivno klizište najnizvodnija zona, između profila 24 i 27,
 - Nestabilna zona, između profila 27 i 28,
 - Potencijalno nestabilna zona, između profila 28 i 31 i
 - Sanirano klizište, između profila 31 i 35 (portal optočnog tunela).

U nastavku se daje prikaz i analiza rezultata istraživanja prema izdvojenim zonama.

4.1 Aktivno klizište

Aktivno klizište, od profila 24 do profila 27, predstavlja zonu zahvaćenu najnovijim kretanjima iz 2018 godina. Klizno telo sa nizvodne strane izlazi na površinu, u zoni profila 24. Sa uzvodne strane vidljivo pomeranje se završava na pukotinskoj zoni sa elementima pada 110/70 ili zoni sa elementima pada 300/70, a sa strane zaleđa formiran je ožiljak klizišta na kosini iznad saobraćajnice S1. Klizanjem je zahvalen krečnjački blok i alterisani porfirit koji se nalazi ispod njega. Klizanje se odvija preko laporovitih krečnjaka donjeg trijasa i potpuno alterisanih porfirita (P1).

Nakon prvih pojava aktivnog klizanja terena, iznad saobraćajnice S2 postavljen je novi geodetski reper N5.



SI 12 Dijagrami pomeranja na reperima novog klišita N1, N2, N3, N4, N5 I N6

Od nultog merenja iz seprembra 2018, do septembra 2019 na ovom reperu konstatovano je horizontalno kretanje od 108 mm I vertikalno kretanje od 12.4 mm. Reper N6 se nalazi nizodno na stabilnom terenu tako da na njemu nema kretanja.

Ovoj zoni pripadaju i reperi N7 i N8 za koje je nulto merenje izvršeno u maju. Prvim kontrolnim merenjem u septembru 2019 registrovano je horizontalno pomeranje do 11 mm, isto kao i na reperu N5 za period maj – septembar.

U početnim fazama istraživanja (2018) u ovoj zoni su izvedene 4 bušotine B-9, B-10 I B-11 na profilu 26 i bušotina B-12 na profilu 25. Za potrebe ovog elaborata bušotine B-9 i B-10 su proširene i u njih su ugrađene inklinometarske konstrukcije.

U cilju definisanja progresivnog širenja klizišta uz padinu, iznad puta S1 izvedene su u 2019 dodatne 4 bušotine: NBI-10, NB-12, NB-03 i NB-04. Bušotine NB-03 i NB-04 su izvedene u zaleđu krečnjačkog bloka na približnim kotama 450 i 460.0 mnm.



Bušotina NBI-10 je izvedena ispod krečnjačkog bloka i već posle nekoliko metara je ušla u umereno do slabo alterisane porfirite (P3),a od dubine 20.20 ušlo se u jako polomljene i karstifikovane krečnjake. Na kontaktu sa krečnjacima i porfiriti su umereno do jako alterisani.



SI.13 Jezgro istražne bušotine NBI-10, dubina od 15.0-25.0 m

Prema položaju na terenu očekivalo se da bušotina NBI-10 već posle nekoliko metara uđe u krečnjake ali se to nije dogodilo. Zbog toga je izvedena dodatna kosa bušotina sa nagibom 45[°], ali i ona nije ušla u krečnjak (vidi presek 26), već je uglavnom bušena kroz porfirite (P3).

Bušotina NB-12 je već posle 3.30 m ušla u kompaktne krečnjake, tako da se može konstatovati da u zoni profila 24 i 23 pouzdano nema uslova za proširenje klizišta uz padinu.

U bušotini NB-3 konstatovan je krečnjak brečoidan do dubine od 10.0 m, a od te dubine do dubine od 43.0 naizmenično se smenjuju porfiriti različitog stepena alteracija P1, P2 i P3. Jako do potpuno alterisani porfiriti P1 i P2 su vezani za rasedne zone i pukotinske zone sa padnim uglom od oko 70°, a ima i zona sa nagibom 30-40° prema reci. Slična je situacija i na istražnoj bušotini NB-04. Prema kartiranju pristupnih puteva do ove 2 bušotine konstatovane su pukotinske i rasedne zone sa statističkim elementima pada 220/70 i znatno ređe 220/30-45° (bušotina NB-4 oko 30-tog m).



Slika br 14. Bušotina NB-4, dubina 30-35.0 m



Prema rezultatima refrakcionih seizmičkih ispitivanja u zaleđu krečnjačkog bloka izdvajaju se 3 sredine . Najlošija sredina sa prosečnim brzinama Vp=1250 m/s i Vs= 700 m/s, nalazi se u površinskom delu terena i pripada jako alterisanim porfiritima i delom potpuno alterisanim porfiritima. Uzvodno od profila 25 dubina ove zone je do 2-3 m, a nizvodno od ovog profila varira od 5-10 m.

Ispod ove sredine nalazi se sredina sa prosečnim brzinama Vp=2000 m/s i Vs= 1000 m/s, što odgovara stenskoj masi koja se može kopati ripovanjem, što približno odgovara jako do slabo alterisanim porfiritima P2 i P3. Međutim, prema rezultatima bušenja u ovoj sredini se smenjuju porfiriti P1, P2 i P3, a do loma u steni uglavnom dolazi u sredini P1, podređeno u P2.



Slika 15. Porfirit površinski alterisan na pristupnom putu prema bušotini NB-2



Slika 16 Pristupni put za bušotinu NBI-10

U prethodnim fazama projektovanja klizna ravan je pouzdano definisana samo na ožiljcima klizišta (prilog 1). Da bi se definisala dubina klizišta u bušotine B-10I i NBI-10 su ugrađene inklinometarske konstrukcije. Prema osmatranjima od početka juna do početka septembra (6 merenja) u buotini B-10I klizanjem je zahvaćena stenska masa do dubine od 13.0 m, a ukupno horizontalno pomeranje je oko 10 mm. Klizanjem je zahvaćen jako ispucao i karstifikovan krečnjak, a klizanje se odvija preko potpuno alterisanih porfirita i delom preko laporovitih krečnjaka. Svakako, u okviru pokrenutog krečnjačkog bloka



odvijaju se "blokovska" kretanja ograničena pukotinama 220/70 u zaleđu, 220/30-40 u podlozi i 300/70 bočno (uzvodno i nizvodno).

Rezultati merenja u inklinometru NBI-10 od sredine juna do početka septembra (6 merenja) ukazuju da je klizanjem zahvaćena stenska masa do dubine od 19.0 m, a ukupno pomeranje ne prelazi 5.0 mm. U zoni bušotine NBI-10 klizanjem je zahvaćen slabo do umereno alterisan porfirit, a klizanje se odvija preko alterisanog porfirita i jako karstifikovanog krečnjaka. Prostorno posmatrano ovo kretanje je moguće, ali u terenskim uslovima nisu konstatovane otvorene pukotine (ožiljak klizišta) neposredno iza bušotina NBI-10. Druga mogućnost je da je pokrenut kompletan krečnjački blok, tako da se kretanje odvija po pukotinama sa padnim uglom prema reci od 30 – 45°, odnosno sa prosečnim elementima pada 220/30-45, a odvajanje bloka od zaleđa izvrešno je po rasednim i pukotinskim zonama sa elementima pada 220/70. U tom slučaju bi stabilni reper S1 na ovom bloku pokazivao kretanja što prema dosadašnjim merenjima nije slučaj.





Slika Br. 18 Inklinometar NBI-10

Generalo, posle naglog pokretanja u avgustu 2018 godine, kretanje se postepeno smanjuje, pri čemu je od maja do septembra na reperu N5 registrovano kretanje od 12.0 mm. U približno istom periodu, sličan red veličina pomeranja pokazuje i inklinometar B-10I. Ova tendencija smanjenja vektorskih pomeranja ne znači još uvek da je klizište umireno, već eventualno da se nalazi u stanju labilne ravnoteže, koja može biti poremećena i prirodnim procesima i aktivnostima na gradilištu.

Pre svega ova ravnoteža će svakako biti poremećena u slučaju nekontrolisanih iskopa za slapište optočnog tunela. Za sada nije registrovano pokretanje krečnjačkog "bloka" u zaleđu klizišta, ali bez obzira na to treba permanentno pratiti njegovu stabilnost. Eventualno do pokretanja ovog bloka može doći u slučaju velikih i naglih pokretanja klizišta ispod kote 417 mnm.

4.2 Nestabilna zona

Nestabilna zona, se nalazi uzvodno od prethodne zone (od profila 27 do profila 28), u kojoj su evidentna mala pomeranja kečnjačkih blokova. Stiče se utisak da prethodno pomenuta pokrenuta masa u prvoj



zoni, gura i ovu zonu u kojoj su, prema vizuelnoj proceni, pomeranja cm reda veličina. Pomeranjem je zahvaćen jako ispucali krečnjak, dok se kretanje odvija, duž pukotina i pukotinskih zona u krečnjacima.

U ovoj zoni su u prethodnoj fazi projektovanja izvedene 3 istražne bušotine B-7I, B-8I i B-13I (profil 28), a u njih su u ovoj fazi ugrađene inklinometarske konstrukcije. U ovoj fazi projektovanja u okviru ove zone izvedena je istražna bušotina NBI-1 iznad saobraćajnice S1, približno na koti 430 mnm i u nju je ugrađena inklinometarska konstrukcija.

Ovoj zoni geodetski reperi N2, N3 i N4 su postavljeni u steni na kosini iznad saobraćajnice S-3 (kota 390). Prema programu istraživanja, u ovoj zoni, na kosini iznad platoa (kota 370) ugrađen je reper N9.

Geološka građa ove zone prikazana je na profilu 28. U osnovi na ovoj deonici dominiraju tri nivoa kraljušti, duž kojih su laporoviti krečnjaci donjeg trijasa reversno navučeni preko masivnih krečnjaka srednjeg trijasa ili preko porfirita (Bušotina NBI-1). Terenskim kartiranjem površine terena i kosina u ovoj zoni konstatovano je da su dominantni diskontinuiteti pružanja ZSZ-IJI. Kartiranjem kosina registrovane su pukotine sa elementima pada 220/70 približno na rastojanjima od oko 0.5 m. Mestimično se pukotine grupišu u zone u okviru kojih je rastojanje između poukotina 10-20 cm. Duž ovih pukotina razvijena je, u sprezi sa pukotinama drugih setova, karstifikacija sa karstnim kanalima otvorenim ili delimično zapunjenim glinom. Znatno ređe su zastupljene pukotine sa blažim padnim uglom oko 35-45°. Ovoj familiji pukotina pripada smičuća pukotina – krečnjačka ploča iznad puta S1 (SI.19).



SI. 19 Pukotina sa blagim padom na kosinama (levo) i Krečnjačka ploča – ravan pukotine smicanja iznad puta S1 - 220/45 (desno)

Prema rezultatima geodetskog osmatranja ukupno horizontalno pomeranje na reperima N2, N3 i N4 na kosini iznad kote 390 iznosi od 31 do 43 mm, a vertikalno pomeranje varira od 21 do 36 mm. U periodu od maja do septembra pomeranje se smanjilo i iznosi N2 =2.9 mm, N3=3.8 mm i N4=5.5 mm. U istom periodu, maj – septembar, horizontalno pomeranje na reperu N9 sa kosina iznad platoa na koti 370 iznosi oko 10 mm.

Praktično u sve bušotine na profilu 28 su ugrađene inklinometarske konstrukcije. U bušotine NBI-1 i B-13 I inklinometri su ugrađeni početkom avgusta tako da je na njima izvršena samo po 2 merenja, što je nedovoljno za bilo kakve zaključke. U bušotinama B-7I i B-8I izvršeno je 6 merenja od početka juna do početka septembra. Inklinometar u bušotini B-7I pokazuje kretanje do dubine od 14.0 m (SI.20). Ukupno



pomeranje prema reci iznosi oko 8 mm. Inklinometar B-8I pokazuje pomeranje oko 6-7.0 mm do dubine od 4.5 m (SI.21). Od 4.5-8.0m dubine registrovano je kretanje oko 3.0 mm.

Generalno uzevši u nestabinoj zoni, između profila 27 i 28 i oko 10.0 m dalje prema profilu 29, evidentno postoji kretanje i prema inklinometrima i prema geodetskim reperima. Vizuelno su konstatovane samo pukotine na putu S3. Na geodetskim reperima postavljenim 2018, kretanje se postepeno smanjuje. Na reperu N9 postavljenom 2019 kretanje od maja do septembra je 10.0 mm.

Prema rezultatima istražne bušotine NBI-01 progresivno širenje klizišta uz padinu je moguće ali je malo verovatno. Svakako potpunija slika će se dobiti merenjima na inklinometrima B-13I i NBI-01.

Kao i na prethodnoj deonici, potencijalna opasnost za stabilnost ovih kosina predstavljaju nekontrolisani iskopi (iskopi bez zaštite i podgrade) za slapište koji u ovoj zoni idu od 10.0 do 15.0m u dubinu. Za slučaj naglog pokretanja stenske mase ispod saobraćajnice S1, može biti ugrožena i stabilnost terena iznad saobraćajnice S1.



Slika br. 20 Inklinometar B-7I

Slika br. 21 Inklinometar B-8I

4.3 Potencijalno nestabilna zona

Potencijalno nestabilna zona se prostire između profila 28 i saniranog dela klizišta, odnosno profila 31. Prema vizuelnoj proceni na ovoj deonici nema tragova kretanja, ali je prvo kontrolno geodetsko osmatranje u novembru 2018 godine pokazalo prosečno pomaranje repera N1, N2, N3 i N4 za oko 5,0-6.0 mm u periodu od dva meseca. Kompletne kosine su pokrivene torkretom na kome nisu uočene veće pukotine. Manje pukotine registrovane su na početku deonice na saobraćajnici S3, ali one više podsećaju na odvajanje nasipa ili primenjenih mera zaštite kosina (torkreta i mreže) ili na plitko odvajanje po pukotinama sa elementima pada 220/70. Na ovoj deonici kosine su većim delom izvedene u krečnjacima jako ispucalim i karstifikovanim (SI. 22 i 23).







Sl. 22 i 23. Kosine između kota 390 i 387 između profila 30 i 29

U početnim fazama istraživanja (2018 godina) u ovoj zoni izvedeno je 7 vertikalnih bušotina i jedna kosa bušotina (prilog 1). Tokom istraživanja u 2019 godini u staru bušotinu B-1I na profilu 30 ugrađena je inklinometarska konstrukcija i izvedene su 3 nove bušotine. Bušotina NBI-6 izvedena je na kote 370 mnm u koju je ugrađen inklinometar, kao i inklinometarska bušotina NBI-7 sa približne kote 425 mnm. Potencijalno nestabilnoj zoni pripada i bušotina NB-02 koja je izvedena pored profila 29 na koti 453 mnm.

Prema rezultatima istražnog bušenja krečnjak je ispod saobraćajnice S1 zastupljen do dubine od 13 – 15 m. Ispod njih nalaze se porfiriti sa tufo - brečama promenljive debljine. Sa petrološkom aspekta vulkanske tufo-breče su najčešće sekundarno hidrotermalno izmenjene procesima hloritizacije i kalcitifikacije. Dodatni problem svakako predstavlja naknadna "površinska" alteracija tufo-breča i porfirita. U zoni kontakta sa krečnjacima porfiriti su gotovo uvek jako alterisani usled cirkulacije podzemnih voda. U zoni kontakta krečnjaci su jače karstifikovani sa otvorenim karstnim kanalima ili kanalima ispunjenim glinom. S obzirom na "nepovoljan" nagib kontakta između karstifikovanih krečnjaka i jako alterisanih (P2) ili potpuno alterisanih porfirita (P1) isti može biti potencijalna klizna ravan.



SI. 24 Bušotina NBI-6, dubina od 10.0 -15.0 m

SI. 25 Bušotina NBI-6, dubina od 15.0 -20.0 m

Strogo formalno posmatrano ovoj zoni pripada samo reper N1, dok reperi N2, N3 i N4 pripadaju potencijalno nestabilnoj zoni, ali je očigledno da se ovi reperi skoro ravnomerno pomeraju. Sa dijagrama se jasno vidi da se horizontalna pomeranja na reperima N1 od novembra 2018 do maja 2019 oko 24 mm, a vertikalna pomeranja u istom periodu 17 mm. Od maja do septembra pomeranja su nekoliko mm praktično u okviru tačnosti merenja, ali i ta pomeranja, odnosno vektori pomeranja, su u pravcu potencijalne nestabilnosti kosine.

Od maja do septembra na reperu N10 horizontalna pomeranja su 7-8 mm, a vertikalan do 3 mm (u granicama tačnosti merenja). Na reperu N11 horizontalna pomeranja su 3,8 mm, a vertikalna 0,6 mm praktično u granicama tačnosti merenja.



U potencijalno nestabilnoj zoni ugrađeni su inklinometri u bušotine B-1I (stara bušotina) i u NBI-6 I NBI-7 (nove bušotine) na profilu 30. Na inklinometrima B-1I i NBI-7 izvršena su samo 2 merenja, prvo merenje 22.08.2019. a drugo 05.09.2019. godine. Na osnovu ova 2 merenja u ove 2 bušotine ne može se doneti zaključak o pomeranjima u ovoj zoni. Treća bušotina NBI-6 se nalazi na platou na koti 370 i na njoj je od 05.06.19 do 04.09.19 je izvršeno 6 merenja inklinacije. Na osnovu ovih merenja postoje indicija da je do dubine od 8.0 m konstatovano kretanja do nekoliko mm. Do ove dubine eventualno su i moguća kretanja jer se korito reke nalazi na koti 362.0 mnm.



Na osnovu kartiranja jezgra u bušotini NBI-7 konstatovan je potpuno alterisan porfirit do dubine od 8,20 m (SI. 27). Na većim dubinama, od 8.2-9.40 zastupljen je jako alterisan porfirit, a dublje do 12.2 m jako ispucao i karstifikovan brečoidni krečnjak (SI.28). Od 12,2-17.0 zastupljena je rasedna zona u kojoj dominira porfirit jako alterisan (P2), a ispod je sve do dubine od 25 m porfirit umereno alterisan (P3).







Slika br. 27 Bušotina NBI-7, od 5.0-10.0

Slika br. 28 Bušotina NBI-7, od 10.0-15.0

Generalni zaključak je da je u prethodnom periodu od agusta 2018 do septembra 2019 konstatovano kretanje na kosinama. Kao i na prethodnoj deonici kretanje se odvija po pukotinama koje padaju ka reci pod uglom od 30-45° (Sl.22 i 23), a duž pukotinskih zona sa elementima pada 220/70° odvaja se nestabilni blok od zaleđa. Najverovatnije su pukotine koje su paralelne odseku, registrovane na saobraćajnici S3, posledica kretanja u okviru krečnjačkog bloka (profili 30 i 29), mada se ne odbacuje mogućnost da je kompletan blok zahvaćen kretanjem.

Prema rezultatima istražnih bušotina regresivno pomeranje klizišta i pokretanje većih masa iznad saobraćajnice S1 se ne očekuje, mada nije isključeno u slučaju aktiviranja kliznih ravni u dnu slapišta pri iskopu do kote 349 mnm. U takvom najgorem scenariju može doći do klizanja površinski alterisanih porfirita do dubine od 10.0 m (Slike 29 i 30)



Slika br.29. Bušotina NB-2, dubina 5.0-10.0 m

Slika br.30. Bušotina NB-2, dubina 15.0-20.0 m

4.4 Sanirano klizište

Sanirano klizište se nalazi na najuzvodnijem delu slapišta. Ovo klizište ima sasvim drugačije karakteristike od prethodno opisanih klizišta i nestabilnih kosina, na nizvodnom delu slapišta. Formirano je porfiritima, odnosno u porfiritskim tufo-brečama. Klizanjem je zahvaćena zona površinske alteracije tufo-breča. U vreme izrade projekta sanacije klizišta iskop se nalazio na koti 377. Prognozni inženjerskogeološki presek po profilima 32 i 34 urađen je na bazi geološkog kartiranja kosina do kote 377 i 4 bušotine iz Glavnog projekta.

U početnim fazama istraživanja (2018 godina) na ovom klizištu izvedena je istražna bušotina DB-3. Ova bušotina je pokazala da je ispod kote 359, zastupljen laporoviti krečnjak i alterisani porfirit, ali se zbog neadekvatnog bušenja i vađenja samo sitnih fragmenata stene i zdrobljene stene do peska se nije mogao utvrditi stepen alteracije porfirita. Kako bi se kompletirala slika vezana za inženjerskogeološka svojstva stenskih masa na kosini, i odredila dubina saniranog klizišta programom je predviđeno da se izvedu još 3 bušotine NBI-19, NBI-22 i NBI – 21 i da se u njih ugrade inklinometri, što je i urađeno u početnoj fazi terenskih istraživanja u 2019 godini. Pored toga u zoni ovih klizišta izvedeni su refrakcioni seizmički profili RSP- 8 (Saobraćajnica S2), RSP-9 (Saobraćajnica S3) i RSP-10 (Saobraćajnica S1).



U zoni saniranog klizišta sa saobraćajnice S3 izvedene su istražne bušotine, NBI-19 na profilu 34 i NBI-22 na profilu 32. Sa platoa na koti 370 mnm izvedena je na profilu 32 bušotina NBI-21. U sve tri bušotine ugrađena je inklinometarska konstrukcija. Pored ove 3 bušotine u ovoj zoni je u prethodnoj fazi istraživanja izvedena bušotina DB-3.

Od momenta pojave klizišta, na njemu se izvode geodetska osmatranja. Prvo su postavljeni reperi 1-25 na kojima su nulta merenja izvedena u decembru 2015 godine. Reperi K1 do K 12 postavljeni su na gredi na koti 390, a reperi K13 do K19 su postavljeni na gredi na koti 410. Nulto merenje na ove dve grupe repera izvršeno je u novembru 2016. U međuvremenu reper K18 je uništen, a reper K19 je zamenjen novim K19N na kom je nulto merenje izvršeno u februaru 2017 godine. Poslednja serija repera na saniranom delu klizišta K20-K23 postavljena je na gredi na koti 370 i na njima je nulto merenje izvršeno u avgustu 2017 godine.

Na slici 31 prikazano je pomeranje po x osi, na reperima br. 1 do 4 koji su postavljeni neposredno po konstatovanju kretanja na terenu. Očigledno je da su se najveća kretanja odigrala do maja 2016 kada je završeno uklanjanje balasta iznad puta S1. Postepeno sa napredovanjem sanacije klizišta pomeranja su se smanjivala da bi od aprila 2018 do septembra 2019 na ova 4 repera pomeranje bilo mm reda veličine. Slična je situacija na svim reperima uključujući i repere koji su postavljeni na gredama za geotehnička sidra.



SI. 31 Pomeranje repera u x pravcu I red na kotama 378.65 i 380.71



SI. 32 Vektor horizontalnog pomeranja na reperima na gredi iznad saobraćajnice S3 (kota 390)



SI. 33 Vektor horizontalnog pomeranja na reperima na gredi ispod saobraćajnice S1

1–47





SI. 34 Vektor horizontalnog pomeranja na reperima na gredi iznad platoa na koti 370

Prema reuzultatima osmatranja u periodu od septembra 2018 do septembra 2019 ukupna pomeranja na vektorima postavljenim na grede za geotehnička sidra ne prelaze 10 mm. Na reperima K13 do K19 N na gredi na koti 405 u zoni puta S1, maksimalna ukupna pomeranja iznose 9,3 mm. Na srednjoj gredi na reperima K1 do K12 ukupna pomeranja ne prelaze 6.6 mm, a na najnižoj gredi na koti 370, ukupna pomeranja ne prelaze 5.2 mm.

Ukupna pomeranja (horizontalna i vertikalna) na reperima postavljanim na kosinama iznad slapišta prikazana su na prilogu br.3. Na ovom prilogu se, takođe, zapaža da se od jednog momenta (septembar 2018) vektor pomeranja "vrti" oko jedne tačke što opet ukazuje da je reper prestao da se kreće i da prikazana pomeranja ulaze u zone greške merenja.



	NULTA SERIJA DECEMBAR 2015						OSAMN	NAESTA S	SERUA SER	PTEMBAR	2018							DVADESE	T DRUGA-D	VADESET					
TACKA	1.07		20	15			TACKA	2007				2020	TACKA	DVAD	ESET DRUG	A SERIJA	SEPTEMBA	R 2019	51.07	PRVA		Septe	mbar 2019-	Septembar	2018
	VY (mm)	(mm)	VX (mm)	(mm)	VZ (mm)	(mm)		(mm)	VX (mm)	V (mm)	VZ (mm)	(mm)		VY (mm)	VX (mm)	V (mm)	VZ (mm)	MZ (mm)	(mm)	(mm)	DZ (mm)	(mm)	(mm)	DZ I (mm)	D vektor (mm)
S1	0	0.5	0	0.3	0	1.6	S1	0.3	-0.7	0.7	2.1	0.7	S1	0.6	-0.6	0.8	-0.9	0.5	2.2	1.3	-0.5	0.3	0.1	-3.0	0.1
S2	0	0.4	0	0.4	0	1.2	S2	1.8	0.5	1.9	1.8	0.3	S2	1.3	0.3	1.3	2.7	0.3	0.0	-1.2	0.2	-0.5	-0.2	0.9	-0.5
S3	0	0.5	0	0.3	0	1.1	S3	-0.2	-0.4	0.4	1.9	0.3	S 3	-2.0	-0.4	2.0	2.1	0.4	-1.7	-0.2	0.9	-1.8	0.1	0.2	1.6
S4	0	0.3	0	0.4	0	1.1	S4	-0.4	-0.1	0.4	-1.8	0.3	S4	0.6	-0.1	0.6	-0.6	0.2	0.6	-0.2	0.2	1.0	0.0	1.2	0.2
\$5 \$9	0	0.6	0	0.4	0	1.2	\$5 \$9	-1.0	-0.7	0.7	-2.3	0.3	55 59	-0.7	-0.9	1.3	-1.8	0.2	-1.3	-0.7	-0.9	0.8	-0.3	-3.1	-0.6
\$12	0	0.4	0	0.5	0	0	S12	-0.6	1.2	1.3	-0.4	0.7	\$12	0.2	-0.7	0.7	-3.1	0.5	0.4	-1.1	0.2	0.9	-1.8	-2.7	-0.6
							S7N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	S7N	-1.1	1.7	2.0	-2.8	0.3	0.9	3.1	-0.3	-1.1	1.7	-2.8	2.0
1	0	1.1	0	1.3	0	1.6	1	-15.2	-18.5	23.9	-1.7	0.8	1	-17.5	-21.9	28.0	-1.4	0.7	1.5	1.6	0.9	-2.3	-3.4	0.3	4.1
2	0	1.1	0	1.2	0	1.6	2	-80.7	-78.1	112.3	-15.7	0.8	2	-84.1	-83.7	118.6	-15	0.7	1.5	1.5	1.4	-3.4	-5.7	0.7	6.4
3	0	1.1	0	1	0	1.6	3	-45.3	-66.8	80.7	-16.2	0.8	3	-49.6	- /1.4	86.9	-15.3	0.7	2.0	0.5	1.8	-4.3	-4.6	0.9	5.3
5	0	1.1	0	1.1	0	1.6	5	-50.1	-68.0	84.5	-20.4	0.9	5	-53.6	-74.4	91.7	-22.3	0.7	2.1	0.0	0.5	-3.5	-6.4	-1.9	7.2
6	0	1.1	0	1.1	0	1.6	6	-61.8	-75.4	97.5	-7.3	0.9	6	-65.9	-80.8	104.3	-7.4	0.7	1.2	0.7	0.7	-4.1	-5.5	-0.1	6.8
7	0	1.2	0	1.2	0	1.6	7	-89.4	-96.6	131.6	-6.5	0.9	7	-94.0	-101.9	138.6	-6.9	0.7	-0.2	0.9	1.7	-4.6	-5.3	-0.4	7.0
8	0	1.2	0	1.3	0	1.6	8	-49.0	-53.2	72.3	1.8	0.9	8	-52.0	-57.6	77.6	1.7	0.8	0.0	0.0	1.3	-3.1	-4.4	-0.1	5.3
9 10N	0	1.2	0	1.5	0	1.7	9 10N	5 1	15 1	15.0	0.5	0.0	9 10N	7.0	19.1	10.4	15	0.9	0.2	0.5	0.2	1.0	2.0	1.0	3.5
10N 11N							10N	-21.3	-34.6	40.7	-28.8	0.9	10N	-22.8	- 10.1	45.9	-32.1	0.8	1.5	-0.7	0.2	-1.5	-5.2	-3.3	5.2
12N		N	IULTO	UN 201	16		12N	-20.5	-31.6	37.6	-28.0	0.9	12N	-24.2	-37.6	44.7	-31.9	0.8	1.4	0.5	-0.7	-3.8	-6.0	-3.9	7.1
13N							13N	-16.9	-27.2	32.0	-17.1	0.9	13N	-20.5	-33.4	39.2	-19.6	0.8	1.7	-0.4	0.3	-3.7	-6.3	-2.5	7.3
14	0	1.2	0	1.5	0	1.7	14	-115.4	-173.9	208.7	-114.1	0.9	14	-119.4	-182.6	218.2	-118.5	0.8	3.3	0.8	1.6	-4.0	-8.8	-4.4	9.5
17	0	1.3	0	1.6	0	1.7	17	-11.5	-73.2	74.1	-54.5	0.8	17	-14.1	-80.0	81.3	-5.7	0.7	2.3	2.0	52.8	-2.7	-6.8	48.8	7.2
20	0	1.9	0	3.1	0	2.4	20						20												
22	0	2.1	0	3.6	0	2.4	22						22												
23	0	2.2	0	3.7	0	2.5	23						23												
24	0	2.9	0	4.2	0	2.6	24						24												
25	0	2.5	0	4	0	2.6	25						25												
K1							K1	-9.6	-3.4	10.2	-10.0	1.0	K1	-8.1	-4.6	9.3	-10.6	0.8	2.7	1.6	0.1	1.5	-1.2	-0.6	-0.9
K2 K3							K3	-13.7	-10.7	15.9	-29.8	0.9	K2 K3	-12.5	-11.4	19.7	-31.3	0.8	3.3	2.2	2.0	1.2	-7.0	-0.1	3.7
К4							K4						К4												
K5							K5						K5												
K6							K6	-13.1	-21.0	24.8	-33.8	0.9	K6	-14.7	-25.9	29.8	-37.1	0.8	1.7	-1.1	-0.1	-1.6	-4.8	-3.3	5.0
K7							K7	-14.3	-20.2	24.7	-24.9	0.9	K7	-17.4	-25.4	30.7	-26.7	0.8	0.3	-1.0	0.6	-3.1	-5.2	-1.8	6.0
K9		NULT	ο ΝΟΥ	EMBAR	2016		K9	-12.0	-18.5	21.9	-19.8	0.9	K9	-14.7	-23.7	27.9	-22.9	0.8	2.2	-1.1	1.2	-2.7	-3.4	-3.1	4.8
K10							K10	-12.3	-19.3	22.8	-16.5	0.9	K10	-14.5	-25.6	29.4	-18.9	0.8	2.4	0.0	0.5	-2.3	-6.4	-2.4	6.6
K11							K11	-8.2	-25.2	26.5	-32.7	0.9	K11	-11.5	-30.5	32.6	-34.6	0.8	5.8	3.1	1.4	-3.3	-5.3	-1.9	6.1
K12							K12	-11.0	-23.4	25.9	-13.5	0.9	K12	-12.3	-28.0	30.6	-18.3	0.8	5.5	1.5	-1.9	-1.3	-4.6	-4.8	4.7
K13							K13	-1.7	-16.4	16.5	-35.2	1.7	K13	-3.7	-19.4	19.7	-41.9	1.4	0.3	3.5	-2.4	-2.1	-3.0	-6.7	3.2
K14 K15							K14 K15	-5.9	-12.2	12.0	-21.4	1.7	K14 K15	-7.5	-18.0	20.0	-28.1	1.3	2.5	4.0	-3.0	-3.5	-0.4	-0.7	9.3
K16							K16	-0.1	-16.3	16.3	-24.1	1.7	K16	-9.6	-23.2	25.1	-27.9	1.4	-0.8	2.0	-1.5	-9.5	-6.9	-3.8	8.8
K17	-						K17	-0.6	-14.6	14.6	-32.4	1.4	K17	-2.9	-20.2	20.4	-44.3	0.9	2.7	1.7	0.0	-2.3	-5.7	-11.9	5.8
K18			UNIS	TENA			K18						K18												
K19N		NUL	TO FEE	BRUAR	2017		K19N						K19N												
K20							K20	-3.2	-3.8	5.0	3.4	0.9	K20	-5.3	-6.4	8.3	51	0.7	1.1	2.8	1.3	-2.1	-2.6	0.6	3.3
K21		NU	LTO AV	GUST 2	2017		K22	-3.2	-0.1	3.2	0.8	0.8	K21	-4.3	-3.6	5.6	1.4	0.7	1.8	1.5	1.0	-1.0	-3.5	0.6	2.4
K23							K23	-1.0	2.8	3.0	1.7	0.8	K23	-2.2	-0.7	2.3	2.1	0.7	2.1	0.8	1.3	-1.2	-3.5	0.4	-0.7
N1							N1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	N1	-14.0	-21.1	25.3	-18.4	0.7	1.1	-2.7	-0.7	-14.0	-21.1	-18.4	25.3
N2							N2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	N2	-16.9	-26.7	31.6	-21.7	0.7	1.9	-2.9	-0.9	-16.9	-26.7	-21.7	31.6
N3		NULT	O SEPT	EMBAR	2018		N3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	N3	-26.9	-29.0	39.6	-36.2	0.8	0.6	-3.8	-2.5	-26.9	-29.0	-36.2	39.6
N4 N5							N4 N5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	N4 N5	-34.4	-20.7	43.5 108 Q	-14.5	0.8	-2.4	-5.5	-0.5	-34.4	-20.7	-14.5 -17 d	43.5
N6							N6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	N6	-3.6	-2.3	4.2	12.4	0.7	2.6	-1.4	2.2	-3.6	-2.3	1.6	4.2
N7							N7						N7	-6.5	-8.5	10.7	-0.5	0.7	-6.5	-8.5	-0.5				
N8							N8						N8	-5.7	-6.1	8.3	1.8	0.6	-5.7	-6.1	1.8				
N9							N9						N9	-6.4	-7.6	9.9	3.3	0.6	-6.4	-7.6	3.3				
N10				44120	10		N10						N10 N11	-4.4	-6.2	7.6	-1.2	0.6	-4.4	-6.2	-1.2				
INII		N		viAJ 20.			LINIT	ايت						-2.7	-2.7	3.0	0.0	0.7	2.7	-2.7	0.0		L		

Tabela 16. Pregled pomeranja po reperima, period septembar 2018 – septembar 2019

Ukupna pomeranja repera na saniranom klizištu za period septembar 2018 – septembar 2019 data su u tabeli 16.

Na osnovu 6 izvršenih očitavanja, od juna do septembra, na postavljenim inklinometrima ne može se sa sigurnošću doneti bilo kakav zaključak.

Prema dostavljenom dijagramu inklinometra NBI-19 (profil 34) postoje indicije o kretanju u pravcu reke (A-A) od maksimalno 5 mm do dubine od 12.0 m. Registrovana pomeranja paralelno kosini (B-B) od 5.0-15.0 mm, se ne mogu objasniti, samim tim ni prihvatiti.





Slika br.35, Inklinometar NBI-19

Generalno, može se uspostaviti korelacija između kretanja po osi A-A i inženjerskogeoloških svojstva stenskih masa na bušotini NBI-19. Naime na bušotini NBI-19 od 11,10 do 12,20 registrovani su alterisani porfiriti sa tufo - brečama i jako alterisani porfiriti (P2-P1). Do eventualnih kretanja može doći i na dubini od 15.50-16.20 gde je takođe zastupljen potpuno alterisan tufit. Od 16.20 do 31.30 zastupljene su tufobreče i tufiti hidotermalno izmenjeni a naknadno u nekim zonama su alterisani cirkulacijom podzemnih voda. U okviru ove zone smenjuju se kraće deonice sa promenljivim stepenom alteracija. Zone jako alterisanih i potpuno alterisanih tufova i tufo-breča nalaze se na velikim dubinama u odnosu na iskop, tako da se u pravcu preseka niz padinu ne očekuju kretanja. Eventualno se može proveriti bočni uticaj (nizvodni profili 32 i 30) prema projektovanim iskopima odgovrarajućim geomehaničkim analizama.

Dublje od 30.30 m zastupljeni su jako čvrsti i kompaktni porfiriti. Kontakt između porfirita i i tufo-breče je tektonski.



Slika br.36 Istražna bušotina NBI-19, 10.0-15.0 m Slika br.37. Istražna bušotina NBI-19, 15.0-20.0 m



Na profilu 32 situacija je dosta nepovoljnija sa aspekta alteracije stene, samim tim i sa aspekta stabilnosti. Na inklinometru NBI-22 zapaža se kretanje približno do dubine od 22.0-23.0 m, ali ta kretanja nisu konstantna od početka bušotine do navedene dubine. Prvih nekoliko metara kretanja su negativna, da bi od 6-tog metra bila pozitivna ali promenljivog intenziteta od -2.0 mm do 7-8.0 mm.

Grafički prikaz inklinometra NBI-21 pokazuje negativno kretanje od 3-5 mm do dubine od 18.0 m, a stiče se utisak i da su pojedinačne cevi međusobno smaknute. Posmatrajući položaj bušotine (inklinometra) NBI-21 sa kotom usta bušotine 370, realizovanim iskopom u profilu 32 (367-368 mnm), kotom reke 362 mnm i kotom dna aluviona (kota 359.0-360.0) prosto je neverovatno da se kretanja odvijaju do kote 352.0., tako da se rezultati osmatranja inklinometra NBI-21 ne mogu prihvatiti.



Slika br. 38 Inklinometar NBI-22

Slika br. 39 Inklinometar NBI-21

Registrovana dubina pomeranja na inklinometru NBI-22 su od 22-23.0 m (SI.38). Detektovana pomeranja su u nivou iskopa rampe prema optočnom tunelu. U ovoj situaciji horizontalna kretanja su malo verovatna ili se kretanje odvija sve do reke na koti 362 mm.

I jedan i drugi scenario su malo verovatni ali ako se posmatraju svojstva stenske mase u bušotini može se naći veza između ove pretpostavke. Naime, na bušotini NBI-22 (kota 390) do dubine od 9,4 m zastupljen je jako alterisan tufit (P2 porfirit), a od te dubine do dubine od 22.40 zastupljena je jako do potpuno alterisana stena (P1) koja procesom alteracija pretvorena u slabo vezan pesak prašinovito glinovit (SI.40). Saglasno svojstvima stenske mase, klizna ravan može biti bilo gde između dubina 9.4 m i 22.4 m.

Dublje od 22.40 m do 32.50 m, zastpljeni su tufiti i tufo-breče, hidrotermalno izmenjeni (SI.41) i potpuno alterisani porfiriti (P1), dok je na nekim mestima jako polomljen (P2). Sporadično su zastupljene deonica umereno do slabo alterisane stene (P3). Ispod ove dubine do dna bušotine (50.0 m) zastupljeni su slabo alterisani porfiriti (P3 i P4).





SI. 40 Bušotina NBI-22 dubina 20.0-25.0

Sl. 41 Bušotina NBI-22 dubina 25.0-30.0

Na bušotini NBI-21 konstatovana je "ritmična" smena geoloških formacija. Od 0.00 do 9.5 metara je zastupljen masivni brečoliki krečnjak. Od 9.50 – 30.0 m zastupljeni su tufovi i tufo – breče sa retkim proslojavanjem alterisanih porfitita (SI.42 do 45). Od 30 do 50 m su ponovo zastupljeni masivni krečnjaci. Prema stepenu alteracija dominira potpuno alterisana stena od 22.60-30.0, dok je jako alterisana stena prisutna od 15.0-22.60 m. Od 9.5 do dubine od 15.0 m zastupljen je umereno alterisan porfirit (P3) sa uskim zonama širine oko 30.0 cm jako alterisanog porfirita (P2).



SI. 42 Bušotina NBI-21, dubina 9.0-12.0



Sl. 43 Bušotina NBI-21, dubina 12.0-15.0



SI. 44 Bušotina NBI-21, dubina 15.0-20.0 m

SI. 45 Bušotina NBI-21, dubina 20.0-25.0

Generalni zaključak o stanju stabilnosti saniranog klizišta svodi se na sledeće:

- Paralelno sa napredovanjem sanacionih radova na klizištu (od momenta nastanka pojave novembar 2015) smanjuje se priraštaj pomeranja.
- Najveće smanjenje priraštaja pomeranja zabeleženo je nakon uklanjanja balasta iznad puta S1.
- Kretanje mase klizišta se dalje postepeno smanjuje paralelno sa fazama sanacije (izrada greda i ugradnja geotehničkih sidara na 3 nivoa).



 Zabeleženo je još jedno ozbiljnije smanjenje priraštaja pomeranja završetkom II faze sanacije u septembru 2017. Od septembra 2018 do septembra 2019 priraštaj pomeranja je na svim reperima manji od 10 mm (tabela 16).

Pomeranja registrovana na inklinometrima se mogu prihvatiti sa rezervom ali se svakao preporučuje da se merenja pojačaju prilikom naredne faze izvođenja iskopa za potrebe slapišta

Generalno klizanje se odvijalo kroz potpuno alterisane porfirite (P1) po rasedima i pukotinskim zonama sa blagim padnim uglom prema reci 30-45° (SI. 19), a duž raseda i pukotinskih zona sa elementima pada 220-60-70° izvršeno je odvajanje pokrenute mase od zaleđa (SI.9).

Može se konstatovati da je klizište u ovim uslovima, za ovaj nivo iskopa stabilizovano. U slučaju nekontrolisanih iskopa, do projektovane kote iskopa može ponovo doći do aktiviranja kretanja što dalje može ugroziti stabilnost kosina iznad saobraćajnice S1.



5 Zaključci

Tokom realizacije ove faze istraživanja, odnosno iskopom pristupnog puta od Donjeg sela do lokacija bušotina iznad saobraćajnice S1 uočeni su « nenormalni » odnosi između pojedinih litoloških članova, odnosno pojave kraljušti koje u prethodnim fazama istraživanja nisu uočene.

Analiza tektonskog sklopa je implementirana sa ostalim geološkim podacima koji su dobijeni terenskim i labroatorijskim ispitivanjima.

Na osnovu petroloških ispitivanja koja su izvedena na Rudarsko-geološkom fakultetu konstovano je da je u zoni slapišta prisutno smenjivanje tufita, tufo –brača sa porfiritima. Zastupljenost tufo – breča i porfirita je nepravilnog rasporeda bez jasnih granica u složenom sedimentno – vulkanskom matriksu. Može se zaključiti da zone potpuno i delimično aterisanih porfirita pomešane sa tufo brečama, pri čemu su procesi hidrotermalnih izmena zamaskirali međusobne geološke prelaze i granice. Procesi hloritizacije, kalcitizacije a pogotovu sericitizacije mogu imati ključnu ulogu u degradaciji stenskog materijala pri čemu se sada mogu jasnije opravdati niske vrednosti fizičko – mehaničkih karakteristika koje su dobijene na reprezentativnim uzorcima.

Na osnovu terenskih i laboratorijskih ispitivanja kao i ispitivanjima čvrstoće na smicanje na velikim uzorcima, potvrđene su fizičko – mehaničke karakteristike stenskih masa koje su korišćene u statičkim proračunima.

U zoni **Aktivnog klizišta** između profila 24 i 27 izvedena su multidisciplinarna terenska i laboratorijska ispitivanja. Na osnovu rezultata ispitivanja zaključuje se da je klizište u ovom trenutku privremeno umireno. Prirodna ravnoteža će svakao biti poremećena u slučaju nekontrolisanih iskopa za slapište optočnog tunela. Za sada nije registrovano pokretanje krečnjačkog "bloka" u zaleđu klizišta, ali bez obzira na to treba permanentno pratiti njegovu stabilnost. Eventualno do pokretanja ovog bloka može doći u slučaju velikih i naglih pokretanja klizišta ispod kote 417 mnm.

U **Nestabilnoj zoni**, koja se nalazi između profila 27 i 28, na osnovu izvedenih ispitivanja konstatovana su mala pomeranja kečnjačkih blokova. Stiče se utisak da predhodno pomenuta pokrenuta masa u prvoj zoni, gura i ovu zonu u kojoj su, prema vizuelnoj proceni, pomeranja cm reda veličina. Pomeranjem je zahvaćen jako ispucali krečnjak, dok se kretanje odvija, duž pukotina i pukotinskih zona u krečnjacima. Potencijalna opasnost za stabilnost ovih kosina predstavljaju nekontrolisani iskopi (iskopi bez zaštite i podgrade) za slapište koji u ovoj zoni idu od 10.0 do 15.0 m u dubinu. Za slučaj naglog pokretanja stenske mase ispod saobraćajnice S1, može biti ugrožena i stabilnost terena iznad saobraćajnice S1

Potencijalno nestabilna zona se prostire između profila 28 i saniranog dela klizišta, odnosno profila 31. Prema vizuelnoj proceni na ovoj deonici nema tragova kretanja i ako su terenska merenja pokazala kretanja niz padinu (inklinometri i geodetski reperi). Geodetski reperi se ravnomerno, odnosno kontinualno pomeraju niz padinu. Manje pukotine registrovane su na početku deonice na saobraćajnici S3, ali one više podsećaju na odvajanje nasipa ili primenjenih mera zaštite kosina (torkreta i mreže) ili na plitko odvajanje po pukotinama sa elementima pada 220/70. Otežavajuća okolnost na ovoj deonici je ta, što je istraživanjima u zoni slapišta potvrđena duboka zona kompletno alterisanih porfirita niskih – fizičko mehaničkih karakterisitka. Nekontrolisanim iskopima bez adekvatnih mera zaštite, teren može biti provociran na klizanje od dna slapišta do vrših kota gde su izvedene bušotine NBI-7 i NB-2.

U zoni **Saniranog klizišta** su takođe izvedena multidisciplinarna terenska i laboratorijska ispitivanja. Na osnovu izvedenih ispitivanja može se konstatovati da je klizište u ovim uslovima, za ovaj nivo iskopa stabilizovano. Geodetska merenja su pokazala znatno smanjenje vektora pomeranja nakon izvođenja druge faze zaštitie kosina. Potencijalne zone nestabilnosti na profilu 32 su potvrđene izvođenjem istražne bušotine NBI-22, odnosno uvidom u geološko kartiranje jezgra istražne bušotinne NBI-22. Pomeranja registrovana na inklinometrima se mogu prihvatiti sa rezervom ali se svakako preporučuje da se merenja pojačaju prilikom naredne faze izvođenja iskopa za potrebe slapišta. U slučaju nekontrolisanih iskopa, bez adekvatnih mera zaštite, do projektovane kote iskopa slapišta, može ponovo doći do reaktiviranja saniranog klizišta što dalje može ugroziti stabilnost kosina iznad saobraćajnice S1.



Klizne ravni kao i potencijlane klizne ravni za ispitivano područje su prikazane na geološkim presecima terena, prilog br. 2.



LEGEND

1.Litološke o

	М	Kreč
	N	Nasi
V. V. V. V. V. V.	Sp	Sipa
~~~~~	dl	Delu
	P1	Porf
	P2	Porf
	P3	Porf dok j
	P4	Porf sa sl
	K1	Kred je int mest
	К2	Kreč intez zidov
	K3	Kred do 1
	K4	Kreč glino

LEGENDA	
1.Litološke oznak	
M	Krečnjačka drobina - materijal miniranjem usitnjen
$\begin{array}{c} \Delta & \bullet \Delta & \bullet \Delta & \bullet \Delta \\ \Delta & \Box & \Delta & \Box & \Delta \\ \Delta & \bullet \Delta & \bullet \Delta & \bullet \Delta \\ \Delta & \bullet \Delta & \bullet \Delta & \bullet \Delta \end{array}  \mathbf{N}$	Nasip
	Siparski materijal - nesortirani i nevezani odlomci krečnjaka veličine do nekoliko dm.
, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	Deluvijum - glina i drobina cm veličina
P1	Porfiriti - potpuno alterisani. Stena pretvorena u pesak (grus), glinu i prašinu sa sitnim fragmentima stene cm veličine.
P2	Porfiriti - jako alterisani. Stena izdeljena u drobinu i blokove cm veličine svetlosmeđe boje. Očuvana je primarna struktura stene
P3	Porfiriti - umereno alterisani. Stena je ispucala i izdeljena na blokove dm veličine. Duž pukotina stenska masa je jače alterisana dok je intaktni deo stene slabo alterisan promenljive boje.
P4	Porfiriti - slabo alterisani. Stena je čvrsta i slabo ispucala. Pukotine su stisnute ili sa malim zevom ispunjene kalcitom ili su otvorene sa slabo alterisanim zidovima.
K1	Krečnjaci i krečnjačke breče - polomljeni do drobine. Fragmenti stene su polomljeni u blokove cm do dm- veličina. Stenska masa je intezivno kartifikovana. Pukotine su sa zevom i do nekoliko cm do dm otvorene i prelaze u karstne kanale sa kalcitom po zidovima, mestimično ispunjene glinom.
K2	Krečnjaci i krečnjačke breče - polomljeni do drobine. Fragmenti stene su polomljeni u blokove dm- veličina. Stenaska masa je intezivno kartifikovana. Pukotine su sa zevom i do nekoliko cm otvorene, mestimičmno prelaze u karstne kanale sa kalcitom po zidovima, mestimično ispunjene glinom.
К3	Krečnjaci i krečnjačke breče - stenska masa je ispucala, slabo karstifikovana duž pukotinskih sistema, blokovska ispucalost je do 1 m.
К4	Krečnjaci - čvrsta stenska masa slabo ispucala, višemetarski blokovi. Pukotine su sa malim zevom do 1 cm, mestimično ispunjene glinom.
T1	Alevroliti, glinci, metapeščari i laporoviti krečnjaci - listaste i škriljave strukture, površinski alterisani.

# 2.Strukturne oznake

 Geološka granica		Rased
Geološka granica utisnutog magmatita	290/85	Površina pukotine na kosini
 Pretpostavljena granica inženjerskogeoloških jedinica		Pukotina, ispunjena glinom
Pukotina stisnuta, zev do 1 mm		Kaverna, ispunjena glinom
 Pukotina, zev 1 - 3 mm	290/85	Elementi pada pukotine
 Pukotina, zev 3 - 5 mm		Zona ispadanja materijala po ravnima pukotinskih sistema
 Pukotina, zev veći od 5 mm	$\mathcal{S}$	Kontura klizišta
 Pukotina smicanja, sa strijama		Čelo kraljušti

💶 💶 💶 💶 – Čelo kraljušti, aproksimativno locirano

<b>IB-12</b> 60.00m)	Izvedena istražna bušotina 2019. god.
<b>NBI-6</b> 35.00m)	lzvedena istražna bušotina 2019. god. sa ugrađenom inklinometarskom konstrukcijom
<b>B-2</b> 25.00m)	Izvedena istražna bušotina 2018. god. sa dubinom bušenja
<b>B-11</b> 10.00m)	Izvedena istražna bušotina 2018. god. sa ugrađenom inklinometarskom konstrukcijom
<b>DB-1</b> 30.60m)	Izvedena dodatna istražna bušotina 2018. god. sa dubinom bušenja
DB-2 25.20m)	Izvedena kosa istražna bušotina 2018. god. sa dubinom bušenja
<b>RA-3</b> (3.00m)	Izvedena istražna jama 2018. god. sa dubinom iskopa
<b>RSP -1</b> (120m)	Refrakcioni seizmički profil izveden 2018. god.
GK-1 (200m)	Profil geoelektričnog kartiranja izveden 2018. god.
RSP-9 G24	Refrakcioni seizmički profil izveden 2019. god.
S-1 🔵	Geoelektrična sonda (2018. god.) - (Sonde pod rednim brojem od 9 i 10 nisu prikazane na situaciji ali su pozicionirane na po 20 metara na mesdjusobnom rastojanju po putu S1 nizvodno)
P - 8 🧶	Izvedena istražna bušotina za potrebe Glavnog projekta
N8•	Izveden geodetski reper

R.BR.	DATUM			OPIS IZM	MENE			POTPIS	
ENERGOPROJEKT-HIDROINŽENJERING A.D. BULEVAR MIHAILA PUPINA 12, BEOGRAD, SRBIJA									
INVEST	^{ITOR} J.I	^{&gt;} . za \ "RZA	/odosnabde \V" - ARILJE	vanje	PROJEKAT BRANA I AKUMULACIJA "ARILJE" NA PROFILU "SVRAČKOVO"				
OBJEKA	A⊤ Nizvo i 28 r	odno kli: Ia kosin	zište između p ama iznad sla	rofila 24 pišta	CRTEŽ INŽEJERSKO	DGEOLOŠKA KARTA	KOSINA	IZNAD	
BROJ U	GOVORA		DATUM	FAZA	SLAPIŠTA				
1	9010		IX 2019	GP			_		
ODG.PROJEKT. Neman		Neman	emanja Babović, dipl. inž.		RJ	RAZMERA	LISTOVA	\ 1	
UN. KONTROLA Nebois		Nebojša	bojša Ocokolijć, dipl. jnž.		205	1:500		1	
ŠEF PROJEKTA Aleksa		ndar Glišić, dipl. In	ž.	G	18001-0-01-205-01-01	BR.CRI	.//ZIVIENA		





	ENERGOPROJEKT-HIDROINŽENJERING A.D.	ODG.PROJEKT.	N. Babović dipl.inž.	PROJEKAT BRANA I AKUMULACIJA "ARILJE"	CRTEŽ	Inž	oniorek	ogooloč	ki proco	k no nr	ofilu 26	LISTOVA 1
	BULEVAR MIHAILA PUPINA 12, BEOGRAD, SRBIJA	UN. KONTROLA	N. Ocokoljić dipl.inž.	NA PROFILU "SVRAČKOVO"			enjersko	Jyeolos	ki prese	κ μο μι		LIST 1
INVESTIOR	J.P. za vodosnabdevanje "RZAV" - ARILJE	ŠEF PROJEKTA	A. Glišić dipl.inž.	OBJEKAT Klizište na kosinama iznad slapišta optočnog tunela	DATUM IX 2019.	RAZMERA 1:1000	FAZA GP	DEO PROJ. GEOLOGIJA	ŠIFRA CRTEŽA 19010-0-01-205-01-2.2	BR. UGOV. 19010	RJ 205	BR.CRT./IZMENA 2.2







				- 560
		_	— <b></b> 46°	550
				550
n fannen hannen han Anne hannen han				540
				530
				520
				490
				480
				470
				460
				450
				140
				440
				430
				420
				410
				400
				000
				380
				370
				360
				350
				340
ena: Legenda s	e nal	azi na p	orilog	ju 2.8
		 		LISTOVA 1
	Jo pro			LIST 1
D PROJ.   SIFRA CRTEŽA   BR. DLOGIJA 19010-0-01-205-01-2.5	UGOV. 19010	RJ 205	BR.CR	T./IZMENA 2.5





# LEGENDA

1.Litološke oznak	<u>e</u>	2.Strukturne ozna	ake	3.lzvedeni istražni radovi
M	Krečnjačka drobina - materijal miniranjem usitnjen		Geološka granica	B-2 ^(25.00m) g Izvedena istražna bušotina
$\begin{array}{c} \bigcirc & \frown & \frown & \frown & \frown & \frown \\ & \bigcirc & \bigcirc & \frown & \bigcirc & \frown & \frown & \frown & \frown \\ & \bigcirc & \bigcirc & \frown & \frown & \bigcirc & \frown & \frown & \frown & \frown \\ & \frown & \frown & \frown & \frown & \frown &$	Nasip	<u> </u>	Geološka granica utisnutog magmatita	sa dubinom bušenja (2018. ^C god.) L
	Siparski materijal - nesortirani i nevezani odlomci krečnjaka veličine do nekoliko dm.		Pretpostavljena granica inženjerskogeoloških jedinica	e Polomljena zona
~~~~~ dl	Deluvijum - glina i drobina cm veličina		Pukotina stisnuta, zev do 1 mm	Polomljena zona prilikom bušenja
P1	Porfiriti - potpuno alterisani. Stena pretvorena u pesak (grus), glinu i prašinu sa sitnim fragmentima stene cm veličine.	·	Pukotina, zev 1 - 3 mm	
P2	Porfiriti - jako alterisani. Stena izdeljena u drobinu i blokove cm veličine svetlosmeđe boje. Očuvana je primarna struktura stene	· · ·	Pukotina, zev 3 - 5 mm	
P3	Porfiriti - umereno alterisani. Stena je ispucala i izdeljena na blokove dm veličine. Duž pukotina stenska masa je jače alterisana dok je intaktni deo stene slabo alterisan promenljive boje.		Pukotina, zev veći od 5 mm	NB-8 (70.00m)
P4	Porfiriti - slabo alterisani. Stena je čvrsta i slabo ispucala. Pukotine su stisnute ili sa malim zevom ispunjene kalcitom ili su otvorene sa slabo alterisanim zidovima.	20	Pukotina sa velikim zevom naznačenim u cm	Izvedena istražna bušotina sa dubinom bušenja (2019. god.)
K1	Krečnjaci i krečnjačke breče - polomljeni do drobine. Fragmenti stene su polomljeni u blokove cm do dm- veličina. Stenska masa je intezivno kartifikovana. Pukotine su sa zevom i do nekoliko cm do dm otvorene i prelaze u karstne kanale sa kalcitom po zidovima, mestimično ispunjene glinom.		Pukotina smicanja, sa strijama	
К2	Krečnjaci i krečnjačke breče - polomljeni do drobine. Fragmenti stene su polomljeni u blokove dm- veličina. Stenaska masa je intezivno kartifikovana. Pukotine su sa zevom i do nekoliko cm otvorene, mestimičmno prelaze u karstne kanale sa kalcitom po zidovima, mestimično ispuniene glinom		Rased	RSP-3
КЗ	Krečnjaci i krečnjačke breče - stenska masa je ispucala, slabo karstifikovana duž pukotinskih sistema, blokovska ispucalost je do 1 m.	250/85	Površina pukotine na kosini	$\begin{array}{ll} & \underset{v_{s}=2052m/s}{\overset{V_{s}=1191m/s}{\underset{v_{s}=2052m/s}{\overset{V_{s}=2014m/s}{\overset{V_{s}=2014m/s}{\overset{V_{s}=2014m/s}{\overset{V_{s}=2014m/s}}}} & \text{Refrakcioni seizmički profil}\\ \end{array}$
К4	Krečnjaci - čvrsta stenska masa slabo ispucala, višemetarski blokovi. Pukotine su sa malim zevom do 1 cm, mestimično ispunjene glinom.		Pukotina, ispunjena glinom	
т1	Alevroliti, glinci, metapeščari i laporoviti krečnjaci - listaste i škriljave strukture, površinski	CaCO3	Pukotina, ispunjena kalcitom	
	alterisani.		Kaverna, ispunjena glinom	4.Ostale oznake
		290/85	Elementi pada pukotine	Anker dužine 4 m sa j 10 cm torkreta
			Klizna ravan	Anker dužine 10 m sa 15 cm torkreta
			Potencijalna klizna ravan	

ENERGOPROJEKT-HIDROINŽENJERING A.D.	ODG.PROJEKT.	N. Babović dipl.inž.	PROJEKAT BRANA I AKUMULACIJA "ARILJE"	CRTEŽ								STOVA 1
INVESTITOR	UN. KONTROLA	N. Ocokoljić dipl.inž.	NA PROFILU "SVRAČKOVO"				LEGE	NDA			LI	IST 1
"RZAV" - ARILJE	ŠEF PROJEKTA	A. Glišić dipl.inž.	OBJEKAT Klizište na kosinama iznad slapišta optočnog tunela	DATUM IX 2019.	RAZMERA 1:1000	FAZA GP	DEO PROJ. GEOLOGIJA	ŠIFRA CRTEŽA 19010-0-01-205-01-2.8	BR. UGOV. 19010	RJ 205	BR.CRT./ 2	/IZMENA 1.8





Izvedena istražna bušotina sa dubinom bušenja i inklinometarskom konstrukcijom (2019. god.)



Refrakcioni sizmički profil v_µ=520m/s izveden 2019. god.

jednom mrežom i

a dve mreže i



1-25 - nulte koordinate - decembar 2015
10N-13N - novopostavljene tačke jun 2016
K1-K18 - novopostavljene tačke za osmatranje -novembar 2016
K19N - novopostavljena tačka za osmatranje -februar 2017
K20-K23 - novopostavljene tačke za osmatranje -avgust 2017
N1-N6 - novopostavljene tačke za osmatranje -septembar 2018
N7-N11 - novopostavljene tačke za osmatranje -maj 2019

24 ——-Ukupna vertikalna pomeranja - dvadeset druga serija merenja

24 — - - Ukupan vektor horizontalnih pomeranja - zaključno sa XVIII serijom merenja

- -Vektor horizontalnih pomeranja devetnaesta serija merenja
- 24 - Vektor horizontalnih pomeranja dvadeseta serija merenja
- 24 - Vektor horizontalnih pomeranja dvadeset prva serija merenja
- 24 - Vektor horizontalnih pomeranja dvadeset druga serija merenja

/ektor pomeranja u mm ,	R=1:2
-------------------------	-------

- Granica pretpostavljenog klizišta

	OPIS IZM	/IENE			PO	TPIS	
ROJEKT-HIDROINŽENJERING A UPINA 12, BEOGRAD, SRBIJA							
ode [:] LJE	vanje	PROJEKAT BRANA I AKUMULACIJA "ARILJE" NA PROFILU "SVRAČKOVO"					
EGF	RADNO	CRTEŽ					
2 - I 9	KLIZIŠTE FAZA	Ukupna ho osm	prizontalna i vertika natranih tačaka na KXI kontrolna serija	lna p klizišt	omei u	anja	
. inž.		RJ	RAZMERA	LISTO	VA	1	
l. inž.		205 DEO PROJEKTA	ŠIFRA CRTEŽA	LIST BR.CF	RT./IZN	1 //ENA	
ol. inž.		G	19010 -III-02-205-02-01	02			