

“HIDRO-MIN” d.o.o. Čačak



**IDEJNO REŠENJE MHE „STUDENICA S4 – GRADINA“
Geotehnički elaborat**





ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР
Зелени булевар 35,
19210 Бор, Србија



Čačak, april 2021. god.



1.1. NASLOVNA STRANA INŽENJERSKOG OBJEKTA MHE „STUDENICA S4 - GRADINA“

Investitor:	“HIDRO-MIN” d.o.o Nikole Tesle 21b, 32 000 Čačak, Srbija
Objekat:	Mala hidroelektrana (MHE) „Studenica S4 - Gradina“ brana sa mašinskom zgradom na k.p. br. 621/2, 5703 sve K.O. Tadenje i 2132 2044/1, 2045, 2046. 2044/2 sve K.O. Ušće; akumulacija na k.p.br 35, 38/1, 38/2, 60/2, 53/3, 61/1, 53/2, 545/2, 545/1, 552/2, 552/1, 620/2, 615/2, 610/2, 610/1, 621/1, 621/2, 5703 sve K.O. Tadenje i k.p. br. 2132, 1904/3, 1903/3, 1902/2, 1899/7, 1899/6, 1898/1, 1896/2, 1895, 1894, 1893, 1891, 1888, 1887, 1886/2, 1885/1, 1885/2, 1883, 1884/2, 1884/1, 1904/2, 1903/2, 1899/2, 1898/2, 1892 sve K.O. Ušće i interne saobraćajnice na k.p.br. 2044/2, 2044/1, 2047, 2051, 2045 sve K.O. Ušće, Grad Kraljevo
Vrsta teh. dokumentacije:	IDR - Idejno rešenje
Naziv i oznaka dela projekta:	GE – Geotehnički elaborat
Za građenje/izvođenje radova:	Nova gradnja
Projektant:	“ENHY GROUP” d.o.o., Čačak Danice Marković 67/17, Čačak
Odgovorno lice projektanta:	Zoran Bogdanović Potpis: 
Odgovorni projektant:	Milutin Petrović, dipl.inž.geol.
Broj licence:	391 N460 14 Potpis: 
Broj tehničke dokumentacije:	IDR-02/21-GE
Mesto i datum:	Čačak, april 2021. god.



1.2. SADRŽAJ GEOTEHNIČKOG ELABORATA ZA OBJEKAT MHE „STUDENICA S4 - GRADINA“

1.1.	Naslovna strana projekta	
1.2.	Sadržaj projekta	
1.3.	Rešenje o određivanju odgovornog projektanta	
1.4.	Izjava odgovornog projektanta	
1.5.	Tekstualna dokumentacija	
1.	Uvod	
2.	Opšti podaci o objektu i istražnom prostoru	
3.	Prikaz prethodne dokumentacije	
4.	Vrste i obim izvedenih istraživanja	
5.	Rezultati istraživanja	
6.	Varijantna rešenja	
7.	Geotehnički uslovi i preporuke za izgradnju MHE „Gradina“	
8.	Zaključak	
9.	Spisak literature i fondovske dokumentacije	
1.6.	Grafička dokumentacija	
Prilog 1	Inženjerskogeološka karta	1:1000
Prilog 2.1	Inženjerskogeološki preseki terena 1-1' i 2-2'	1:1000
Prilog 2.2	Inženjerskogeološki preseki terena 3-3', 4-4' i 5-5'	1:1000
Prilog 2.3	Inženjerskogeološki preseki terena 6-6' i 7-7'	1:1000



1.3. REŠENJE O ODREĐIVANJU ODGOVORNOG PROJEKTANTA GEOTEHNIČKOG ELABORATA ZA OBJEKAT MHE „STUDENICA S4 - GRADINA“

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, 50/2013–odluka US, 98/2013–odluka US, 132/14, 145/14, 83/18, 31/19 ,37/19-dr.zakon i 9/2020) i odredbi Pravilnika o sadržini, načinu i postupku izrade i načinu vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata ("Službeni glasnik RS", br. 23/2015, 77/2015, 58/2016, 96/2016, 67/2017, 72/2018 i 73/2019) kao:

ODGOVORNI PROJEKTANT

Za izradu Geotehničkog elaborata, koji je deo Idejnog rešenja (IDR) za izgradnju objekta Mala hidroelektrana (MHE) "Studenica S4 - Gradina" – brana sa mašinskom zgradom na k.p. br. 621/2, 5703 sve K.O. Tadenje i 2132 2044/1, 2045, 2046. 2044/2 sve K.O. Ušće; akumulacija na k.p.br 35, 38/1, 38/2, 60/2, 53/3, 61/1, 53/2, 545/2, 545/1, 552/2, 552/1, 620/2, 615/2, 610/2, 610/1, 621/1, 621/2, 5703 sve K.O. Tadenje i k.p. br. 2132, 1904/3, 1903/3, 1902/2, 1899/7, 1899/6, 1898/1, 1896/2, 1895, 1894, 1893, 1891, 1888, 1887, 1886/2, 1885/1, 1885/2, 1883, 1884/2, 1884/1, 1904/2, 1903/2, 1899/2, 1898/2, 1892 sve K.O. Ušće i interne saobraćajnice na k.p.br. 2044/2, 2044/1, 2047, 2051, 2045 sve K.O. Ušće, Grad Kraljevo, određuje se:

Milutin Petrović, dipl.inž.geol.....broj licence 391 N460 14

Projektant: "ENHY GROUP" D.O.O.,
Danice Marković 67/17, Čačak

Odgovorno lice: Zoran Bogdanović, direktor

Potpis:

Broj tehničke dokumentacije: IDR - 02/21-GE
Mesto i datum: Čačak, april 2021. god.



1.4. IZJAVA ODGOVORNOG PROJEKTANTA GEOTEHNIČKOG ELABORATA ZA OBJEKAT MHE „STUDENICA S4 - GRADINA“

Kao odgovorni projektant za izradu Geotehničkog elaborata, koji je deo Idejnog rešenja (IDR) za izgradnju objekta Mala hidroelektrana (MHE) „**Studenica S4 - Gradina**“ – brana sa mašinskom zgradom na k.p. br. 621/2, 5703 sve K.O. Tadenje i 2132 2044/1, 2045, 2046. 2044/2 sve K.O. Ušće; **akumulacija** na k.p.br 35, 38/1, 38/2, 60/2, 53/3, 61/1, 53/2, 545/2, 545/1, 552/2, 552/1, 620/2, 615/2, 610/2, 610/1, 621/1, 621/2, 5703 sve K.O. Tadenje i k.p. br. 2132, 1904/3, 1903/3, 1902/2, 1899/7, 1899/6, 1898/1, 1896/2, 1895, 1894, 1893, 1891, 1888, 1887, 1886/2, 1885/1, 1885/2, 1883, 1884/2, 1884/1, 1904/2, 1903/2, 1899/2, 1898/2, 1892 sve K.O. Ušće i **interne saobraćajnice** na k.p.br. 2044/2, 2044/1, 2047, 2051, 2045 sve K.O. Ušće, Grad Kraljevo

Milutin Petrović, dipl. inž. geol.

IZJAVLJUJEM

1. da je Geotehnički elaborat izrađen u skladu sa Zakonom o planiranju i izgradnji, propisima, standardima i normativima iz oblasti izgradnje objekata i pravilima struke;
2. da Geotehnički elaborat sadrži propisane i utvrđene mere i preporuke za ispunjenje osnovnih geotehničkih zahteva za objekat.

Odgovorni projektant: Milutin Petrović, dipl. inž. geol.

Broj licence: 391 N460 14

Potpis:

Broj tehničke dokumentacije: IDR-02/21-GE

Mesto i datum: Čačak, april 2021. god.



1.5. TEKSTUALNA DOKUMENTACIJA



SADRŽAJ

1	UVOD	5
2	OPŠTI PODACI O OBJEKTU I ISTRAŽNOM PROSTORU.....	6
2.1	Tehničke karakteristike objekta	6
2.2	Geografski položaj istražnog područja.....	7
2.3	Orografske i hidrografske karakteristike istražnog područja	9
2.4	Saobraćajne veze	9
2.5	Klimatske karakteristike područja	9
3	PRIKAZ PRETHODNE DOKUMENTACIJE.....	10
3.1	Analiza ranijih istraživanja.....	10
3.1.1	Istraživanja za Idejni projekat HC Studenica	10
3.1.2	Istraživanja za Idejno rešenje vodoprivrednog sistema Studenica	10
3.1.3	Istraživanja za Idejni projekat višenamenskog hidroenergetskog sistema Studenica	11
3.1.4	Istraživanja za MHE „Ušće“ 2009. godine.....	11
3.1.5	Istraživanja za MHE „Ušće“ 2013. godine.....	11
4	VRSTE I OBIM IZVEDENIH ISTRAŽIVANJA	13
4.1	Inženjerskogeološko kartiranje terena	13
4.2	Geofizička ispitivanja – geoelektrično sondiranje	13
5	REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	15
5.1	Geološka građa terena.....	15
5.1.1	Studenička serija	16
5.1.2	Bazične i ultrabazične stene.....	16
5.1.3	Sedimenti kvartara	17
5.2	Tektonika	17
5.3	Neotektonika	19
5.4	Seizmičnost terena	19
5.5	Inženjerskogeološke karakteristike istražnog prostora	21
5.6	Geofizičke karakteristike izdvojenih litoloških sredina	23
5.1	Savremeni inženjerskogeološki procesi i pojave	24
6	VARIJANTNA REŠENJA.....	25
6.1	Varijantno rešenje 1	25
6.2	Varijantno rešenje 2	26
6.3	Varijantno rešenje 3	28
6.3.1	Geomehaničke karakteristike terena	28



7	GEOTEHNIČKI USLOVI I PREPORUKE ZA IZGRADNJU MHE „GRADINA“	30
8	ZAKLJUČAK.....	31
9	SPISAK LITERATURE I FONDOVSKE DOKUMENTACIJE.....	32

Spisak grafičkih priloga:

Prilog br. 1: Inženjerskogeološka karta, 1:1000

Prilog br. 2.1: Inženjerskogeološki preseci terena 1-1' i 2-2', 1:1000

Prilog br. 2.2: Inženjerskogeološki preseci terena 3-3', 4-4' i 5-5', 1:1000

Prilog br. 2.3: Inženjerskogeološki preseci terena 6-6' i 7-7', 1:1000



1 UVOD

Reka Studenica je u Vodoprivrednoj osnovi svrstana među veće vodotokove u Srbiji, na osnovu kojih je sagledan ukupni raspoloživi prirodni hidroenergetski potencijal na teritoriji Republike. U planskim dokumentima na nivou Republike: prostornim planom Republike Srbije (PPRS) i Vodoprivrednom Osnovom Republike Srbije (VORS), nije bliže definisano hidroenergetsko korišćenje voda reke Studenice ali je ono obuhvaćeno Prostornim planom Grada Kraljeva (PPG).

Izgradnja MHE „Gradina“ na profilu S4 na reci Studenici, planirana je radi iskorišćenja hidroenergetskog potencijala u donjem toku reke. Za potrebe projektovanja neophodno je izvršiti prikupljanje odgovarajućih inženjerskogeoloških i geotehničkih podataka o terenu na lokaciji budućeg objekta.

U skladu sa dispozicijom planiranog objekta, izvedeni su istražni radovi manjeg obima. Za potrebe izrade Idejnog rešenja izvršena su četiri obilaska i geološko rekognosciranje terena na lokaciji budućeg objekta (04.09. i 11.12.2020. godine a potom 15.02. i 11.03.2021. godine). Takođe su dana 11.12.2020. godine izvedena geofizička ispitivanja područja levog boka brane sa 6 geoelektričnih sonde.

U ovom izveštaju se daje geološko tumačenje na osnovu rezultata izvedenih istraživanja i pređašnjih geoloških i geotehničkih saznanja o građi terena. Analizirani su ranije izvedeni istražni radovi na širem području reke Studenice a rezultati prezentovani saglasno odredbama Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima (*Sl. glasnik Republike Srbije 101/2015 i 95/2018 – dr. zakon*) i Pravilnika o uslovima, kriterijumima i sadržini projekata za sve vrste geoloških istraživanja (*"Sl. glasnik RS", br. 51/1996 i 45/2019 - dr. pravilnik*) kao i na osnovu važećih stručnih i tehničkih standarda.

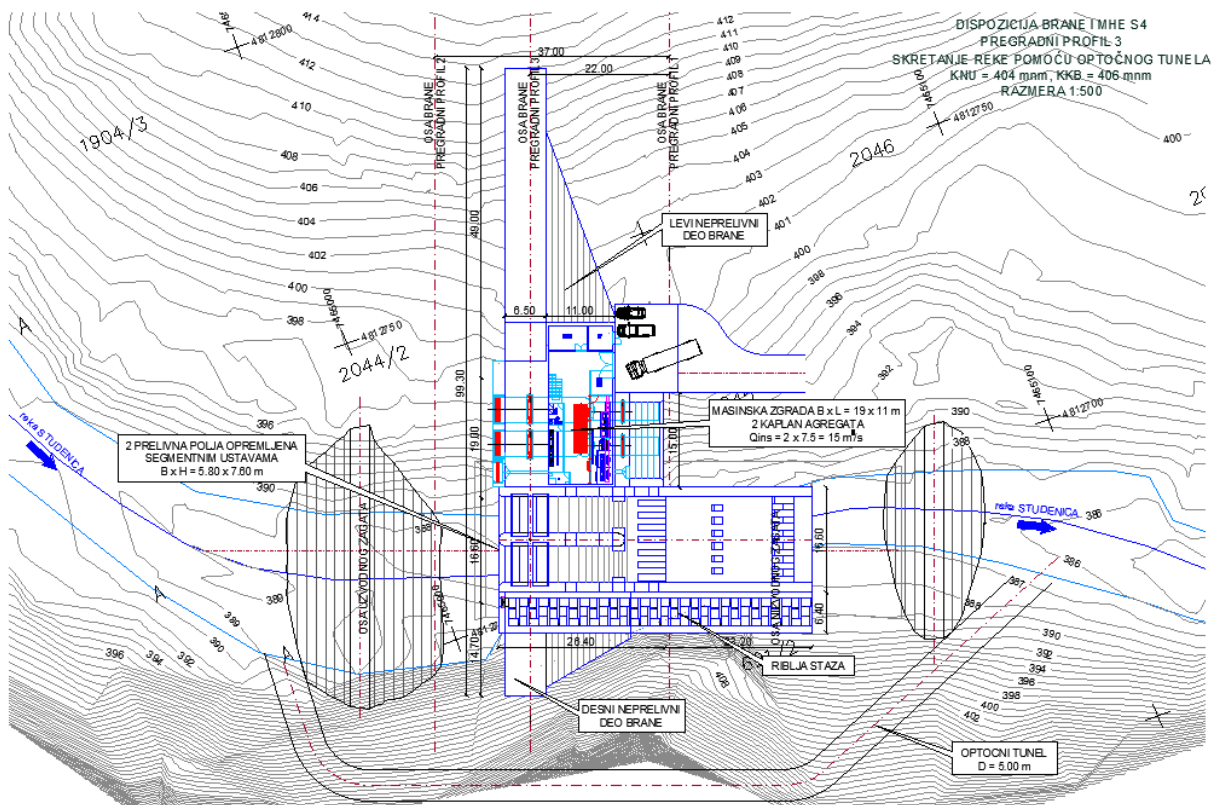
2 OPŠTI PODACI O OBJEKTU I ISTRAŽNOM PROSTORU

2.1 Tehničke karakteristike objekta

Predviđena je izgradnja pribranskog tipa, protočne male hidroelektrane, kako je to prikazano na dispoziciji u nastavku (Slika 2.1).

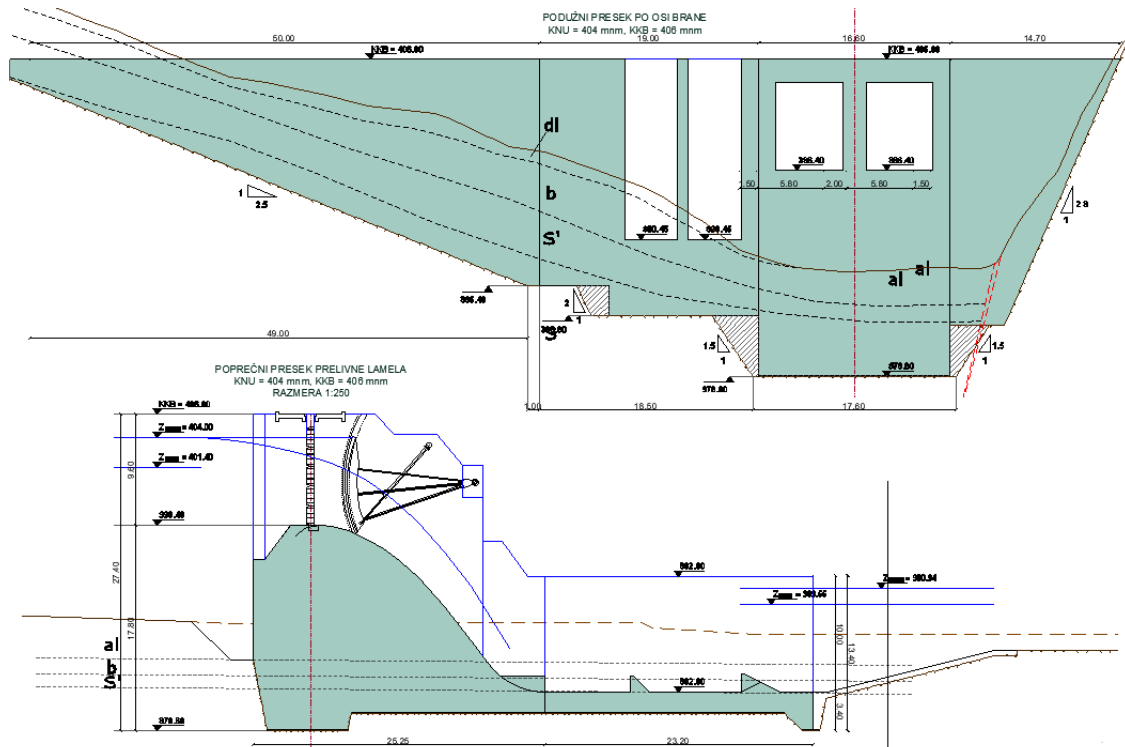
Osnovni elementi hidrotehničkog sistema su:

- betonska brana geodetske visine 25 m;
- prelivni prag opremljen tablastim ustavama;
- slapište;
- čeoni vodozahvat u telu brane;
- riblja staza;
- mašinska zgrada;
- turbine i hidromehanička oprema;
- elektrooprema sa automatikom.



Slika 2.1. Situacioni plan MHE „Gradina“

Tehnički detalji kao i preseci objekta, prikazani su na sledećim crtežima (Slika 2.2).

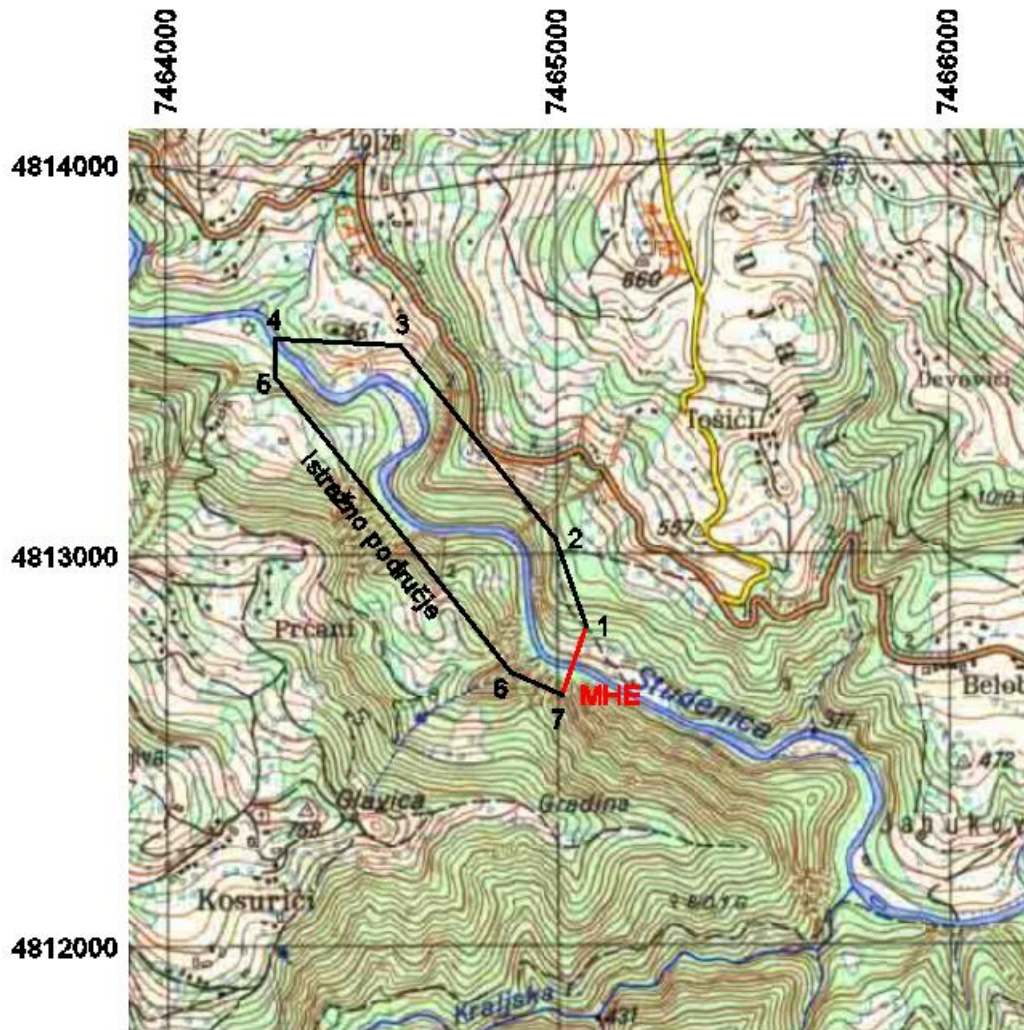


Slika 2.2. Preseci po osi brane i preliva

2.2 Geografski položaj istražnog područja

Sliv reke Studenice se nalazi u centralnom delu Srbije. Na severnim i severozapadnim granicama sliva se nalaze vrhovi planine Čemerno, na jugozapadnim i južnim granicama sliva se nalazi planina Golija, a na istočnoj granici sliva se nalaze Ibarska klisura i obronci Kopaonika i planina Željin.

Šire istražno područje MHE „Gradina“ i prateća akumulacija zahvataju relativno mali prostor (Slika 2.3).



Slika 2.3. Položaj brane i akumulacije MHE „Gradina“ na topografskoj karti razmere 1:25 000

Koordinate prelomnih tačaka istražnog područja su prikazane u narednoj tabeli.

Tabela 2.1. Koordinate prelomnih tačaka istražnog područja

Tačke	Koordinate tačaka	
	X	Y
1	4 812 780,25	7 465 158,70
2	4 813 029,70	7 464 993,70
3	4 813 525,00	7 464 595,54
4	4 813 543,47	7 464 275,94
5	4 813 441,94	7 464 277,19
6	4 812 690,72	7 464 881,08
7	4 812 603,58	7 465 097,33



2.3 Orografske i hidrografske karakteristike istražnog područja

Istražni prostor pripada brdovito-planinskom području sa jako diseciranim reljefom.

Doline reke Studenice i njenih pritoka Braduljičke reke, Graičke reke i Savošnice, prosečene su po više stotina metara kroz Ivanjički karbon i Studeničku seriju.

Na strmim dolinskim stranama uočeno je šest niskih i visokih zaravni terasnog izgleda u dosta pravilnom nizu, konstantnih visina i na različitim potezima.

Reka Studenica izvire na padinama Golije i predstavlja najznačajniju levu pritoku reke Ibar. Sliv reke karakteriše veliki broj vodotokova desnih i levih pritoka koje imaju znatne količine vode u svako doba godine. Nadmorska visina korita reke Studenice kreće se od 330 do 1615 m. Studenica nastaje iznad Brusnika, od Crne reke i Studenca. Korito reke je danas delimično zasuto šljunkom, ali još uvek postoje izraziti brzaci i virovi. Širina reke se idući nizvodno, kreće od 3 do 14 m, a dubina varira od 30 do 120 cm.

Površina sliva je 582 km², a dužina toka 57,60. Uravnati pad na mestu buduće hidrocentrale iznosi oko 2.0%. Srednji godišnji proticaj iznosi $Q_{sr} = 6,96 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.4 Saobraćajne veze

Putna infrastruktura je dobro razvijena.

Pregradni profil MHE „Gradina“ je na oko 6,5 km uzvodno od mesta Ušća, a oko 5 km nizvodno od manastira Studenica.

Do skretanja ka mestu brane postoji asfaltni put koji povezuje mesto Ušće i Ivanjicu a prolazi pored manastira Studenica. Isključenjem sa lokalnog asfaltnog puta, potrebno je oko 700 m (šumskog puta) kako bi se stiglo do pregradnog profila MHE „Gradina“.

2.5 Klimatske karakteristike područja

Predmetno područje u nižim delovima sliva odlikuje umereno kontinentalna klima, u malo višim je kontinentalna, a u visokim oblastima i planinska klima. Planinski vrhovi Radočeta i Čemerna, pokriveni su snežnim pokrivačem više meseci godišnje. U odnosu na susednu i širu dolinu reke Ibra, leta su malo svežija i kraća, a zime hladnije, a u visokim predelima i znatno duže.

Generalno, u celom slivu srednja temperatura najtoplijeg meseca jula se kreće u intervalu od 13-19 °C, najhladnijeg januara od -1 do -5 °C. Srednja godišnja temperatura u najvećem delu sliva je u intervalu od 5 do 9,5 °C, u zavisnosti od nadmorske visine. Minimalne dnevne temperature su reda do -28 °C, a maksimalne do 35 °C.

Srednje godišnje padavine u slivu su ocenjene na oko 890 mm, a njihov raspored po mesecima je sličan kao i za ostale slivove u centralnoj Srbiji, i u skladu sa oticajima u slivu, ali uz značajan uticaj i snega. Najkišovitiji meseci su juni i maj, a najmanje kišne padavine su u januaru i februaru, uz relativno stabilan i ravnomeran raspored po mesecima.



3 PRIKAZ PRETHODNE DOKUMENTACIJE

Dosadašnja istraživanja se mogu svrstati u osnovna i detaljna. Od osnovnih, regionalnih, geoloških istraživanja urađena je Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Vrnjci. Detaljna geološka istraživanja su vezana za hidroenergetsko i vodoprivredno iskorišćenje vodotokova, tako da su pomenuta istraživanja rađena parcijalno za iskorišćenje potencijala reke Studenice.

Za sagledavanje inženjerskogeoloških uslova izgradnje MHE „Gradina“, u fazi Idejnog rešenja, korišćeni su podaci dobijeni analizom rezultata istraživanja za:

- Idejni projekat HC Studenica, Jugoprojekt, 1966. godine;
- Idejno rešenje vodoprivrednog sistema Studenica, Energoprojekt, 1984. godine;
- Idejni projekat višenamenskog hidroenergetskog sistema Studenica, Energoprojekt-Jaroslav Černi, 1988. godine;
- Elaborat o izvršenom istražnom bušenju bušotina B-5 i B-6, Geo Projekt, Niš, 2009. godine;
- Elaborat o inženjerskogeološkim uslovima izgradnje MHE „Ušće“ na reci Studenici, Geosonda-Geomehanika, 2014. godine;
- Studija izvodljivosti za pet planiranih i jednu izgrađenu MHE na reci Studenici, Energoprojekt, 2015. godine;
- Dokumentacija za Osnovnu geološku kartu SFRJ, list Vrnjci, 1:100 000.

3.1 Analiza ranijih istraživanja

3.1.1 Istraživanja za Idejni projekat HC Studenica

Za Idejni projekat postrojenja, 1966. godine detaljnije je istraženo pregradno mesto HE Dubočica (Preprana), oko 15 km uzvodno od pregradnog profila MHE „Gradina“.

U zoni mesta brane izvršen je sledeći obim geoloških radova:

- istražno bušenje 6 istražnih bušotina dubina 45 – 55 m (ukupno 310 m), sa ispitivanjima vodopropustljivosti i utvrđivanjem stanja podzemnih voda;
- iskop 2 istražne galerije, u levom i desnom boku, dužina 15 i 20 m (ukupno 35 m);
- ispitivanje deformabilnih svojstava „in situ“ na 2 merna mesta u istražnim galerijama metodom „hidrauličkog jastuka“;
- refrakciona seizmička ispitivanja duž više profila i određivanje intervalnih brzina u bušotinama;
- laboratorijska, hemijska i fizička ispitivanja uzoraka stena;
- hemijske analize uzoraka površinskih i podzemnih voda;
- mineraloško petrološka i fizičko-mehanička ispitivanja uzoraka krečnjaka sa lokacije potencijalnog pozajmišta za betonski agregat Bažalski Krš.

3.1.2 Istraživanja za Idejno rešenje vodoprivrednog sistema Studenica

Izradom Idejnog rešenja, obuhvaćene su dve varijante izgradnje derivacionog postrojenja HE Dubočica na reci Studenica. Varijanta Preprana i Savošnica (cca 4 km nizvodno od Preprana).



Za mesto brane Preprana, korišćen je fondovski materijal Idejni projekat HC Studenica 1966. god. Elaborat je urađen na osnovu fotogeološke obrade aerosnimaka, geološkog i inženjerskogeološkog kartiranja i rekognosciranja terena.

3.1.3 Istraživanja za Idejni projekat višenamenskog hidroenergetskog sistema Studenica

Idejni projekat višenamenskog hidroenergetskog sistema, urađen 1988. godine, za potrebe rešavanja uslova projektovanja i izgradnje postrojenja, izvršena su sledeća detaljna istraživanja i ispitivanja:

- refrakciona seizmička ispitivanja, seizmička ispitivanja u bušotinama i galerijama, seizmička ispitivanja između galerija i između istražnih bušotina, mikroseizmička ispitivanja oko „hidraulikih jastuka“;
- istražno bušenje 16 istračnih bušotina, dubina 30-85 m (ukupno 912 m) sa ispitivanjima vodopropustljivosti (168 opita) i osmatranjima stanja podzemnih ova (nivo i oscilacije);
- produbljivanje postojećih galerija u levom i desnom boku (50+70=120 m) i iskop novih istražnih galerija (60+50=110 m);
- iskop 8 istražnih jama i zaseka;
- iskop proreza i „in situ“ ispitivanja deformabilnih svojstava stenskih masa na 4 merna mesta u produbljenim i novim galerijama;
- ispitivanje „in situ“ parametara smicanja po diskontinuitetima na 2 bloka u istražnim galerijama;
- laboratorijska ispitivanja.

3.1.4 Istraživanja za MHE „Ušće“ 2009. godine

Za potrebe istraživanja mesta brane MHE „Ušće“, 2009. godine, obuhvaćen je samo levi bok, pri čemu su izbušene dve istražne bušotine. Uzvodna bušotina B-5, izbušena je do 10.50 m, dok je nizvodna bušotina B-6 izbušena svega 15.00 m.

Iz obe bušotine uzet je po jedan uzorak i na istim, od laboratorije, izvršena samo granulometrijska ispitivanja.

Za potrebe proračuna dozvoljenog opterećenja u terasnim peskovito-šljunkovito-prašinstim materijalima, procenjeni su i uzeti sledeći ulazni parametri:

- kohezija $c=0.00$ kN/m²;
- ugao unutrašnjeg trenja $\varphi=33^\circ$;
- zapreminska težina $\gamma=21$ kN/m³.

3.1.5 Istraživanja za MHE „Ušće“ 2013. godine

Projektovanje MHE Ušće počelo je 2009. godine, kada je za te potrebe izvršeno bušenje dve istražne bušotine B-5 i B-6, kako je to spomenuto u ranijem poglavlju. Da bi se utvrdile geotehničke karakteristike stenskih masa i izvršila mikro-seizmička rejonizacija, predloženo je izvođenje geofizičkih seizmičkih ispitivanja.

Za potrebe rešavanja uslova projektovanja i izgradnje postrojenja, izvršena su sledeća istraživanja i ispitivanja:



- detaljno inženjerskogeološko kartiranje pregradnog mesta i akumulacije;
- bušenje 4 (četiri) istražne bušotine, jedne na desnoj dolinskoj strani B-1 (20.00 m) i 3 (tri) bušotine u koritu reke B-2 (15.00 m), B-3 (15.00 m) i B-4 (15.00 m), ukupno 65.00 m (Tabela 3.1);
- detaljno inženjerskogeološko kartiranje jezgra istražnog bušenja, ukupno 65.00 m;
- ispitivanje vodopropustljivosti u istražnim bušotinama metodom Lugeon, pod pritiscima do 6 bara, ukupno 6 opita (Tabela 3.1);
- uzimanje uzoraka stene, ukupno 4 uzorka;
- laboratorijska fizičko-mehanička ispitivanja na uzorcima:
 - čvrstoća na pritisak u suvom i vodozasićenom stanju;
 - modul elastičnosti i deformacija;
 - zapreminska težina;
 - brzina prostiranja uzdužnih i poprečnih elastičnih talasa;
- hemijske analize vode iz reke i bušotina B-6, ukupno 2 uzorka;
- refrakciona seizmička ispitivanja, električne tomografije i sondiranja duž 5 profila ukupne dužine 228 m.

Tabela 3.1. Pregled istražnog bušenja, ispitivanja vodopropusnosti i nivoa podzemnih voda

Redni broj	Oznaka istražne bušotine	Koordinate (m)		Kota (m)	Dubina (m)	Dubina etaže ispitivanja vodopropusnosti (m)	Dubina do nivoa podzemne vode (m)
		X	Y	Z			
1.	B-1 (desna dolinska strana – osa brane)	4 812 461.62	7 465 736.49	384.60	20.00	10.5-15.3 15.5-20.0	-
2.	B-2 (korito reke – osa brane)	4 812 478.85	7 465 748.97	373.85	15.00	8.0-11.0 11.0-15.0	0.4
3.	B-3 (korito reke – osa brane)	4 812 493.23	7 465 759.38	374.10	15.00	8.5-11.5 11.5-15.0	0.3
4.	B-4 (korito reke – nizvodno od ose brane)	4 812 452.76	7 465 776.46	373.20	15.00	-	0.2



4 VRSTE I OBIM IZVEDENIH ISTRAŽIVANJA

Za potrebe izrade Idejnog rešenja MHE „Gradina“, izvršena su geološka istraživanja i ispitivanja terena manjeg obima.

Istraživanja su rađena da bi se utvrdilo sledeće:

- litološki sastav i sklop terena na predmetnoj lokaciji;
- pojava nestabilnosti terena i drugih geomorfoloških procesa;
- inženjerskogeološki uslovi, geotehnička i seizmička svojstva sredine potrebna za projektovanje i izvođenje MHE „Gradina“.

U ovoj fazi istraživanja izvedeni su radovi prikazani u nastavku:

4.1 Inženjerskogeološko kartiranje terena

Inženjerskogeološkim kartiranjem terena obuhvaćen je prostor lokacije objekta.

Granica kartiranog terena se prostire od asfaltnog puta na severu, reke Studenice na jugu, sve do pregradnog profila MHE Ušće na zapadu. Kartiranjem je obuhvaćen brdovit, na pojedinim delovima jako strm teren.

Pri inženjerskogeološkom kartiranju terena, posebna pažnja je posvećena utvrđivanju i registrovanju pojava nestabilnosti.

Generalna ocena terena po pitanju pristupačnosti je da se radi o terenu koji je morfološki većinom pristupačan. Skretanjem sa asfaltnog puta, do pregradnog mesta vodi šumski put, prohodan i za građevinske mašine. Ostali deo terena je pokriven u značajnom delu vegetacijom.

Padine levog boka su, generalno pod uglom od 30°, sa pojedinim strmijim delovima do 60°. Na ovom delu terena nema izdanaka čvrste stenske mase. Učestalo je pojavljivanje velikih blokova stene (peridotita), transportovane sa viših delova padine. Zasek puta je u površinskom pokrivaču (deluvijalni materijal) i eventualno u prelaznoj zoni između deluvijalnog materijala i povlatnog dela ispucalih i degradiranih škriljaca Studeničke serije.

Padina desnog boka reke Studenice, na pregradnom profilu je potpuno drugačija u odnosu na levi. Karakteriše je subvertikalni nagib terena (70-90°). Zastupljena je čvrsta, kompaktna stena spilit-dijabaza.

U levom boku reke nije bilo moguće izdvajanje i registrovanje rasednih struktura iz spomenutih razloga (debeo površinski pokrivač). Pravci nekih raseda u ovakvom terenu, dati su na osnovu analize aerofoto snimaka, ali i to se mora uzeti sa rezervom.

Na osnovu detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja terena, može se reći da trenutno nema aktivnih procesa kliženja.

4.2 Geofizička ispitivanja – geoelektrično sondiranje

Geoelektrično sondiranje izvedeno je na mestu 6 (šest) geoelektričnih sondi, označenih od S-1 do S-6 (Tabela 4.1), koje su locirane u domenu pregradnog mesta i mašinske zgrade MHE „Gradina“.



Tabela 4.1. Pregled izvedenih geoelektričnih sondi

Redni broj	Oznaka	Koordinate		Kota
		Y	X	Z
1.	S-1	7465039.18	4812711.04	388.40
2.	S-2	7465047.88	4812737.12	402.00
3.	S-3	7465100.51	4812693.74	387.70
4.	S-4	7465110.57	4812721.54	397.30
5.	S-5	7465032.98	4812760.40	404.55
6.	S-6	7465063.08	4812772.64	409.80

Istraživanja su izvedena korišćenjem Schlumberger-ovog rasporeda elektroda u formi A –MN– B, sa strujnim AB i potencijalnim MN elektrodama. Maksimalno polurastojanje strujnih elektroda ($AB/2_{max}$) bilo je 80 m kod sondi S-1 i S-3 do 100 m kod sondi S-2, S-4, S-5 i S-6. Dužina $AB/2_{max}$ zavisila je od projektovane dubine istraživanja i konkretnih, pre svega geoloških uslova na terenu. Sa teorijskog stanovišta, navedena istraživanja omogućila su dubinski zahvat između 30 m i 40 m.

Akvizicija podataka na terenu (registrovanje razlike potencijala ΔV i jačine jednosmerne struje I) vršena je analognom aparaturom IC-1B. Kao izvor napajanja korišćen je akumulator od 12 V. Strujne (AB) i potencijalne (MN) elektrode bile su od čelika (stainlesssteel). Azimuti pravaca širenja elektrodnih dispozitiva bili su prilagođeni geološkim i topografskim uslovima na terenu. Mikrolokacije geoelektričnih sondi, njihove koordinate, određene su prethodnim geodetskim snimanjem.

Dobijeni podaci, prikazani su numerički i u vidu dijagrama $\rho_p = f(AB/2)$, na grafičkom prilogu br. 2, kao i u Izveštaju o rezultatima geoelektričnog sondiranja u području buduće male hidroelektrane „Gradina“ na reci Studenici.

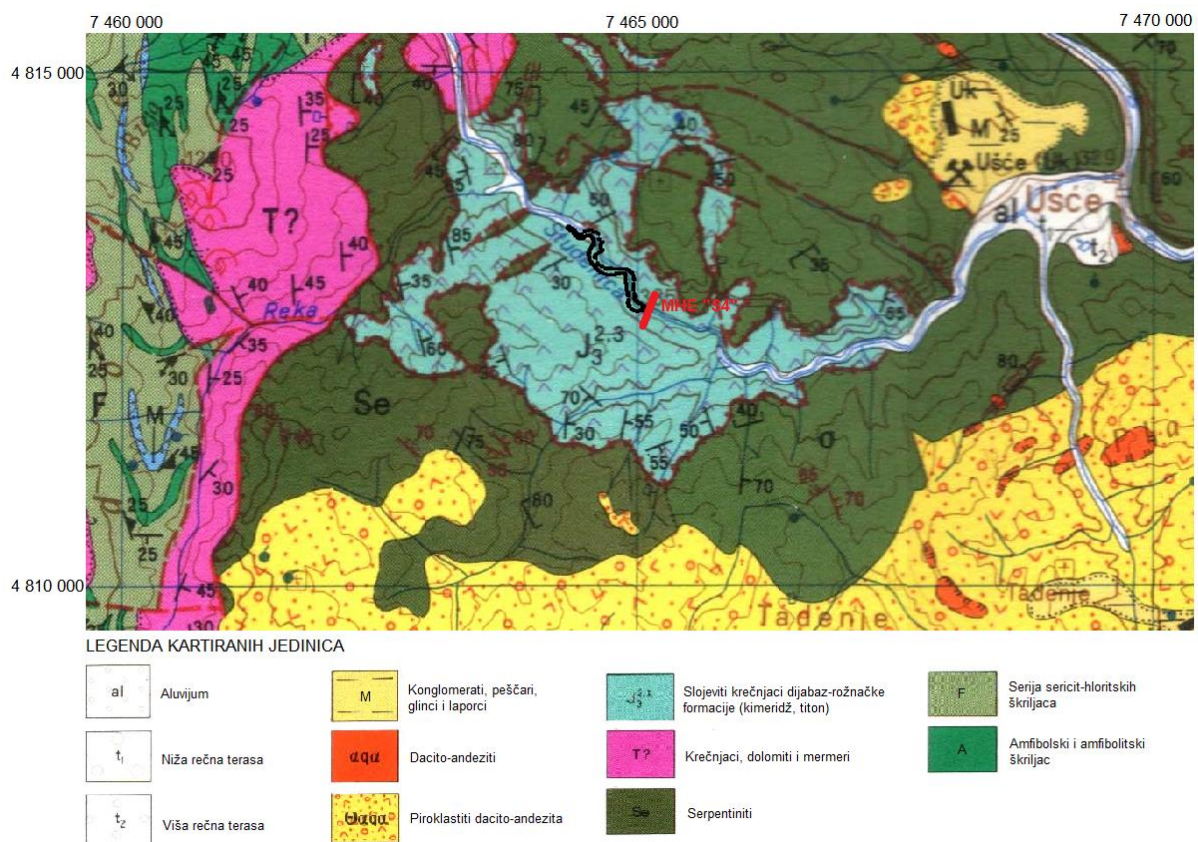
5 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

5.1 Geološka građa terena

U cilju što boljeg sagledavanja geološke građe terena u pogledu sastava, osnovnih strukturnih svojstava, kao i inženjerskogeoloških svojstava šireg istražnog područja pregledana je postojeća geološko-geotehnička dokumentacija.

Izvršena je analiza rezultata izvedenih geoloških istraživanja, koja je korišćena kao osnova za upoznavanje inženjerskogeoloških i geotehničkih svojstava terena.

Na Osnovnoj geološkoj karti, list Vrnjci (Slika 5.1), dat je prikaz geološke građe šireg dela područja istraživanja, kao i prikaz izdvojenih geoloških jedinica koje se nalaze na širem području istraživanja.



Slika 5.1. Detalj sa Osnovne geološke karte mesta brane i akumulacije MHE „Gradina“, list Vrnjci, 1:100 000

Regionalno posmatrano, u dolini reke Studenice, od geoloških jedinica na širem istražnom području mogu se izdvojiti sledeće jedinice:

- Paleozojske stene:
 - Studenička serija;
 - Ivanjička serija;
 - Granitoidi Čemema;
 - Polimorfno metamorisane tvorevine.
- Mezozojske stene:



- Donje trijaski i srednje trijaski karbonatni kompleksi;
- Jurski ofiolitski melanž;
- Ultramafitske stene;
- Kredne tvorevine.
- Kenozojske stene:
 - Tercijarni eruptivi;
 - Kvarterne tvorevine.

Treba napomenuti da je škriljavi kompleks Studeničke serije predstavljen kao jurski ofiolitski melanž na OGK, list Vrnjci, 1:100 000, što na osnovu sadašnjeg nivoa znanja o litogenezi ne odgovara stanju na terenu.

5.1.1 Studenička serija

Studenička serija, kao jedan od najrasprostranjenijih sedimenata dela lokacije istraživanja predstavljena je sedimentima paleozojske starosti. Članovi Studeničke serije prikazani su:

- Donjim delom – sedimentno vulkanogene tvorevine, sa velikim učešćem vulkanita, metamorfisane do kvarc-albit-biotitske podfacije zelenih škriljaca;
- Gornjim delom – aktinolit-hlorit epidotski škriljci metamorfisani do facije zelenih škriljaca.

Ova serija predstavlja geosinklinalnu sukcesiju sa intezivnim razvojem vulkanita i piroklastita. Razlog gore pomenute podele na donji i gornji deo je zbog litologije, tj. količine vulkanogeno-sedimentnog materijala.

Gornji deo serije je uzgrađen pretežno od parametamorfita psamitskog karaktera, podređenih pelita i manjih neravnomerno raspoređenih sočiva i nepravilnih tela metabazita.

Pored sericitsko-hloritskih škriljaca, filita, kalkšista, zastupljeni su amfibolsko-liskunski škriljci, a podređeno antigoritski, serpentinski i aktinolit-hlorit-epidot-silimanitski škriljci. Poreklo ovih škriljaca je vezano za serpentinite, dijabaze, spilite i njihove tufove. Prema stepenu metamorfizma, sve navedene stene pripadaju faciji zelenih škriljaca.

5.1.2 Bazične i ultrabazične stene

Tvorevine ovog kompleksa predstavljene su sa mezozojskom starošću. Razlikuju se po mineralnom sastavu, strukturi i intezitetu izmena, a prema načinu pojavljivanja i petrološkom sastavu su podeljene u tri grupe.

Prvu grupu čine stene **spilit-dijabazne asocijacije ($\beta\beta ab$)**, efuzivne, manjim delom intruzivne. Stena je kompaktna, nealterisana i kuglastog lučenja. Izgrađena je od spilita, ređe od variolita, spilitskih-dijabaza i dijabaz-porfirita. Predstavljaju submarinske izlive obogaćene natrijumom. Stene su sitnozrne i afatične. Spiliti su intersertalni do pilotaksične strukture. Izgrađeni su od igličastog albitisanog plagioklasa sa hloritskom staklastom mezostazom. Varioliti se sastoje od radialno vlaknastih albita u hloritisanjoj staklastoj bazi. Karakteristična je mandolasta tekstura.

Spilitski dijabazi i dijabaz-porfiriti su plitko očvrslе stene bazične magme, takođe izmenjene spilitskom reakcijom. Strukture ofitske, ili porfiritske sa ofitskom osnovnom masom. Izgrađeni su od albitisanih plagioklasa sa sekundarnim hloritom u međuprostorima.

Drugu grupu čine stene **gabro-dijabazne asocijacije ($v\beta\beta$)**, predstavljaju mase ili proboje u serpentinitima u koje su utisnuti ili su njihovi bočni varijeteti. To su intruzivne stene, predstavljene



zrnastim članovima ili nešto pliće očvrslim, krupnozrnim stenama ofitske strukture. Bazične stene, kao proboji u ultramafitima, bliske su po mikrofiziografskim osobinama, i vrstama alteracije sa stenama koje grade olistolite. Konstatovani su zrnasti gabrovi, gabro-amfiboliti, gabrodijabazi, sitnozrni dijabazi. Gabrovi i gabrodijabazi pokazuju identičan mineralni sastav, vrstu i intezitet alteracionih promena. Zbog toga je proces alteracije potpun. Mestimično su ove stene u različitom stepenu kataklazirane.

Treću grupu čine stene serpentinitiski metamorfiti. Gabro-amfiboliti (vA) su uglavnom po obodu ultramafita. Po sastavu odgovaraju alterisanim i metamorfisanim gabrovima, a strukture blisko nematoblastičnoj.

Dijabazi ($\beta\beta$) su relativno sitnozrne stene, ofitske strukture, sa mestimično slabo izraženim kataklastičnim efektima. U ovim stenama česte su žilice ili nagomilavanja prenita, uralita ili epidota. Dijabazi često predstavljaju, u lokalnim profilima, niže delove serije, mada se javljaju u svim nivoima smenjajući se sa sedimentima i u vertikalnom i u horizontalnom smislu. Promenljive su debljine i često se stiče utisak da su debeli i do nekoliko stotina metara. Njihovo lučenje je, pored paralelopipednog, stubastog i pločastog, često i kuglasto. Retko su sveži, najčešće su podlegli raznim procesima alteracije. Hemijski, ove stene pripadaju istom tipu magme kao gabro-amfiboliti.

Ultramafiti (σ), izgrađuju ih harcburgiti, a ređe duniti i pirokseniti, lertzoliti i niz prelaznih stena. Ultramafiti izgrađuju više delove leve dolinske strane. Sve pomenute stene su znatno alterisane najčešće serpentinizacijom, ređe hidrotermalno. Ovi procesi su najintezivniji duž razlomnih zona i škrljavih tektonskih zona, gde su ultramafiti prešli u taik-termolitske škrljce. Stena je hipidiomorfno zrnaste strukture. Zbog uškrljavanja, usled tektonike, struktura stene je često kataklastično zrnasta.

5.1.3 Sedimenti kvartara

Među kvartarnim tvorevinama ovog dela terena u području brane i akumulacije MHE „Gradina“, izdvojeni su savremeni aluvijalni nanos, terasni nanos, deluvijalni i proluvijalni klastiti i blokovi.

Savremeni aluvijalni nanos (al), reke Studenice je po sastavu petrološki i granulometrijski veoma heterogen. Zastupljeni su metamorfiti iz Studeničke serije, eruptivi, intruzivi, kvarc, peridotiti, dok je karbonatna komponenta retka. Aluvijum je šljunkovito-peskovit, podređeno prašinast. Debljina ovih tvorevina na pregradnom mestu brane MHE „Gradina“ se procenjuje na oko 3-4 m.

Terasni nanos (t), je heterogen po sastavu i granulaciji. Granulometrijski je peskovito-šljunkovit, podređeno prašinast. Nastao je kao produkt promene toka reke Studenice.

Deluvijalne tvorevine (dl), zastupljene su uglavnom u levom boku pregradnog mesta brane MHE „Gradina“. Materijal deluvijuma je zaglinjen, pretežno sastavljen od stena Studeničke serije i bazičnih peridotitskih stena. Glinoviti materijali su karakteristični za prostor izgrađen od stena Studeničke serije, debljine od 1.0-1.5 m, dok ga u okviru dijabaznih stena ima retko do 0.5 m.

Proluvijalni nanos (pr), stvaranje je uslovljeno većim količinama vode povremenih i stalnih tokova i jaruga u smeni sa intezivnim raspadanjem (pretežno na desnoj obali). Sedimenti proluvijuma su loše sortirani, pretežno zaglinjeni i grubozrni (komadi stene Studeničke serije, serpentinita i dijabaza) procenjene debljine oko 2-5 m.

Padinski stenski blokovi i drobina (b), konstatovani su u levom boku preko stena Studeničke serije, debljine i do 5 m. Poreklo blokova i drobine je pretežno od peridotitskih stena, koji su se iz viših delova padine skotrljali i zadržali na padini ili dospeli u rečno korito.

5.2 Tektonika

U tektonskom pogledu širi istražni prostor pripada pretežno Ultramafitskom kompleksu (Vardarskoj zoni), razlomima Studenice, dislokacijama monoklinale Čemerna i Radočela, koji su između monoklinala Čemerna i Radočela.



Razlomni Studenice su geografski prirodna granica između planina, odnosno blokova Čemerna i Radočela. Protežu se dolinom reke. Pružanje razloma je ZSZ-IJI. Duž razloma u okviru Studeničke serije su po obodu utisnute i istisnute mase: ultramafita, bazičnih stena ofiolitskog melanža i terciarni vulkanita.

Generalno, u tom prostoru stene Studeničke serije u opkoljene, i utisnute i istisnute, stene ultramafita, terciarnih vulkanita. Ovi razlomi čine zapadnu granicu bloka Čemerna i dijagonalno presecaju monoklinalu Čemerna i Radočela.

Blok Čemerna je izgrađen od tvorevina nižeg strukturnog sprata – kristalastih škriljaca i granitskih tela. Kao celina najverovatnije predstavlja krovinu i povlatne delove granitoidnog plutona, čije telo (jezgro) leži na većim dubinama. Strukturno, ovaj blok znatno odstupa od ostalih deova, kompleksa, jer se pružanje folijacije kreće od SSZ do SZ, ili čak do ZSZ. Skretanje je verovatno nastalo dejstvom granitske intruzije.

Analiza sklopa pokazuje delimično ocrtavanje domastog oblika sa kulminacijom u zoni Čemerna (Gusarica-Ravnište). Planari u severnom delu bloka ka SZ, a južno ka JI. Granice ovog bloka su razlomne zone duž toka Studenice, Savošnice i kraljušti Maglića (reka Dubočica), duž kojih se sa Z i Z-JZ vergencom utisnuti i navučeni ultramafiti.

Tektonski kontakt bloka Čemerna sa okolnim strukturama i nepostojanje utisnutih ultramafita unutar njega, ukazuje da se blok ponašao kao kruto telo u toku strukturno-tektonskog uobličavanja terena. To je indirektan dokaz da podinu bloka, u okviru cele njegove površine, čini granitoidno telo, čije se postojanje manifestovalo probojima i polimorfnom metamorfozom Studeničke serije. Ovo ne isključuje mogućnost da je i sam blok diseciran sa više raseda, generalno manjeg značaja od graničnih prema okolnim strukturama.

Kompaktnost polimorfno metamorfisanih škriljaca Studeničke serije, posle intruzije granitoida približno paralelno klivažu, ukazuje na tadašnju plastičnost sredine i sinhronost ubiranja i utiskivanja.

Blok Radočela, koji je južno od reke Studenice i bloka Čemerna, izgrađen je pretežno od tvorevina nižeg strukturnog sprata (kristalastih škriljaca). Pružanje planara i lineara je SSZ-JJI. Područje je u celini monoklinalno sa puno izoklinih nabora. Osim izoklinih polegatih nabora, sa zapadnom vergencom aksijalnih ravni, utvrđeni su i reversni rasedi. Karakteristično je da ni u okiru ovog bloka nisu utvrđena utiskivanja ultramafita.

Ultramafitski kompleks:

Ultramafiti imaju gotovo uvek tektonski odnos sa susednim formacijama, uključujući i Studeničku seriju. I u samom kompleksu tektonskim postkonsolidacionim procesima stvorena je škriljavost i veće rupturne forme. Škriljavost je zapažena po celom ultrabazičnom masivu i obeležava površine kretanja pojedinih blokova unutar masiva. Oni su uglavnom pružanja S-J, ili SZ-JI. Pravci pada površinske škriljavosti su takođe različiti i najčešći su prema I i SI (EP=80-100/35-45). Praćeni su zonama tektonizacije sa istim elementima pada. Ove zone su učestalije u veće u blizini kontakta sa okolnim masama, a manje unutar masiva. Najveći stepen tektonizacije pretrpele su manje mase ultramafita koje su se lokalno utisnule u Studeničku seriju, u široj zoni izvan osnovnog tela ultramafita. Škriljave, odnosno tektonske zone na obodu ultramafita, paralelne su kontaktu ove sredine prema okolnim stenama.

Veći subvertikalni nagibi kontakta uslovljeni su naknadnim razlomima stvorenim duž inicijalno oslabljenih zona.

Evidentna je zavisnost inteziteta serpentinizacije, koja u zonama intezivnog uškriljavanja iznosi 90-100%.

Razlomne, škriljavotektonske i kontaktne zone, veoma su uočljive, jer su delom predisponirale drenažnu mrežu i uslovile intenzivni razvoj inženjerskogeoloških procesa jaružanja. Podaci



konstatovani u zoni kontakta ukazuju na generalno reversno kretanje ultrabazita. Kod manjih ultramafitskih masa unutar Studeničke serije, evidentno je dijapirsko kretanje.

5.3 Neotektonika

Neotektonska istraživanja terena potvrdila su savremenu tektonsku aktivnost duž graničnih zona izdvojenih tektonskih celina i to, Monoklinala Čemerna i Radočala, i ultramafitski kompleks Ibra se izdižu.

Generalno mesto brane MHE „Gradina“ se nalazi na bloku Radočela, koji se relativno izdiže.

Prema karti recentnih vertikalnih pomeranja zemljine kore 1:2 500 000 za područje SFRJ, izdate od strane Savezne geodetske uprave, Beograd 1972. godine, istražni prostor MHE „Gradina“ se izdiže 3-4 mm/god.

5.4 Seizmičnost terena

Jedan od osnova pri izradi planskih dokumenata, planiranju i projektovanju objekata su i seizmološke podloge.

Njihov sadržaj predstavljaju efekti, očekivanih sa različitom verovatnoćom zemljotresa izraženih najčešće preko seizmičkih intenziteta ili maksimalnog horizontalnog ubrzanja.

Za predviđene objekte na datoj mikrolokaciji, seizmički uslovi se mogu smatrati jednakim uslovima koje za šire područje treba očekivati na osnovu raspoloživih karata seizmičke rejonizacije. Prema Seizmološkoj karti SFRJ za povratni period od 95 godina, područje VVHS Studenice (HE Dubočica) pripada zoni VII stepena seizmičke aktivnosti po MCS skali (Slika 5.2).

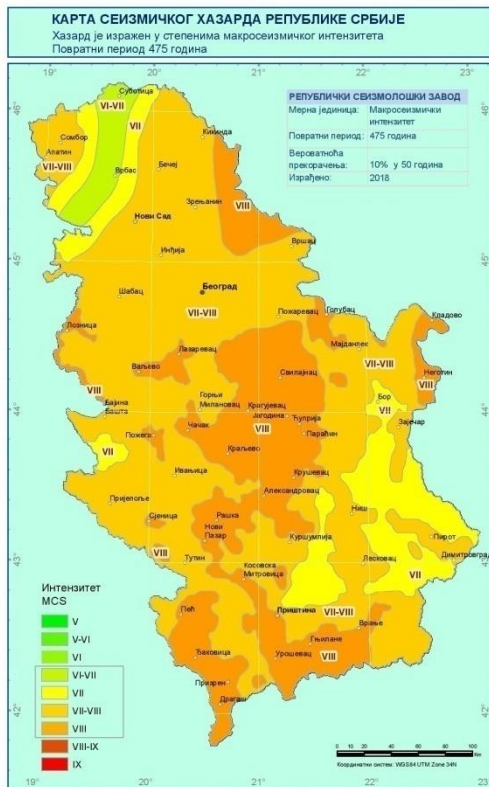


Slika 5.2. Seizmološka karta hazarda za povratni period od 95 godina

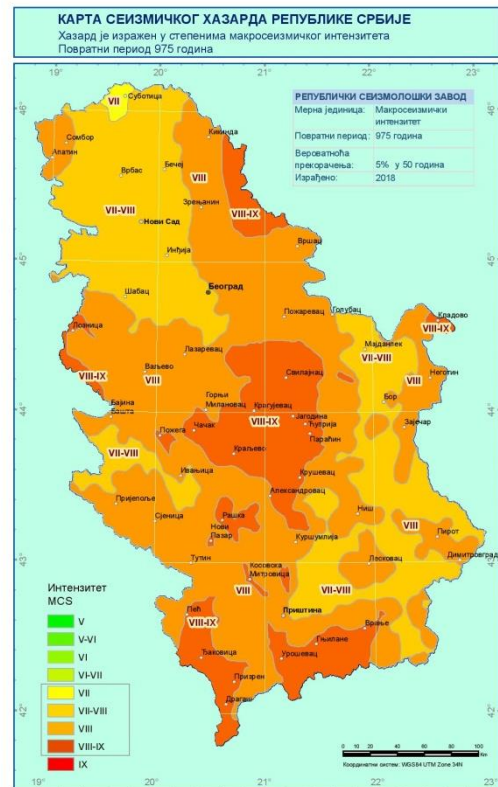
(Izvor: Republički seizmološki zavod)

Na karti su prikazani očekivani makroseizmički intenziteti na površini terena za karakteristično tlo.

Istražno područje prema seizmološkoj karti hazarda pripada VIII MCS stepenu za povratni period od 475 godina, i VIII-IX MCS stepenu za povratni period od 975 godina.



Slika 5.3. Seizmološka karta hazarda za povratni period od 475 godina
(Izvor: Republički seizmološki zavod)



Slika 5.4. Seizmološka karta hazarda za povratni period od 975 godina
(Izvor: Republički seizmološki zavod)

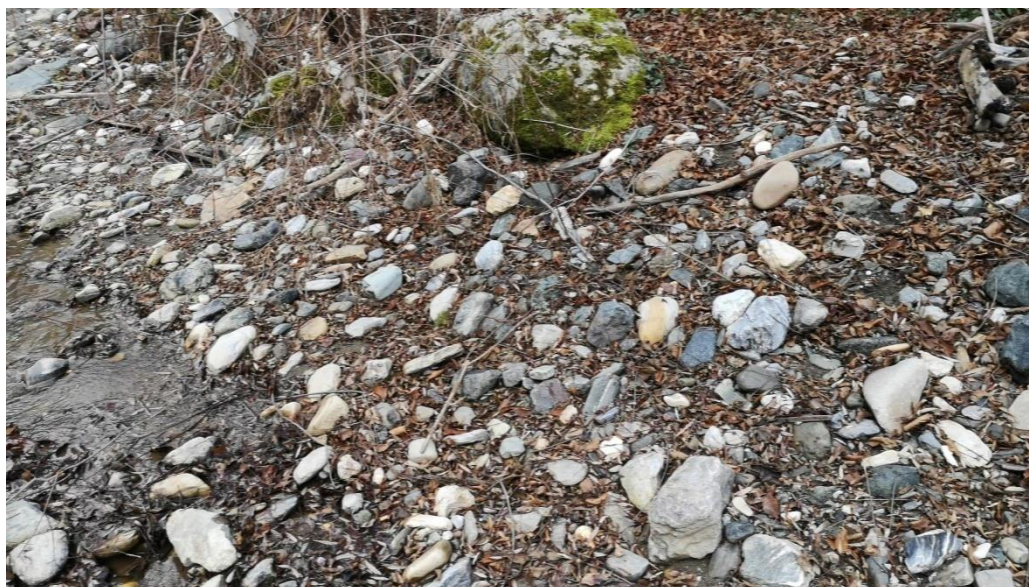
5.5 Inženjerskogeološke karakteristike istražnog prostora

Inženjerskogeološke karakteristike područja predstavljaju stanje i svojstva izdvojenih litoloških jedinica i savremeni inženjerskogeološki procesi i pojave na datom terenu.

Na osnovu terenskih istraživanja za potrebe izgradnje MHE „Gradina“, kao i ranijeg istraživanja prostora objekata MHE „Ušće“, analizirani su rezultati za inženjerskogeološke sredine.

Na inženjerskogeološkim presecima terena, prikazani su litološki sastav i strukturni sklop terena, kao i geneza sa geološkom građom.

Aluvijalni sedimenti kvartarne starosti (al) predstavljaju najmlađe produkte razvoja tla. Po sastavu su petrografski i granulometrijski heterogeni. Sastav je uglavnom šljunkovito-peskovit (grubozrn šljunak), međutim ima i velikih blokova stene metarskih veličina (Slika 5.5). Debljina aluvijalnog sedimenta reke Studenice iznosi od 3.0-4.0 m. U koritu reke očekuje se čvrsta stenska masa, jer je degradirani materijal, pretpostavlja se, odnet rekom.



Slika 5.5. Aluvijalni sedimenti reke Studenice (leva dolinska strana)

Sa geološke tačke gledišta u zoni brane MHE „Gradina“ u levom boku, na osnovu geofizičkih ispitivanja – geoelektričnog sondiranja, teren je od 0.0-4.5 m pokriven kvartarnim materijalom koji je u povlatnom delu izgrađen od deluvijuma (dl), a u podinskom delu od padinskih stenskih blokova i drobine (b).

Deluvijalne tvorevine (dl), sačinjene od zaglinjenih komada stena Studeničke serije i od bazičnih i ultrabazičnih peridotitskih stena. Glinovit materijal je karakterističan za prostor izgrađen od škriljaca Studeničke serije, debljine od 1.0-1.5 m, dok ga u okviru dijabaznih stena ima retko, i to do 0.5 m.

Padinski stenski blokovi i drobina (b), konstatovani su u levoj dolinskoj strani reke Studenice, hipsometrijski iznad škriljaca Studeničke serije, u sklopu deluvijalnih tvorevina. Poreklo blokova i drobine je pretežno od peridotitskih stena, koji su se skotrljali i zadržali na padini ili dospeli do podnožja levog boka reke.

U prostoru leve dolinske strane, gde su u podlozi kao osnovna stena škriljci Studeničke serije, terenskim istraživanjima konstatovane su dve zone sa bitno različitim geotehničkim svojstvima.

I zona neposredno ispod kvartarnih tvorevina, predstavljena je ispucalim i degradiranim škriljcima Studeničke serije. Debljina ove zone je relativno ujednačena - oko 4.5 m.

II zona škriljaca Studeničke serije, neposredno ispod prve, prema podacima istraživanja je ujednačenih svojstava, znatno kompaktnija i kao takva preporučena za fundiranje brane, s tim da se preporučuje da se postrojenje sa pratećim objektima fundira bar 1 m u ovoj zoni.

Kada je reč o desnoj dolinskoj strani, teren je izgrađen od spilit-dijabaznog kompleksa, što predstavlja i osnovnu stensku masu (

Slika 5.6). Stena je sitnozrna, tamno braon do crne boje. Detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem terena ustanovljeno je da osnovna stena ima retke, zakrivljene pukotine, pri čemu se mogu izdvojiti dva sistema EPp_1 130/65° i EPp_2 86/45°. Spilit-dijabazni kompleks predstavlja značajno povoljniju geotehničku sredinu nego II zona škriljaca Studeničke serije.



Slika 5.6. Desna dolinska strana MHE „Gradina“

5.6 Geofizičke karakteristike izdvojenih litoloških sredina

Za određivanje inženjerskogeoloških parametara prostora mesta brane MHE „Gradina“, izvedena su geofizička ispitivanja – geoelektrično sondiranje terena. Ova ispitivanja imala su za zadatak litološko raščlanjavanje istraživanog terena lateralno i po dubini, radi definisanja uslova za fundiranje budućeg objekta.

Položaji izvedenih geoelektričnih sondi S-1, S-2, S-3, S-4, S-5 i S-6 prikazani su na prilogu br. 1, a dobijeni rezultati su prikazani u vidu razvijenih geoelektričnih preseka u Izveštaju o rezultatima geoelektričnog sondiranja u području buduće male hidroelektrane „Gradina“ na reci Studenici.

Interpretacijom rezultata geoelektričnog sondiranja, izdvojenesu uslovno 4 (četiri) geoelektrične sredine, kojima je, u korelaciji sa geološkom građom istraživanog terena, data litološka odrednica, i to:

Sredina I – visokih vrednosti električne otpornosti, intenziteta od $199\Omega\text{m}$ do $485\Omega\text{m}$, izgrađuje najbliže delove istraživanog terena, u domenu sonde S-1. U litološkom pogledu ova sredinaje predstavljena sedimentima aluvijalnog nanosa odnosno grubozrnimšljunkovima i peskovima;

Sredina II – promenljivih vrednosti električne otpornosti (snižениh, повиšenih i visokih), intenziteta od $70\Omega\text{m}$ do $485\Omega\text{m}$, indicirana je neposredno ispod površine terena i dublje (do dubine od 4,4 m u domenu sonde S-2), duž svih prognoznih profila. U litološkom pogledu, ovu sredinu izgrađuju deluvijalne tvorevine, odnosno padinska drobina, predstavljene nezaobljenim komadima peridotitskih masa. Neposredno ispod površine, izdvojena sredina je intenzivnije zaglinjena, na šta ukazuju uslovno niži intenziteti električne otpornosti, dok je, uslovno, u dubljem delu, prisutna blokovska struktura, indicirana uslovno visokim vrednostima električne otpornosti;



Sredina III – sniženih do povišenih vrednosti električne otpornosti, intenziteta od $51\Omega\text{m}$ do $152\Omega\text{m}$, indicirana je u dva intervala dubine. Prvi u podini sredine II, i drugi između dva intervala sredine IV duž trasa svih profila. U litološkom pogledu, ovu sredinu verovatno izgrađuju magmatitidijabaz – rožne formacije, predstavljeni dijabazima. Prema intenzitetima električne otpornosti ova sredina je degradirana, ispućala i mestimično zaglinjena;

Sredina IV – visokih vrednosti električne otpornosti, intenziteta od $201\Omega\text{m}$ do $468\Omega\text{m}$, konstatovana je u dva dubinska intervala, duž svih profila, pri čemu donja granica najdublje indiciranog dela sredine IV ovim istraživanjima nije utvrđena. Izdvojena je, uslovno, višim vrednostima električne otpornosti u odnosu na okolnu sredinu što ukazuje na manju poroznost i ispućalost sredine. U litološkom pogledu sredina IV predstavlja verovatno magmatitidijabaz – rožne formacije, odnosno uslovno kompaktne i čvrste delove dijabaza.

5.1 Savremeni inženjerskogeološki procesi i pojave

Na prostoru predmetne lokacije MHE „Gradina“, od savremenih geoloških procesa najizraženija je rečna erozija reke Studenice. Generalno se vrši linijska i bočna erozija, meandriranjem u prostorima i potezima toka, gde su aluvijalne zaravni veće i šire. Iz tog razloga, debljina rečnog nanosa je male debljine.

Jedan od savremenih geoloških procesa je i aktivno jaružanje. Javlja se u višim delovima leve dolinske strane, gde su izraženiji tektonski kontakti stena Studeničke serije i ultramafita.

Pojave nestabilnosti nisu utvrđene, međutim nije isključeno pojavljivanje u uslovima formiranja i oscilacijom akumulacije. Proces nestabilnosti se mogu javiti u okviru leve dolinske strane, gde su zastupljenije deluvijalne tvorevine.

6 VARIJANTNA REŠENJA

Za potrebe projektovanja i izgradnje MHE „Gradina“, u ovom poglavlju se prikazuje nekoliko varijantnih rešenja koja su rađena u prethodnom periodu. Sve varijante su detaljno analizirane pri čemu je kao konačno rešenje uzeta varijanta 3, prikazana detaljno u ovom dokumentu.

U nastavku su prikazana ostala varijantna rešenja.

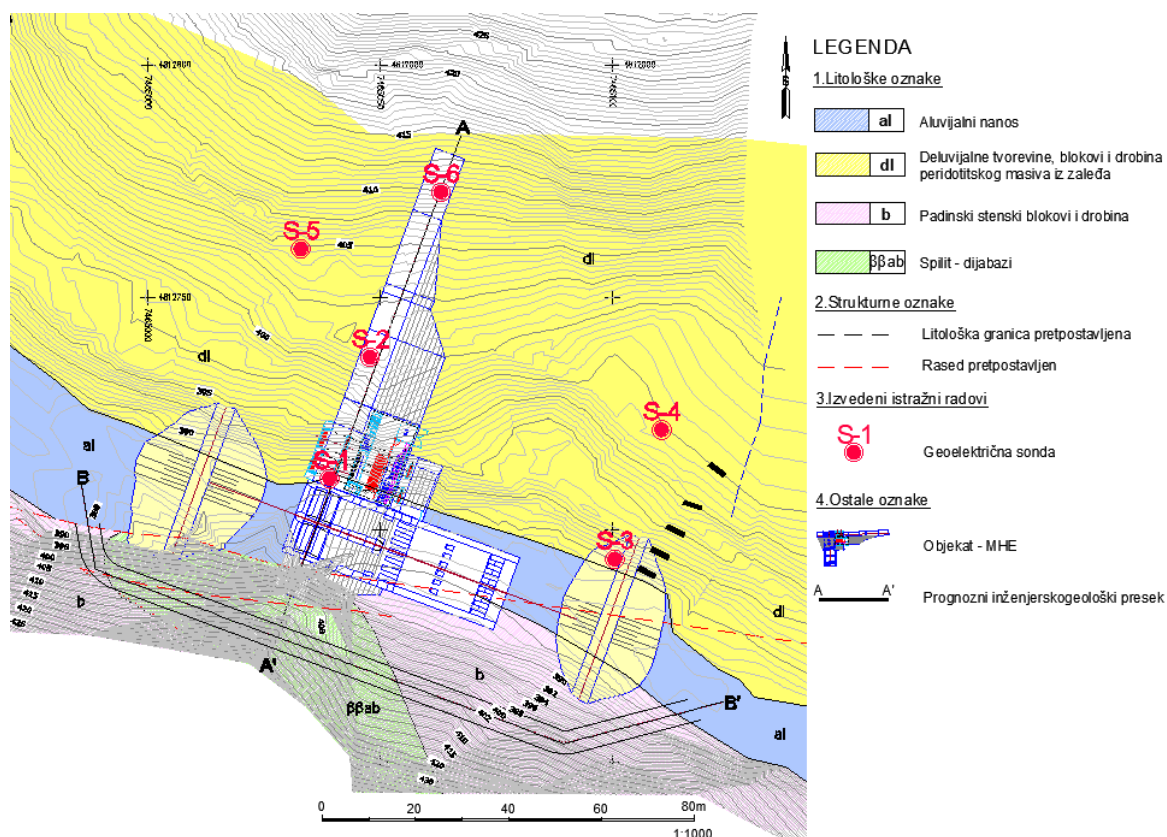
6.1 Varijantno rešenje 1

Ovim varijantnim rešenjem dat je položaj MHE „Gradina“ prikazan na slici (

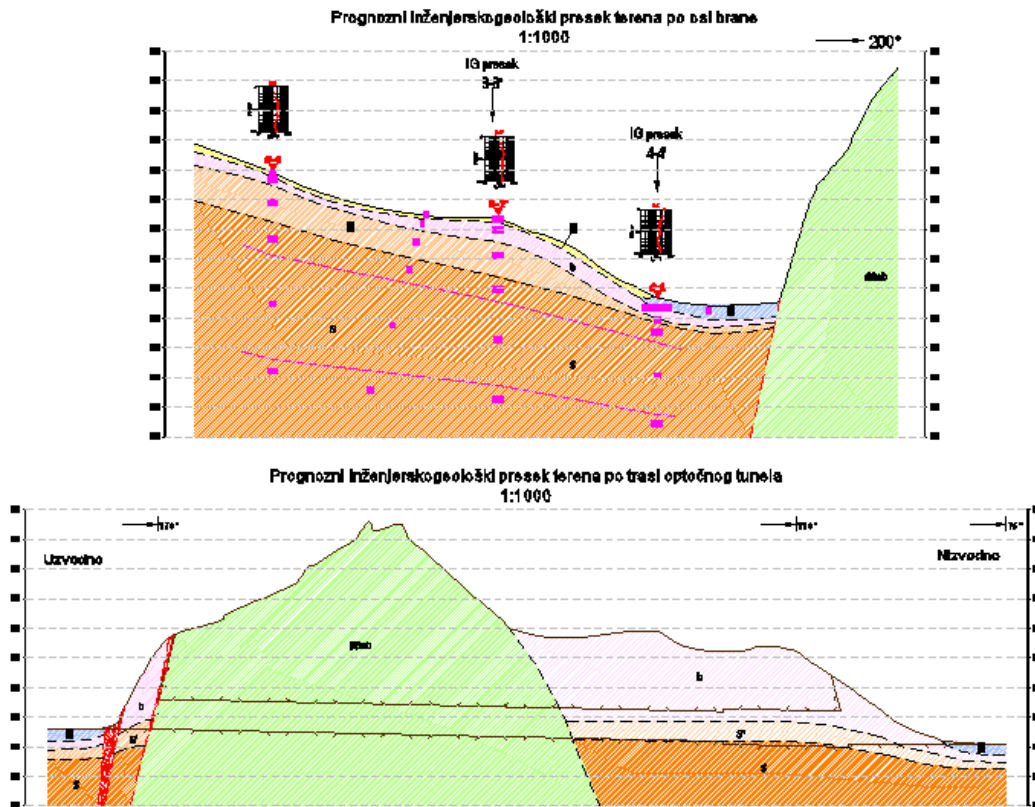
Slika 6.1.). Brana se oslanja desnim bokom na split-dijabaze dok je levi bok brane u škrljicima. Analizirana je varijanta sa skretanjem reke po kanalu u levom boku.

Glavni nedostaci ove varijante su velika kubatura iskopa kanala kao i pitanje njegove stabilnosti.

Opcija skretanja reke optočnim tunelom u desnom boku ima nedostatak što je nizvodni deo tunela u lošoj stenskoj masi padinskih blokova, drobine i jako ispucale i degradirane zone škrljaca (Slika 6.2), pa se samim tim i odustalo od ove varijante.



Slika 6.1. Inženjerskogeološka karta sa položajem MHE „Gradina“ u Varijanti 1



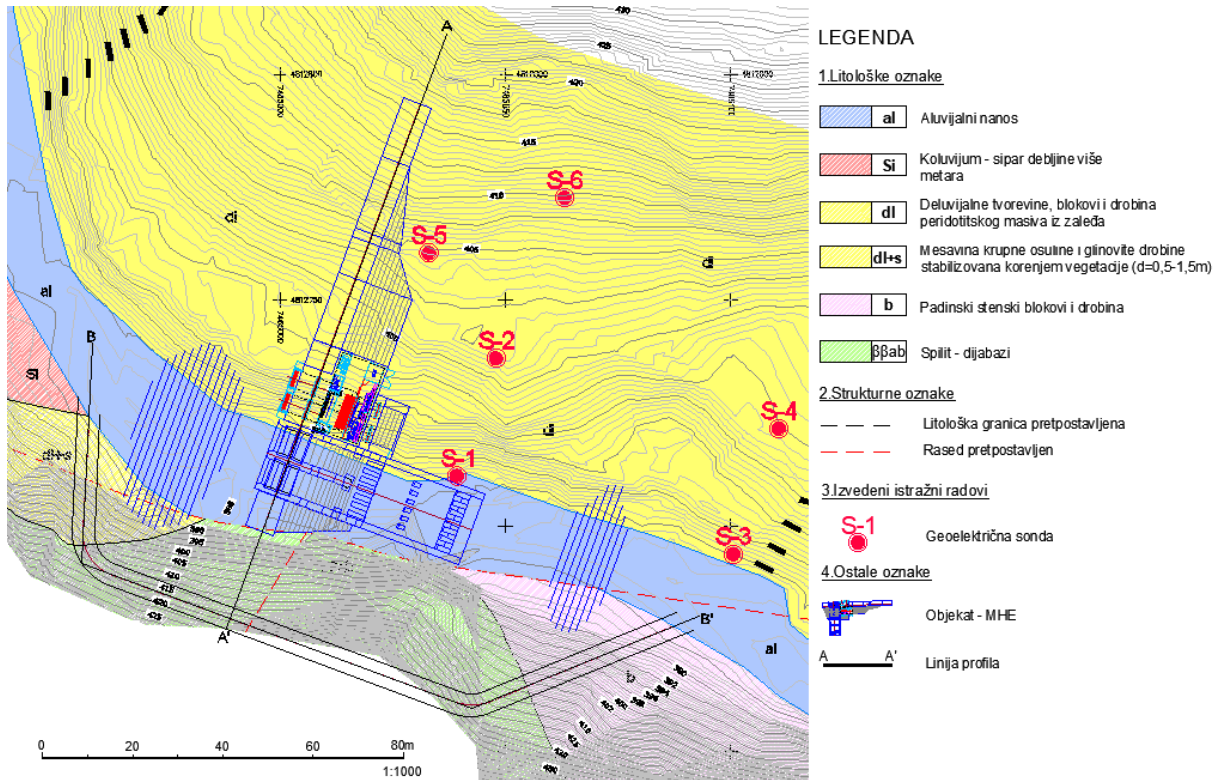
Slika 6.2. Inženjerskogeološki preseki terena po osi brane i osi optočnog tunela

6.2 Varijantno rešenje 2

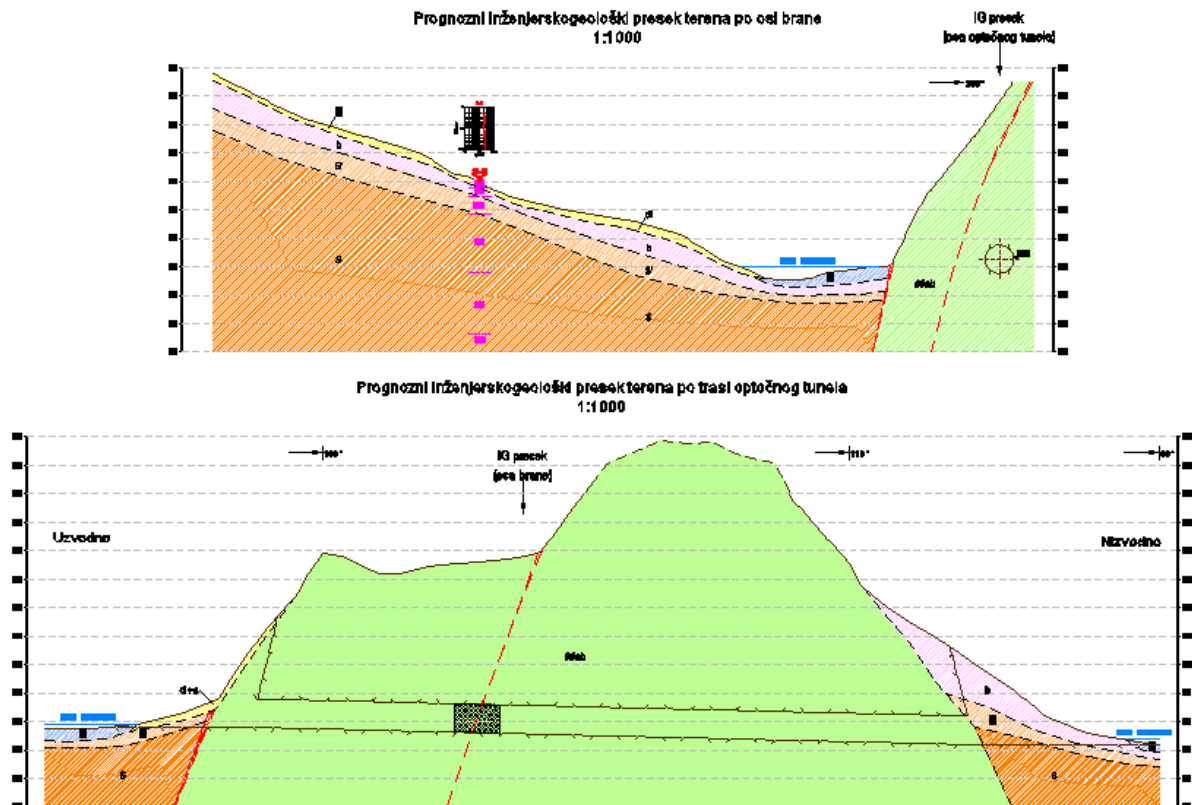
Ovim varijantnim rešenjem dat je novi položaj brane MHE „Gradina“ prikazan na narednoj slici (Slika 6.3).

Brana i svi prateći objekti su pomereni oko 40 m uzvodno, pri čemu bi se izbegla loša stenska masa, najviše u nizvodnom delu terena desnog boka. Brana se takođe oslanja desnim bokom na spilit-dijabaze ali sada sa dosta produženim neprelivnim delom što značajno povećava masu betona, dok je levi bok brane svakako u škriljcima (Slika 6.4).

Takođe, pomeranjem optočnog tunela oko 40 m uzvodno, ušlo se u zonu sipara debljine nekoliko metara što dodatno komplikuje ovo rešenje pa se i od njega odustalo.



Slika 6.3. Inženjerskogeološka karta sa položajem MHE „Gradina“ u Varijanti 2



Slika 6.4. Inženjerskogeološki preseki terena po osi brane i osi optočnog tunela-Varijanta 2



6.3 Varijantno rešenje 3

Ovim varijantnim rešenjem dat je novi položaj MHE „Gradina“ prikazanom na geološkom prilogu br. 1. Brana je pomerena oko 15 m nizvodno, u odnosu na prethodno varijantno rešenje 2. Brana se takođe oslanja desnim bokom na split-dijabaze dok je levi bok brane u škriljcima. Ovde se dosta štedi na neprelivnom delu brane u desnom boku.

Uzvodni portal optočnog tunela je takođe pomeren oko 15 m nizvodno, pri čemu se izašlo iz koluvijuma i sipara debljine nekoliko metara. Položaj nizvodnog dela optočnog tunela je ostao isti (skraćen) kao i u prethodnom varijantnom rešenju što je takođe povoljno.

U Varijanti 3 je najpovoljniji položaj levog boka brane u pogledu morfologije, dužine neprelivnog dela i položaja kontakta beton-stena u fundamentu.

U nastavku su date geomehaničke karakteristike ovog dela terena.

6.3.1 Geomehničke karakteristike terena

Za potrebe projektovanja i izgradnje MHE „Gradina“, u ovom poglavlju izvršena je analiza i interpretacija rezultata izvedenih istražnih radova i laboratorijskih opita koji su rađeni u prethodnom periodu.

Karakteristike sredina su preporučene na osnovu ranije izvršenih istražnih radova, novih istražnih radova iz 2020. godine, kao i na osnovu literaturnih podataka. Opisi sa karakteristikama izdvojenih sredina dati su u nastavku teksta:

Geotehnička sredina 1 – Aluvijalni sedimenti (al), predstavljeni šljunkovitim-peskovitim materijalom u neujednačenom i nepravilnom odnosu. Po građevinskim normama GN-200 ovi sedimenti se mogu svrstati u II i III kategoriju.

Predložene su sledeće vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava:

- Zapreminska težina..... $\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$
- Ugao unutrašnjeg trenja..... $\varphi = 30 - 35^\circ$
- Kohezija..... $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

Geotehnička sredina 2 – Deluvijalni sedimenti (dl), predstavljeni glinom i drobinom u neujednačenom i nepravilnom odnosu. Deluvijalni materijali pokrivaju veliki deo površine terena na istražnom prostoru, posebno levu dolinsku stranu. Po građevinskim normama GN-200 ovi sedimenti se mogu svrstati u III kategoriju.

Predložene su sledeće vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava:

- Zapreminska težina..... $\gamma = 19.00 - 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Ugao unutrašnjeg trenja..... $\varphi = 15 - 20^\circ$
- Kohezija..... $c = 10.00 - 20.00 \text{ kN/m}^2$

Geotehnička sredina 3 – Padinski stenski blokovi i drobin (b), predstavljeni pretežno peridotitskim stenskim blokovima i drobinom poreklom od škriljaca Studeničke serije. Po građevinskim normama GN-200 ovi sedimenti se mogu svrstati u III i IV kategoriju.

Predložene su sledeće vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava:

- Zapreminska težina..... $\gamma = 22.00 - 24.00 \text{ kN/m}^3$
- Ugao unutrašnjeg trenja..... $\varphi = 35 - 40^\circ$
- Kohezija..... $c = 0.00 - 10.00 \text{ kN/m}^2$



Geotehnička sredina 4 – Škriljci, ispućali i degradirani (S’). Po građevinskim normama GN-200 ovi sedimenti se mogu svrstati u IV kategoriju.

Predložene su sledeće vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava:

- Zapreminska težina..... $\gamma = 24.00 \text{ kN/m}^3$
- Ugao unutrašnjeg trenja..... $\varphi = 10 - 25^\circ$
- Kohezija..... $c = 15.00 - 25.00 \text{ kN/m}^2$

Geotehnička sredina 5 – Škriljci, osnovna stena (S), predstavljena kompaktnim, čvrstim škriljcima Studeničke serije. Po građevinskim normama GN-200 ovi sedimenti se mogu svrstati u IV i V kategoriju.

Predložene su sledeće vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava:

- Zapreminska težina..... $\gamma = 26.00 \text{ kN/m}^3$
- Ugao unutrašnjeg trenja..... $\varphi = 40 - 45^\circ$
- Kohezija..... $c = 200.00 - 280.00 \text{ kN/m}^2$

Geotehnička sredina 6 – Spilit-dijabazni kompleks (ββab), predstavljen kompaktnom, veoma čvrstom stenskom masom podobnom za temeljenje objekata. Po građevinskim normama GN-200 ovi sedimenti se mogu svrstati u VI-VII kategoriju.

Predložene su sledeće vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava:

- Zapreminska težina..... $\gamma = 28.00 \text{ kN/m}^3$
- Ugao unutrašnjeg trenja..... $\varphi = 50 - 52^\circ$
- Kohezija..... $c = 650.00 - 900.00 \text{ kN/m}^2$



7 GEOTEHNIČKI USLOVI I PREPORUKE ZA IZGRADNJU MHE „GRADINA“

Na osnovu rezultata svih ranije izvedenih istraživanja, kao i na osnovu izvedenih novih istražnih radova iz 2020. godine, definisani su geotehnički uslovi i preporuke za izgradnju MHE „Gradina“.

Detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem, kako užeg, tako i šireg prostora terena buduće MHE „Gradina“ i izvođenjem geofizičkih ispitivanja, utvrđeno je da će izgradnja i eksploatacija kompletnog postrojenja zavistiti od dve znatno različite litogenetske i geotehničke sredine:

- kompleks škriljaca Studeničke serije u levoj dolinskoj strani reke Studenice;
- spilit-dijabazne stenske mase u desnoj dolinskoj strani.

Preporuka je da planirane objekte treba u koritu reke i levom boku fundirati na II zonu kompaktnih škriljaca Studeničke serije jer imaju najpovoljnije vrednosti geotehničkih parametara. Temeljenje treba da se vrši po mogućstvu na dubini oko 1 m u boljoj sredini. Prema tehničkom rešenju objekata u varijanti 3, dubina fundiranja u II zoni škriljaca Studeničke serije, na levoj dolinskoj strani, je mestimično do 9 m, jer je II zona škriljaca Studeničke serije na dubini od oko 8 m.

Ispod korita reke, II zona škriljaca Studeničke serije je pretpostavljeno na dubini do oko 4-4,5 m, tako da bi dubina fundiranja trebalo u povoljnoj varijanti da bude na 6 m sadašnjeg dna reke.

S obzirom da se leva i desna dolinska strana znatno razlikuju po pitanju geotehničkih parametara, dozvoljeno opterećenje i sleganje stena je različito (desni bok je praktično, nestišljiva sredina) o čemu treba povesti računa u višim fazama projektovanja.



8 ZAKLJUČAK

Geološki izveštaj je urađen na bazi nedavno izvedenog manjeg obima terenskih istraživanja i ispitivanja a baziran je i na inženjerskogeološkim i geotehničkim uslovima izvođenja objekata u ranije urađenoj projektnoj dokumentaciji, prvenstveno za hidrotehničke objekte na reci Studenici.

Izveštaj je urađen na način da predstavlja geološku i geomehaničku podlogu za projektovanje Idejnog rešenja predviđenih građevinskih objekata ali i da posluži kao osnova za izradu Projekta detaljnih geoloških istraživanja za narednu fazu projektovanja – Idejni projekat.

Konstatovano je da stensku osnovu središnjeg dela i levog boka brane MHE „Gradina“ čine škriljci Studeničke serije, dok desnu dolinsku stranu gradi spilit-dijabazni proboj sa subvertikalnim kontaktom prema škriljcima.

Terenskim istraživanjem i ispitivanjem definisane su dve zone škriljaca Studeničke serije koje se bitno razlikuju po pitanju geotehničkih svojstava.

I zona, koja se prostire ispod kvartarnih sedimenata je degradirana i ispucala, dok je II zona škriljaca neposredno ispod I zone, kompaktnija i kao takva prema vrednostima geotehničkih parametara preporučena za fundiranje brane, po mogućstvu na dubini okvirno oko 1 m u ovoj zoni.

Na osnovu klasifikacije GN-200, iskopi u stenskoj masi škriljaca Studeničke serije, u okviru I zone se kategorišu kao IV kategorija, uz primenu mehanizacije. Iskopi u II zoni Studeničke serije se kategorišu u IV i V kategoriju prema GN-200, uz iskop mehanizacijom i sporadično primenu eksploziva. Površinski iskopi u spilit-dijabaznom kompleksu se kategorišu kao VI-VII kategorija, uz obaveznu primenu eksploziva. Iskopi u aluvijalnim i deluvijalnim materijalima se kategorišu u II odnosno III kategoriju. Zona sa krupnim blokovima peridotitske stene u levom boku, zbog potrebe za prethodnim razbijanjem blokova je više u IV kategoriji.

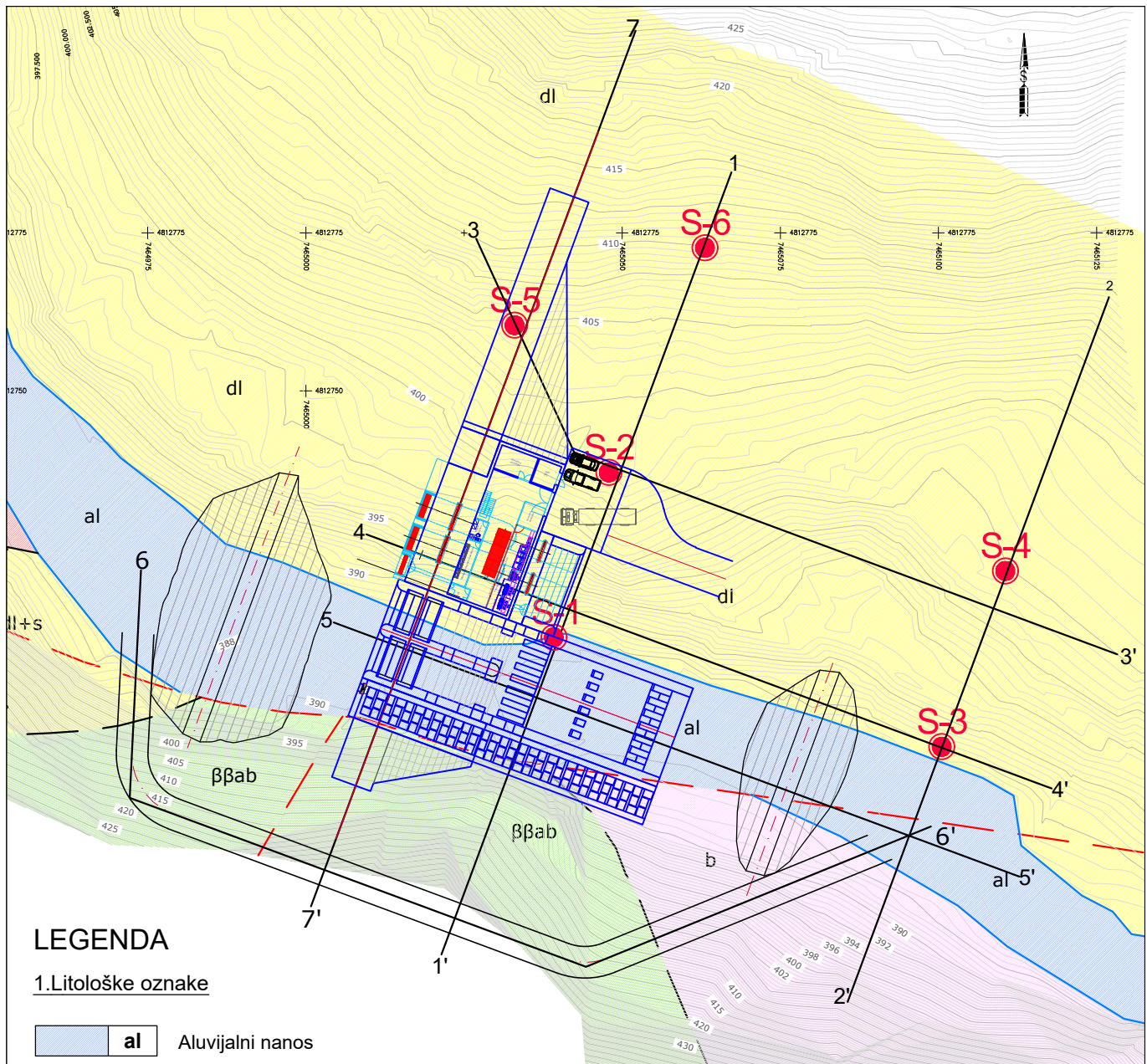


9 SPISAK LITERATURE I FONDOVSKE DOKUMENTACIJE

1. Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100000, List Vrnjci sa tumačem;
2. MHE „Ušće“ na reci Studenici, Elaborat o inženjerskogeološkim uslovima izgradnje, Geosonda-Geomehanika, Beograd (2014);
3. Studija izvodljivosti za pet planiranih i jednu izgrađenu MHE na reci Studenici, Energoprojekt-Hidroinženjering a.d., Beograd (2015).



1.6. GRAFIČKA DOKUMENTACIJA



LEGENDA

1. Litološke oznake

- al** Aluvijalni nanos
- Si** Kolvijum - sipar debljine više metara
- dl** Deluvijalne tvorevine, blokovi i drobina peridotitskog masiva iz zaleđa
- dl+s** Mešavina krupne osuline i glinovite drobine stabilizovana korenjem vegetacije (d=0,5-1,5m)
- b** Padinski stenski blokovi i drobina
- ββab** Spilit - dijabazi

2. Strukturne oznake

- — — Litološka granica pretpostavljena
- - - Rased pretpostavljen

3. Izvedeni istražni radovi

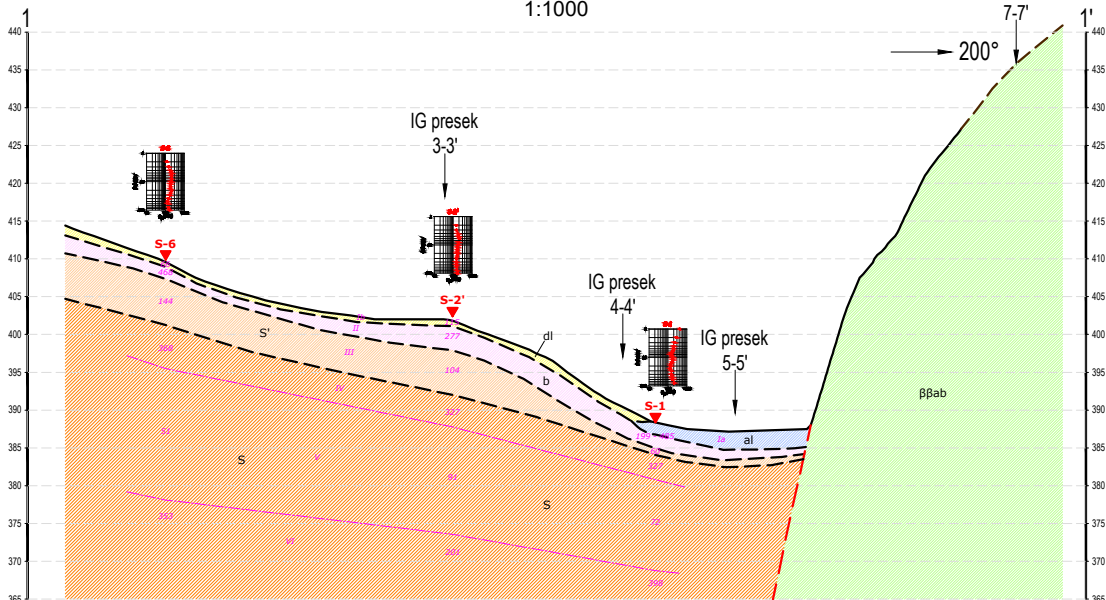
- S-1** Geoelektrična sonda

4. Ostale oznake

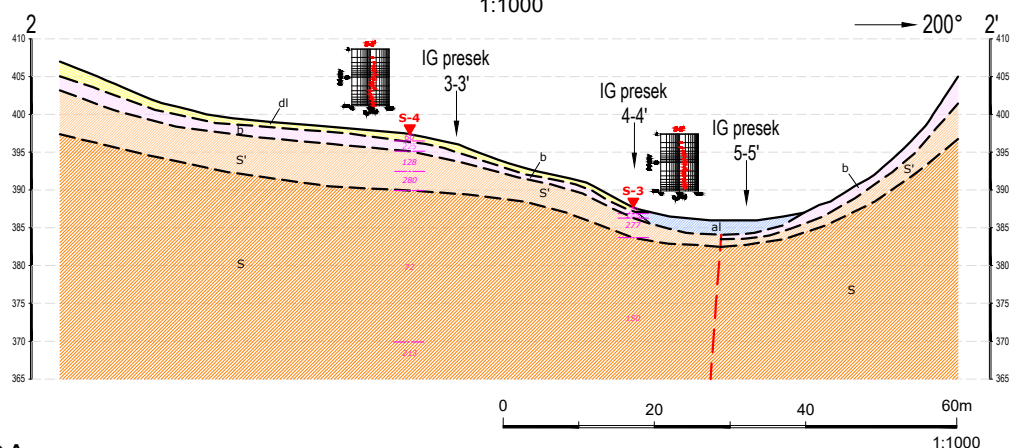
- Objekat - MHE
- 1' Prognozni inženjerskogeološki presek

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.	PEČAT:	
PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.		
KONTROLA:	Mr Mihajlo Kurela, dipl.ing.geol.		
ODOBRILO:			
DATUM:	INVESTITOR:	OBJEKAT:	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:
April 2021.	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	MHE "GRADINA"	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	NAZIV CRTEŽA:		OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:
1:1000	Inženjerskogeološka karta		GE - GEOTEHNIČKI ELABORAT
			ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:
			NOVA GRADNJA
			BROJ CRTEŽA:
			1
			BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:
			IDR-02/21-GE
			BROJ LISTOVA:
			1/1

Inženjerskogeološki presek terena 1-1'
1:1000



Inženjerskogeološki presek terena 2-2'
1:1000



LEGENDA

1. Litološke oznake

- al** Aluvijalni nanos
- dl** Deluvijum - glinovito drobinski materijal
- dl+s** Mešavina krupne osuline i glinovite drobine stabilizovana korenjem vegetacije (d=0,5-1,5m)
- b** Padinski stenski blokovi i droбина
- ββab** Spilit - dijabazi
- S'** Škriljci - ispucala i degradirana zona osnovne stene, delom raspadnuta do gline
- S** Škriljci - osnovna stenska masa

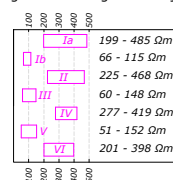
2. Strukturne oznake

- Litološka granica pretpostavljena
- - - Rased pretpostavljen
- Rasedna zona - jako ispucala, izlomljena zona stenske mase

3. Izvedeni istražni radovi

- S-1** Geoelektrična sonda (projektovana na presek)

Zone prema rezultatima geoelektričnog sondiranja

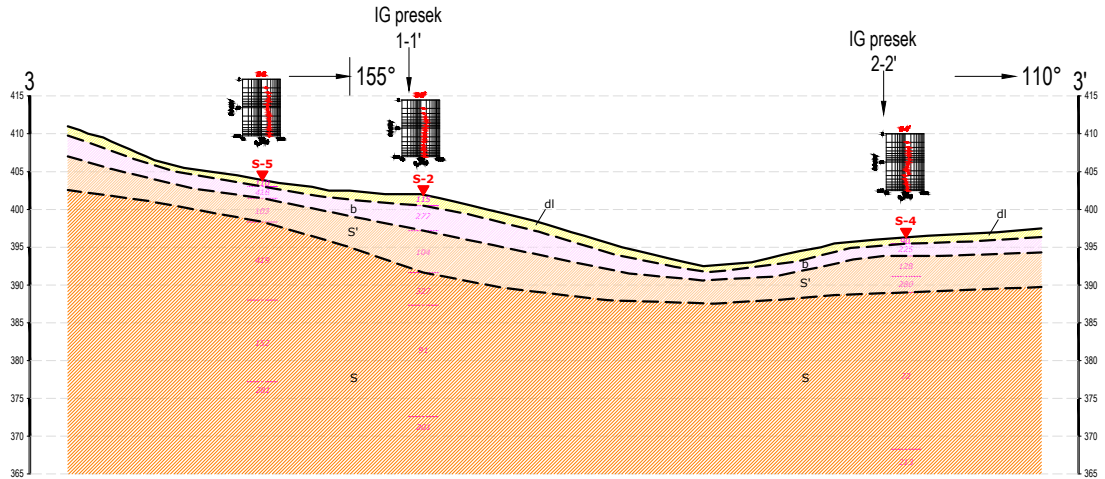


4. Ostale oznake

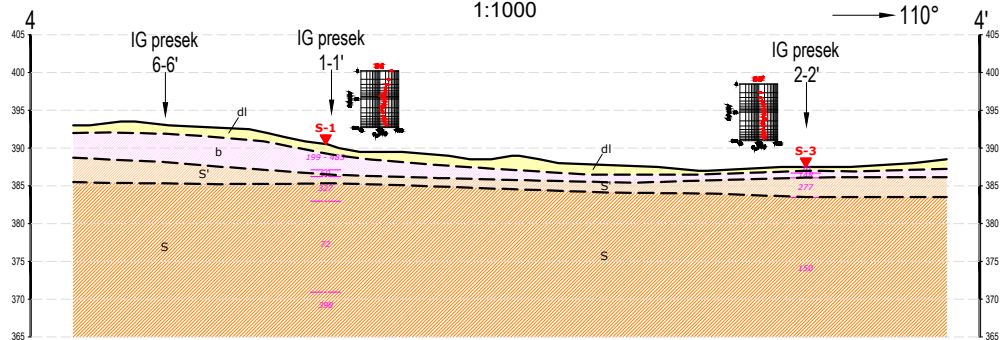
- Granica iskopa
- Zona tunela gde je potrebna zaštita mrežom, torkretom i ankerima

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.	PEČAT: 			
PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.				
KONTROLA:	Mr Mihajlo Kurela, dipl.ing.geol.				
ODOBRIO:					
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "GRADINA"
RAZMERA:	1:1000	NAZIV CRTEŽA:	Prognozni inženjerskogeološki preseki terena 1-1' i 2-2'	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IR) IDEJNO REŠENJE
				OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	GE - GEOTEHNIČKI ELABORAT
				ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-GE
				BROJ CRTEŽA:	2.1
				BROJ LISTOVA:	3/1

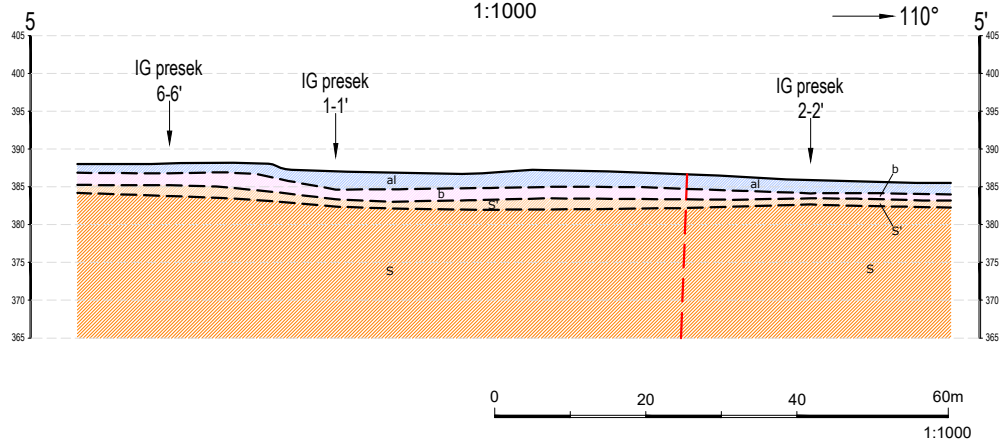
Inženjerskogeološki presek terena 3-3'
1:1000



Inženjerskogeološki presek terena 4-4'
1:1000



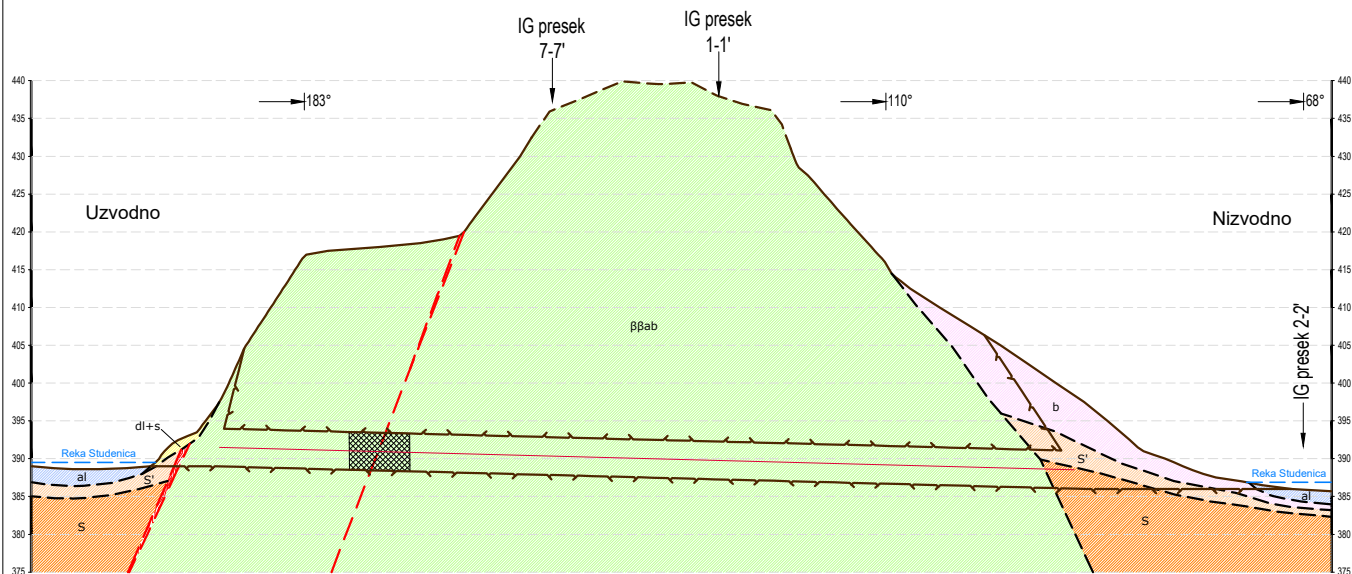
Inženjerskogeološki presek terena 5-5'
1:1000



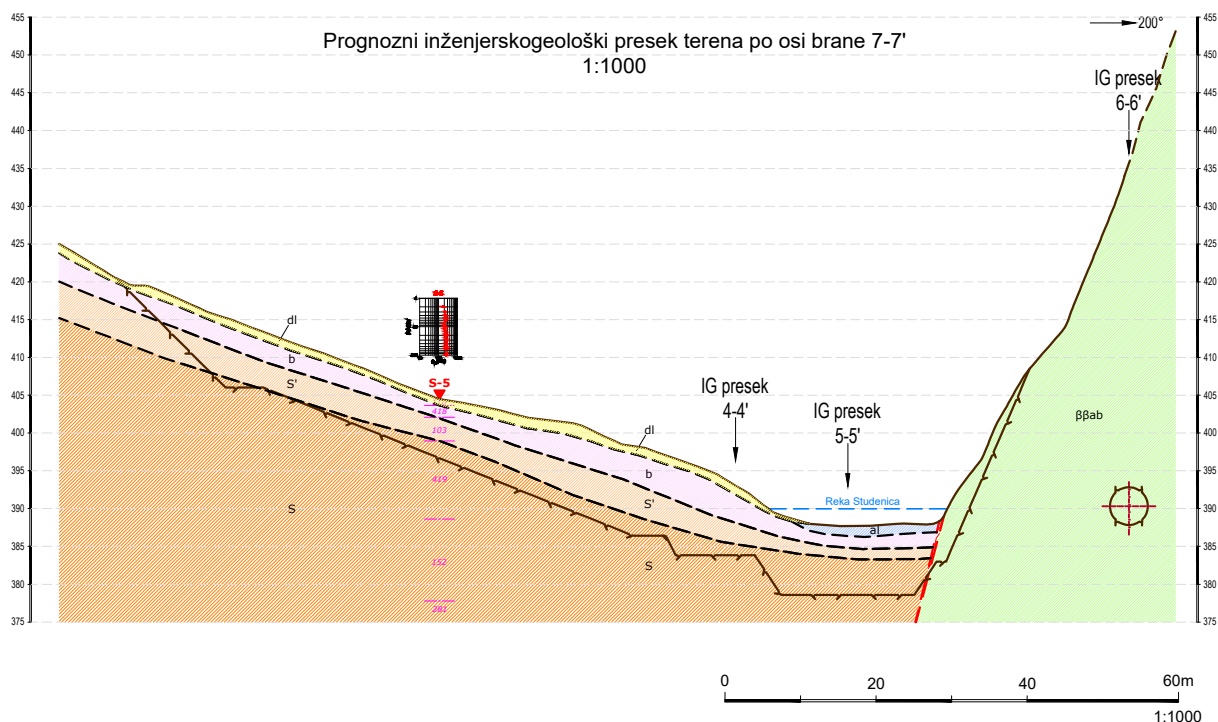
Napomena: Legenda je prikazana na prilogu br. 2.1

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.	PEČAT: 	
PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.		
KONTROLA:	Mr Mihajlo Kurela, dipl.ing.geol.		
ODOBRIO:			
DATUM:	INVESTITOR:	OBJEKAT:	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:
April 2021.	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	MHE "GRADINA"	(IR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	NAZIV CRTEŽA:	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA
1:1000	Prognozni inženjerskogeološki preseki terena 3-3', 4-4' i 5-5'	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA: 2.2
		BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-GE
			BROJ LISTOVA: 3/2

Prognozni inženjerskogeološki presek terena po trasi optočnog tunela 6-6'
1:1000



Prognozni inženjerskogeološki presek terena po osi brane 7-7'
1:1000



Napomena: Legenda je prikazana na prilogu br. 2.1

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.	PEČAT: 	 <small>Privredno društvo za projektovanje i inženjering</small> ENHY GROUP d.o.o.	 HIDROENERGO HIDROENERGO PETROVIĆ BEOGRAD
PROJEKTANT:	Mr Milutin Petrović, dipl.ing.geol.			
KONTROLA:	Mr Mihajlo Kurela, dipl.ing.geol.			
ODOBRIO:				
DATUM:	INVESTITOR:	OBJEKAT:	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IR) IDEJNO REŠENJE
April 2021.	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	MHE "GRADINA"		GE - GEOTEHNIČKI ELABORAT
RAZMERA:	NAZIV CRTEŽA:	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA: 2.3
1:1000	Prognozni inženjerskogeološki preseki terena 6-6' i 7-7'	BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-GE	BROJ LISTOVA: 3/3