

“HIDRO-MIN” d.o.o. Čačak



**IDEJNO REŠENJE MHE „STUDENICA S4 – GRADINA“
Sveska 1. Hidrograđevinski projekat**





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:	1 – Hidrograđevinski projekat
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:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.
Broj licence:	314 E601 07 Potpis: 
Broj tehničke dokumentacije:	IDR-02/21-1
Mesto i datum:	Čačak, april 2021. god.



1.2. SADRŽAJ HIDROGRAĐEVINSKOG PROJEKTA OBJEKTA 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	
1.5.1.	Topografske podloge	
1.5.2.	Hidrološke podloge	
1.5.3.	Geološke podloge	
1.5.4.	Rečna hidraulika	
1.5.5.	Optimizacione analize	
1.5.6.	Opis usvojenog tehničkog rešenja	
1.5.7.	Energetska proizvodnja	
1.5.8.	Predmer i predračun	
1.6.	Numerička dokumentacija	
Prilog 1	Uporedni prikaz krivih proticaja donje vode nizvodno od brane MHE „Studenica S4 – Gradina“ izgrađene na pregradnom profilu 1-1 i 2-2	
Prilog 2	Koštanje glavnih građevinskih radova hidroenergetskog objekta MHE „Studenica S4 – Gradina“	
1.7.	Grafička dokumentacija	
1	Brana „Studenica S4 – Gradina sa akumulacijom - dispozicija	1:2500
2	Podužni presek reke Studenice sa linijama nivoa vode pre i nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5	1:500
3	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, pregradni profil 3 – usvojena varijanta	1:500
4	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm, pregradni profil 3 – usvojena varijanta	1:250
5	Poprečni presek mašinske zgrade – usvojena varijanta	1:125
6	Poprečni presek mašinske zgrade po osi temeljnog ispusta	1:125
7	Poprečni presek riblje staze	1:125



8	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 400 mm	1:500
9	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 400 mm	1:250
10	Poprečni presek mašinske zgrade – KNU = 400 mm	1:125
11	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm	1:500
12	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm	1:250
13	Poprečni presek mašinske zgrade – KNU = 404 mm	1:125
14	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 408 mm	1:500
15	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 408 mm	1:250
16	Poprečni presek mašinske zgrade – KNU = 408 mm	1:125
17	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“ – kombinovana brana	1:500
18	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, kombinovana brana, KNU = 404 mm	1:250
19	Poprečni presek levog neprelivnog dela brane od nasutog materija, kombinovana brana, KNU = 404 mm	1:400
20	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, dubinski ispust	1:500
21	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele sa dubinskim ispustom, KNU = 404 mm	1:250
22	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, pregradni profil 2, skretanje reke pomoću optočnog tunela	1:500
23	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm, pregradni profil 2	1:250
24	Podužni i poprečni preseki optočnog tunela, pregradni profil 2	1:500/1:100
25	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, pregradni profil 3, skretanje reke pomoću optočnog tunela	1:500
26	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm, pregradni profil 3	1:250
27	Podužni i poprečni preseki optočnog tunela, pregradni profil 3	1:500/1:100



1.3. REŠENJE O ODREĐIVANJU ODGOVORNOG PROJEKTANTA HIDROGRAĐEVINSKOG PROJEKTA OBJEKTA MHE „STUDENICA S4 - GRADINA“

Na osnovu člana 128.Zakona o planiranju i izgradnji ("Službeniglasnik 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 Hidrograđevinskog projekta, 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:

Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.....broj licence 314 E601 07

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

Odgovorno lice: Zoran Bogdanović, direktor

Potpis:

Broj tehničke dokumentacije: IDR - 02/21-1
Mesto i datum: Čačak, april 2021.god.



1.4. IZJAVA ODGOVORNOG PROJEKTANTA HIDROGRAĐEVINSKOG PROJEKTA OBJEKTA MHE „STUDENICA S4 - GRADINA“

Kao odgovorni projektant za izradu Hidrograđevinskog projekta, 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

Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.

IZJAVLJUJEM

1. da je projekat izrađen u skladu sa Zakonom o planiranju i izgradnji, propisima, standardima i normativima iz oblasti izgradnje objekata i pravilima struke;
2. da su pri izradi projekta 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 : Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ

Broj licence: 314 E601 07

Potpis:

Broj tehničke dokumentacije: IDR-02/21-1

Mesto i datum: Čačak, april 2021. god.



1.5 TEKSTUALNA DOKUMENTACIJA



SADRŽAJ

1. TOPOGRAFSKE PODLOGE	6
2. HIDROLOŠKE PODLOGE	7
2.1. Analiza malih voda	7
2.2. Analiza velikih voda.....	7
2.3. Zaključak	9
3. GEOLOŠKE PODLOGE	10
3.1. Uvod	10
3.2. Inženjerskogeološka svojstva terena.....	10
3.3. Geotehnički uslovi izvođenja objekata	14
3.4. Zaključak	15
4. RECNA HIDRAULIKA.....	16
4.1. Opis simulacionog modela	16
4.2. Rezultati simulacionog modela	18
5. OPTIMIZACIONE ANALIZE.....	21
5.1. Uvodna razmatranja	21
5.2. Izbor kote normalnog uspora akumulacije	24
5.2.1. Projektni kriterijumi i ograničenja	24
5.2.2. Koštanje građevinskih radova i eksproprijacije zemljišta varijantnih rešenja	25
5.2.3. Hidromehanička i mašinska oprema	29
5.2.4. Zaključci i preporuke.....	30
5.3. Izbor instalisanog proticaja MHE „Studenica S4 – Gradina“	32
5.3.1. Projektni kriterijumi i ograničenja	32
5.3.2. Koštanje građevinskih radova.....	32
5.3.3. Hidromehanička i mašinska oprema	34
5.3.4. Zaključci i preporuke.....	35
5.4. Izbor tipa brane.....	36
5.4.1. Projektni kriterijumi i ograničenja	36
5.4.2. Koštanje građevinskih radova.....	37
5.4.3. Hidromehanička i mašinska oprema	38
5.4.4. Zaključci i preporuke.....	38
5.5. Izbor tipa preлива	40
5.5.1. Projektni kriterijumi i ograničenja	40
5.5.2. Koštanje građevinskih radova.....	40
5.5.3. Hidromehanička i mašinska oprema	42
5.5.4. Zaključci i preporuke.....	43
5.6. Izbor pregradnog profila i koncepcije skretanja reke.....	44
5.6.1. Projektni kriterijumi i ograničenja	44



5.6.2. Koštanje građevinskih radova	45
5.6.3. Hidromehanička i mašinska oprema	46
5.6.4. Zaključci i preporuke	46
5.7. Finalni zaključci optimizacionih analiza	47
6. OPIS USVOJENOG TEHNIČKOG REŠENJA	49
6.1. Tehničke karakteristike MHE „Gradina“ na reci Studenici	49
6.2. Lokacija objekta	52
6.3. Akumulacija	52
6.4. Brana	52
6.4.1. Objekti za evakuaciju vode tokom izgradnje	53
6.4.2. Prelivni deo brane	53
6.4.3. Mašinska zgrada	54
6.4.4. Desni neprelivni deo brane sa ribljom stazom	56
6.4.5. Levi neprelivni deo brane	56
7. ENERGETSKA PROIZVODNJA	58
8. PREDMER I PREDRAČUN	61

SPIŠAK TABELA

<i>Tabela 2.1. Rezultati statističke analize minimalnih srednjih mesečnih proticaja</i>	<i>7</i>
<i>Tabela 2.2. Verovatnoća pojave apsolutnih maksimalnih godišnjih proticaja na profilu vod. st. »Ušće«</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2.3. Verovatnoća pojave apsolutnih maksimalnih godišnjih proticaja na profilu MHE »Studenica S4 - Gradina«</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2.4. karakteristični rezultati – profil MHE „Studenica S4 - Gradina“</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 5.1. Parametri planiranih hidroenergetskih postrojenja na reci Studenici prema Studiji 2015. god.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 5.2. Usporedni prikaz malih, srednjih i velikih voda prema Studiji (2015) i nakon analiza izvršenih 2021. god.</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 5.3. Usporedni prikaz parametara brane i akumulacije MHE „Studenica S4 – Gradina“ pri različitim kotama normalnog uspora</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 5.4. Parametri mašinske zgrade za 3 varijantne kote normalnog uspora</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 5.5. Spisak otkupljenih parcela u zoni buduće akumulacije</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 5.6. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 400 mnm, Qins = 14 m³/s)</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 5.7. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 404 mnm, Qins = 14 m³/s)</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 5.8. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 408 mnm, Qins = 14 m³/s)</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 5.9. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za KNU = 400 mnm, Qins = 14 m³/s</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 5.10. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za KNU = 404 mnm, Qins = 14 m³/s</i>	<i>29</i>

Tabela 5.11. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 408 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$	30
Tabela 5.12. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor kote normalnog uspora	30
Tabela 5.13. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 13 \text{ m}^3/\text{s}$).....	33
Tabela 5.14. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$).....	33
Tabela 5.15. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 13 \text{ m}^3/\text{s}$	34
Tabela 5.16. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$	34
Tabela 5.17. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor instalisanog proticaja MHE „Studenica S4 – Gradina“	35
Tabela 5.18. Uporedni prikaz parametara gravitacione-betonske i kombinovane brane	36
Tabela 5.19. Koštanje glavnih građevinskih radova za kombinovani tip brane ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$).....	37
Tabela 5.20. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$ – kombinovana brana.....	38
Tabela 5.21. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor tipa brane	38
Tabela 5.22. Uporedni prikaz parametara prelivnog dela brane za površinski i dubinski preliv .	40
Tabela 5.23. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa površinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$)	41
Tabela 5.24. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa dubinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$).....	42
Tabela 5.25. Uporedni prikaz investicija potrebnih za nabavku, transport i montažu hidromehaničke opreme za 2 tipa preliva	42
Tabela 5.26. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor tipa preliva	43
Tabela 5.27. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa površinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$) – pregradni profil 2	45
Tabela 5.28. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa površinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$) – pregradni profil 3	46
Tabela 5.29. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor pregradnog profila brane i MHE ..	47
Tabela 5.30. Osnovni parametri brane i MHE S4.....	48
Tabela 7.1. Zavisnost koeficijenta korisnog dejstva turbine u funkciji protoka	59
Tabela 7.2. Zavisnost koeficijenta korisnog dejstva generatora u funkciji protoka.....	59
Tabela 8.1. Rekapitulacija koštanja glavnih građevinskih radova hidroenergetskog objekta MHE „Studenica S4 – Gradina“	61
Tabela 8.2. Ukupne investicije i proizvodnja MHE „Studenica S4 – Gradina“	61

SPISAK SLIKA

Slika 3.1. Detalj sa Osnovne geološke karte gde su označeni mesto brane i akumulacija MHE „Studenica S4 - Gradina“, list Vrnjci, 1:100 000	10
Slika 3.2. Prognozni inženjerskogeološki presek terena po osi pregradnog profila MHE „Studenica S4 - Gradina“	11
Slika 3.3. Aluvijalni sedimenti reke Studenice (leva dolinska strana)	11



<i>Slika 3.4. Desna dolinska strana MHE „Studenica S4 - Gradina“.....</i>	<i>13</i>
<i>Slika 4.1. Nanos na levoj obali Studenice neposredno nizvodno od pregradnog profila 1-1.....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 4.2. Izgled linije nivoa u zoni od interesa pre i nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5.....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 4.3. Kriva proticaja donje vode MHE „Studenica S4 – Gradina“ za čitav dijapazon proticaja od minimalnih do maksimalnih (profil brane 1-1).....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 4.4. Kriva proticaja donje vode MHE „Studenica S4 – Gradina“ za opseg proticaja do 50 m³/s (profil brane 1-1).....</i>	<i>20</i>
<i>Slika 5.1. Dispozicija objekata u sklopu MHE S4 prema Studiji iz 2015. god.</i>	<i>22</i>
<i>Slika 5.2. Prognozni inženjerskogeološki presek po osi pregradnog profila 1-1</i>	<i>23</i>
<i>Slika 5.3. Dijagram investicionog količnika za izbor kote normalnog uspora</i>	<i>31</i>
<i>Slika 5.4. Dijagram investicionog količnika za izbor instalisanog proticaja MHE „Studenica S4 – Gradina“</i>	<i>35</i>
<i>Slika 5.5. Uporedni prikaz investicionih količnika varijantnih rešenja tipa brane.....</i>	<i>39</i>
<i>Slika 5.6. Uporedni prikaz investicionih količnika varijantnih rešenja tipa preлива</i>	<i>43</i>
<i>Slika 5.7. Uporedni prikaz investicionih količnika varijantnih pregradnih profila brane i MHE....</i>	<i>47</i>
<i>Slika 6.1. Lokacija MHE „Studenica S4 – Gradina“</i>	<i>52</i>
<i>Slika 6.2. Poprečni presek prelivne lamele</i>	<i>54</i>
<i>Slika 6.3. Poprečni presek mašinske zgrade po osovini radnog kola.....</i>	<i>55</i>
<i>Slika 6.4. Poprečni presek riblje staze</i>	<i>56</i>
<i>Slika 7.1. Princip proračuna godišnje proizvodnje električne energije.....</i>	<i>58</i>
<i>Slika 7.2. Dijagram energetske iskoristivosti dela krive trajanja proticaja.....</i>	<i>59</i>



1. ТОПОГРАФСKE ПОДЛОGE

Za potrebe izrade Idejnog rešenja MHE "Studenica S4 – Gradina" ali i naredne faze projektovanja izvršena su opsežna merenja na terenu tokom decembra meseca 2020. god. a sve sa ciljem dobijanja što kvalitetnije topografske podloge za razradu varijantnih tehničkih rešenja brane i hidroelektrane MHE "Studenica S4 – Gradina": Pored uže zone buduće pregradne konstrukcije snimljen je i prostor buduće akumulacije sve do granice parka prirode Golija. Takođe digitalna topografska podloga obuhvatila je i prostor od oko 360 m nizvodno od brane.

Pored visinske pretstave prostora (rečno korito i obale) nanešen je položaj i numeracija katastarskih parcela tako da je dobijena objedinjena katastarsko topografska podloga (KTP).

2. HIDROLOŠKE PODLOGE

2.1. Analiza malih voda

Minimalni proticaji u slivu reke Studenice po pravilu se javljaju u letnjem periodu od avgusta do novembra. Male vode u profilu MHE »S4« ocenjene su na osnovu statističkih analiza minimalnih srednjih mesečnih proticaja iz perioda 1954-2019 godina, koji obezbeđuje dug i pouzdan niz podataka o minimalnim srednjim mesečnim proticajima.

Na formirane serije minimalnih srednjih mesečnih proticaja u analiziranom periodu primenjeno je više tipova teorijskih raspodela. Najbolje prilagođavanje na empirijske podatke prema testovima saglasnosti, (hi kvadrat test i metod devijacije), pokazala je Log Normalna 3 raspodela. Na slici 9 prikazan je dijagram verovatnoće pojave minimalnih srednjih mesečnih proticaja u profilu MHE »S4«, a u tabeli 2.1 minimalni srednji mesečni proticaji različite obezbeđenosti (verovatnoće pojave).

Tabela 2.1. Rezultati statističke analize minimalnih srednjih mesečnih proticaja

P (%)	50	80	90	95	98	99
MHE Ušće Q_{minsmes} (m^3/s)	2.39	1.92	1.76	1.66	1.57	1.53

Karakteristični minimalni srednji mesečni proticaj 95% obezbeđenosti u profilu brane-vodozahvata MHE »Ušće«, iznosi $1,66 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.2. Analiza velikih voda

Pošto se ne radi o profilu sa značajnim akumulacionim prostorom, velike vode u okviru ovog projekta su ocenjene samo sa aspekta pojave vršnog proticaja. Prostornim planom grada Kraljeva Lit./4/ na energetski raspoloživom analiziranom potezu reke Studenice dužine oko 15 km, nizvodno od moguće lokacije velike projektne brane HE Studenica, odnosno akumulacije Preprana, predviđeno je šest malih hidroelektrana derivacionog tipa (uključuje i već izgradjenu kod manastira Studenica po kasnijoj numeraciji »S3«). Studijom izvodljivosti Lit./11/, pored takvog rešenja razmatrane su i MHE pribanskog tipa koje su sa aspekta ekologije svakako prihvatljivije. Kako se radi o maloj hidroelektrani i nižoj brani sa manjim akumulacionim prostorom, analiza velikih voda je nešto nižeg ranga u odnosu na standard za visoke brane i velike akumulacije i ne obuhvata specifične analize rizika.

Kako je razmatrani profil MHE »S4«, sa aspekta pojave velikih voda, praktično identičan sa profilom vodomerne stanice »Ušće«, koja raspolaže se solidnom dužinom kvalitetnog niza maksimalnih proticaja (66 godina), jasno je da je za analizu velikih voda korišćena statistička metoda.

Za definisanje verovatnoće pojave apsolutnih maksimalnih godišnjih proticaja reke Studenice u profilu vodomerne stanice »Ušće«, korišćene su postojeće serije maksimalnih godišnjih proticaja, (trenutni i srednji dnevni ili jutarnji iz perioda kada nije radio limnigraf). Preuzeti su iz Lit. /6/, odnosno od RHMZ Srbije za raspoloživi period od 66 godina.

Za 13 godina iz ovog perioda (1956-58, 1960-62, 1965, 1972, 1978, 1980, 1982, 1986, 1996, 2015 i 2017 god.), nije se raspolagalo i apsolutnim maksimalnim proticajima. Ili limnigraf nije bio u funkciji, ili nije bilo vanrednih osmatranja ili neki treći razlog. Za sve ostale godine, za koje

postoje podaci o srednjim dnevnim maksimumima i o apsolutnim-trenutnim maksimumima proticaja (ukupno 52 godina), sprovedena je regresiona analiza apsolutnih i srednjih dnevnih maksimuma, koja je prikazana na slici 10, sa sledećom usvojenom jednačinom:

$$Q_{\text{apsmax}} = 1,19 + 4,9 Q_{\text{dnmax}} \quad R = 0,95$$

koja je za ovakav tip analiza izuzetno dobra sa visokim koeficijentom korelacije od 0,95.

Koristeći ovu relaciju formiran je ukupan niz od 66 godina (1954-2019. godina) apsolutnih maksimalnih godišnjih proticaja. Ove vrednosti i njihova empirijska raspodela (po modelu Hazen) grafički su prikazane na slici 11 za koji su izvršene dalje statističke analize.

Posle šire analize primene više različitih funkcija raspodele, najbolje prilagođavanje na osmotrene podatke o maksimalnim proticajima, prema testovima saglasnosti (hi kvadrat test i metod devijacije) pokazale su Pirson 3 i Log Normalna 3 raspodela koja je i usvojena za dalje analize. Rezultati proračuna velikih voda u profilu vodomerne stanice »Ušće«, prikazani su numerički u tabeli 11.

Tabela 2.2. Verovatnoća pojave apsolutnih maksimalnih godišnjih proticaja na profilu vod. st. »Ušće«

vod. st. "Ušće"	P (%)	0,01	0,1	0,2	1	2	5	10	20	50
	(m ³ /s)		715	459	387	251	199	140	108	81

S obzirom na vrlo malu razliku u slivnim površinama između profila MHE »S4« i vod. st. »Ušće«, velike vode u profilu MHE »S4«, su ocenjene preko metode Andrijanova koristeći kao analog nizvodni profil vodomerne stanice »Ušće«.

$$Q_n = \left(\frac{A_n}{A} \right)^n \times Q$$

gde su:

Q_n – maksimalni proticaj u profilu MHE »S4«, (m³/s)

A_n – površina sliva do profila MHE»S4«, (F= 514,8 km²)

n – koeficijent stepena redukcije (n=0,6)

Tabela 2.3. Verovatnoća pojave apsolutnih maksimalnih godišnjih proticaja na profilu MHE »Studenica S4 - Gradina«

MHE "S4"	P (%)	0,01	0,1	0,2	1	2	5	10	20	50
	(m ³ /s)		695	446	376	244	194	136	105	79

U odnosu na rezultate analize velikih voda iz prethodnih dokumentacija i hidroloških studija reke Studenice za ovaj sektor reke, može se konstatovati da su prezentirane velike vode u ovoj Studiji značajno više od onih koje su date u dokumentaciji i studijama u Lit./2,7,8,9/. Razlozi su prvenstveno što su u nekima od njih tretirani samo maksimalni srednji ili jutarnji dnevni proticaji, a ne apsolutni-trenutni, zatim u dužini tretiranog niza, i donekle u izboru teorijske raspodele, odnosno usled primene različitih numeričkih šema u statističkim programima.

Prezentirane velike vode u ovoj Studiji vrlo su slične korespondentnim velikim vodama koje su date u studiji Lit./10/, odnosno vrlo malo su više od njih, a što je posledica nešto dužeg analiziranog niza od 2011 do 2019.godine u ovoj studiji.

U odnosu na analize velikih voda koje su prikazane u Lit./11/ one su praktično iste sa vrednostima velikih voda iz ove studije za sve povratne periode u intervalu od 2-200 godina, a značajnija razlika je samo u oceni velikih voda povratnog perioda 1000 godina koje su u studiji Lit./11/ više reda oko 20%. Razlog je što je u toj Studiji za analize korišćen skraćen niz maksimalnih apsolutnih proticaja na ključnoj vodomernoj stanici Ušće od 1964. godine, a ne od 1954. godine (što sigurno u hidrološkoj praksi nije preporučljivo). Korišćenjem kompletnog niza od 1954, a kako je to i prikazano u toj studiji dobijaju se niže vrednosti. Ovaj skraćeni niz maksimalnih proticaja od 1964. godine ima znatno veći koeficijent varijacije čiji uticaj se dominantno uvećava na vrednosti velikih voda pri visokim povratnim periodima. Direktna posledica te »matematike« je povećanje velikih voda za veće povratne periode (u ovom slučaju 1000. god.). Projektanti su u toj Studiji težili što većoj sigurnosti i uvodjenje i takozvane intervalne procene (intervala poverenja) kojima se smanjuje neizvesnost u proceni velikih voda. Verovatni cilj takvog pristupa je bio da se za ceo tok reke Studenice prikažu velike vode različitih povratnih perioda sa povećanom sigurnošću (nekom gornjom granicom), a i dalje je otvoreno pitanje kakve i kolike MHE će se projektovati.

Inače u hidrološkoj praksi i po preporukama RHMZ Srbije za analize velikih voda za male hidroelektrane, kao merodavna koristi se bazna ili najverovatnija linija verovatnoće (interval poverenja 50%) i što duži raspoloživ niz osmotrenih maksimalnih proticaja, što je i primenjeno u ovoj Studiji. Ukoliko projektanti brane ocene da iz raznih razloga, pošto je projekat MHE »S4« u toku (možda veća zapremina akumulisane vode iza brane, visoka ili nasuta brana, povećan rizik od mogućeg proloma brane za nizvodno područje i.t.d.) mogu se razmatrati i veće velike vode to jest usvojiti viši povratni periodi ili proveriti (kontrolisati) sigurnost brane i na njihov.

To bi bila i preporuka projektanta-hidrologa da ako se projektom usvoji konačno rešenje o kombinovanoj nasuto-betonskoj brani, ili zapremina akumulacije i visina brane budu rizični sa aspekta eventualnog proloma brane, izvrši i provera sigurnosti brane i na 10000-godišnju veliku vodu.

2.3. Zaključak

Izradom ovih hidroloških podloga kompletirani su i dopunjeni podaci, dosadašnja saznanja i raspoložive analize u slivu reke Studenice. Smatramo da se za potrebe ovog projekta došlo do pouzdanih pokazatelja hidrološkog bilansa i režima reke Studenice u profilu MHE »S4«. Sistematizovani karakteristični rezultati izvršenih analiza, prikazani su u tabeli 13:

Tabela 2.4. karakteristični rezultati – profil MHE „Studenica S4 - Gradina“

Reka	Profil	Qsr (m ³ /s)	Qmin 95% (m ³ /s)	Maksimalni proticaji (m ³ /s) za povratni period T [god]						
				10	20	50	100	500	1000	10000
Studenica	MHE »S4«	6,96	1,66	105	136	194	244	376	446	695

3. GEOLOŠKE PODLOGE

3.1. Uvod

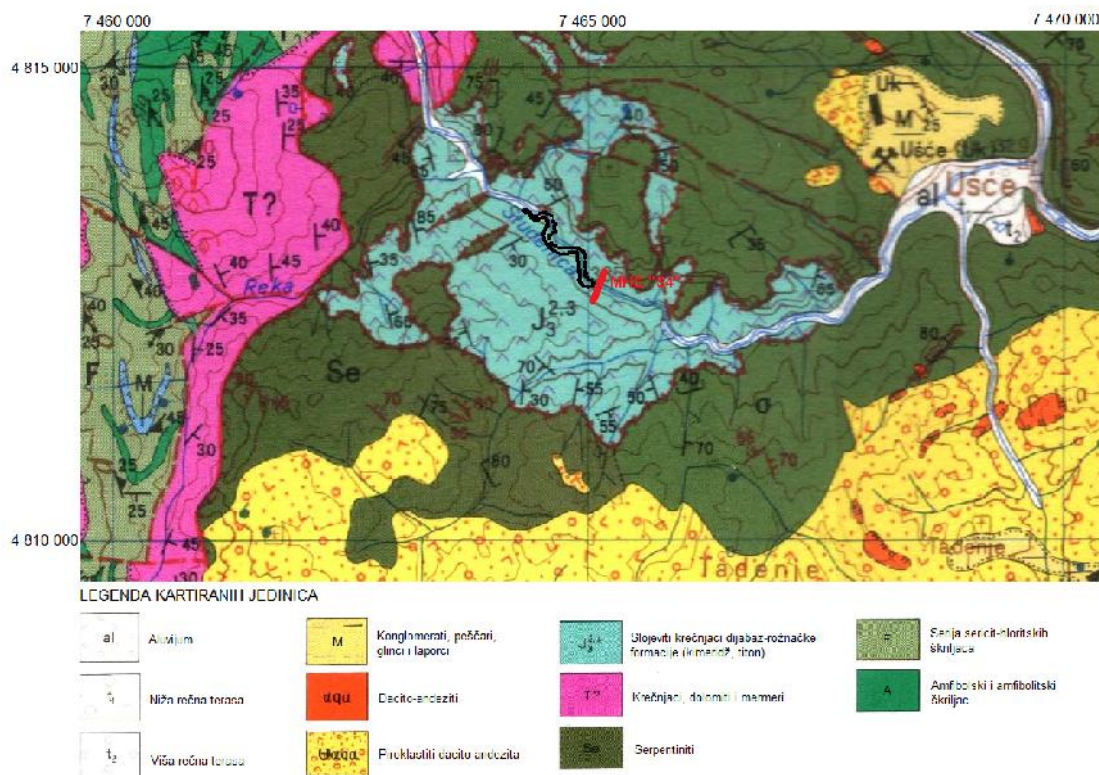
U okviru ovog poglavlja opisana je geologija u području objekata buduće MHE „Gradina“, za šta je korišćena postojeća dokumentacija, kao i rezultati geološkog rekognosciranja terena i izvedenih geofizičkih istraživanja manjeg obima u vidu 6 geoelektričnih sondi.

Geološki izveštaj koji po detaljnosti odgovara nivou podloga za izradu idejnog rešenja, dat je u posebnoj svesci. Ovde se u sažetoj formi prikazuju rezultati analiza dostupne dokumentacije i nedavno izvedenih istraživanja, što je u kombinaciji sa iskustvenim saznanjima, doprinelo da se odabere najbolje varijantno rešenje mikro lokacija objekata i definišu geotehnički ulazni podaci za projektovanje.

Za potrebe narednih faza projektovanja neophodno je izvršiti detaljno i sistematično prikupljanje odgovarajućih inženjerskogeoloških i geotehničkih podataka o terenu na lokaciji budućih objekata i prostora akumulacije, odnosno, treba izvesti detaljna geološka istraživanja.

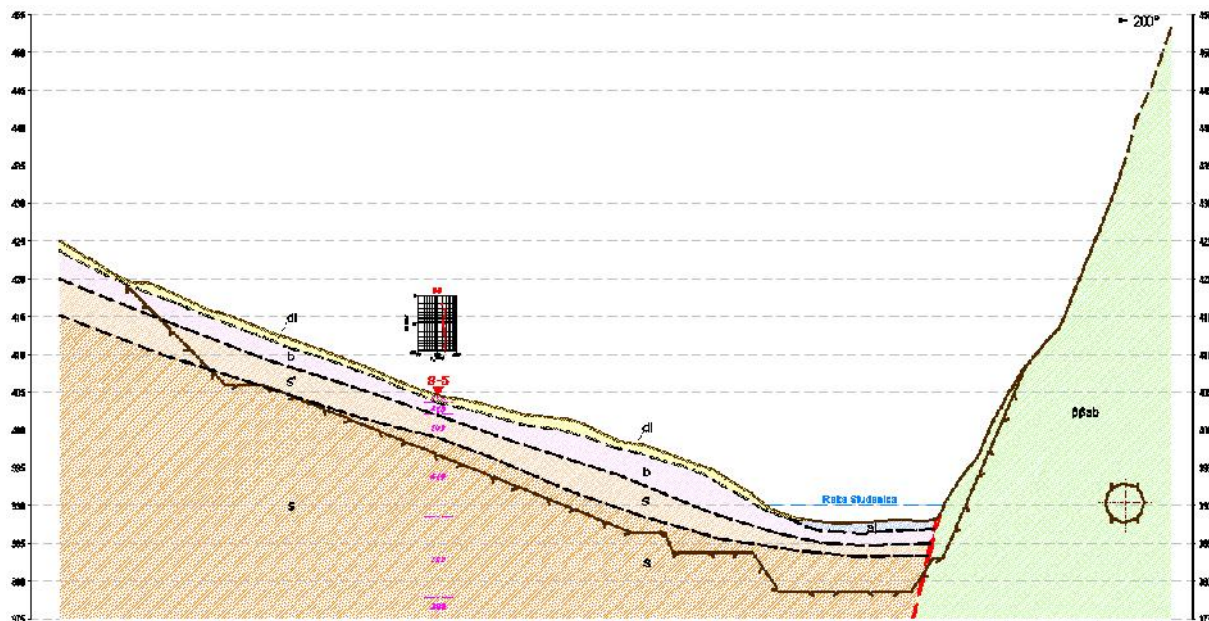
3.2. Inženjerskogeološka svojstva terena

Inženjerskogeološka svojstva terena predstavljaju stanje i svojstva izdvojenih litoloških jedinica. Na osnovnoj geološkoj karti, list Vrnjci (Slika 3.1), dat je prikaz geološke građe šireg područja.



Slika 3.1. Detalj sa Osnovne geološke karte gde su označeni mesto brane i akumulacija MHE „Studenica S4 - Gradina“, list Vrnjci, 1:100 000

Na inženjerskogeološkom preseku terena (Slika 3.2), prikazani su litološki sastav i strukturni sklop terena i zoni buduće brane.



Slika 3.2. Prognozni inženjerskogeološki presek terena po osi pregradnog profila MHE „Studnica S4 - Gradina“

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 3.3 i 4.1). Debljina aluvijalnog sedimenta reke Studenice iznosi od 3.0-4.0 m. Debljina rečnog nanosa je relativno mala, a razlog je velika brzina vodotoka reke Studenice kroz suženu dolinu, širine oko 20.0 m. U koritu reke ispod alivijona se očekuje čvrsta stenska masa, jer je degradirani materijal, pretpostavlja se, odnet rekom.



Slika 3.3. Aluvijalni sedimenti reke Studenice (leva dolinska strana)

U zoni brane MHE „Studenica S4 - 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 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 debljine 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 kompletno postrojenje sa pratećim objektima fundira minimum 1 m u ovoj zoni.

Na desnoj dolinskoj strani, teren je izgrađen od spilit-dijabaznog kompleksa (

Slika 3.4). Stena je sitnozrna, tamno braon do crne boje. Osnovna stena ima retke, zakrivljene pukotine, pri čemu se mogu izdvojiti dva sistema EPp1 130/65° i EPp2 86/45°. Spilit-dijabazni kompleks predstavlja značajno povoljniju geotehničku sredinu nego II zona škriljaca Studeničke serije.



Slika 3.4. Desna dolinska strana MHE „Studenica S4 - Gradina“

Za potrebe projektovanja MHE „Studenica S4 - Gradina“ izdvojeno je 6 različitih geotehničkih sredina i na osnovu litereture i iskustva procenjene vrednosti parametara:

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 drobina (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, ispucali 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.....	$c = 650.00 - 900.00 \text{ kN/m}^2$

3.3. Geotehnički uslovi izvođenja objekata

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“.

Utvrđeno je da će izgradnja i eksploatacija kompletnog postrojenja zavisiti 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.

Svakako, sve planirane objekte treba fundirati isključivo na ove dve sredine, i to na II zoni kompaktnih škriljaca Studeničke serije i na spilit-dijabaznom kompleksu, jer imaju najpovoljnije vrednosti geotehničkih parametara. Temeljenje je najbolje da se vrši minimum 1 m u boljoj sredini, ili na spilit-dijabaznim stenskim masama neposredno ispod površine terena.

Predviđa se da dubina fundiranja u II zoni škriljaca Studeničke serije, na levoj dolinskoj strani mestimično bude i do 9 m, što je povoljno jer je II zona škriljaca Studeničke serije ovde 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.



3.4. 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 geotehničku 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.

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.



4. REČNA HIDRAULIKA

4.1. Opis simulacionog modela

Kako bi se realizovale sve definisane optimizacione analize bilo je neophodno odrediti krivu proticaja donje vode neposredno nizvodno od pregradne konstrukcije za svaki od potencijalnih pregradnih profila. Kriva proticaja donje vode pretstavlja funkcionalnu zavisnost nivoa vode od proticaja u profilu reke koji je lociran neposredno nizvodno od brane.

Kriva proticaja donje vode neophodna je kako bi se:

- Odredili energetske efekte za svaku varijantu
- Odredile dimenzije prelivnog dela brane (slapište)

U okviru poglavlja 5.5. opisana je uporedna analiza dva potencijalno interesantna pregradna profila brane. Prvi profil 1-1 veoma je blizak onom koji je figurisao u okviru Studije (2015) uz minimalnu rotaciju koja je učinjena kako bi izohipse levog i desnog boka bile što upravnije na postavljenu osu. Ova rotacija je učinjena nakon dobijanja inovirane i značajno preciznije topografske podloge koja je nastala nakon terenskih merenja iz decembra 2020. god. Ovaj profil je poslužio za realizaciju optimizacionih analiza opisanih u poglavljima:

5.2. Izbor kote normalnog uspora akumulacije

5.3. Izbor instalisanog proticaja MHE S4

5.4. Izbor tipa brane

Pored profila 1-1 prepoznat je još jedan, potencijalno interesantan profil 2-2 koji je lociran tačno 37 m uzvodno i poslužio je za optimizaciju koja je objašnjena u okviru poglavlja 5.5. Izbor pregradnog profila i koncepcije skretanja reke.

Kako bi se odredila kriva proticaja donje vode kreiran je model korita reke Studenice u zoni budućeg objekta sa 25 poprečnih profila (15 profila uzvodno od brane i 10 profila nizvodno od brane). Na ovakav način obuhvaćena je deonica rečnog korita od granice parka prirode Golija (uzvodno) do pregradnog profila MHE S5 (nizvodno). Dužina toka reke Studenice na pomenutom potezu iznosi oko 2700 m sa ukupnom prirodnom denivelacijom od 36.30 m.

Poprečni profili reke Studenice dobijeni su korišćenjem topografske podloge koja je formirana za potrebe izrade ove projektne dokumentacije krajem decembra 2020. nakon opsežnih terenskih radova. U morfološkom smislu Studenica je usekla relativno uzak kanjon promenljive širine sa uskim tesnacima širine svega 10-12 m ali i sa proširenjima uz neretko prisustvo rečnih ada gde je širina osnovnog korita veća od 25 m. Vegetacija na obalama takođe varira. Strme obale u vidu gotovo vertikalnih odseka izgrađene od stenskih masiva ogoljene su i bez vegetacije. Obale blažeg pada u topografskom smislu sa relativno debelim površinskim slojem deluvijuma i drobine obrasle su gustom vegetacijom: drvećem, žbunjem i šibljem. Vučenog nanosa na dnu i po obodu glavnog korita ima u izobilju. Granulacija šljunkovitog materijala varira od minimalnih 10-ak cm do maksimalnih 1-1.50 m što zapravo pretstavlja stenske blokove koji ako su locirani u rečnom koritu kreiraju suženja toka i bukove.

U opisane morfološke i psamološke karakteristike vodotoka projektant je imao prilike da se uveri u dva navrata tokom obilaska zone od interesa za projektne aktivnosti (11.12.2020. i 15.02.2021.).



Slika 4.1. Nanos na levoj obali Studenice neposredno nizvodno od pregradnog profila 1-1

Simulacija tečenja u programskom paketu HEC-RAS urađena je za uslove pre i nakon izgradnje hidroenergetskih objekata MHE S4 i MHE S5. Korito je tretirano kao „jednokoritasto“, sa zajedničkim koeficijentom trenja za glavno korito i inundacije. Usvojen je opadajući trend koeficijenta trenja sa porastom proticaja pa je tako za minimalne protoke njegova vrednost $0.07 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a za maksimalne $0.042 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$. Ovo su literaturne preporuke Maningovog koeficijenta trenja za vodotoke sa sličnim morfološko-psamološkim karakteristikama. Za potrebe optimizacionih analiza urađene su sledeće simulacije tečenja:

1. Model 1 - tečenje u prirodnim uslovima
2. Model 2 - tečenje u prirodnim uslovima sa proširenim i produbljenim koritom neposredno nizvodno od brane do kote 385.50 mnm
3. Model 3 – tečenje nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5 ($\text{KNU}_{\text{MHE S4}} = 400 \text{ mnm}$, $\text{KNU}_{\text{MHE S5}} = 385.50 \text{ mnm}$)
4. Model 4 – tečenje nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5 ($\text{KNU}_{\text{MHE S4}} = 404 \text{ mnm}$, $\text{KNU}_{\text{MHE S5}} = 385.50 \text{ mnm}$)
5. Model 5 – tečenje nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5 ($\text{KNU}_{\text{MHE S4}} = 408 \text{ mnm}$, $\text{KNU}_{\text{MHE S5}} = 385.50 \text{ mnm}$)
6. Model 6 – tečenje nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5 ($\text{KNU}_{\text{MHE S4}} = 404 \text{ mnm}$, $\text{KNU}_{\text{MHE S5}} = 385.50 \text{ mnm}$) – profil MHE S4 pomeren 37 m uzvodno
7. Model 7 – tečenje u fazi skretanja reke optočnim kanalom u levom boku

Za usvojenu zavisnost koeficijenta trenja od protoka, tečenje je mirno tako da su dva granična uslova neophodna za proračun: 1) proticaj u najuzvodnijem rečnom profilu, 2) normalna dubina u najnizvodnijem rečnom profilu.

Model 1 je po svojim karakteristikama veoma blizak modelu koji je kreiran za potrebe Studije iz 2015.

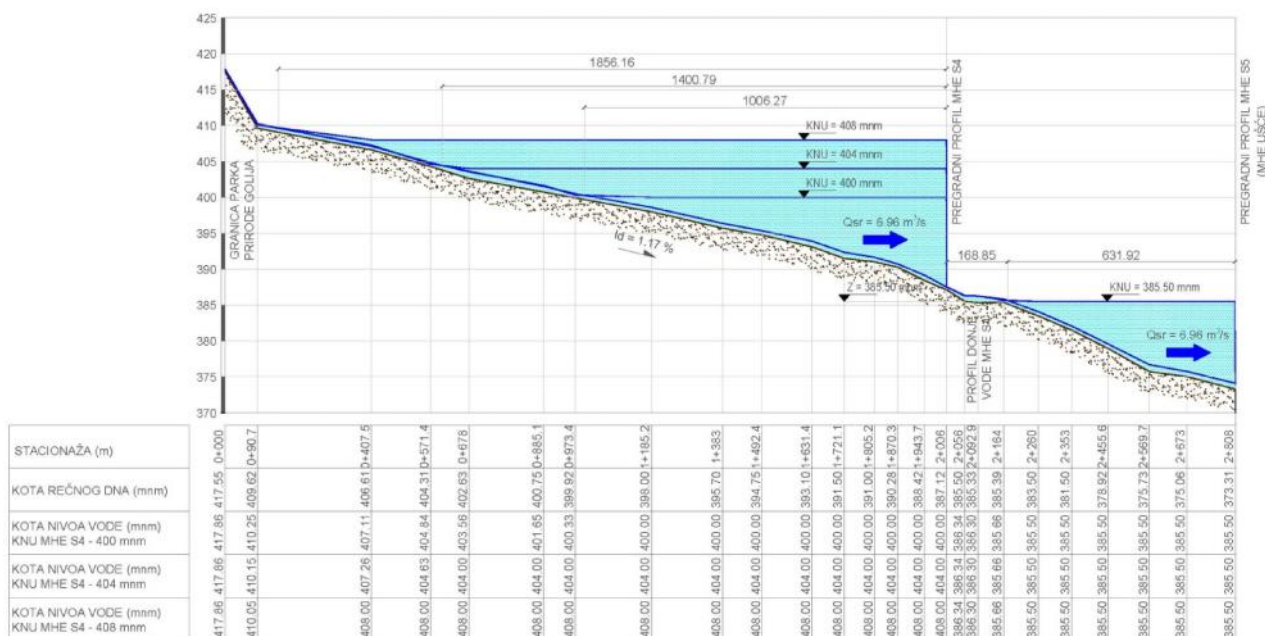
Model 2 je uzeo u obzir izmenu geometrije rečnog korita nizvodno od brane koja je neminovna nakon njene izgradnje. Naime mašinska zgrada zalazi duboko u levu obalu a minimalna

potrebna širina rečnog korita za prihvat vode preko preliva i kroz elektranu je 35 m što je oko 20 m šire od širine prirodnog rečnog korita u toj zoni. Takođe dno rečnog korita neposredno nizvodno od slapišta spušteno je za oko 1.00 do kote 385.50 mm što je maksimum imajući u vidu kotu normalnog uspora nizvodne akumulacije MHE S5 koja je jednaka ovoj koti. Produbljenje rečnog korita je potrebno izvršiti na dužini od oko 100 m do zone prirodnog isklinjavanja izohipse 385.50 m.

Modeli 3,4,5 i 6 simuliraju uslove tečenja nakon izgradnji MHE S4 i MHE S5 za različite kote normalnog uspora i različite pregradne profile MHE S4. Najvažniji rezultat ovih simulacije je izgled uspornih linija i njihov uticaj na uslove tečenja:

- nizvodno od MHE S4
- u zoni granice parka prirode Golija

Model 7 obrađuje uslove tečenja u fazi skretanja reke optočnim kanalom koji je lociran u levom boku. Poslužio je kako bi se definisale neophodne dimenzije svih objekata za skretanje reke: optočni kanal, uzvodni, podužni i nizvodni zagat.



Slika 4.2. Izgled linije nivoa u zoni od interesa pre i nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5

4.2. Rezultati simulacionog modela

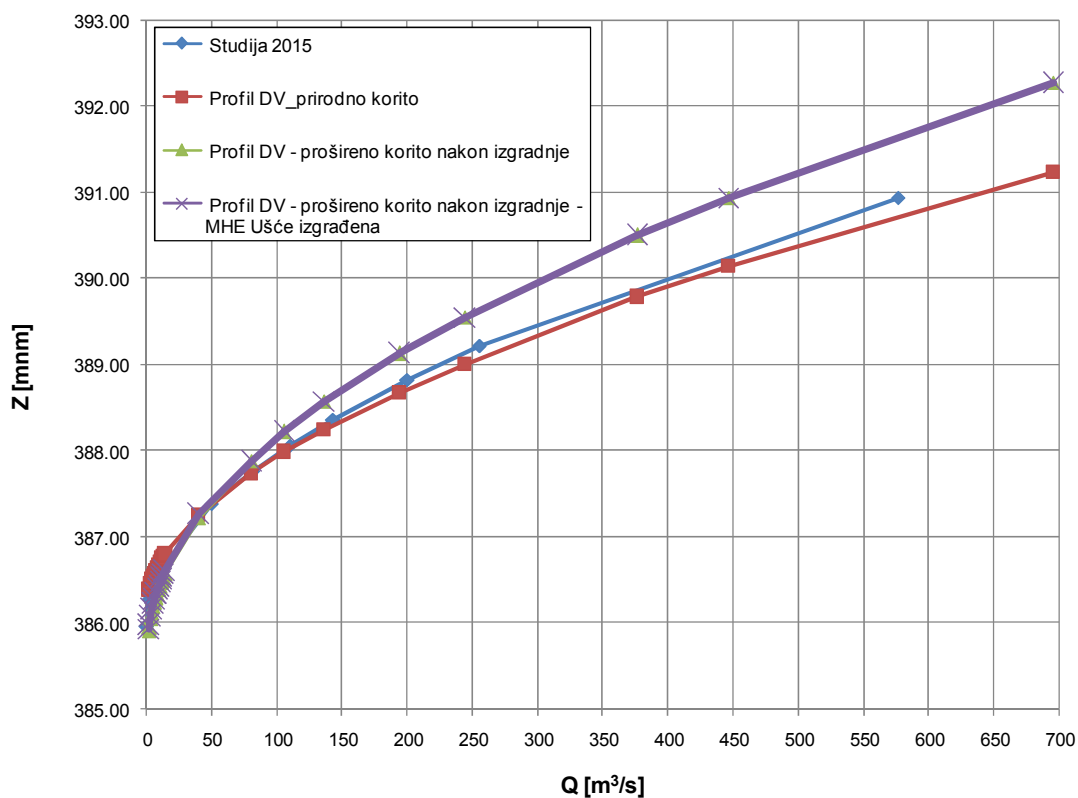
Kao što je ranije već rečeno najvažniji izlazni parametar simulacionog modela je kriva proticaja donje vode nizvodno od brane.

Model 1 je bio veoma koristan kako bi se izvršila kontrola prezentovanih rezultata u okviru Studije (2015). Pokazalo se da su odstupanja nivoa vode pri odgovarajućim proticajima reda veličine 10-15 cm što sa aspekta budućeg bruto (neto) pada i očekivane proizvodnje ne pretstavlja veliku razliku. S tim u vezi može se reći da postoji veoma dobro slaganje krivih proticaja donje vode 2015-2021 god.

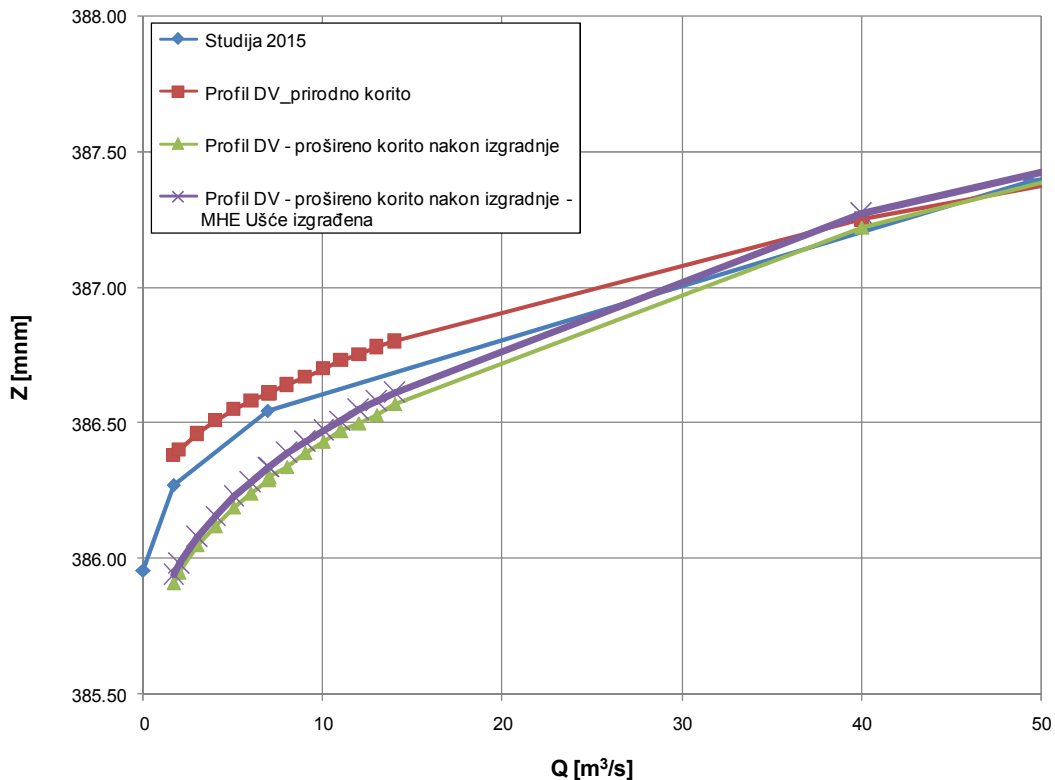
Model 2 je obuhvatio geometriju rečnog korita nizvodno od brane kakva će egzistirati u eksploatacionim uslovima. Korito je produbljeno i prošireno kako bi se maksimalno povećao pad

i prihvatila sva voda koja će se u budućnosti ispuštati kroz i preko evakuacionih organa brane. Usvojena kriva proticaja donje vode nizvodno od MHE S4 je izlazni parametar ovog modela.

Uporedni prikaz krive proticaja donje vode prezentovane u Studiji (2015) i one koja je dobijena za potrebe ove dokumentacije prikazana je u nastavku



Slika 4.3. Kriva proticaja donje vode MHE „Studenica S4 – Gradina“ za čitav dijapazon proticaja od minimalnih do maksimalnih (profil brane 1-1)



Slika 4.4. Kriva proticaja donje vode MHE „Studnica S4 – Gradina“ za opseg proticaja do 50 m³/s (profil brane 1-1)

Proširivanjem i produbljavanjem rečnog korita nizvodno od brane sniženi su nivoi vode u rasponu proticaja od 1 m³/s do 35 m³/s. Rekom Studenicom teče pomenuta količina vode 360 dana u godini (99% vremena) što znači da se ovakvim manevrom vrši značajan uticaj na povećanje godišnje proizvodnje električne energije. Pri proticajima koji ulaze u domen velikih voda nivoi vode su viši u odnosu na one prezentovane u Studiji (2015). Promena geometrije rečnog korita nizvodno od brane (proširenje i produbljenje) izmenila je uslove tečenja u ovj zoni. Generalno posmatrano ovakvo povećanje nivoa vode ima dobar karakter iz razloga što omogućava manju dubinu fundiranja slapišta za umirenje energije vodenog mlaza koji preliiva preko prelivnog praga.

Modelom 6 obuhvaćen je proračun linije nivoa u uslovima izgrađenosti MHE „Studnica S4 – Gradina“ ali na profilu 2-2 koji je pomeren 37 m uzvodno od pregradnog profila 1-1.

U okviru numeričke dokumentacije se tabelarno daje uporedni prikaz krivih proticaja donje vode nizvodno od brane na profilu 1-1 i na uzvodnom profilu 2-2.

5. OPTIMIZACIONE ANALIZE

5.1. Uvodna razmatranja

Aprila meseca 2015. god. renomirana kompanija Energoprojekt-Hidroinženjering a.d. iz Beograda završila je izradu Studije izvodljivosti za pet planiranih i jednu izgrađenu MHE na reci Studenici. Ova projektna dokumentacija analizirala je 5 gravitacionih betonskih brana sa pribranskim elektranama u sklopu tela brane za hidroenergetsko iskorišćenje vodotoka. U narednoj tabeli prikazuju se osnovni parametri pomenutih objekata gde se izostavlja MHE S3 što je naziv za postojeću MHE pri manastiru Studenica (derivaciono postrojenje koje je u pogonu).

Tabela 5.1. Parametri planiranih hidroenergetskih postrojenja na reci Studenici prema Studiji 2015. god.

MHE	KNU [mnm]	L _{ak} [km]	V [10 ³ m ³]	KKB [mnm]	H _{b,građ} [m]	P _{ins} [kW]	E [MWh/god]
S1	495,0	0,4	39,0	496,5	13,5	306	1.519
S2	451,0	0,3	20,9	452,5	14,5	259	1.330
S4	404,0	1,5	467,4	406,0	25,0	1.907	7.348
S5	385,5	0,8	214,6	387,2	21,2	1.452	5.708
S6	369,0	1,7	663,4	370,8	22,8	1.626	6.462

U tabeli oznake imaju sledeća značenja: KNU – kota normalnog uspora, L_{ak} – dužina akumulacije pri KNU, V – zapremina akumulacije, KKB – kota krune brane, H_{b,građ} – građevinska visina brane, P_{ins} – instalisana snaga elektrane, E – godišnja proizvodnja električne energije.

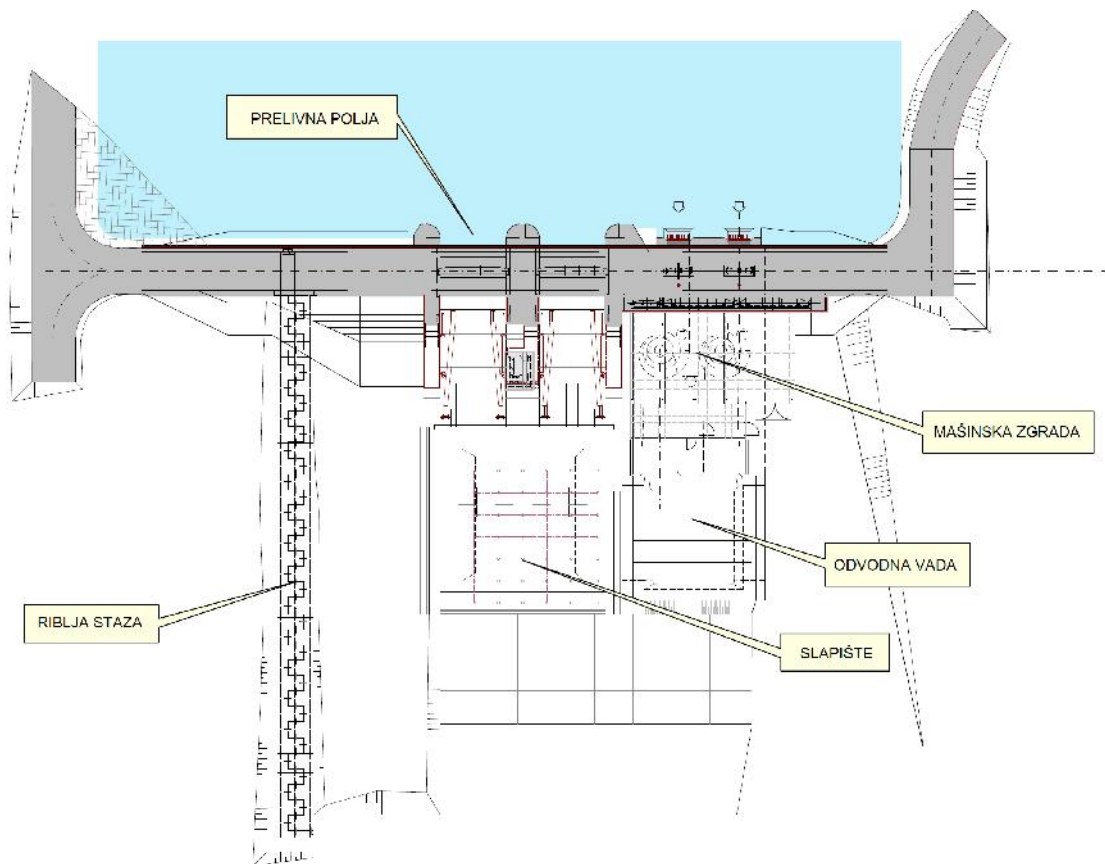
Ono što se iz tabele primećuje je sledeće:

- MHE S4 predstavlja hidroenergetski objekat najveće građevinske visine;
- izgradnjom MHE S4 formira se najduža akumulacija;
- mašinska zgrada koja je projektovana kao pribransko postrojenje ima najveću snagu;
- godišnja proizvodnja električne energije najveća je od svih razmatranih MHE;

U celini posmatrano MHE S4 predstavlja najimpozantniji objekat u građevinskom smislu, najinteresantniji objekat u hidroenergetskom smislu ali i najskuplji objekat u investicionom smislu iako investicije nisu sagledavane u okviru Studije ali je to jasno iz usvojenih gabarita objekta.

Hidroenergetski objekat MHE S4 projektovan je u vidu gravitacione betonske brane sa pribranskom mašinskom zgradom u levom boku. Centralni deo pregradnog profila zauzima prelivni deo brane sa dva prelivna polja koja su opremljena segmentnim zatvaračima za održavanje nivoa vode u akumulaciji na koti normalnog uspora. Za umirenje vode nakon preliivanja predviđeno je prizmatično slapište koje je projektovano u produžetku prelivnog praga. Mašinska zgrada pribranskog tipa locirana je u levom boku prvenstveno zbog topografskih i geoloških karakteristika pregradnog profila. Opremljena je sa 2 vertikalna Kaplan agregata ukupnog instalisanog proticaja Q_{ins} = 2 x 7 = 14 m³/s kao i sa svom pratećom hidromehaničkom i elektro opremom. Riblja staze namenjena za migraciju riba projektovana je u desnom boku. Ovakva koncepcija objekta razmatrana je za potrebe izbora kote normalnog uspora i u postupku

iznalaženja optimalnog instalisanog proticaja elektrane. Dispozicija objekata u sklopu pribranske MHE S4 koja je data u okviru Studije prikazana je na narednoj slici.



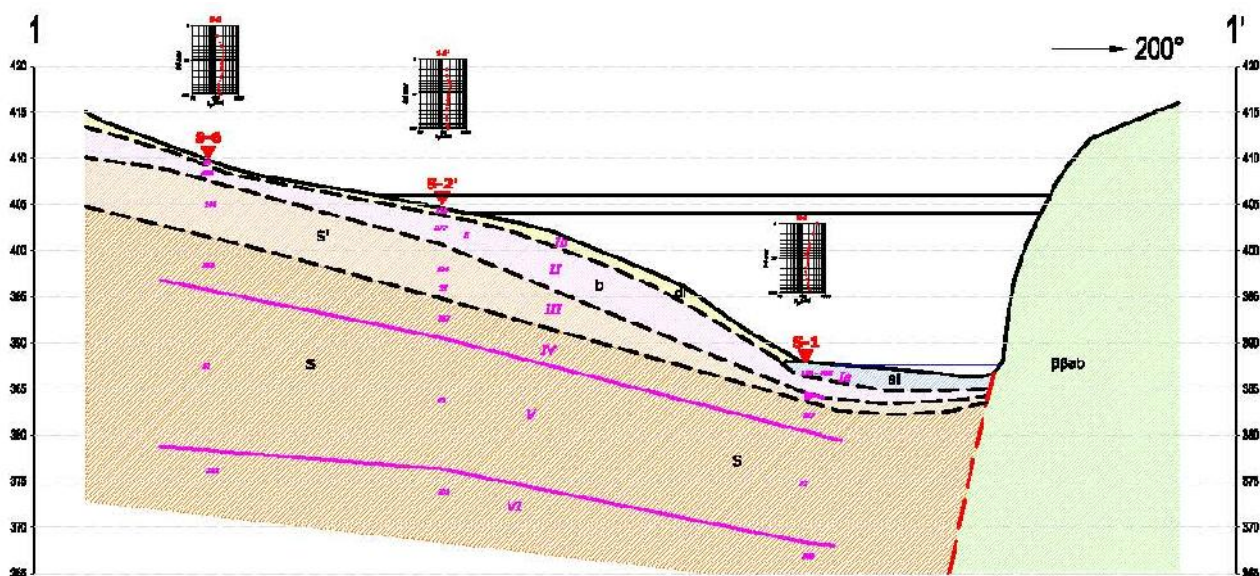
Slika 5.1. Dispozicija objekata u sklopu MHE S4 prema Studiji iz 2015. god.

Početak decembra meseca 2020. god. potpisan je Ugovor između kompanija Hidro-Min d.o.o. (Investitor) i Enhygroup (Projektant) o izradi investiciono-tehničke dokumentacije za potrebe pribavljanja neophodnih uslova, dozvola i saglasnosti od nadležnih državnih institucija. Odmah nakon potpisivanja ugovora započelo se sa terenskim snimanjima kako bi se što pre dobila relevantna topografska podloga neophodna za projektne radnje koje će da uslede. Konačna verzija topografske poglove koja je obuhvatila lokaciju buduće brane i akumulacije MHE S4 ali i značaj prostor nizvodno od pregradne konstrukcije finalizovana je 23.12.2021. god.

Sredinom decembra 2020. god. projektni tim koji radi na realizaciji tehničke dokumentacije organizovao je prvi obilazak pregradnog profila kada je izvršeno rekognosciranje terena sa ciljem da se definišu inženjerskogeološki preseki od značaja za dalji rad.

Krajem decembra 2020. god. definisan je prognozni inženjerskogeološki presek brane na profilu 1-1 koji je figurisao i u Studiji 2015. god. s tim što je načinjena neznatna rotacija kako bi izohipse snimljenog terena u bokovima bile što upravnije na osu. U desnom boku je dijabaz stenski masiv a u levom formacija škriljaca koji su u gornjim slojevima ispućali i degradirani usled čega se zahteva značajniji obim zemljanih radova kako bi se objekat u ovoj zoni fundirao na zdravoj steni. Izrazito asimetrične geološke karakteristike pregradnog profila prvi put su navele projektni tim da razmotri nekoliko varijantnih tehničkih rešenja pregradne konstrukcije (poglavlje 5.4). Relativno debeo sloj deluvijuma, drobine, ispućale i degradirane stenske mase u levom boku (ponegde i preko 9 m) navele su Projektanta da kao polazno rešenje skretanja reke svih varijanti postavi ono sa optočnim kanalom u levom boku. Na narednoj slici prikazan je

prognozni inženjerskogeološki presek brane u profilu 1-1 i isti je korišćen u optimizacionim analizama koje su objašnjene u poglavljima 5.2,5.3,5.4.



Slika 5.2. Prognozni inženjerskogeološki presek po osi pregradnog profila 1-1

Januara meseca 2021. god. završena je aktuelizacija hidrološke studije čiji su rezultati bili neophodni za odpočinjanje optimizacionih analiza. Uporedni prikaz karakterističnih proticaja prezentovanih u Studiji (2015) i aktuelizovanih nakon poslednjih analiza daju se u nastavku:

Tabela 5.2. Uporedni prikaz malih, srednjih i velikih voda prema Studiji (2015) i nakon analiza izvršenih 2021. god.

Dokumentacija	Qsr (m ³ /s)	Qmin 95% (m ³ /s)	Maksimalni proticaji (m ³ /s) za povratni period T [god]						
			10	20	50	100	500	1000	10000
Studija 2015. god.	6,87	1,52	109,1	142,1	198,6	253,5		568,6	
IDR januar 2021.	6,96	1,66	105	136	194	244	376	446	695

Zaključci koji se mogu izvesti nakon poslednjih hidroloških analiza su sledeći:

- srednji višegodišnji proticaj se povećao za 1.30 % što će za posledicu imati nešto veću očekivanu proizvodnju električne energije na godišnjem nivou;
- velike vode verovatnoće pojave jednom u 10,20,50 i100 godina su istog reda veličine dok je 1000-u godišnja velika voda manja ≈ 22 % u odnosu na veliku vodu ove verovatnoće pojave koja je figurisala u Studiji (2015). Ovakvi rezultati hidroloških analiza utiće na smanjenje dimenzija prelivnog dela brane (prelivni prag, segmentne ustave i slapište);

S obzirom da u okviru Studije (2015) nisu prezentovane nikakve optimizacione analize, od samog početka je bilo jasno da se parametri usvojeni u okviru nje moraju proveriti u tehn-ekonomskom smislu. Januar mesec je iskorišćen da se definiše i realizuje optimizacioni postupak sa ciljem da se odabere tehno-ekonomski najpovoljnije rešenje brane i MHE;

Odlučeno je da se sprovedu sledeće analize:

1. Izbor kote normalnog uspora
2. Izbor instalisanog proticaja MHE

3. Izbor tipa brane
4. Izbor pregradnog profila i koncepcije skretanja reke
5. Izbor tipa prelivnog dela brane

5.2. Izbor kote normalnog uspora akumulacije

U Studiji (2015) god. usvojena je akumulacija sa kotom normalnog uspora 404 mnm

Detaljnim pregledom tekstualne i grafičke dokumentacije utvrđeno je da postoji deo sliva reke Studenice od repa akumulacije MHE „Studenica S4 – Gradina“ do granice parka prirode Golija za koji se može reći da je u hidroenergetskom smislu neiskorišćen. Otuda je odlučeno da se ispita tehnookonomska opravdanost kote normalnog uspora akumulacije usvojene u okviru pomenute Studije. Dogovoreno je da se pored aktuelne kota uspora (404 mnm) analiziraju još dve varijantne kote, jedna manja 400 mnm i jedna veća 408 mnm. Optimizacioni postupak je sproveden za pregradnu konstrukciju u vidu gravitacione betonske brane sa pribranskom mašinskom zgradom u levom boku (kako je predloženo u Studiji 2015. god.)

Posledice povećanja kote normalnog uspora akumulacije su sledeće:

- veća građevinska visina brane;
- veća dužina brane u kruni;
- veće investicije potrebne za izgradnju brane;
- veći troškovi eksproprijacije;
- veći bruto i neto pad;
- veća snaga elektrane;
- veće investicije za nabavku, transport i montažu opreme;
- veća godišnja proizvodnja električne energije;

5.2.1. Projektni kriterijumi i ograničenja

Tehnička rešenja objekata za varijantne kote normalnog uspora definisana su uz poštovanje sledećih kriterijuma:

- Izgradnjom brane i hidroelektrane MHE „Studenica S4 – Gradina“ ne sme se remetiti prirodan režim tečenja u profilu reke koji je označen kao granica parka prirode Golija pri srednjem višegodišnjem protoku ($6.96 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Prelivni prag je dimenzionisan da pri koti normalnog uspora akumulacije evakuiše 1000 godišnju veliku vodu ($446 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Slapište nizvodno od prelivnog praga dimenzionisano je tako da se u njemu efikasno umiri 100 godišnja velika voda ($244 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Montažni prostor hidroelektrane postavljen je iznad kote donje vode pri 1000 godišnjoj velikoj vodi ($ZDV_{1000} = 390.94 \text{ mnm}$);
- Usvojena je koncepcija skretanja reke sa optočnim kanalom u levom boku pomoću kojeg se evakuiše 10-o godišnja velika voda ($105 \text{ m}^3/\text{s}$) sa minimalnim freeboard-om.

Varijantna rešenja su razrađivana bez postojanja riblje staze za migraciju riba zbog male investicione vrednosti i malog uticaja na proces konačnog odlučivanja.



Najpovoljnija varijanta je ona za koju je odnos ukupnih investicija i godišnje proizvodnje električne energije minimalan. Drugim rečima za najpovoljniju varijantu funkcija investicionog količnika treba da iskaže svoj minimum.

5.2.2. Koštanje građevinskih radova i eksproprijacije zemljišta varijantnih rešenja

Kao što je već rečeno sa povećanjem kote uspora akumulacije raste visina brane pa i investicije koje su potrebne za njenu izgradnju. Takođe bruto i neto pad postrojenja postaju veći a time i snaga elektrane i očekivana godišnja proizvodnja. U narednoj tabeli uporedno se daju parametri brane i akumulacije pri različitim kotama normalnog uspora.

Tabela 5.3. Uporedni prikaz parametara brane i akumulacije MHE „Studenica S4 – Gradina“ pri različitim kotama normalnog uspora

KNU (mm)	KKB (mm)	KKP (mm)	L_B (m)	L_{AK} (m)	$H_{B,građ}$ (m)	$Z_{DNA,S}$ (mm)	L_S (m)	A (ar)
400	402	392.40	87.80	1006.27	23.40	382.40	22.00	84.50
404	406	396.40	100.20	1400.79	27.40	382.00	23.20	192.80
408	410	400.40	113.20	1856.16	31.40	381.80	23.20	434.40

U tabeli oznake imaju sledeća značenja: KNU – kota normalnog uspora akumulacije, KKB – kota krune brane, KKP – kota krune preliva, L_B – dužina brane u kruni, L_{AK} – dužina akumulacije pri Q_{sr} , $H_{B,građ}$ – građevinska visina brane, $Z_{DNA,S}$ – kota dna slapišta, L_S – dužina slapišta, A – površina zemljišta koju je potrebno ekspropisati

5.2.2.1. Skretanje reke

Kao što je već rečeno, sve varijante su analizirane uz pretpostavku skretanja reke pomoću optočnog kanala u levom boku, uzvodnog, podužnog i nizvodnog zagata. Po tipu ovakva koncepcija spada u dvofazne. Proboj vode u temeljnu jamu prelivnog dela brane sprečava se izgradnjom uzvodnog, podužnog i nizvodnog zagata. Vododrživost zagata obezbeđuje se ugradnjom geosintetičkih materijala (geotekstil i PVC folija). Kanal je širine u dnu 10 m sa nagibom kosina 1:1.5. Koštanje radova na izgradnji objekata za skretanje reke konstantno je za sve varijante.

5.2.2.2. Prelivni deo brane

Prelivni deo brane se sastoji od prelivnog praga koji je razdelnim stubom podeljen na dva prelivna polja širine 5.80 m. Prelivna polja su opremljena segmentnim zatvaračima visine 7.60 m za održavanje nivoa vode u akumulaciji na koti normalnog uspora. Segmentni zatvarači su regulacioni i služe za kontrolisano ispuštanje vode u nizvodno rečno korito pri nailasku velikih voda. Kota normalnog uspora pretstavlja i kotu maksimalnog uspora akumulacije. Slobodan prostor (freeboard) između kote maksimalnog uspora i kote krune brane iznosi 2.00 m. Ovo su karakteristike prelivnog dela brane za sve varijante.

5.2.2.3. Mašinska zgrada

Za tri različite kote normalnog uspora akumulacije dato je tehničko rešenje mašinske zgrade u kojoj su instalirana 2 vertikalna Kaplan agregata sa pratećom hidromehaničkom, mašinskom i elektro opremom. U narednoj tabeli daju se parametri mašinske zgrade po varijantama.

Tabela 5.4. Parametri mašinske zgrade za 3 varijantne kote normalnog uspora

KNU	Z _{MP}	Z _G	Z _{ORK}	Z _F	H _{B,grad}
(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(m)
400	392	388.90	388.60	382.50	19.50
404	392	388.50	385.87	382.00	24.00
408	392	386.20	383.70	380.00	30.00

U prethodnoj tabeli oznake imaju sledeća značenja: Z_{MP} – kota montažnog prostora, Z_G – generatorska kota, Z_{ORK} – kota osovine radnog kola, Z_F – najniža kota fundiranja, H_{B,grad} – građevinska visina mašinskog bloka.

5.2.2.4. Eksproprijacija zemljišta

Krajem decembra Investitor je dostavio projektantu spisak parcela nad kojima je stekao pravo svojine u prethodnom periodu što je od značaja kako bi se pravilno sagledale dodatne investicije neophodne za otkup zemljišta koje nije ekspropisano. Sa povećanjem kote normalnog uspora rastu troškovi za realizaciju ovih aktivnosti.

Za potrebe ove uporedne analize pretpostavljena je mogućnost dogovora sa vlasnikom oko otkupa dela parcele s obzirom da bi eksproprijacija cele parcele znatno povećavala troškove za više kote uspora akumulacije. Usvojena je cena otkupa od 300 €/ar.

U narednoj tabeli daje spisak i površina otkupljenih parcela.

Tabela 5.5. Spisak otkupljenih parcela u zoni buduće akumulacije

Katastarski broj	KO	Površina (m ²)
2045	Ušće	24,26
2046	Ušće	29,07
2044/2	Ušće	34,43
1904/3	Ušće	11,14
1903/3	Ušće	586
1902/2	Ušće	5,676
1899/7	Ušće	595
1896/2	Ušće	1679
1895	Ušće	1698
1894	Ušće	1319
1893	Ušće	762
1892	Ušće	1014
1891	Ušće	1241
1888	Ušće	1428
1885/1	Ušće	4703
1884/2	Ušće	1432
1896/1	Ušće	130
621/2	Tadenje	3911
610/2	Tadenje	2827
620/2	Tadenje	2376

552/2	Tadenje	2074
545/2	Tadenje	1626
545/1	Tadenje	697
53/2	Tadenje	1653
53/3	Tadenje	2975
61/1	Tadenje	2365
61/2	Tadenje	1873
60/2	Tadenje	662
38/2	Tadenje	2168

5.2.2.5. Investicije

U okviru narednih tabela daje se koštanje građevinskih radova i eksproprijacije zemljišta za 3 analizirane kote normalnog uspora akumulacije

Tabela 5.6. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 400 mm, Qins = 14 m³/s)

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskopi			Nasipi				Geosintetika i kamena obloga			Betonski radovi		Injektiranje			Ukupno po objektima (10 ³ EUR)	
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tuneški iskop (m ³)	Polupomo telo (m ³)	Filterski materijal (m ³)	Gljinevo jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ³)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ³)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tuneški beton (m ³)	Armatura (t)	Injeksiona zavesa u profilu brane (m ³)		Nabavka, transport i polaganje cevi u rečnom koritu (m)
(EUR)			5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00	
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Koш.	24,665	16,444		5,263				12,126	12,126	658	1,861	196		13		156	
		Koш.	123	156		50				30	12	13	22	24		13		10	454
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Koш.	1,937	1,291										4,436		244	274		
		Koш.	10	12	0									532		256	14		824
3	Slapište preliva	Koш.	2,074	1,383									211	1,404		154			
		Koш.	10	13									3	168		162			357
4	Mašinska zgrada	Koш.											44	3,986		279	316		
		Koш.		0									1	478		293	16		788
5	Desni neprelivni deo brane	Koш.		364										933		28			
		Koш.		3										112		29			145
6	Levi neprelivni deo brane	Koш.												3,918		118	594		
		Koш.												470		123	30		623
7	Ukupno glavni građevinski radovi																		3,190
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																		479
9	UKUPNO																		3,669

Tabela 5.7. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 404 mm, Qins = 14 m³/s)

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskopi			Nasipi				Geosintetika i kamena obloga			Betonski radovi		Injektiranje			Ukupno po objektima (10 ³ EUR)	
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tuneleski iskop (m ³)	Poporno telo (m ³)	Filterski materijal (m ³)	Glinoeno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ²)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ²)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tuneleski beton (m ³)	Armatura (t)	Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)		Nabavka, transport i polaganje cevi u rečnom koritu (m)
(EUR)			5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00	
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Kol.	24,665	16,444		5,263				12,126	12,126	658	1,861	196		13		156	
		Kow.	123	156		50				30	12	13	22	24		13		10	454
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kol.	2,188	1,585										6,108		336	308		
		Kow.	11	15	0									733		353	15		1,127
3	Slapište preliva	Kol.	2,320	1,680									211	1,505		166			
		Kow.	12	16									3	181		174			385
4	Mašinska zgrada	Kol.											44	4,676		327	354		
		Kow.		0									1	561		344	18		923
5	Desni neprelivni deo brane	Kol.		444										1,389		42			
		Kow.		4										167		44			215
6	Levi neprelivni deo brane	Kol.												6,385		192	754		
		Kow.												766		201	38		1,005
7	Ukupno glavni građevinski radovi																		4,108
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																		616
9	UKUPNO																		4,724

Tabela 5.8. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 408 mm, Qins = 14 m³/s)

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskopi			Nasipi				Geosintetika i kamena obloga			Betonski radovi		Injektiranje			Ukupno po objektima (10 ³ EUR)	
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tuneleski iskop (m ³)	Poporno telo (m ³)	Filterski materijal (m ³)	Glinoeno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ²)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ²)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tuneleski beton (m ³)	Armatura (t)	Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)		Nabavka, transport i polaganje cevi u rečnom koritu (m)
(EUR)			5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00	
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Kol.	24,665	16,444		5,263				12,126	12,126	658	1,861	196		13		156	
		Kow.	123	156		50				30	12	13	22	24		13		10	454
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kol.	2,389	1,877										7,946		437	342		
		Kow.	12	18	0									954		459	17		1,459
3	Slapište preliva	Kol.	2,202	1,731									211	1,519		167			
		Kow.	11	16									3	182		175			388
4	Mašinska zgrada	Kol.											44	5,748		402	393		
		Kow.											1	690		422	20		1,132
5	Desni neprelivni deo brane	Kol.		505										2,290		69			
		Kow.		5										275		72			352
6	Levi neprelivni deo brane	Kol.												9,728		292	982		
		Kow.												1,167		306	49		1,523
7	Ukupno glavni građevinski radovi																		5,308
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																		796
9	UKUPNO																		6,104

5.2.3. Hidromehanička i mašinska oprema

U okviru narednih tabela pregledno se daju investicije potrebne za nabavku, transport i montažu hidromehaničke, mašinske i elektro opreme za 3 varijante kote normalnog uspora akumulacije

Tabela 5.9. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 400 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$

RB	Opis	kom	Jed cena	UKUPNO
MAŠINSKA ZGRADA				
1	Turbina	2	285.000,00	570.000,00
2	Generator	2	95.000,00	190.000,00
3	Turbinski regulator	2	25.000,00	50.000,00
4	Pomoćni sistemi	2	10.000,00	20.000,00
5	Mostna dizalica 10t	1	30.000,00	30.000,00
6	Čelični poklopci, penjalice i ograde	1	10.000,00	10.000,00
7	Set remontnih zatvarača na zahvatu	1	19.000,00	19.000,00
8	Set remontnih zatvarača u sifonu	1	9.000,00	9.000,00
9	Ulazne rešetke i čistilica	1	50.000,00	50.000,00
BRANA				
10	Set remontnih zatvarača	1	90.000,00	90.000,00
11	Segmentni zatvarač	2	160.000,00	320.000,00
12	Uljno -hidraulička instalacija	1	50.000,00	50.000,00
13	Ostala oprema na brani	1	10.000,00	10.000,00
Ukupno isporuka mašinske opreme				1.418.000,00
	Nespecifično		3%	42.540,00
	Transport		5%	73.027,00
	Montaža		15%	219.081,00
UKUPNO:				1.752.648,00

Tabela 5.10. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$

RB	Opis	kom	Jed cena	UKUPNO
MAŠINSKA ZGRADA				
1	Turbina	2	300.000,00	600.000,00
2	Generator	2	100.000,00	200.000,00
3	Turbinski regulator	2	25.000,00	50.000,00
4	Pomoćni sistemi	2	10.000,00	20.000,00
5	Mostna dizalica 10t	1	30.000,00	30.000,00
6	Čelični poklopci, penjalice i ograde	1	10.000,00	10.000,00
7	Set remontnih zatvarača na zahvatu	1	20.000,00	20.000,00
8	Set remontnih zatvarača u sifonu	1	10.000,00	10.000,00
9	Ulazna rešetka i čistilica	1	50.000,00	50.000,00
BRANA				
10	Set remontnih zatvarača	1	90.000,00	90.000,00
11	Segmentni zatvarač	2	160.000,00	320.000,00
12	Uljno -hidraulička instalacija	1	50.000,00	50.000,00
13	Ostala oprema na brani	1	10.000,00	10.000,00
Ukupno isporuka mašinske opreme				1.460.000,00
	Nespecifično		3%	43.800,00
	Transport		5%	75.190,00
	Montaža		15%	221.570,00
UKUPNO:				1.804.560,00

Tabela 5.11. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 408 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$

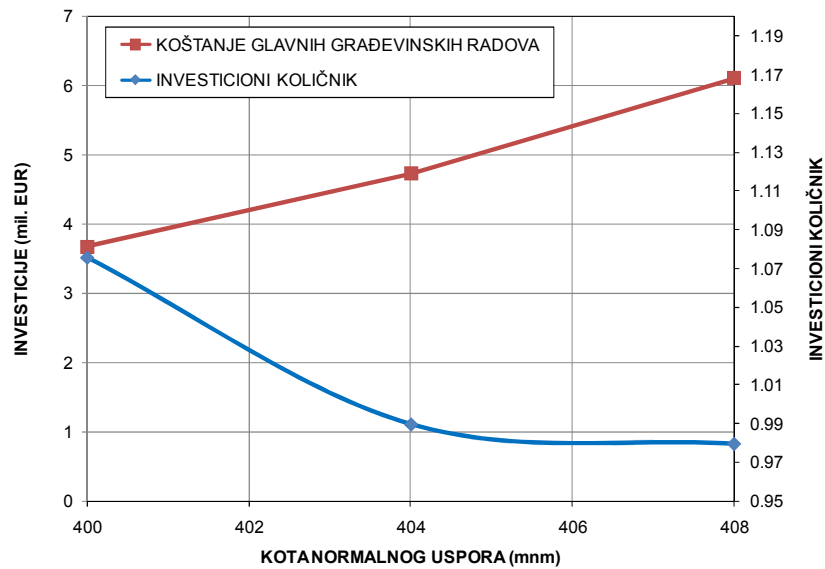
RB	Opis	kom	Jed cena	UKUPNO
MAŠINSKA ZGRADA				
1	Turbina	2	320.000,00	640.000,00
2	Generator	2	105.000,00	210.000,00
3	Turbinski regulator	2	25.000,00	50.000,00
4	Pomoćni sistem	2	10.000,00	20.000,00
5	Mostna dizalica 10t	1	30.000,00	30.000,00
6	Čelični poklopci, penjalice i ograde	1	10.000,00	10.000,00
7	Set remontnih zatvarača na zahvatu	1	21.000,00	21.000,00
8	Set remontnih zatvarača u sifonu	1	11.000,00	11.000,00
9	Ulazna rešetka i čistilica	1	50.000,00	50.000,00
BRANA				
10	Set remontnih zatvarača	1	90.000,00	90.000,00
11	Segmentni zatvarač	2	160.000,00	320.000,00
12	Uljno -hidraulička instalacija	1	50.000,00	50.000,00
13	Ostala oprema na brani	1	10.000,00	10.000,00
Ukupno isporuka mašinske opreme				1.512.000,00
	Nespecificirano		3%	45.360,00
	Transport		5%	77.868,00
	Montaža		15%	233.604,00
UKUPNO:				1.868.832,00

5.2.4. Zaključci i preporuke

Pored koštanja građevinskih radova i eksproprijacije zemljišta urađena je i specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za svaku od varijanti. Takođe sračunata je moguća godišnja proizvodnja električne energije po varijantama.

Tabela 5.12. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor kote normalnog uspora

Kota normalnog uspora	Glavni građevinski radovi	Eksproprijacija	Hidromehanička i mašinska oprema	Elektro oprema	Ukupne investicije	Snaga	Godišnja proizvodnja	Investicioni količnik
(mm)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(MW)	(GWh)	c€/kWh
400	3.669	0.025	1.753	0.680	6.127	1.51	5.70	1.075
404	4.724	0.058	1.805	0.750	7.337	1.98	7.41	0.990
408	6.104	0.130	1.869	0.840	8.943	2.44	9.13	0.980



Slika 5.3. Dijagram investicionog količnika za izbor kote normalnog uspora

- Investicioni količnik je najmanji za kotu normalnog uspora 408 mm pa posmatrano strogo sa aspekta ustanovljenog projektnog kriterijuma, ova kota predstavlja najpovoljniju varijantu.
- Međutim nikako se ne može reći da je kote 408 mm optimalna. Jasno se vidi da trend opadanja investicionog količnika značajno menja karakter u opsegu kota 404-408 mm nego li u opsegu 400-404. Razlog za to leži u relativno lošim geološkim karakteristikama levog boka pregradnog profila 1-1 usled čega se koštanje građevinskih radova značajno povećava pri povećanju kote normalnog uspora
- Projektni tim preporučuje kotu normalnog uspora akumulacije od 404 mm za razradu na nivou Idejnog projekta



5.3. Izbor instalisanog proticaja MHE „Studenica S4 – Gradina“

U Studiji (2015) god. usvojeno je tehničko rešenje pribranske mašinske zgrade u kojoj će biti instalirana 2 vertikalna Kaplan agregata ukupnog instalisanog proticaja $Q_{ins} = 2 \times 7 = 14 \text{ m}^3/\text{s}$

Odlučeno je da se pored aktuelne instalacije MHE S4 analiziraju još dve alternativne: jedna manja $13 \text{ m}^3/\text{s}$ i jedna veća $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Optimizacioni postupak je sproveden za prethodno usvojenu kotu normalnog uspora akumulacije od 404 mnm.

Posledice povećanja instalisanog proticaja elektrane su sledeće:

- veći opseg energetski iskoristivog dela sa krive trajanja proticaja;
- veća instalisana snaga;
- veće investicije za nabavku mašinske i elektro opreme;
- veća godišnja proizvodnja električne energije;

5.3.1. Projektni kriterijumi i ograničenja

Tehničko rešenje pregradne konstrukcije za različite varijante instalisanog proticaja razlikuje se samo unutar mašinskog bloka tako da su razlike u koštanju građevinskih radova znatno manje od razlika u investicijama koje su potrebne za nabavku, transport i montažu opreme.

- uporedna analiza je rađena za prethodno usvojenu kotu normalnog uspora 404 mnm. Kriterijumi za dimenzionisanje prelivnog dela brane su identični kao i za analizu kote normalnog uspora akumulacije (poglavlje 5.2.1);
- dovod pravougaonog proticajnog profila za transport vode do betonske spirale dimenzionisan je tako da brzina vode u njemu ne bude veća od 1 m/s ;
- Montažni prostor hidroelektrane postavljen je iznad kote donje vode pri 1000 godišnjoj velikoj vodi ($ZDV_{1000} = 390.94 \text{ mnm}$)
- Usvojena je koncepcija skretanja reke sa optočnim kanalom u levom boku pomoću kojeg se evakuiše 10-o godišnja velika voda ($105 \text{ m}^3/\text{s}$) sa minimalnim freeboard-om.

Varijantna rešenja su razrađivana bez postojanja riblje staze za migraciju riba zbog male investicione vrednosti i malog uticaja na proces konačnog odlučivanja.

Najpovoljnija varijanta je ona za koju je odnos ukupnih investicija i godišnje proizvodnje električne energije minimalan. Drugim rečima za najpovoljniju varijantu funkcija investicionog količnika treba da iskaže svoj minimum.

5.3.2. Koštanje građevinskih radova

Uporedna analiza je rađena za pregradnu konstrukciju u vidu gravitacione betonske brane u celosti. Razlike u građevinskom smislu postoje samo u okviru mašinskog bloka i to samo na dovodu dok su dimenzije mašinske zgrade identične za sve varijante s obzirom na približno iste dimenzije opreme koja mora biti montirana u njoj. Otuda su razlike u koštanju građevinskih radova po varijantama zanemarljive i opadaju sa povećanjem instalacije jer se svetli otvor dovodnog provodnika povećava smanjujući pri tom količinu betona i armature ulaznog dela mašinskog bloka.

Tabela 5.13. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 404 mnm, Qins = 13 m³/s)

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskopi			Nasipi				Geosintetika i kamena obloga				Betonski radovi		Injektiranje			Ukupno po objektima (10 ³ EUR)
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tunelski iskop (m ³)	Poporno telo (m ³)	Filterski materijal (m ³)	Glavno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ³)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ³)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tunelski beton (m ³)	Armatura (t)	Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)	Nabavka, transport i poleganje cevi u rečnom koritu (m)	
(EUR)			5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00	
1	Skratnje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Koř.	24,665	16,444		5,263				12,126	12,126	658	1,861	196		13		156	
		Koř.	123	156		50				30	12	13	22	24		13		10	454
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Koř.	2,188	1,585										6,108		336	308		
		Koř.	11	15	0									733		353	15		1,127
3	Slapište preliva	Koř.	2,320	1,680									211	1,505		166			
		Koř.	12	16									3	181		174			385
4	Mašinska zgrada	Koř.												44	4,706	329	354		
		Koř.		0										1	565	346	18		929
5	Desni neprelivni deo brane	Koř.		444										1,389		42			
		Koř.		4										167		44			215
6	Levi neprelivni deo brane	Koř.												6,385		192	754		
		Koř.												766		201	38		1,005
7	Ukupno glavni građevinski radovi																		4,114
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																		617
9	UKUPNO																		4,731

Tabela 5.14. Koštanje glavnih građevinskih radova za branu i pribranske objekte (KNU = 404 mnm, Qins = 15 m³/s)

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskopi			Nasipi				Geosintetika i kamena obloga				Betonski radovi		Injektiranje			Ukupno po objektima (10 ³ EUR)
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tunelski iskop (m ³)	Poporno telo (m ³)	Filterski materijal (m ³)	Glavno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ³)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ³)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tunelski beton (m ³)	Armatura (t)	Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)	Nabavka, transport i poleganje cevi u rečnom koritu (m)	
(EUR)			5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00	
1	Skratnje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Koř.	24,665	16,444		5,263				12,126	12,126	658	1,861	196		13		156	
		Koř.	123	156		50				30	12	13	22	24		13		10	454
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Koř.	2,188	1,585										6,108		336	308		
		Koř.	11	15	0									733		353	15		1,127
3	Slapište preliva	Koř.	2,320	1,680									211	1,505		166			
		Koř.	12	16									3	181		174			385
4	Mašinska zgrada	Koř.												44	4,646	325	354		
		Koř.		0										1	557	341	18		917
5	Desni neprelivni deo brane	Koř.		444										1,389		42			
		Koř.		4										167		44			215
6	Levi neprelivni deo brane	Koř.												6,385		192	754		
		Koř.												766		201	38		1,005
7	Ukupno glavni građevinski radovi																		4,102
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																		615
9	UKUPNO																		4,718

5.3.3. Hidromehanička i mašinska oprema

U okviru narednih tabela pregledno se daju investicije potrebne za nabavku, transport i montažu hidromehaničke i mašinske opreme za 3 varijante instalisanog proticaja MHE S4.

Tabela 5.15. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 13 \text{ m}^3/\text{s}$

RB	Opis	kom	Jed cena	UKUPNO
MAŠINSKA ZGRADA				
1	Turbina	2	290.000,00	580.000,00
2	Generator	2	95.000,00	190.000,00
3	Turbinski regulator	2	25.000,00	50.000,00
4	Pomoćni sistemi	2	10.000,00	20.000,00
5	Mostna dizalica 15t	1	30.000,00	30.000,00
6	Čelični poklopci, penjalice i ograde	1	10.000,00	10.000,00
7	Set remontnih zatvarača na zahvatu	1	20.000,00	20.000,00
8	Set remontnih zatvarača u sifonu	1	10.000,00	10.000,00
9	Ulazna rešetka i čistilica	1	50.000,00	50.000,00
BRANA				
10	Set remontnih zatvarača	1	90.000,00	90.000,00
11	Segmentni zatvarač	2	160.000,00	320.000,00
12	Uljno-hidraulička instalacija	1	50.000,00	50.000,00
13	Ostala oprema na brani	1	10.000,00	10.000,00
Ukupno isporuka mašinske opreme				1.430.000,00
Nespecificirano			3%	42.900,00
Transport			5%	73.645,00
Montaža			15%	220.935,00
UKUPNO:				1.767.480,00

Tabela 5.16. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za $KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$

RB	Opis	kom	Jed cena	UKUPNO
MAŠINSKA ZGRADA				
1	Turbina	2	310.000,00	620.000,00
2	Generator	2	105.000,00	210.000,00
3	Turbinski regulator	2	25.000,00	50.000,00
4	Pomoćni sistemi	2	10.000,00	20.000,00
5	Mostna dizalica 15t	1	30.000,00	30.000,00
6	Čelični poklopci, penjalice i ograde	1	10.000,00	10.000,00
7	Set remontnih zatvarača na zahvatu	1	20.000,00	20.000,00
8	Set remontnih zatvarača u sifonu	1	10.000,00	10.000,00
9	Ulazna rešetka i čistilica	1	50.000,00	50.000,00
BRANA				
10	Set remontnih zatvarača	1	90.000,00	90.000,00
11	Segmentni zatvarač	2	160.000,00	320.000,00
12	Uljno-hidraulička instalacija	1	50.000,00	50.000,00
13	Ostala oprema na brani	1	10.000,00	10.000,00
Ukupno isporuka mašinske opreme				1.490.000,00
Nespecificirano			3%	44.700,00
Transport			5%	76.735,00
Montaža			15%	230.205,00
UKUPNO:				1.841.640,00

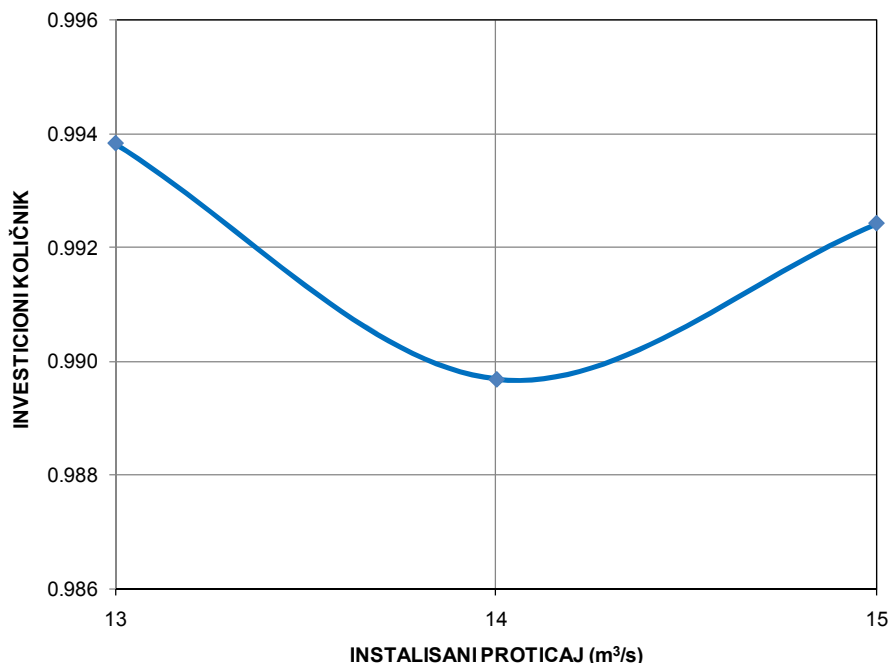
5.3.4. Zaključci i preporuke

Nakon proračuna koštanja građevinskih radova i opreme sračunata je i moguća godišnja proizvodnja električne energije kada su se stekli uslovi za dobijanje investicionog količnika za svaku od analiziranih varijanti instalisanog proticaja.

- Funkcija investicionog količnika iskazuje svoj minimum za instalisanost mašinske zgrade od 14 m³/s;
- S obzirom da ukupna vrednost investicija za sve 3 varijante instalisanosti MHE S4 prelazi 7.000.000 EUR maksimalna razlika između varijanti od 115.000 EUR na nivou je greške;
- Projektni tim preporučuje da se na nivou Idejnog projekta razrađuje varijanta sa mašinskom zgradom u kojoj će biti instalirana 2 vertikalna Kaplan agregata sa instalacijom od $Q_{ins} = 2 \times 7 = 14 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabela 5.17. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor instalisanog proticaja MHE „Studenica S4 – Gradina“

Instalisani proticaj	Glavni građevinski radovi	Eksproprijacija	Hidromehanička i mašinska oprema	Elektro oprema	Ukupne investicije	Snaga	Godišnja proizvodnja	Investicioni količnik
(m ³ /s)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(MW)	(GWh)	c€/kWh
13	4.731	0.058	1.767	0.725	7.281	1.84	7.33	0.994
14	4.724	0.058	1.805	0.750	7.337	1.98	7.41	0.990
15	4.718	0.058	1.842	0.780	7.397	2.11	7.45	0.992



Slika 5.4. Dijagram investicionog količnika za izbor instalisanog proticaja MHE „Studenica S4 – Gradina“

5.4. Izbor tipa brane

Imajući u vidu relativno debeo sloj deluvijuma i drobine u levom boku pregradnog profila 1-1, došlo se na ideju da se gravitacionoj betonskoj brani suprotstavi kombinovana brana kod koje bi levi neprelivni deo bio izgrađen u vidu nasipa sa centralnim glinenim jezgrom za obezbeđivanje vododrživosti. Pretpostavlja se da u obližnjem pozajmištu ima gline u dovoljnim količinama jer je u gornjem delu sliva projektovana visoka brana istog tipa – brana Preprana. Prelaskom sa gravitacione betonske brane u celosti na kombinovanu branu menjaju se projektni kriterijumi za dimenzionisanje prelivnog dela brane. I dok se prelivanje gravitacione betonske brane dozvoljava ista pojava je neprihvatljiva kod kombinovane brane jer bi ono moglo izazvati ozbiljna oštećenja pa čak i rušenja nasutih neprelivnih delova. Kako bi se ovo sprečilo prelivni deo brane se projektuje da ima veću propusnu moć. Merodavni računski proticaj za dimenzionisanje prelivnog praga je 10000 godišnja velika voda dok se slapište projektuje na 1000 godišnju veliku vodu.

Posledice projektovanja kombinovane brane su sledeće:

- veće dimenzije prelivnog praga i pripadajuće hidromehaničke opreme
- dublje i duže slapište
- veće koštanje građevinskih radova prelivnog dela brane
- veće investicije za nabavku, transport i montažu hidromehaničke opreme preliava
- manje koštanje levog neprelivnog dela brane
- zbog veće širine prelivnog dela brane optočni kanal se mora pomeriti više u levi bok što povećava koštanje zemljanih radova za poziciju skretanja reke

U narednoj tabeli uporedno se daju parametri gravitacione-betonske i kombinovane brane:

Tabela 5.18. Uporedni prikaz parametara gravitacione-betonske i kombinovane brane

Tip brane	KKP (mm)	B x H (m)	Z _{DNA,S} (mm)	L _S (m)
Gravitaciona betonska	396.40	5.80 x 7.60	382.00	23.20
kombinovana	394.90	6.90 x 9.10	381.20	30.50

5.4.1. Projektni kriterijumi i ograničenja

Uporedna analiza dva alternativna tipa brane urađena je za usvojenu kotu uspora akumulacije (404 mm) i usvojeni instalisani proticaj elektrane ($Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$)

- Projektni kriterijumi za dimenzionisanje prelivnog dela kod gravitacione betonske brane u celosti objašnjeni su u poglavlju 5.2.1
- Prelivni prag kombinovane brane je dimenzionisan da pri koti normalnog uspora akumulacije evakuiše 10000 godišnju veliku vodu ($695 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Slapište nizvodno od prelivnog praga kombinovane brane dimenzionisano je tako da se u njemu efikasno umiri 1000 godišnja velika voda ($446 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Montažni prostor hidroelektrane postavljen je iznad kote donje vode pri 1000 godišnjoj velikoj vodi ($ZDV_{1000} = 390.94 \text{ mm}$)

- Usvojena je koncepcija skretanja reke sa optočnim kanalom u levom boku pomoću kojeg se evakuše 10-o godišnja velika voda ($105 \text{ m}^3/\text{s}$) sa minimalnim freeboard-om.

Varijantna rešenja su razrađivana bez postojanja riblje staze za migraciju riba zbog male investicione vrednosti i malog uticaja na proces konačnog odlučivanja.

Najpovoljnija varijanta je ona za koju je odnos ukupnih investicija i godišnje proizvodnje električne energije minimalan. Drugim rečima za najpovoljniju varijantu funkcija investicionog količnika treba da iskaže svoj minimum.

5.4.2. Koštanje građevinskih radova

5.4.2.1. Prelivni deo brane

Prelivni deo brane se sastoji od prelivnog praga koji je razdelnim stubom podeljen na dva prelivna polja širine 6.90 m. Prelivna polja su opremljena segmentnim zatvaračima visine 9.10 m za održavanje nivoa vode u akumulaciji na koti normalnog uspora. Segmentni zatvarači su regulacioni i služe za kontrolisano ispuštanje vode u nizvodno rečno korito pri nailasku velikih voda. Kota normalnog uspora pretstavlja i kotu maksimalnog uspora akumulacije. Slobodan prostor (freeboard) između kote maksimalnog uspora i kote krune brane iznosi 2.00 m.

5.4.2.2. Levi nasuti neprelivne deo brane

Neprelivni deo brane u levom boku projektovan je u vidu nasipa sa centralnim glinenim jezgrom za obezbeđivanje vododrživosti pregradnog profila. Širina nasipa u kruni je 6.00 m a glinenog jezgra 3.00 m. Između gline i potpornog tela brane kojeg čini materijal iz iskopa projektovan je dvoslojni filter (peskoviti i šljunčani) kako bi se sprečila sufuzija. Nagib uzvodnog i nizvodnog lica nasipa je 1:1.80.

5.4.2.3. Investicije

Tabela 5.19. Koštanje glavnih građevinskih radova za kombinovani tip brane ($KNU = 404 \text{ mm}$, $Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$)

R.Br.	Objekti	Pozicije	Iskopi			Nasipi			Geosintetika i kamena obloga			Betonski radovi		Armature (t)	Injektiranje		Ukupno po objektima (10^3 EUR)		
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m^3)	Površinski iskop u steni (m^3)	Tunelski iskop (m^3)	Poprno telo (m^3)	Filterski materijal (m^3)	Čišeno jezgro (m^3)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m^3)	Geotekstil (m^2)	PVC folija (m^2)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena $d = 15 \text{ cm}$ (m^3)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m^3)		Hidrotehnički (armirani) beton (m^3)	Tunelski beton (m^3)		Injekciona zavesa u profilu brane (m^3)	Nabavka, transport i polaganje peski u rečnom koritu (m)
		(EUR)	5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00	
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Kol.	25,405	16,937		5,421				12,489	12,489	678	1,917	196		13		156	
		Koš.	127	161		51				31	12	13	23	24		13		10	466
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kol.	2,526	1,984										6,797		374	308		
		Koš.	13	19	0									816		393	15		1,255
3	Slapište preliva	Kol.	3,469	2,726									211	2,195		241			
		Koš.	17	26									3	263		253			563
4	Mašinska zgrada	Kol.											44	4,676		327	354		
		Koš.		0									1	561		344	18		923
5	Desni neprelivni deo brane	Kol.		444										1,389		42			
		Koš.		4										167		44			215
6	Levi neprelivni deo brane	Kol.				10,300	2,130	2,670						990	2,340		176	754	
		Koš.				98	47	33						12	281		184	38	
7	Ukupno glavni građevinski radovi																		4,113
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																		617
9	UKUPNO																		4,730

Koštanje građevinskih radova za gravitacionu betonsku branu u celosti (KNU = 404 mm, Qins = 14 m³/s) dato je u tabeli

5.4.3. Hidromehanička i mašinska oprema

Koštanje nabavke transporta i montaže hidromehaničke i mašinske opreme za kombinovani tip brane prikazano je u okviru naredne tabele.

Tabela 5.20. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme za KNU = 404 mm, Qins = 14 m³/s – kombinovana brana

RB	Opis	kom	Jeđ cena	UKUPNO
MAŠINSKA ZGRADA				
1	Turbina	2	300.000,00	600.000,00
2	Generator	2	100.000,00	200.000,00
3	Turbinski regulator	2	25.000,00	50.000,00
4	Pomoćni sistemi	2	10.000,00	20.000,00
5	Masna dizalica 10t	1	30.000,00	30.000,00
6	Čelićni poklopci, penja lice i ograde	1	10.000,00	10.000,00
7	Set remantnih zatvaraća na zahvatu	1	20.000,00	20.000,00
8	Set remantnih zatvaraća u sifanu	1	10.000,00	10.000,00
9	Ulazna rešetka i čistilica	1	50.000,00	50.000,00
BRANA				
10	Set remantnih zatvaraća	1	105.000,00	105.000,00
11	Segmentni zatvarać	2	220.000,00	440.000,00
12	Uljna -hidraulićka instalacija	1	50.000,00	50.000,00
13	Ostala oprema na brani	1	10.000,00	10.000,00
Ukupno isporuka mašinske opreme				1.595.000,00
	Nespecificirano		3%	47.850,00
	Transport		5%	82.142,50
	Montaža		15%	246.427,50
UKUPNO:				1.971.420,00

5.4.4. Zaključci i preporuke

Imajući u vidu iste energetske efekte analiziranih varijanti, uporedna analiza alternativnih tipova brane svodi se na pronalaženje jeftinijeg tehnićkog rešenja.

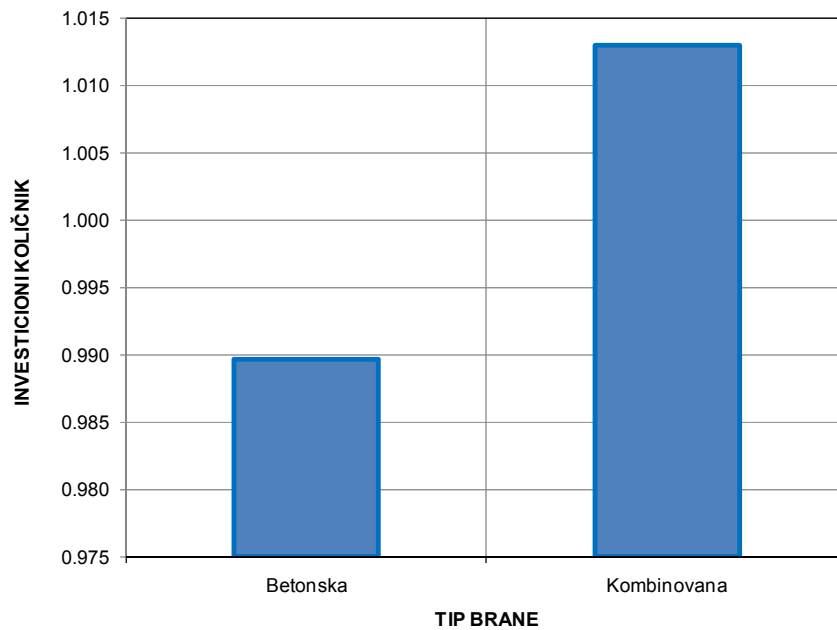
- Investicioni kolićnik za gravitacionu-betonsku branu manji je nego za kombinovanu branu što ukazuje da je ovaj tip brane povoljniji;

Tabela 5.21. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor tipa brane

Tip brane	Glavni građevinski radovi	Eksproprijacija	Hidromehanićka i mašinska oprema	Elektro oprema	Ukupne investicije	Snaga	Godišnja proizvodnja	Investicioni kolićnik
(m ³ /s)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(MW)	(kWh)	c€/kWh
Betonska	4.724	0.058	1.805	0.750	7.337	1.98	7.41	0.990
Kombinovana	4.730	0.058	1.971	0.750	7.510	1.98	7.41	1.013

- Koštanje glavnih građevinskih radova za obe varijante približno je slićno
- Razlika u ukupnim investicijama potiće od hidromehanićke opreme koja je znaćajno skuplja za kombinovani tip brane usled većih dimenzija segmentnih ustava u sklopu prelivnog dela brane;

- Kombinovani tip brane iziskuje novu poziciju radova – nasipi, koja u organizacionom i izvođačkom smislu predstavlja izazov s obzirom na mali front radova (dužina u krunu oko 50 m) i uzak klisurasti profil brane;
- Projektni tim preporučuje da se na nivou Idejnog projekta razrađuje gravitaciona betonska brana u celosti;



Slika 5.5. Uporedni prikaz investicionih količnika varijantnih rešenja tipa brane

5.5. Izbor tipa preлива

Površinskom prelivu, koji je figurisao kao tip preлива u svim dosadašnjim optimizacijama, suprotstavljen je dubinski (potopljeni preliv) koji ima nekoliko prednosti ali i nedostataka u odnosu na površinski:

- manja širina prelivnih polja
- manje dimenzije hidromehaničke opreme preлива pa time i investicija za nabavku, transport i montažu iste
- dublje i duže slapište
- manja propusna moć pri proticajima koji su veći od merodavnog računskog

Tabela 5.22. Uporedni prikaz parametara prelivnog dela brane za površinski i dubinski preliv

Tip preлива	KKP (mm)	B x H (m)	Z _{DNA,S} (mm)	L _S (m)
Površinski preliv	396.40	5.80 x 7.60	382.00	23.20
Dubinski preliv	388.00	3.50 x 4.80	379.90	30.30

5.5.1. Projektni kriterijumi i ograničenja

Uporedna analiza dva alternativna tipa preлива urađena je za usvojenu kotu uspora akumulacije (404 mm), usvojeni instalisani proticaj elektrane ($Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$) i usvojeni tip brane – gravitaciona betonska brana u celosti.

- Projektni kriterijumi za dimenzionisanje prelivnog dela brane sa dubinskim prelivom isti su kao i u varijanti sa površinskim prelivom (objašnjeno u poglavlju 5.2.1)
- Montažni prostor hidroelektrane postavljen je iznad kote donje vode pri 1000 godišnjoj velikoj vodi ($ZDV_{1000} = 390.94 \text{ mm}$)
- Usvojena je koncepcija skretanja reke sa optočnim tunelom u desnom boku pomoću kojeg se evakuše 10-o godišnja velika voda ($105 \text{ m}^3/\text{s}$) sa minimalnim freeboard-om.

Varijantna rešenja su razrađivana bez postojanja riblje staze za migraciju riba zbog male investicione vrednosti i malog uticaja na proces konačnog odlučivanja.

Najpovoljnija varijanta je ona za koju je odnos ukupnih investicija i godišnje proizvodnje električne energije minimalan. Drugim rečima za najpovoljniju varijantu funkcija investicionog količnika treba da iskaže svoj minimum.

5.5.2. Koštanje građevinskih radova

Nakon uporednih analiza koje su vršene za varijantu skretanja reke sa optočnim kanalom u levom boku ovaj optimizacioni postupak urađen je za koncepciju skretanja reke sa optočnim tunelom u desnom boku. Izgradnja optočnog kanala u levom boku zahteva uklanjanje preko 40.000 m^3 zemlje (deluvijum, drobina, ispucala i degradirana stenska masa) i njeno odlaganje na privremenu deponiju. Prvi put se ukazala potreba da se sa organizacionog aspekta sagleda alternativna mogućnost izgradnje optočnog tunela u desnom boku čije izvođenje za posledicu ima:

- manju količinu iskopanog materijala;

- manju količinu armirano-betonskih radova neprelivne lamele u levom boku;
- jednostavniju organizaciju gradilišta bez fazne izgradnje

Ako se pogleda koštanje leve neprelivne lamele betonske brane u celosti za varijantu sa optočnim kanalom zapaža se da ono prelazi 1.000.000 EUR. Razlog leži u tome što je, prvobitno iskopani kanal širine 10 m u dnu, neophodno popuniti armiranim betonom kako bi se pregradni profil zatvorio. Optočni tunel omogućava da se zemljani radovi u levom boku smanje kao i betonski radovi na levoj neprelivnoj lameli. Drugim rečima tokom ove analize težilo se postizanju minimalnih investicija na svim mogućim frontovima: skretanje reke, zemljani radovi u levom boku, betonski i armirački radovi.

Tabela 5.23. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa površinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku (KNU = 404 mm, Qins = 14 m³/s)

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskopi			Nasipi			Geosintetika i kamena obloga				Betonski radovi		Injektiranje		Ukupno po objektima (10 ³ EUR)		
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tunelski iskop (m ³)	Poluporno telo (m ³)	Filterski materijal (m ³)	Gljenceno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ³)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ³)	Hydrolelnički (armirani) beton (m ³)	Tunelski beton (m ³)	Armatura (t)		Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)	Nabavka, transport i polaganje cevi u rečnom koritu (m)
(EUR)			5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00	
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Kol.		740	2,615	4,287				1,552	1,552	93	279	221	259	33			
		Koш.		7	222	41				4	2	2	3	26	48	35			
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kol.	2,188	1,585										6,108		336	308		
		Koш.	11	15	0										733	353	15		
3	Slapište preliva	Kol.	2,320	1,680									211	1,505		166			
		Koш.	12	16									3	181		174			
4	Mašinska zgrada	Kol.	3,127	2,558										44	4,676	327	354		
		Koш.	16	24									1	561	344	18			
5	Desni neprelivni deo brane	Kol.		444										1,389		42			
		Koш.		4										167		44			
6	Levi neprelivni deo brane	Kol.	3,712	3,037										5,537		166	794		
		Koш.	19	29										664		174	40		
7	Ukupno glavni građevinski radovi																		4,005
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																		601
9	UKUPNO																		4,606

Tabela 5.24. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa dubinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku (KNU = 404 mmm, Qins = 14 m³/s)

R.Br.	Objekti	Pozicije	Iskopi			Nasipi				Geosintetika i kamena obloga			Betonski radovi		Injektiranje		Ukupno po objektima (10 ³ EUR)			
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tunelski iskop (m ³)	Potpomo telo (m ³)	Filterni materijal (m ³)	Šifreno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ³)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ³)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tunelski beton (m ³)	Armatura (t)		Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)	Nabavka, transport i polaganje cevi u rečnom koritu (m)	
(EUR)			5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	65.00		
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Kol.		740	2,615	4,287				1,552	1,552	93	279	221	259	33				
		Koš.		7	222	41				4	2	2	3	26	48	35				390
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kol.	1,843	1,570										4,891		269	216			
		Koš.	9	15	0									587		282	11			904
3	Slapište preliva	Kol.	2,417	2,059									211	1,862		205				
		Koš.	12	20									3	223		215				473
4	Mašinska zgrada	Kol.	3,127	2,558									44	4,676		327	354			
		Koš.	16	24									1	561		344	18			963
5	Desni neprelivni deo brane	Kol.		444										2,225		67				
		Koš.		4										267		70				341
6	Levi neprelivni deo brane	Kol.	3,712	3,037										6,065		182	841			
		Koš.	19	29										728		191	42			1,008
7	Ukupno glavni građevinski radovi																			4,079
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																			612
9	UKUPNO																			4,691

Sužavanjem prelivnog dela brane, stvara se prostor koji mora biti popunjen betonom. Taj beton pripada levoj neprelivnoj lameli brane, usled čega se njeno koštanje povećava. Porast betonskih i armiračkih radova na neprelivnim lamela brane gotovo da anuliranja značajno smanjenje investicija za hidromehaničku opremu dubinskog preliva.

Prve analize jednofaznog skretanja reke sa optočnim tunelom u desnom boku pokazale su da ovakva koncepcija ima puno prednosti imajući u vidu topografske, geološke i hidrološke karakteristike pregradnog profila brane. Naknadno je utvrđeno da se na pregradnom profilu 1, najnižvodnija deonica tunela mora izvoditi u padinskim stenskim blokovima i drobini što je nepovoljno pa se odmah pristupilo analizi mogućnosti dislociranja pregradnog profila brane kako bi se optočni tunel najvećim delom svoje trase smestio u dijabaz stensku formaciju.

5.5.3. Hidromehanička i mašinska oprema

Uporedni prikaz dimenzija, težina i koštanja 2 varijantna tipa preliva dat je u okviru naredne tabele.

Tabela 5.25. Uporedni prikaz investicija potrebnih za nabavku, transport i montažu hidromehaničke opreme za 2 tipa preliva

uporedna analiza segmentnih zatvarača	Površinski	Potpuljeni
Visina svetlog otvara	7,60	4,80
Širina svetlog otvara	5,80	3,50
Visina vadenog stuba	8,00	16,00
Težina zatvarača	18,5	13t
Cena zvarača	83.500,00 €	58.500,00 €
Servomotori	50.000,00 €	40.000,00 €
UH instalacija	50.000,00 €	50.000,00 €
UKUPNO 2 kom	317.000,00 €	247.000,00 €

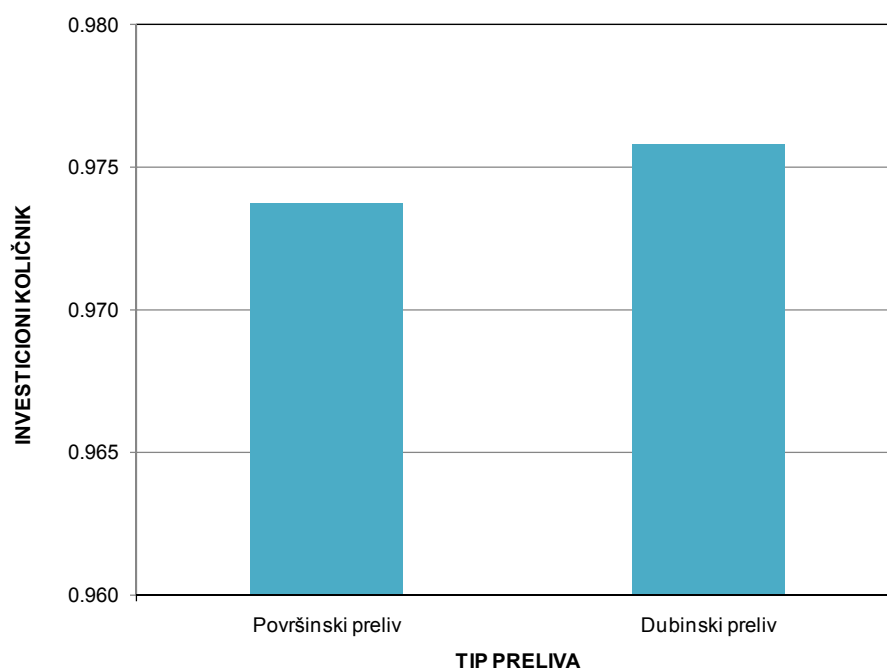
5.5.4. Zaključci i preporuke

Nakon uporedne analize mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Investicioni količnik za varijantu sa površinskim prelivom manji je nego za varijantu sa dubinskim prelivom što ukazuje da je ovaj tip preлива povoljniji;
- Povećanje koštanja građevinskih radova (leva neprelivna lamela) anulira smanjenje investicija potrebnih za nabavku hidromehaničke opreme preлива
- Posmatrano u globalu razlike su toliko male da se može reći da su na nivou greške;
- Projektni tim preporučuje površinski tip preлива samo iz razloga njegovog većeg kapaciteta u slučaju nailaska velikih voda koje su veće od merodavne računске. Imajući u vidu trend povećanja merodavnih velikih voda usled pojave nekoliko poplavnih talasa u prošloj deceniji XXI veka na vodotocima Zapadne Srbije, ovakva odluka ima svoje opravdanje.

Tabela 5.26. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor tipa preлива

Tip preлива	Glavni građevinski radovi	Eksproprijacija	Hidromehanička i mašinska oprema	Elektro oprema	Ukupne investicije	Snaga	Godišnja proizvodnja	Investicioni količnik
(mm)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(MW)	(GWh)	c€/kWh
Površinski preliv	4.606	0.058	1.805	0.750	7.218	1.98	7.41	0.974
Dubinski preliv	4.691	0.058	1.735	0.750	7.234	1.98	7.41	0.976



Slika 5.6. Uporedni prikaz investicionih količnika varijantnih rešenja tipa preлива



5.6. Izbor pregradnog profila i koncepcije skretanja reke

Optočni tunel koji je prvi put razmatran kao objekat za skretanje reke u postupku izbora tipa preлива (poglavlje 5.5) imao je niz nepovoljnosti u izvođačkom smislu a pre svega sa stanovišta probijanja nizvodnih 50 m duž kojih trasa prolazi kroz padinske stenske blokove i drobinu. S tim u vezi tehničko rešenje sa optočnim tunelom za pregradni profil 1 treba shvatiti uslovno jer je izvodljivost takvog objekta veoma zahtevna tako da je za potrebe ove analize pregradni profil 1 razmatran sa optočnim kanalom u levom boku. Investitor je nakon niza sastanaka dao instrukciju Projektantu da uloži dodatne napore kako bi se pronašao pregradni profil povoljan sa stanovišta izvođenja tunela s obzirom na njegova pozitivna iskustva sa objekata koji su izvedeni i u fazi su višegodišnje eksploatacije.

Februara meseca 2021. god. ekipa inženjera se još jedanput uputila ka Studenici kako bi pronašla alternativni uzvodni profil povoljan sa stanovišta realizacije optočnog tunela čija trasa bi svojim najvećim delom trebala da prolazi kroz spilit-dijabaze duž kojih je moguće probijanje tunela bez izvođenja betonske obloge i obimnih radova na zaštiti iskopa.

Pregradni profil lociran 37 m uzvodno od inicijalnog profila 1 označen je kao povoljan sa stanovišta izvođenja tunela tako da se pristupilo izradi tehničkog rešenja brane i objekata u sklopu brane kako bi se isti obradio u tehno-ekonomskom smislu kao i sva prethodna varijantna tehnička rešenja. Osnovna karakteristika ovog novog pregradnog profila 2 je oko 10 m šire rečno korito.

Nakon što su završene projektne radnje (razrada tehničkog rešenja, investicije, proizvodnja) za novi pregradni profil 2 rezultati analiza prezentovani su Revizionoj komisiji koja je nakon uvida u obrađenu dokumentaciju izrazila želju da obiđe teren i lično se uveri u topografske, morfološke i geološke karakteristike varijantnih pregradnih profila brane. Dana 12.03.2021. predstavnici Investitora, Projektanta i Revidenta obišli su lokaciju budućeg hidroenergetskog objekta na reci Studenici kada je ustanovljeno da je poželjno pregradni profil 2 pomeriti oko 15 m nizvodno kako bi se izbegla rasedna zona u desnom boku brane. Time je praktično definisan novi pregradni profil brane 3 kome je posvećena podjednaka pažnja kao i svim do tada definisanim profilima.

5.6.1. Projektni kriterijumi i ograničenja

Usporedna analiza 3 alternativna pregradna profila brane urađena je za usvojenu kotu uspora akumulacije (404 mnm), instalisani proticaj elektrane ($Q_{ins} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$) i usvojeni tip brane – gravitaciona betonska brana u celosti. Skretanje reke je rešeno jednofazno sa optočnim tunelom u desnom boku, uzvodnim i nizvodnim zagatom.

- Projektni kriterijumi za dimenzionisanje prelivnog dela brane sa površinskim prelivom objašnjeni su u poglavlju 5.2.1
- Montažni prostor hidroelektrane postavljen je iznad kote donje vode pri 1000 godišnjoj velikoj vodi ($ZDV_{1000} = 390.94 \text{ mnm}$)
- Usvojena je koncepcija skretanja reke sa optočnim tunelom u desnom boku pomoću kojeg se evakuše 10-o godišnja velika voda ($105 \text{ m}^3/\text{s}$) sa minimalnim freeboard-om.

Varijantna rešenja su razrađivana bez postojanja riblje staze za migraciju riba zbog male investicione vrednosti i malog uticaja na proces konačnog odlučivanja.

Najpovoljnija varijanta je ona za koju je odnos ukupnih investicija i godišnje proizvodnje električne energije minimalan. Drugim rečima za najpovoljniju varijantu funkcija investicionog količnika treba da iskaže svoj minimum.

5.6.2. Koštanje građevinskih radova

Koštanje glavnih građevinskih radova za pregradni profil 1 dato je u okviru tabele 5.7. u okviru poglavlja 5.2. Izbor kote normalnog uspora akumulacije. Kao što je već rečeno odlika pregradnog profila 2, koji je lociran 37 m uzvodno je oko 10 m šire rečno korito usled čega je desni neprelivni deo brane skuplji za oko 350.000 EUR. Pomeranje profila 2 za 15 m nizvodno (profil 3) ponovo se ušlo u zonu rečnog korita koje je 10 m uže (kao i kod profila 1) tako da je došlo do pojeftinjenja desne neprelivne lamele za preko 150.000 EUR u odnosu na pregradni profil 2. Kod profila 3 je dužina trase optočnog tunela smanjena za oko 10 m tako da je došlo i do pojeftinjenja koštanja ovog objekta. U nastavku se prezentuju koštanja glavnih građevinskih radova za pregradni profil 2 i 3.

Tabela 5.27. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa površinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku (KNU = 404 mm, Qins = 14 m³/s) – pregradni profil 2

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskopi			Nasipi				Geosintetika i kamena obloga				Betonski radovi			Ostali radovi				Ukupno po objektima (10 ³ EUR)
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tunelski iskop (m ³)	Poporno teo (m ³)	Fillerski materijal (m ³)	Glineno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ²)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ²)	Hydrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tunelski beton (m ³)	Armatura (t)	Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)	Ankeri (L=3 m)	Torkret (d=5 cm)	Armaturna mreža	
(EUR)			5,00	9,50	85,00	9,50	22,00	12,20	6,00	2,50	1,00	19,00	12,00	120,00	185,00	1050,00	50,00	34,00	14,00	5,00	
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagat)	Kol.		2.181	2.808	4.287				1.500	1.500	103	308	221	18		40	393	393		
		Koš.		21	239	41				4	1	2	4	26	0	19	0	1	5	2	365
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kol.	2.485	1.799										6.108	336	308					
		Koš.	12	17	0										733	353	15				1.131
3	Slapište preliva	Kol.	2.790	2.905								211	1.505		166						
		Koš.	14	28								3	181		174						399
4	Mašinska zgrada	Kol.	3.894	3.186								44	4.676		327	354					
		Koš.	19	30								1	561		344	18					973
5	Desni neprelivni deo brane	Kol.		1.268										3.654	110						
		Koš.		12											438	115					566
6	Levi neprelivni deo brane	Kol.	3.167	2.592										4.723	142	738					
		Koš.	16	25											567	149	37				793
7	Ukupno glavni građevinski radovi																				4.225
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																				634
9	UKUPNO																				4.859

Tabela 5.28. Koštanje glavnih građevinskih radova za gravitacionu branu sa površinskim prelivom i optočnim tunelom u desnom boku (KNU = 404 mm, Q_{ins} = 14 m³/s) – pregradni profil 3

R.Br.	Objekti	Pozicije	Iskopi				Nasipi				Geosintetika i kamena obloga				Betonski radovi		Ostali radovi					Ukupno po objektima (10 ³ EUR)
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tuneleski iskop (m ³)	Poporno telo (m ³)	Fliterski materijal (m ³)	Glavno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ³)	Kamena obloga od krupnog drobljenog kamena (m ³)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tuneleski beton (m ³)	Armatura (t)	Ijektivna zavesa u profilu brane (m ²)	Ankeri (L=3 m)	Traktet (d=5 cm)	Armaturna mreža		
		(EUR)	5.00	9.50	85.00	9.50	22.00	12.20	6.00	2.50	1.00	19.00	12.00	120.00	185.00	1050.00	50.00	34.00	14.00	5.00		
1	Skretanje reke (optočni kanal, uzv. i nizv. zagađ)	Kol.	2,181	2,484	4,287				1,500	1,500	103	308	221	221	18		40	393	393			
		Koš.	21	211	41				4	1	2	4	26	0	19	0	1	5	2	337		
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kol.	2,485	1,799										6,108	336	308						
		Koš.	12	17	0									733	353	15				1,131		
3	Slapište preliva	Kol.	2,790	2,905								211	1,505		166							
		Koš.	14	28								3	181		174					399		
4	Mašinska zgrada	Kol.	3,894	3,186								44	4,676		327	354						
		Koš.	19	30								1	561		344	18				973		
5	Desni neprelivni deo brane	Kol.		1,268										2,582	77							
		Koš.		12										310	81					403		
6	Levi neprelivni deo brane	Kol.	3,167	2,592										4,723	142	738						
		Koš.	16	25										567	149	37				793		
7	Ukupno glavni građevinski radovi																			4,035		
8	Nepredviđeni radovi (15% od 7)																			605		
9	UKUPNO																			4,641		

5.6.3. Hidromehanička i mašinska oprema

Hidromehanička i mašinska oprema identična je za sva tri analizirana pregradna profila. Specifikacija hidromehaničke i mašinske opreme data je u okviru tabele 5.10.

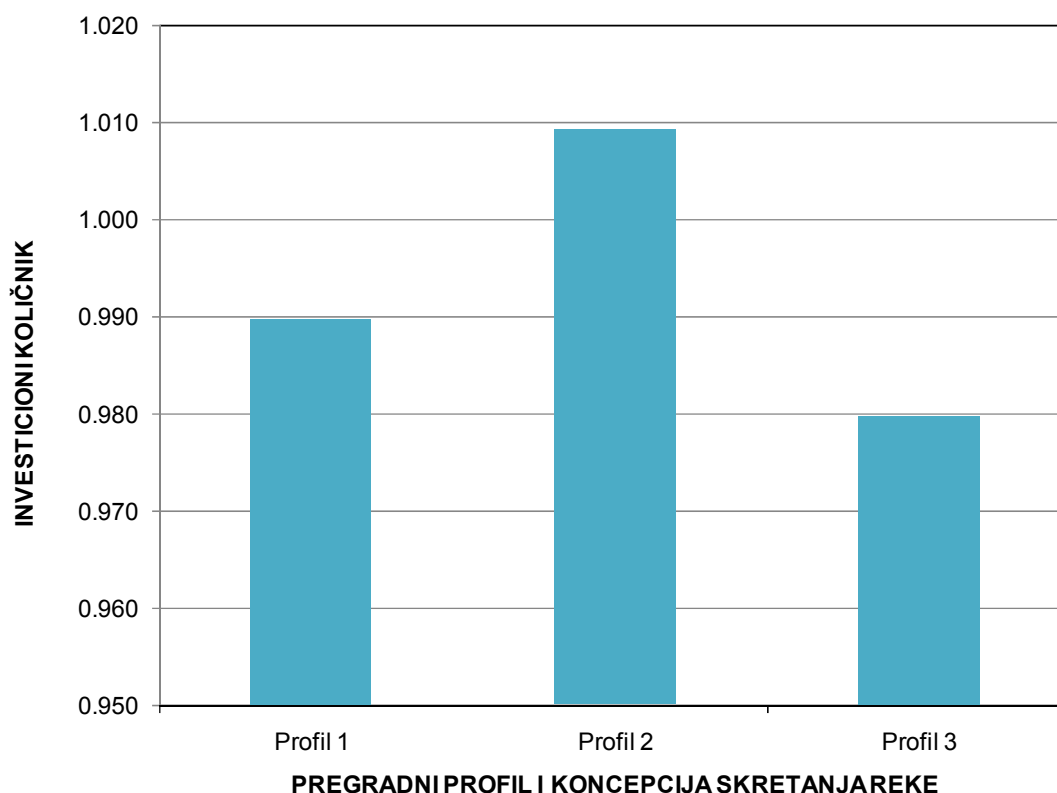
5.6.4. Zaključci i preporuke

Nakon uporedne analize mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Investicioni količnik za pregradni profil 3 najmanji je u odnosu na preostala dva analizirana pregradna profila;
- Pregradni profil 1 je nepovoljan sa stanovišta realizacije optočnog tunela. Usled toga problematika odlaganja preko 40.000 m³ materijala kojeg je potrebno ukloniti kako bi se izveo optočni kanal u levom boku, ima veliki značaj.
- Realizacija jednofaznog skretanja reke pomoću optočnog tunela pored manjeg koštanja ima i organizacione prednosti u odnosu na varijantu sa optočnim kanalom kod koga se predviđa fazna izgradnja. Takođe lakše odlaganje oko 10 puta manje zapremine iskopanog materijala favorizuje optočni tunel kao objekat koji je optimalan za evakuaciju velikih voda tokom izgradnje;
- Zbog svega navedenog projektni tim preporučuje pregradni profil 3 za izgradnju brane i MHE sa optočnim tunelom u desnom boku za evakuaciju vode tokom izgradnje;

Tabela 5.29. Tehno-ekonomski pokazatelji varijanti za izbor pregradnog profila brane i MHE

Pregradni profil	Glavni građevinski radovi	Eksproprijacija	Hidromehanička i mašinska oprema	Elektro oprema	Ukupne investicije	Snaga	Godišnja proizvodnja	Investicioni količnik
(mm)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(MW)	(GWh)	€/kWh
Profil 1	4.724	0.058	1.805	0.750	7.337	1.98	7.41	0.990
Profil 2	4.859	0.058	1.805	0.750	7.471	1.97	7.40	1.009
Profil 3	4.641	0.058	1.805	0.750	7.253	1.97	7.40	0.980



Slika 5.7. Uporedni prikaz investicionih količnika varijantnih pregradnih profila brane i MHE

5.7. Finalni zaključci optimizacionih analiza

Krajem marta 2021. god. održan je sastanak u prostorijama Građevinskog fakulteta u Beogradu na kom su učešće uzeli predstavnici Investitora, Projektanta i Revidenta sa osnovnim ciljem da se definišu svi parametri hidroenergetskog objekta MHE S4 na reci Studenici. Revizionarna komisija je tokom marta meseca imala uvid u radne verzije Idejnog rešenja koje je po svom obimu napredovalo sa razradom varijantnih tehničkih rešenja brane i objekata u sklopu brane. U nastavku se daju glavni zaključci i preporuke sa ovog sastanka.

1. Kao optimalna usvaja se kota normalnog uspora akumulacije 404 mm
2. Branu projektovati kao gravitacionu betonsku u celosti sa centralnim prelivnim delom, levim i desnim neprelivnim delom i pribranskom mašinskom zgradom lociranom u levom boku



3. Za evakuaciju velikih voda predvideti 2 površinska prelivna polja opremljena sa neophodnom hidromehaničkom opremom za regulaciju proticaja
4. Slapište prelivnog dela brane spustiti za 0,50 m u odnosu na kotu koja je data u varijantnim tehničkim rešenjima čime se obezbeđuje veća hidraulička i konstruktivna stabilnost objekta
5. U pribranskoj mašinskoj zgradi planirati ugradnju 2 vertikalna Kaplan agregata ukupne instalisanosti $Q_{INS} = 2 \times 7,50 = 15,00 \text{ m}^3/\text{s}$
6. Predvideti temeljni ispust za urgentno pražnjenje akumulacije ako se tokom eksploatacije za tim ukaže potreba.
7. Pregradni profil 3 je najoptimalniji kako sa tehno-ekonomskog tako i sa organizacionog aspekta u fazi izgradnje objekta te se kao takav preporučuje za razradu na nivou Idejnog projekta
8. Imajući u vidu topografske i geološke karakteristike uže zone rečnog korita reke Studenice od interesa, koncepcija jednofaznog skretanja reke pomoću optočnog tunela u desnom boku koji bi bio probijen najvećim delom u dijabazima, čini se kao optimalno tehničko rešenje. U okviru Idejnog projekta ovom rešenju se može eventualno suprotstaviti rešenje skretanja reke pomoću armirano-betonske optočne galerije u levom boku čiji bi jedan deo bio inkorporiran u levi neprelivni deo brane

Dakle nakon uključivanja revidentskog tima u razradu tehničkog rešenja hidroenergetskog objekta MHE S4 isti je dobio svoje parametre:

Tabela 5.30. Osnovni parametri brane i MHE S4

Kota normalnog uspora	404 mnm
Tip brane	Gravitaciona betonska u celosti
Instalisani proticaj hidroelektrane	15 m ³ /s
Tip preлива	Površinski opremljen zatvaračima za regulaciju proticaja
Pregradni profil	3
Evakuacija vode tokom izgradnje	Jednofazno pomoću optočnog tunela u desnom boku

Napomena:

S obzirom da je Projektant inicijalno predložio instalisani proticaj MHE „Studenica S4 – Gradina“ od 14 m³/s i da su sve optimizacije sprovedene sa ovakvim predlogom u okviru poglavlja 5 ostaće prikazane investicije za ovu instalisanost. Nakon finalizacije kompletnog optimizacionog postupka, usaglašeni su stavovi Investitora, Revidenta i Projektanta kada je usvojen instalisani proticaj elektrane od 15 m³/s. S obzirom na takav tok projektnih radnji u okviru narednih poglavlja 6,7,8,9 i 10 biće dat opis, investicije i energetska proizvodnja za usvojeno tehničko rešenje MHE S4 sa instalisanim proticajem hidroelektrane od 15 m³/s.

Investitor je krajem marta 2021. godine dao instrukciju Projektantu za proširenjem mašinske zgrade kako bi se u okviru iste smestili: temeljni ispust, pomoćna prostorija i objekat mesta priključka kojem će pristup imati Elektroprivreda Srbije. Pomenuto proširenje uticalo je na poskupljenje koštanja mašinske zgrade.



6. OPIS USVOJENOG TEHNIČKOG REŠENJA

6.1. Tehničke karakteristike MHE „Gradina“ na reci Studenici

HIDROLOGIJA

Reka	Studenica
Pregradni profil	S4
Lokacija	6527 m uzvodno od ušća Studenice u Ibar
Srednji višegodišnji proticaj Q_{SR} (m ³ /s)	6,96
minimalni srednji mesečni proticaj (m ³ /s)	1,66
10-o godišnja velika voda (m ³ /s)	105,00
100 godišnja velika voda (m ³ /s)	244,00
1000 godišnja velika voda (m ³ /s)	446,00

AKUMULACIJA

Kota normalnog uspora KNU (mnm)	404,00
Kota maksimalnog uspora KMU (mnm)	404,00
Dužina akumulacije pri Q_{SR} (m)	1400

BRANA

Tip brane	gravitaciona betonska
Kota krune brane KKB (mnm)	406,00
Najniža kota fundiranja (mnm)	378,10
Građevinska visina brane (m)	27,90
Dužina brane u kruni (m)	99,30
Kota rečnog dna u zoni brane (mnm)	387,50
Kota rečnog dna u prokopanom stanju (mnm)	385,50
Dužina prokopavanja (m)	≈ 50,00 nizvodno od slapišta

OBJEKTI ZA EVAKUACIJU VODE TOKOM IZGRADNJE

Prečnik optočnog tunela (m)	5,00
Dužina optočnog tunela (m)	120,00 m
Kota dna ulazne građevine (mnm)	389,00
Kota dna izlazne građevine (mnm)	386,00
Podužni pad tunela (%)	2,60
Kapacitet optočnog tunela (m ³ /s)	105,00
Kota krune uzvodne predbrane (mnm)	396,00
Visina uzvodne predbrane (m)	≈ 7,00
Širina uzvodne predbrane u kruni (m)	3,00



Kota krune nizvodne predbrane (mnm)	389,00
Širina nizvodne predbrane u kruni (m)	3,00
Visina nizvodne predbrane (m)	≈ 2,50

OBJEKTI ZA EVAKUACIJU VODE TOKOM EKSPLOATACIJE

Tip preliva	Površinski kontrolisan ustavama
Broj prelivnih polja	2
Dimenzije jednog prelivnog polja B x H (m)	5,80 x 7,60
Dimenzije segmentnog zatvarača B x H (m)	5,80 x 7,60
Kota krune prelivnog praga (mnm)	396,40
Kapacitet prelivnih polja pri KMU (m ³ /s)	446,00
Tip slapišta	USBR III
Kota dna slapišta (mnm)	381,50
Kota bočnih zidova slapišta (mnm)	392,00
Proticaj koji se efikasno umiruje u slapištu (m ³ /s)	244,00
Dužina slapišta (m)	23,20
Širina slapišta (m)	13,60
Visina uzvodnih zuba (m)	1,40
Visina srednjih zuba (m)	1,40
Visina nizvodnih zuba (m)	1,50

MAŠINSKA ZGRADA

Tip mašinske zgrade	pribranska
Unutrašnje dimenzije B x L (m)	25,10 x 10,00
Broj proizvodnih agregata	2
Tip turbine	Kaplan (vertikalni)
Minimalni protok turbine $Q_{1T,min}$ (m ³ /s)	1,875
Nominalni protok turbine Q_{1T} (m ³ /s)	7,50
Instalisani protok elektrane Q_{HE} (m ³ /s)	15,00
Kota donje vode pri Q_{1T} (mnm)	386,39
Kota donje vode pri Q_{HE} (mnm)	386,67
Nominalni bruto pad (m)	17,33
Nominalni neto pad (m)	16,99
Nominalna snaga turbine na vratilu (kW)	1.130
Godišnja proizvodnja (kWh)	7.453.742
Prečnik radnog kola (mm)	1.100
Kota osovine radnog kola (mnm)	385,80
Generatorska kota (mnm)	388,50
Kota montažnog prostora (mnm)	392,00



Kota kranske staze (mm)	398,35
Nosivost kрана (t)	10
Prečnik cevovoda temeljnog ispusta (mm)	500
Dužina cevovoda temeljnog ispusta (m)	22,00
Kota dna ulazne građevine (mm)	393,50
Dimenzije rešetke na ulazu B x H (m)	3,00 x 2,70
Tip regulacionog zatvarača	igličasti

RIBLJA STAZA

Tip riblje staze	sa komorama i potopljenim otvorima
Broj komora	90
Dužina riblje staze (m)	49,60
Širina riblje staze (m)	4,40
Unutrašnje dimenzije komore B x L (m)	1,20 x 1,50
Dimenzije potopljenih otvora B x H (cm)	25 x 25
Minimalna dubina vode u komori (m)	0,60
Maksimalni kapacitet riblje staze (l/s)	92,00

6.2. Lokacija objekta

Nakon 46 km od Kraljeva, krećući se magistralnim putem prvog B reda 22 (Ibarska magistrala), stiže se do naseljenog mesta Ušće, gde se skreće na regionalni put prvog B reda 30 kojim je moguće doći nadomak pregradnog mesta buduće brane i MHE S4 na reci Studenici pošto se pređe 6,20 km ovog puta. Od pomenutog regionalnog puta do pregradnog profila vodi makadamski put dužine oko 670 m kojim se sa nadmorske visine 515 m spušta na 399 m što je oko 12 m više od dna korita reke Studenice u profilu brane.



Slika 6.1. Lokacija MHE „Studenica S4 – Gradina“

6.3. Akumulacija

Izgradnjom brane na profilu koji je lociran 6527 m uzvodno od ušća Studenice u Ibar formiraće se akumulacija čija će se kota normalnog uspora tokom eksploatacije održavati na koti 404 mnm. Dužina akumulacije pri srednjem višegodišnjem proticaju od $6,96 \text{ m}^3/\text{s}$ iznosi 1400 m. Zapremina akumulacionog prostora pri koti normalnog uspora iznosi 467.400 m^3 .

6.4. Brana

Na pregradnom profilu S4 predviđena je izgradnja gravitacione betonske brane u celosti maksimalne građevinske visine oko 28 m. Na nivou Idejnog rešenja može se govoriti o okvirnoj vrednosti visine objekta s obzirom na prognoznju geološku interpretaciju zone od interesa bez značajnijeg obima istražnih radova čije je izvođenje planirano za potrebe izrade sledeće faze projekta. U sklopu buduće brane predviđena je izgradnja sledećih objekata:

1. Prelivni deo brane (prelivni prag i slapište)
2. Mašinska zgrada
3. Desni neprelivni deo brane sa ribljom stazom



4. Levi neprelivni deo brane

Od objekata uz branu, koje je neophodno izvesti, važno je pomenuti:

1. Optočni tunel u desnom boku
2. Uzvodni i nizvodni zagat

Objekte koji su poslednji pomenuti zapravo je neophodno izvesti na početku izvođenja radova. To su objekti za evakuaciju vode tokom izgradnje pomoću kojih se reka skreće a deo rečnog korita ostavlja suvim kako bi se omogućilo izvođenje pregradne konstrukcije.

6.4.1. Objekti za evakuaciju vode tokom izgradnje

Probijanjem tunela u desnom boku pretežno u spilit-dijabaz stenskoj formaciji dužine oko 115 m tok reke Studenice biva skrenut, čime se omogućava izvođenje građevinskih radova u zoni starog rečnog korita koje je ostavljeno bez vode. Izgradnjom uzvodnog i nizvodnog zagata sprečava se prodor vode u temeljnu jamu tokom trajanja radova.

Karakteristike dijabaz stenske mase u desnom boku su takve da je na nivou Idejnog rešenja Projektant predložio izvođenje tunela bez armiranobetonske obloge i značajnih radova na zaštiti iskopa. Optočni tunel prečnika 5.00 m ima kapacitet da pri koti uzvodno od ulaza od 395.50 mnm propusti 105 m³/s što pretstavlja 10-o godišnju veliku vodu u profilu brane.

Uzvodni i nizvodni zagat su projektovani u vidu nasipa čije će potpuno telo činiti materijal iz iskopa sa nagibima kosina 1:1.5. Širina u kruni iznosi 3 m. Vododrživost će se obezbeđivati polaganjem geomembrane po uzvodnoj kosini kod uzvodnog zagata odnosno po nizvodnoj kosini kod nizvodnog zagata. Geomembrana će biti zaštićena sa obe strane geotekstilom. Geotekstil će imati dvojaku ulogu: sprečavanje sufozije i oštećenja geomembrane prilikom polaganja kamene zaštite po kosini zagata koja je u kontaktu sa vodom. Kota krune uzvodnog zagata je izdignuta svega 10 cm iznad maksimalnog očekivanog nivoa vode uzvodno od tunela. Kota krune nizvodnog zagata iznosi 391 mnm.

6.4.2. Prelivni deo brane

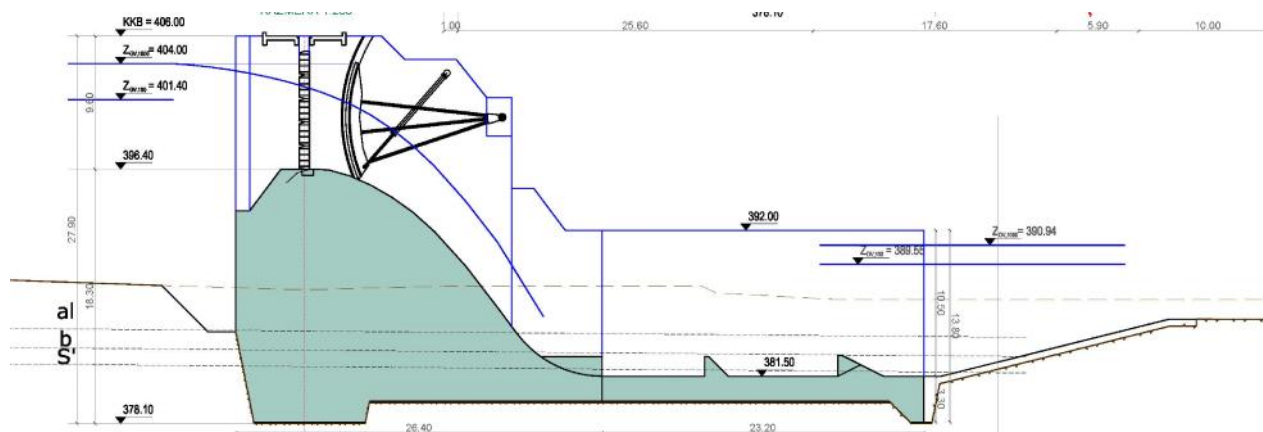
Prelivni deo brane čini centralni deo pregradne konstrukcije i služi za evakuaciju velikih voda tokom eksploatacije.

Prelivni prag koji se sastoji od dva prelivna polja dimenzija 2 x 5,80 x 7,60 ima sposobnost da pri koti maksimalnog uspora akumulacije 404 mnm propusti 1000 godišnju veliku vodu koja iznosi 446 m³/s. Kota krune praga iznosi 396,40 mnm. Kota maksimalnog uspora akumulacije jednaka je koti normalnog uspora. Kota krune brane viša je za 2 m od kote maksimalnog uspora.

Svako od dva prelivna polja snabdeveno je segmentnim zatvaračem dimenzija B x H = 5,80 x 7,60 m za održavanje nivoa akumulacije na koti normalnog uspora kao i za regulaciju proticaja pri nailasku poplavnih talasa. Kako bi se omogućio remont segmentnih zatvarača tokom eksploatacije na svakom prelivnom polju ostavljene su niše za spuštanje remontnih stop-log zatvarača. Predviđeno je da se montaža i demontaža segmentnih zatvarača vrši pomoću autodizalice. Preko prelivnog dela brane projektovan je armirano-betonski most pomoću kojeg se olakšava pristup i manipulisanje sa hidromehaničkom opremom na prelivnom delu brane.

Nizvodno od prelivnog praga predviđena je izgradnja objekta za umirenje energije koji je poznatiji pod nazivom slapište. Širina slapišta jednaka je zbiru širina 2 prelivna polja uz uvećanje od 2 m, što pretstavlja širinu stuba koji ta dva polja razdvaja. Dakle ukupna širina slapišta iznosi 13,60 m. Dno slapišta je postavljeno na koti 381,50 mnm. Dužina slapišta iznosi 23,20 m. Projektovan je USBR III tip umirujućeg bazena za Frudove brojeve od 2,50 do 4,50. Ovakav objekat zahteva 3 reda zuba koji veoma efikasno umiruju mlaz vode koji se obrušava niz brzotok prelivnog praga.

Nizvodno od slapišta predviđeno je polaganje kamenog nabačaja po kosini rampe pomoću koje se ostvaruje spoj dna temeljne jame sa dnom rečnog korita na koti 385,50 mnm.



Slika 6.2. Poprečni presek prelivne lamele

Usvojeno rešenja prelivne lamele ima zadovoljavajuće faktore stabilnosti na sve karakteristične proračunske kombinacije opterećenja.

Kao kritične kombinacije opterećenja izdvajaju se kombinacija sa maksimalnim poplavnim talasom, i seizmička kombinacija opterećenja. Od koeficijenata stabilnosti za ovaj tip objekata u većini slučajeva kao kritičan figuriše stabilnost na klizanje. U skladu sa tim, u nastavku je dat tabelarni prikaz vrednosti koeficijenata stabilnosti na klizanje za pomenute dve kombinacije opterećenja i njihovo poređenje sa dopuštenim vrednostima.

	Koeficijenti stabilnosti na klizanje	
	Računske vrednosti	Min. dopuštene vrednosti
II kombinacija opterećenja - max poplavni talas	1.23	1.10
III kombinacija opterećenja - seizmika	1.07	1.05

6.4.3. Mašinska zgrada

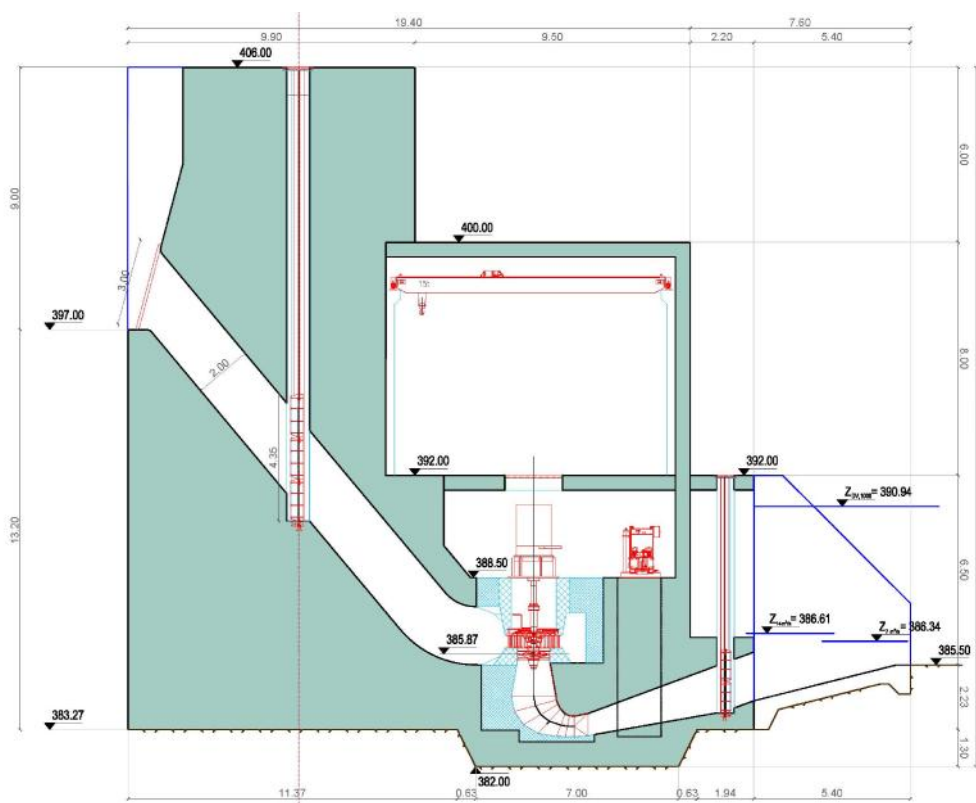
Mašinska zgrada MHE „Studnica S4 – Gradina“ smeštena je uz levu obalu reke. Na ulazu u protočni trakt svake turbine ugradiće se rešetkasvetlog otvora 4,00 x 3,00 m. Kota praga rešetke biće na 397,00 mnm, a razmak između štapova rešetke 40 mm. Nakon rešetke, ispred spirale predviđene su niše za spuštanje remontnog zatvarača, svetlog otvora 4,00 x 3,10 m. Manipulacija zatvaračem vršiće se autodizalicom sa krune brane.

Mašinska zgrada sastoji se iz četiri celine:

- Prostor za dopremanje opreme i prihvatanje iste mostnom dizalicom, dimenzija u osnovi 10 x 6,85 m, na koti 392,00 nm
- Ankes zgrade za smeštanje elektro opreme i kancelarija sa mokrim čvorom, dimenzija u osnovi 10 x 14,15 m, na koti 392,00 mm
- Mašinske sale, dimenzija u osnovi 8 x 18,50 m, na koti 388,50 mnm

U mašinskoj zgradi predviđena je ugradnja dve kompaktne vertikalne Kaplan turbine ukupnog instalisanog proticaja 2 x 7,50 m³/s.

U mašinskoj sali biće smešteni generatori proizvodnih agregata, prateća elektro i mašinska oprema.



Slika 6.3. Poprečni presek mašinske zgrade po osovini radnog kola

U okviru mašinske zgrade predviđena je ugradnja čeličnog cevovoda prečnika 500 mm sa neophodnom hidromehaničkom opremom, koji će vršiti funkciju temeljnog ispusta za potrebe urgentnog pražnjenja akumulacije. Temeljni ispust je lociran uz levi bočni zid prelivnog dela brane (posmatrano nizvodno). Na ulaznom delu predviđeno je montiranje rešetke dimenzija B x H = 3 x 2.5 m. Za regulaciju proticaja predviđen je igličasti zatvarač sa osovinom na koti 387.50 mnm. Proizvodni agregati i temeljni ispust imaju zajedničku odvodnu vadu.

U okviru mašinske zgrade predviđena je pomoćna prostorija za skladištenje alata i priručnog oruđa a objekat mesta priključka će imati zaseban ulaz i tokom eksploatacije će ga koristiti ovlašćena lica Elektroprivrede Srbije.

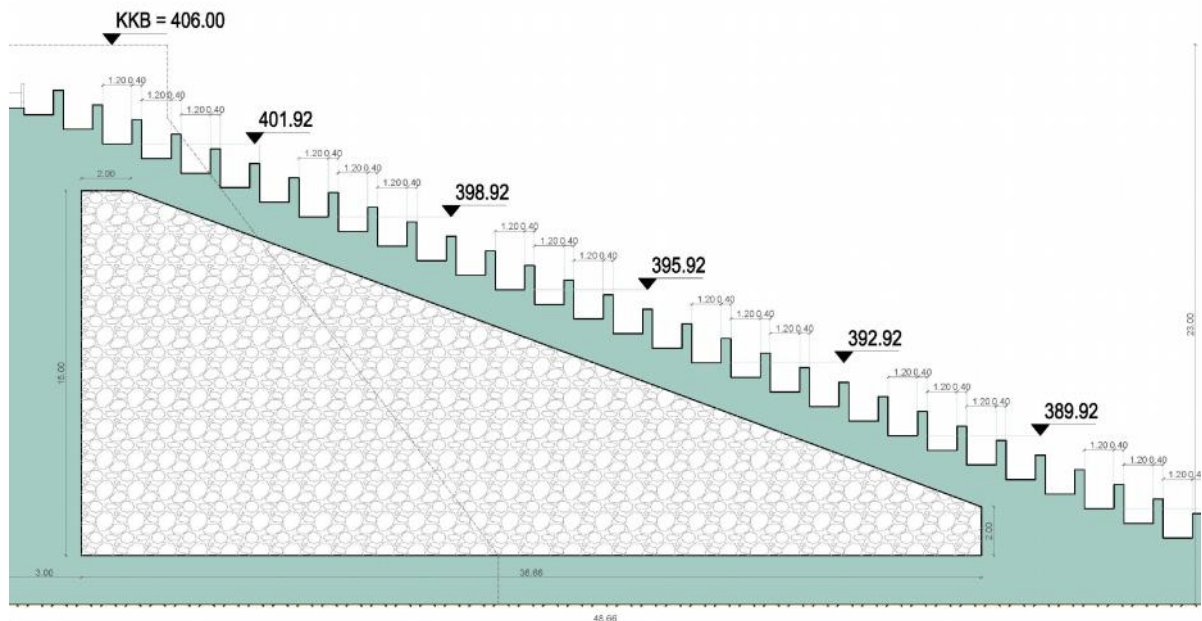
6.4.4. Desni neprelivni deo brane sa ribljom stazom

Za migraciju ihtiofaune u oba smera predviđena je riblja staza koja se sastoji od 90 komora istih unutrašnjih dimenzija 1,20 x 1,50. Ovako veliki broj komora potreban je kako bi se savladala denivelacija između gornje i donje vode koja iznosi oko 18 m. Dimenzije komora određene su iz uslova da brzina disipacije energije toka po jedinici zapremine u komorama ne bude veća od granične vrednosti $E_v = 150 \text{ W/m}^3$, da bi se obezbedila niska turbulencija.

U konstruktivnom smislu riblja staza predstavlja sastavni deo desne neprelivne lamele i zamišljena je da se izvede kao sandučasti presek ispunjen kamenom kako bi se smanjili troškovi izgradnje.

Komore su odvojene pregradama u okviru kojih su predviđeni potopljeni otvori u dnu dimenzija 25 x 25 cm. Maksimalna brzina vode koja ističe kroz otvore ne prelazi 2 m/s. Podužni pad komore iznosi 12,5 %. Minimalna dubina vode u komori iznosi 0,60 m. Projektovana riblja staza ima sposobnost da propusti između 79 l/s i 92 l/s vode što je sasvim dovoljno za potrebe migracije ribljih vrsta koje nastanjuju reku Studenicu. Maksimalni kapacitet riblja staza ima pri minimalnim dotocima rekom kada je nivo donje vode nizak a denivelacija najveća.

Za potrebe inspeksije, čišćenja i popravki tokom eksploatacije na ulaznom delu riblje staze predviđen je tablasti zatvarač na ručni pogon.



Slika 6.4. Poprečni presek riblje staze

6.4.5. Levi neprelivni deo brane

Levi neprelivni deo brane predstavlja betonsku konstrukciju trapeznog poprečnog preseka pomoću kog se zatvara levi bok pregradnog profila. Uzvodno lice trapeznog preseka je vertikalno dok je nizvodno predviđeno u nagibu 1:0,75. Kota krune neprelivnih lamela u levom boku iznosi 406 mm. Zbog relativno debelog sloja deluvijuma, drobine i raspadnute stenske mase očekuju se obimniji zemljani radovi radi formiranja temeljne jame za fundiranje neprelivnih lamela na čvrstoj steni. Dužina ovog dela pregradne konstrukcije iznosi oko 40 m.



Motorna vozila i mehanizacija će kruni brane pristupati sa pristupnog puta koji se oslanja na neprelivni deo brane, zatrpavajućiga manjim delom a sve u cilju minimiziranja zemljanih radova neophodnih za njegovu izgradnju.

7. ENERGETSKA PROIZVODNJA

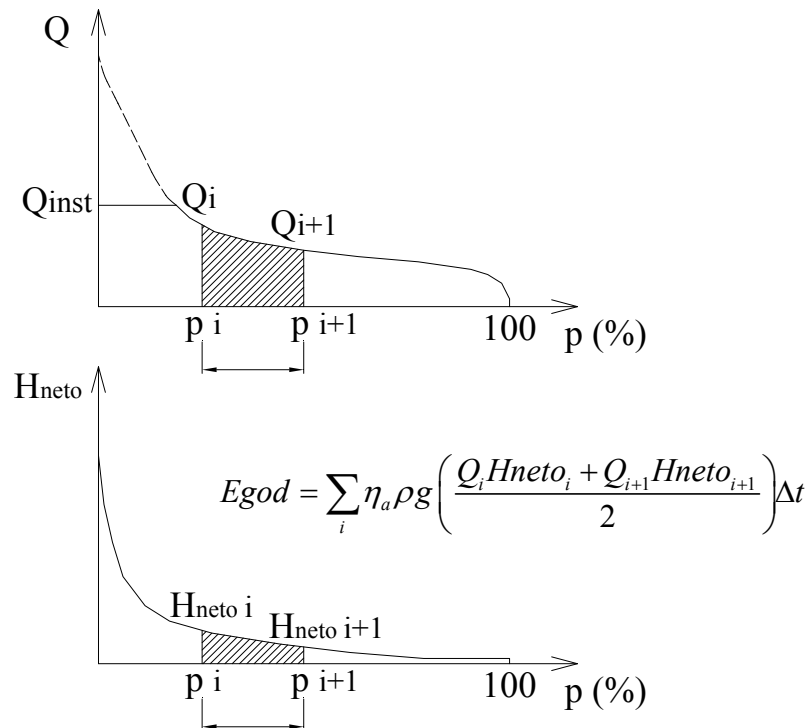
Za proračun godišnje proizvodnje električne energije, korišćeni su sledeće ulazni podaci :

1. Krive trajanja srednjih dnevnih proticaja;
2. Krive proticaja donje vode (tabela 4.1);

Na osnovu krive trajanja srednjih dnevnih proticaja i krive proticaja donje vode, a za konstantnu (prethodno usvojenu) kotu gornje vode, određene su sledeće krive:

- Kriva trajanja donje vode
- Kriva trajanja bruto pada
- Kriva trajanja neto pada

Na osnovu ovako dobijenih krivih sračunata je godišnja proizvodnja električne energije.



Slika 7.1. Princip proračuna godišnje proizvodnje električne energije

U jednačini sa slike oznake imaju sledeća značenja :

E_{god} [Wh] – godišnja proizvodnja električne energije

η_a – koeficijent korisnog dejstva agregata, $\eta_a = \eta_T \times \eta_G \times \eta_{TR}$

η_T – koeficijent korisnog dejstva turbine

η_G – koeficijent korisnog dejstva generatora

η_{TR} – koeficijent korisnog dejstva transformatora (0,99)

ρ [kg/m³] – gustina vode, 1000 kg/m³

g [m/s²] – ubrzanje zemljine teže 9.81 m/s²

Q_i [m³/s] – proticaj verovatnoće pojave p_i

H_{neto_i} [m] – neto pad verovatnoće pojave p_i

Δt [h] – vremenski period (h)

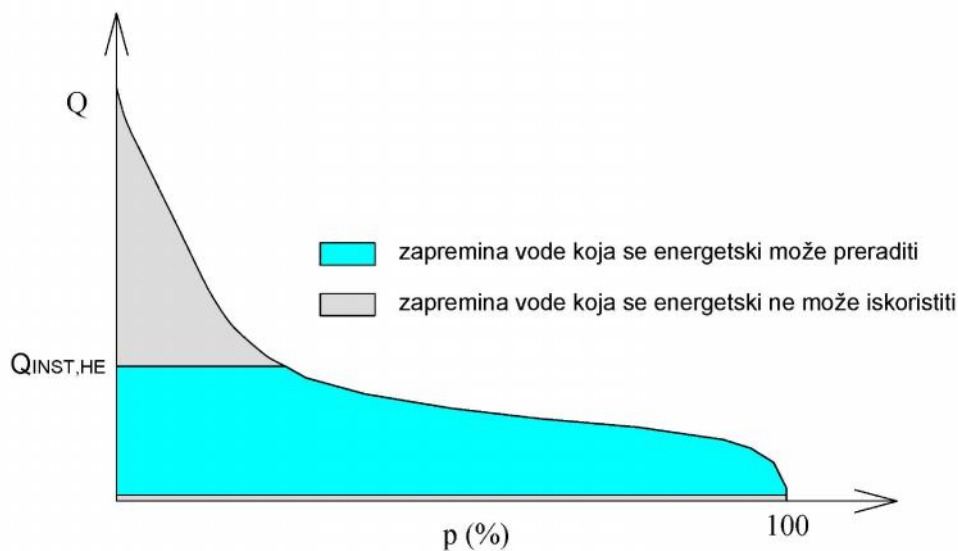
Q_{inst} [m³/s] – instalisani proticaj hidroelektrane

Tabela 7.1. Zavisnost koeficijenta korisnog dejstva turbine u funkciji protoka

	Q	eta
%	m ³ /s	%
100	7.5	90.6
90	6.75	91.7
80	6	92.1
70	5.25	92
60	4.5	91.9
50	3.75	91
40	3	89.5
30	2.25	85
25	1.875	81

Tabela 7.2. Zavisnost koeficijenta korisnog dejstva generatora u funkciji protoka

	Q	eta
%	m ³ /s	%
100	7.5	94.8
75	5.625	95
50	3.75	94
25	1.875	92



Slika 7.2. Dijagram energetske iskoristivosti dela krive trajanja proticaja

Pažljivom analizom krive trajanja proticaja može se zaključiti da hidroelektrana MHE „Studnica S4 – Gradina“ neće biti u pogonu oko 1 mesec (25-30 dana u zavisnosti od godine). Tada rekom Studenicom teče količina vode koja je manja od radnog minimuma turbine što predstavlja 25% od instalisanog proticaja (1,875 m³/s). Pri ovakvoj hidrološkoj situaciji manji deo se propušta kroz riblju stazu a veći deo kroz temeljni ispušt. Agregate van pogona treba očekivati u najsušnijim mesecima avgust i septembar.



Proračun energetske proizvodnje je rađen sa pretpostavljenom količinom vode koja se energetske ne može iskoristiti usled procurivanja vode ispod i oko brane. Naime ukupna količina vode koja neće proći kroz lopatice turbina (Q_{IZG}) jednaka je zbiru:

$$Q_{IZG} = Q_{RB} + Q_{PR}$$

gde je:

Q_{RB} – proticaj riblje staze ($Q_{RB, MAX} = 92$ l/s)

Q_{PR} – procurivanje ispod i oko brane (≈ 40 l/s)

Takođe, na nivou idejnog rešenja, pretpostavljeno je da elektrana neće raditi 5 dana u godini iako to hidrološki uslovi dozvoljavaju usled havarija, ispada sa mreže i sličnih neočekivanih događaja.

Očekivana godišnja proizvodnja električne energije hidroenergetskog postrojenja MHE „Studenica S4 – Gradina“ iznosi 7.453.742 kWh.



8. PREDMER I PREDRAČUN

U okviru naredne tabele daje se rekapitulacija koštanja glavnih građevinskih radova za hidroenergetski objekat MHE „Studenica S4 – Gradina“.

Tabela 8.1. Rekapitulacija koštanja glavnih građevinskih radova hidroenergetskog objekta MHE „Studenica S4 – Gradina“

		EUR
1	SKRETANJE REKE (optočni tunel, uzvodni i nizvodni zagat)	337.000
2	PRELIVNI PRAG (sa bočnim i razdelnim zidovima)	1.173.000
3	SLAPIŠTE PRELIVA	408.000
4	MAŠINSKA ZGRADA	1.278.000
5	DESNI NEPRELIVNI DEO BRANE SA RIBLJOM STAZOM	574.000
6	LEVI NAPRELIVNI DEO BRANE	657.000
7	UKUPNA GLAVNI GRAĐEVINSKI RADOVI	4.428.000
8	NEPREDVIĐENI RADOVI (12.5 % od 7)	553.000
9	U K U P N O :	4.981.000

Tabela 8.2. Ukupne investicije i proizvodnja MHE „Studenica S4 – Gradina“

Pregradni profil	Glavni građevinski radovi	Eksproprijacija	Hidromehanička i mašinska oprema	Elektro oprema	Ukupne investicije	Snaga	Godišnja proizvodnja	Investicioni količnik
(mnm)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(mil. EUR)	(MW)	(GWh)	c€/kWh
Profil 3	4.981	0.058	1.928	0.750	7.717	2.11	7.45	1.035

Koštanje glavnih građevinskih radova hidroenergetskog objekta MHE „Studenica S4 – Gradina“ po objektima i vrstama radova tabelarno je prikazano u okviru numeričke dokumentacije.



1.6 NUMERIČKA DOKUMENTACIJA



Prilog 1. Uporedni prikaz krivih proticaja donje vode nizvodno od brane MHE „Studenica S4 – Gradina“ izgrađene na pregradnom profilu 1-1 i 2-2

		Pr. 1-1	Pr. 2-2
	Q	ZDV	ZDV
	(m ³ /s)	(mnm)	(mnm)
Qmin	1.66	385.94	385.95
	2	385.98	386
	3	386.08	386.1
	4	386.16	386.18
	5	386.23	386.25
	6	386.28	386.31
Qsr	6.96	386.34	386.36
Qins/2	7	386.34	386.36
	8	386.39	386.41
	9	386.43	386.46
	10	386.47	386.5
	11	386.51	386.54
	12	386.55	386.58
	13	386.58	386.61
Qins	14	386.61	386.64
	40	387.27	387.31
	80	387.88	387.93
Q10	105	388.22	388.26
Q20	136	388.58	388.62
Q50	194	389.13	389.18
Q100	244	389.55	389.59
Q500	376	390.5	390.54
Q1000	446	390.94	390.97
Q10000	695	392.27	392.29

Prilog 2. Koštanje glavnih građevinskih radova hidroenergetskog objekta MHE „Studenica S4 – Gradina“

R.Br.	Pozicije	Objekti	Iskop		Nasipi				Geosintetika i kamena obloga				Betonski radovi		Ostali radovi				Ukupno po objektima (10 ³ EUR)			
			Površinski iskop u aluvijalnom materijalu (m ³)	Površinski iskop u steni (m ³)	Tunelski iskop (m ³)	Poliforno telo (m ³)	Filterni materijal (m ³)	Gljeno jezgro (m ³)	Nasipanje materijala iz iskopa oko objekata (m ³)	Geotekstil (m ²)	PVC folija (m ²)	Tranzitni sloj od drobljenog kamena d = 15 cm (m ³)	Krupnog drobljenog kamena od kamena obloga (ispuna) (m ³)	Hidrotehnički (armirani) beton (m ³)	Tunelski beton (m ³)	Armatura (t)	Injekciona zavesa u profilu brane (m ²)	Ankeri (L=3 m)		Torcret (d=5 cm)	Armatura mreža	
	(EUR)																					
1	Skretanje reke (optočni tunel, uzv. i nizv. zagat)	Kon. 2,485 Koš. 2,181	9,50	2,484	85,00	4,287	4,287	41	22,00													
2	Prelivni prag sa bočnim i razdelnim zidovima	Kon. 12 Koš. 18	2,485	1,889	0																	
3	Slapište preliva	Kon. 2,790 Koš. 29	3,050	3,050																		
4	Mašinska zgrada	Kon. 3,894 Koš. 19	3,186	3,186																		
5	Desni neprelivni deo brane	Kon. 12 Koš. 12	1,268	1,268																		
6	Levi neprelivni deo brane	Kon. 3,167 Koš. 16	2,592	2,592																		
7	Ukupno glavni građevinski radovi																					
8	Nepredviđeni radovi (12.5% od 7)																					
9	UKUPNO																					
																						4,428
																						553
																						4,981



1.7 GRAFIČKA DOKUMENTACIJA

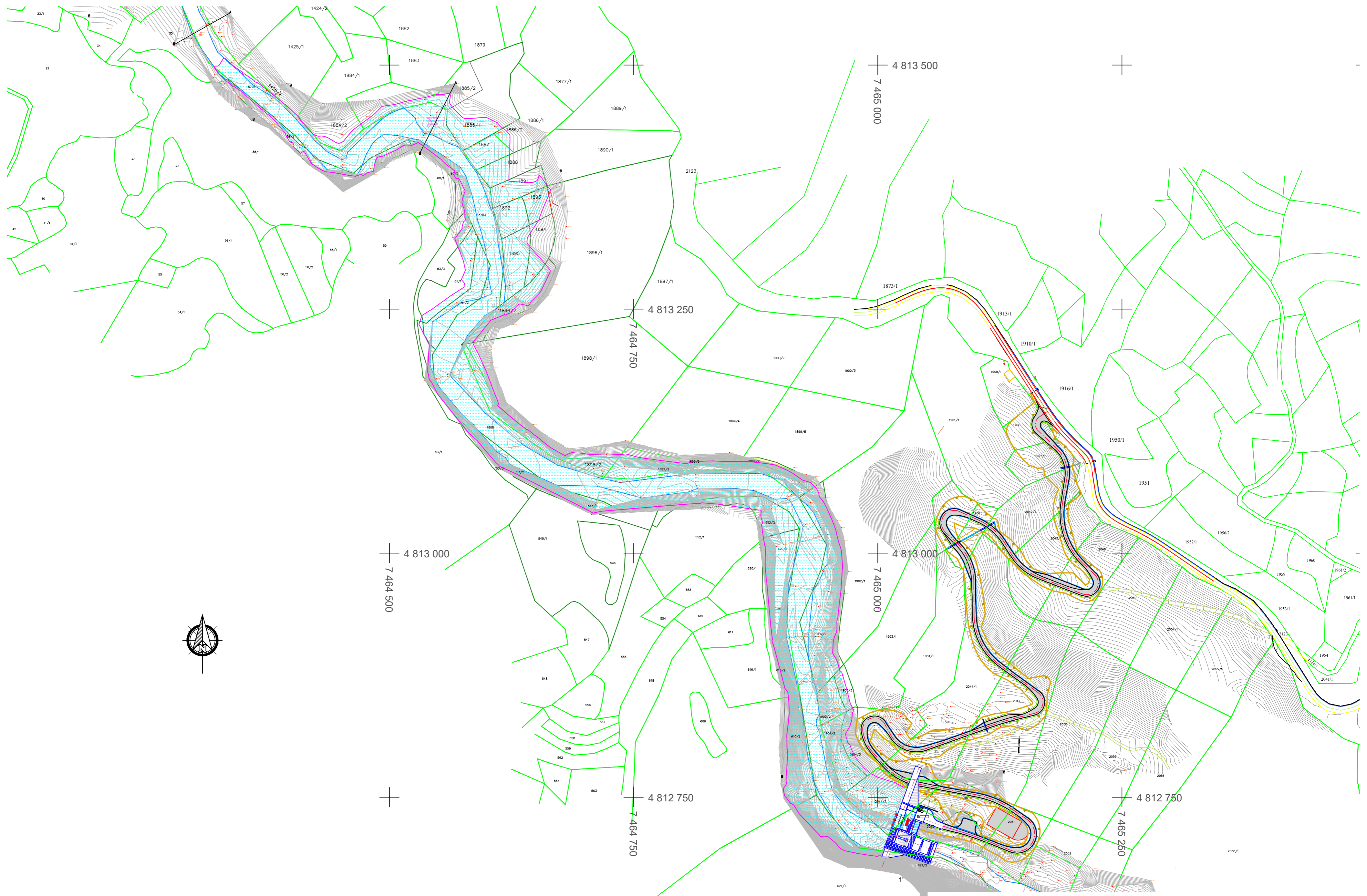


SPISAK CRTEŽA:

1	Brana „Studenica S4 – Gradina sa akumulacijom - dispozicija	1:2500
2	Podužni presek reke Studenice sa linijama nivoa vode pre i nakon izgradnje MHE S4 i MHE S5	1:500
3	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, pregradni profil 3 – usvojena varijanta	1:500
4	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm, pregradni profil 3 – usvojena varijanta	1:250
5	Poprečni presek mašinske zgrade – usvojena varijanta	1:125
6	Poprečni presek mašinske zgrade po osi temeljnog ispusta	1:125
7	Poprečni presek riblje staze	1:125
8	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 400 mm	1:500
9	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 400 mm	1:250
10	Poprečni presek mašinske zgrade – KNU = 400 mm	1:125
11	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm	1:500
12	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm	1:250
13	Poprečni presek mašinske zgrade – KNU = 404 mm	1:125
14	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 408 mm	1:500
15	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 408 mm	1:250
16	Poprečni presek mašinske zgrade – KNU = 408 mm	1:125
17	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“ – kombinovana brana	1:500
18	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, kombinovana brana, KNU = 404 mm	1:250
19	Poprečni presek levog neprelivnog dela brane od nasutog materija, kombinovana brana, KNU = 404 mm	1:400
20	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, dubinski ispust	1:500

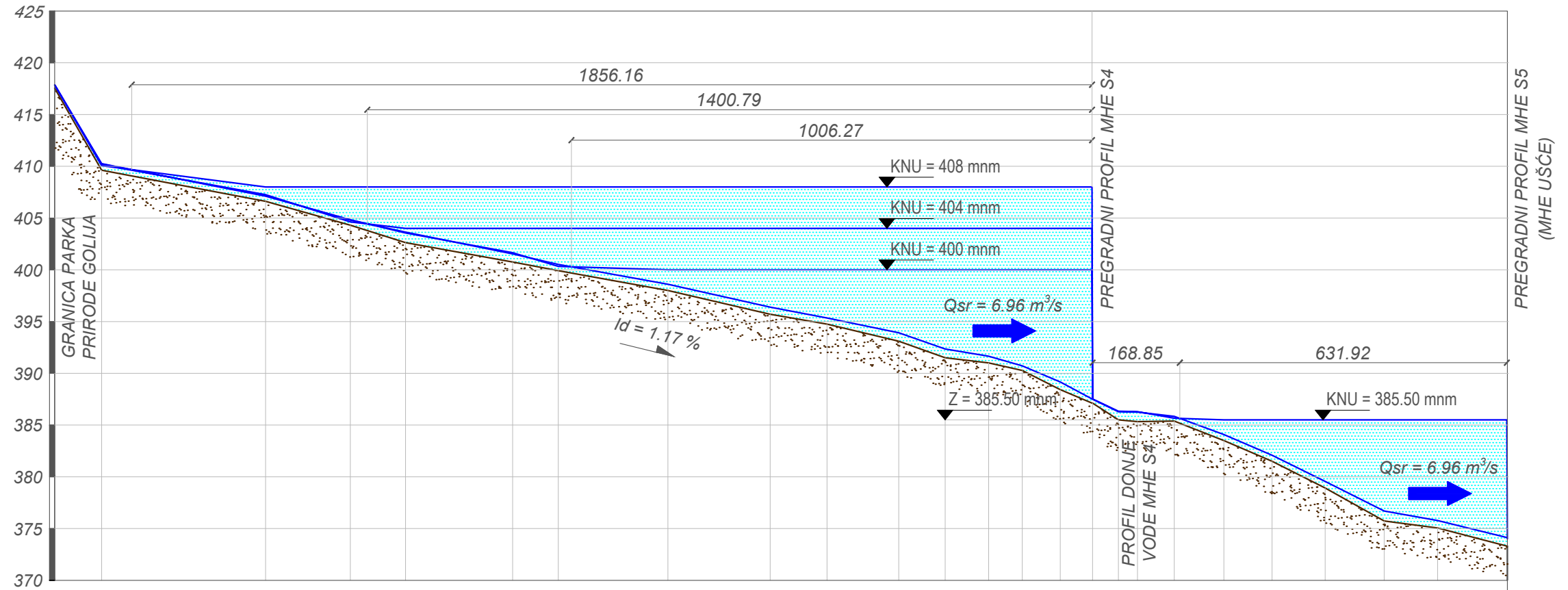


21	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele sa dubinskim ispustom, KNU = 404 mm	1:250
22	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, pregradni profil 2, skretanje reke pomoću optočnog tunela	1:500
23	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm, pregradni profil 2	1:250
24	Podužni i poprečni preseki optočnog tunela, pregradni profil 2	1:500/1:100
25	Dispozicija brane i MHE „Studenica S4 – Gradina“, KNU = 404 mm, pregradni profil 3, skretanje reke pomoću optočnog tunela	1:500
26	Podužni presek po osi brane i poprečni presek prelivne lamele, KNU = 404 mm, pregradni profil 3	1:250
27	Podužni i poprečni preseki optočnog tunela, pregradni profil 3	1:500/1:100



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.grad.		 Privredno društvo za projektovanje, inženjering i izvođenje ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA	
PROJEKTANT:					
KONTROLA:					
ODOBRILO:					
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"
RAZMERA:	1:2500	NAZIV CRTEŽA:	BRANA "STUDENICA S4 - GRADINA" SA AKUMULACIJOM DISPOZICIJA	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
				OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRADEVINSKI PROJEKAT
				ZA GRADNJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA
				BROJ CRTEŽA:	01
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-0221-1
				BROJ LISTOVA:	01/01

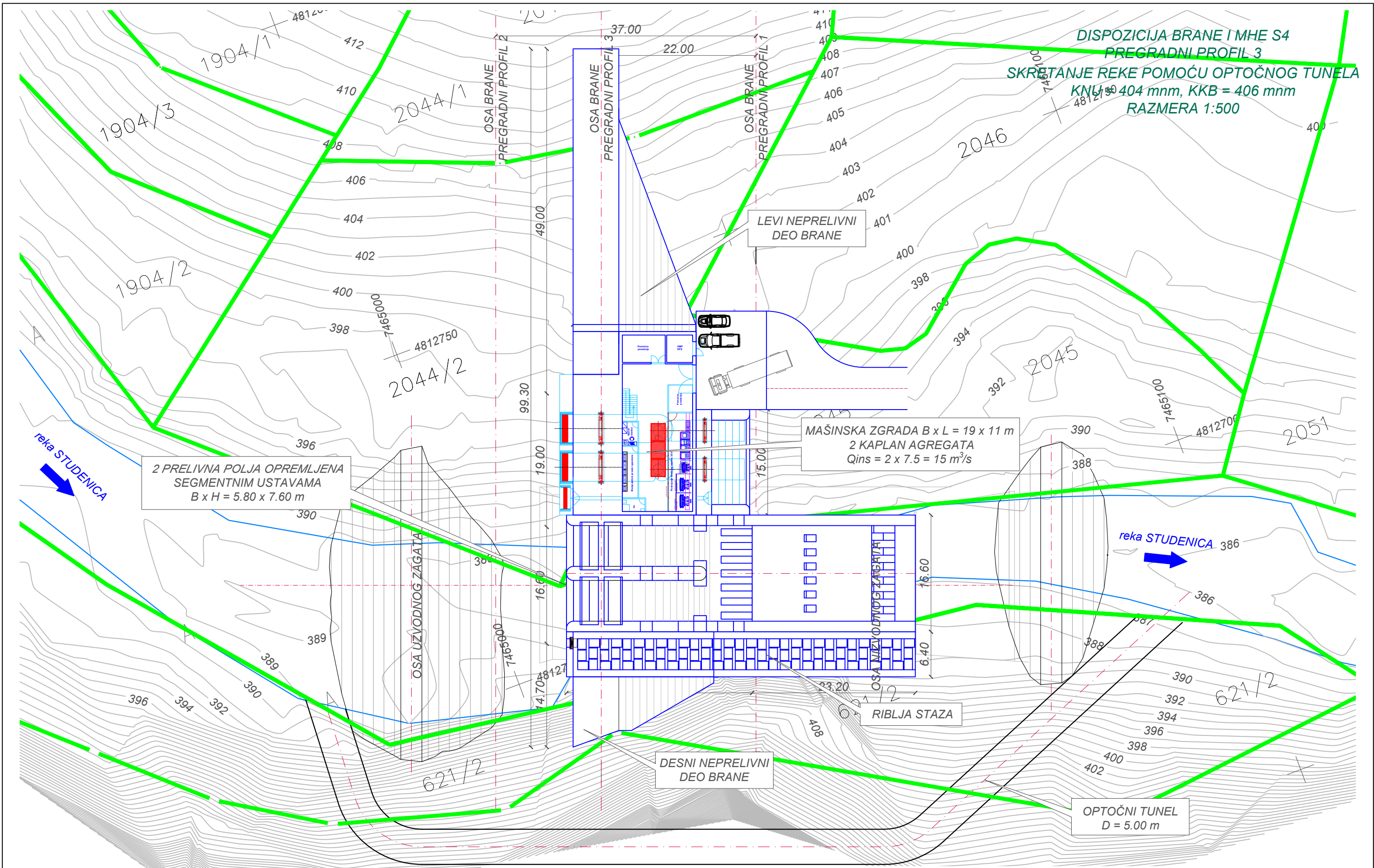
PODUŽNI PRESEK OSOVINE KORITA REKE STUDENICE SA
LINIJAMA NIVOVA PRE I NAKON IZGRADNJE MHE S4 I MHE S5
RAZMERA X/Z 1:200 / 1:500



STACIONAŽA (m)	417.86	417.86	417.86	417.55	0+000
KOTA REČNOG DNA (mm)	410.05	410.15	410.25	409.62	0+90.7
KOTA NIVOVA VODE (mm) KNU MHE S4 - 400 mm	408.00	407.26	407.11	406.61	0+407.5
KOTA NIVOVA VODE (mm) KNU MHE S4 - 404 mm	408.00	404.63	404.84	404.31	0+571.4
KOTA NIVOVA VODE (mm) KNU MHE S4 - 408 mm	408.00	404.00	403.56	402.63	0+678

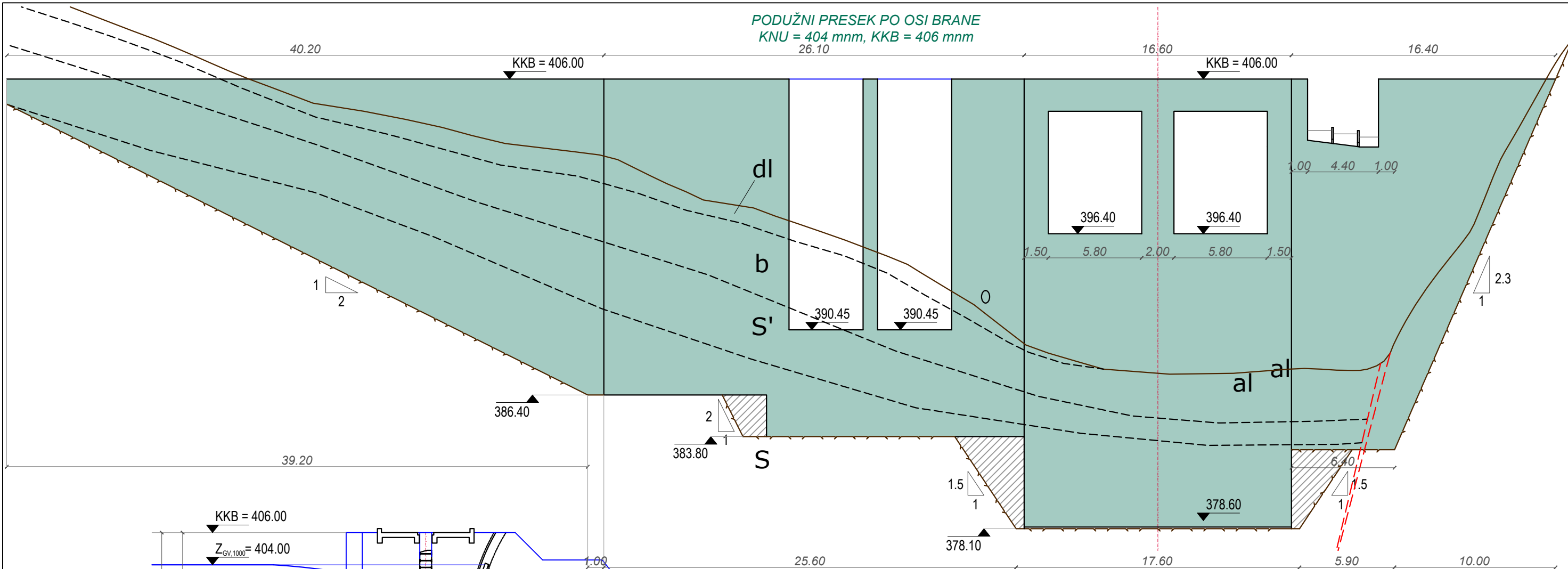
417.86	417.86	417.86	417.55	0+000	417.86	417.86	417.86	417.55	0+000
410.05	410.15	410.25	409.62	0+90.7	408.00	407.26	407.11	406.61	0+407.5
408.00	407.26	407.11	406.61	0+407.5	408.00	404.63	404.84	404.31	0+571.4
408.00	404.63	404.84	404.31	0+571.4	408.00	404.00	403.56	402.63	0+678
408.00	404.00	403.56	402.63	0+678	408.00	404.00	401.65	400.75	0+885.1
408.00	404.00	401.65	400.75	0+885.1	408.00	404.00	400.33	399.92	0+973.4
408.00	404.00	400.33	399.92	0+973.4	408.00	404.00	400.00	398.00	1+185.2
408.00	404.00	400.00	398.00	1+185.2	408.00	404.00	400.00	395.70	1+383
408.00	404.00	400.00	395.70	1+383	408.00	404.00	400.00	394.75	1+492.4
408.00	404.00	400.00	394.75	1+492.4	408.00	404.00	400.00	393.10	1+631.4
408.00	404.00	400.00	393.10	1+631.4	408.00	404.00	400.00	391.50	1+721.1
408.00	404.00	400.00	391.50	1+721.1	408.00	404.00	400.00	391.00	1+805.2
408.00	404.00	400.00	391.00	1+805.2	408.00	404.00	400.00	390.28	1+870.3
408.00	404.00	400.00	390.28	1+870.3	408.00	404.00	400.00	388.42	1+943.7
408.00	404.00	400.00	388.42	1+943.7	408.00	404.00	400.00	387.12	2+006
408.00	404.00	400.00	387.12	2+006	386.34	386.34	386.34	385.50	2+056
386.34	386.34	386.34	385.50	2+056	386.30	386.30	386.30	385.33	2+092.9
386.30	386.30	386.30	385.33	2+092.9	385.66	385.66	385.66	385.39	2+164
385.66	385.66	385.66	385.39	2+164	385.50	385.50	385.50	383.50	2+260
385.50	385.50	385.50	383.50	2+260	385.50	385.50	385.50	381.50	2+353
385.50	385.50	385.50	381.50	2+353	385.50	385.50	385.50	378.92	2+455.6
385.50	385.50	385.50	378.92	2+455.6	385.50	385.50	385.50	375.73	2+569.7
385.50	385.50	385.50	375.73	2+569.7	385.50	385.50	385.50	375.06	2+673
385.50	385.50	385.50	375.06	2+673	385.50	385.50	385.50	373.31	2+808

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA						
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:2500	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK REKE STUDENICE SA LINIJAMA NIVOVA VODE PRE I NAKON IZGRADNJE MHE S4 I MHE S5	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	02		
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

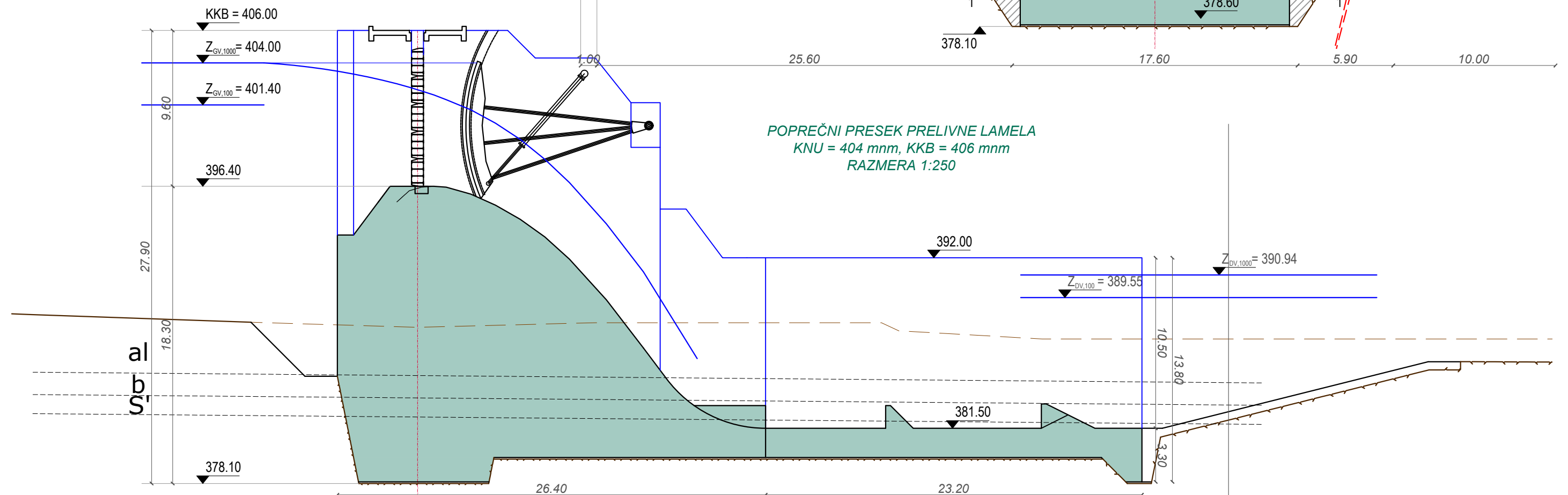


ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak							
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KNU = 404 mmm, PREGRADNI PROFIL 3 USVOJENA VARIJANTA	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	03		
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 26.10

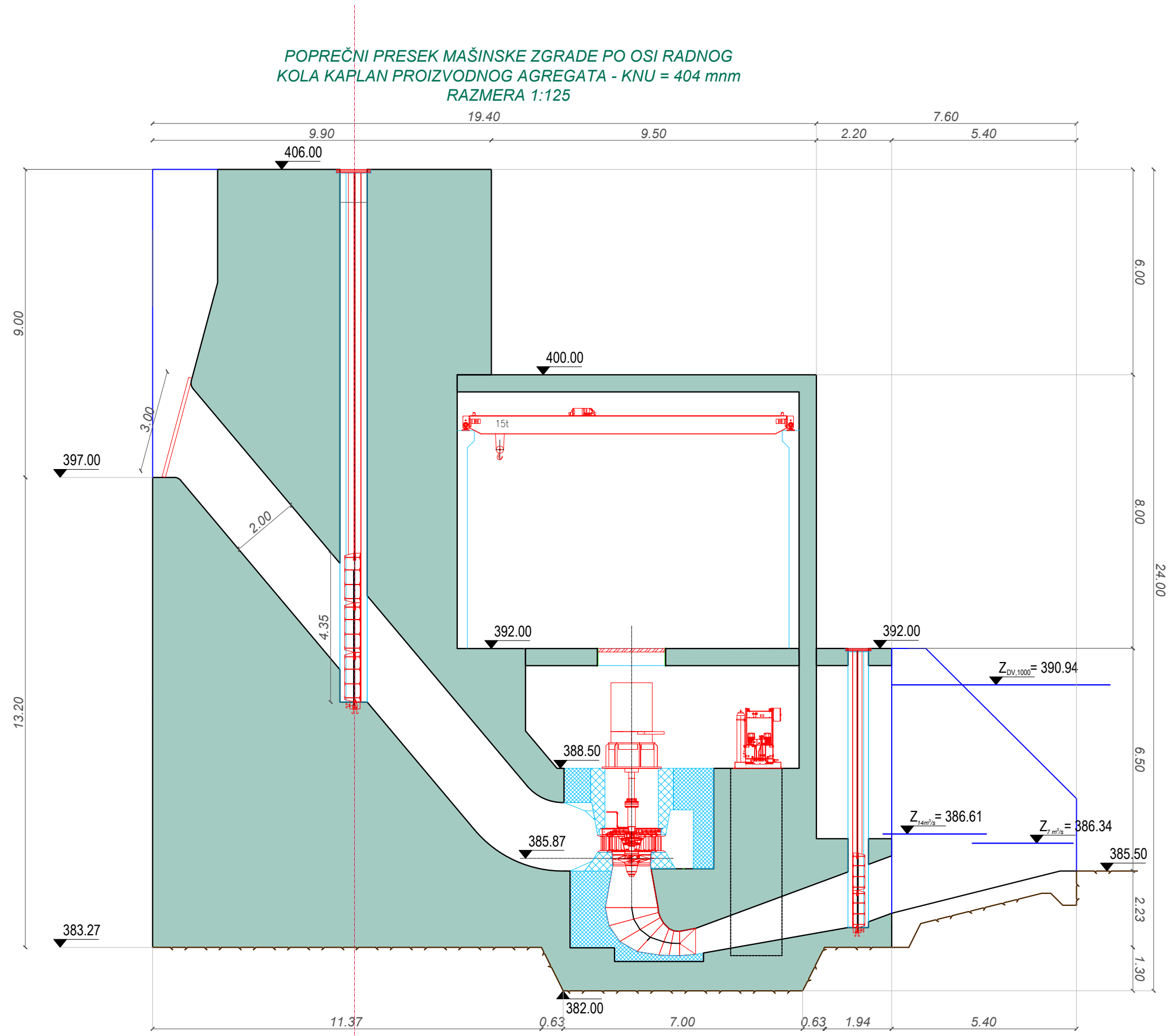


POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELA
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:250



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA					
PROJEKTANT:								
KONTROLA:								
ODOBRIO:								
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE	
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE - KNU = 404 mm, PREGRADNI PROFIL 3 USVOJENA VARIJANTA		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA: 04	
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA: 01/01

410
405
400
395
390
385
380

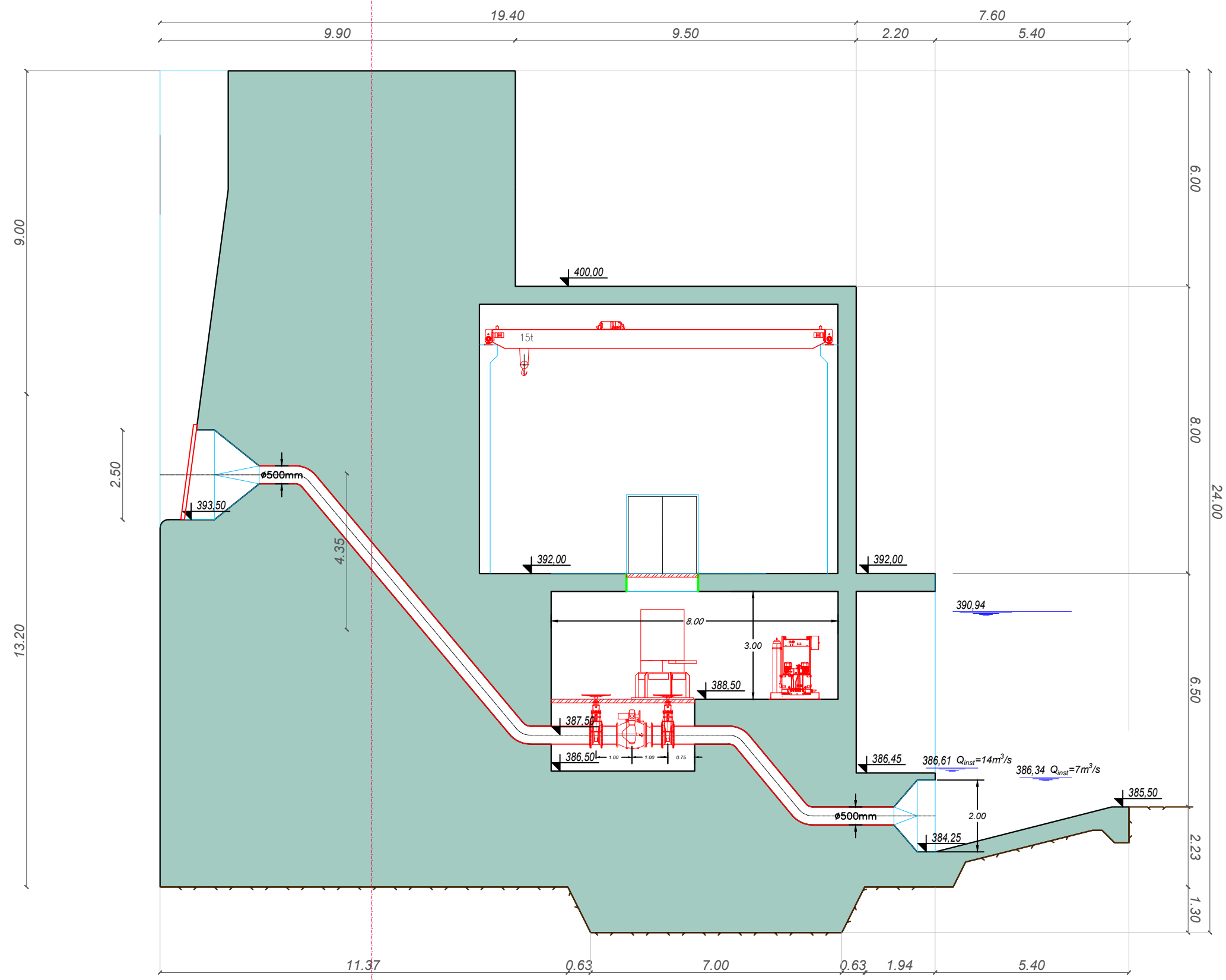


POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE PO OSI RADNOG
KOLA KAPLAN PROIZVODNOG AGREGATA - KNU = 404 mm
RAZMERA 1:125

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA						
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRIO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:125	NAZIV CRTEŽA:	POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE - USVOJENA VARIJANTA	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	05		
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

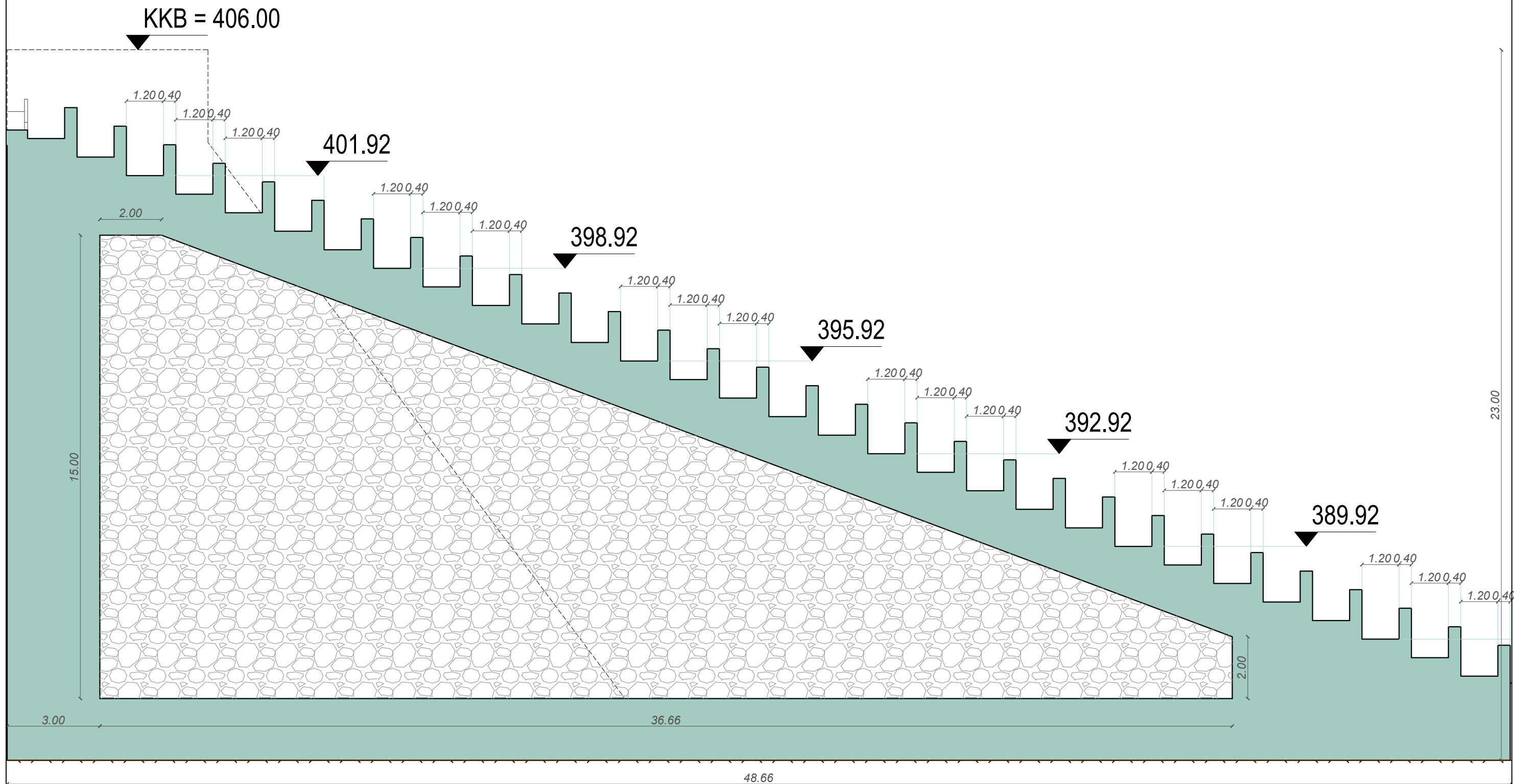
410
405
400
395
390
385
380

POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE PO OSI RADNOG
KOLA KAPLAN PROIZVODNOG AGREGATA - KNU = 404 mm
RAZMERA 1:125



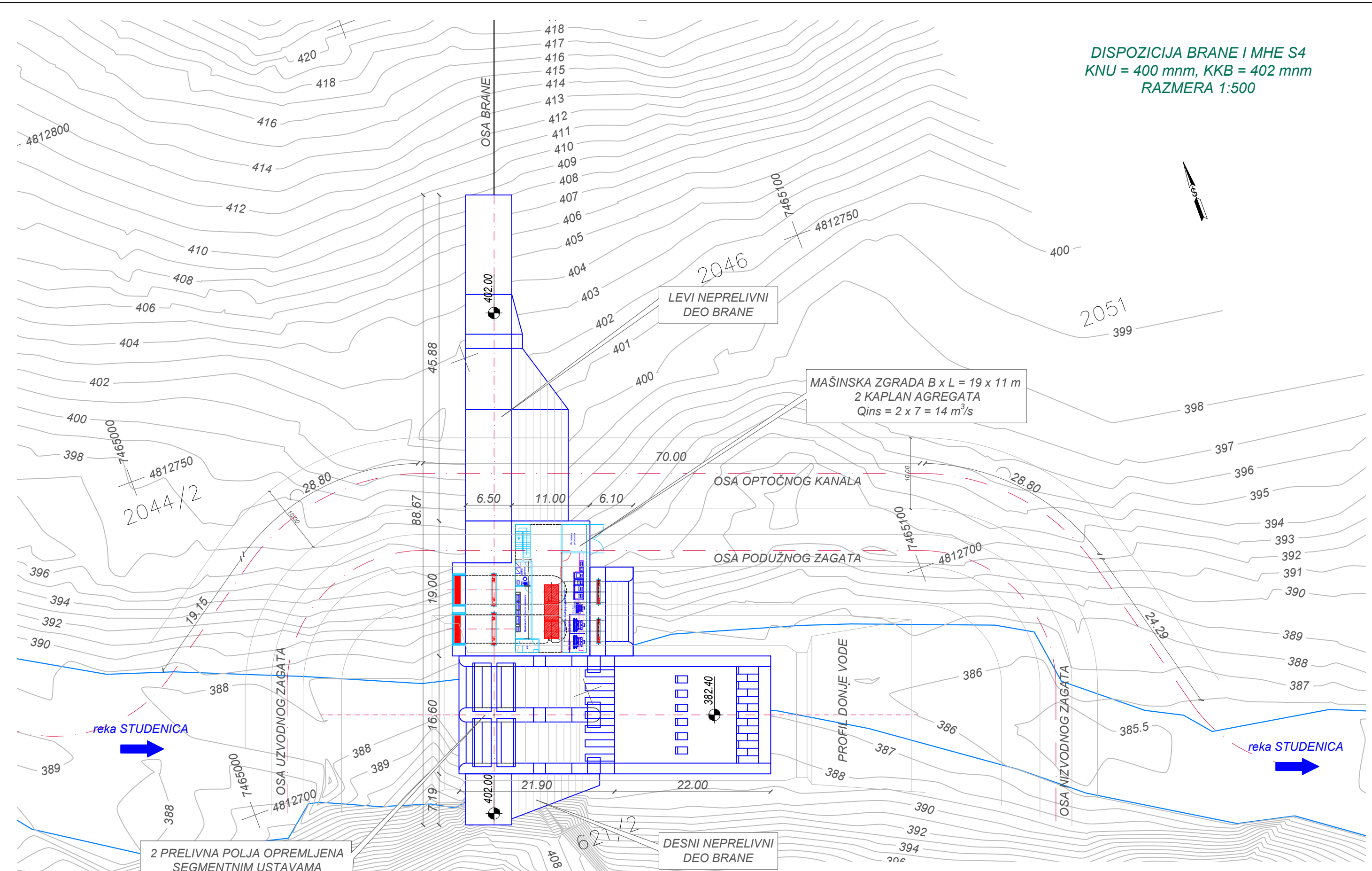
ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak							
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRIO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:125	NAZIV CRTEŽA:	POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE PO OSI TEMELJNOG ISPUSTA	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	06		
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

POPREČNI PRESEK RIBLJE STAZE
RAZMERA 1:125



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA				
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRILO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:125	NAZIV CRTEŽA:	POPREČNI PRESEK RIBLJE STAZE	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ CRTEŽA:	07
						BROJ LISTOVA:	01/01

DISPOZICIJA BRANE I MHE S4
 KNU = 400 mm, KKB = 402 mm
 RAZMERA 1:500

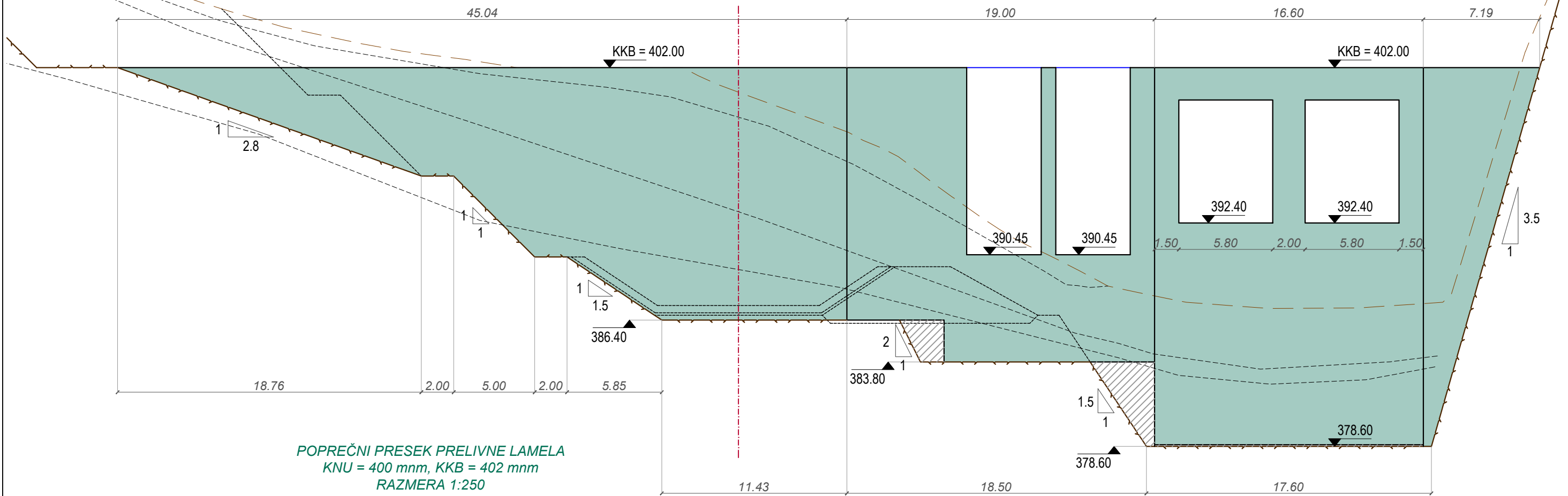


2 PRELIVNA POLJA OPREMLJENA
 SEGMENTNIM USTAVAMA
 B x H = 5.80 x 7.60 m

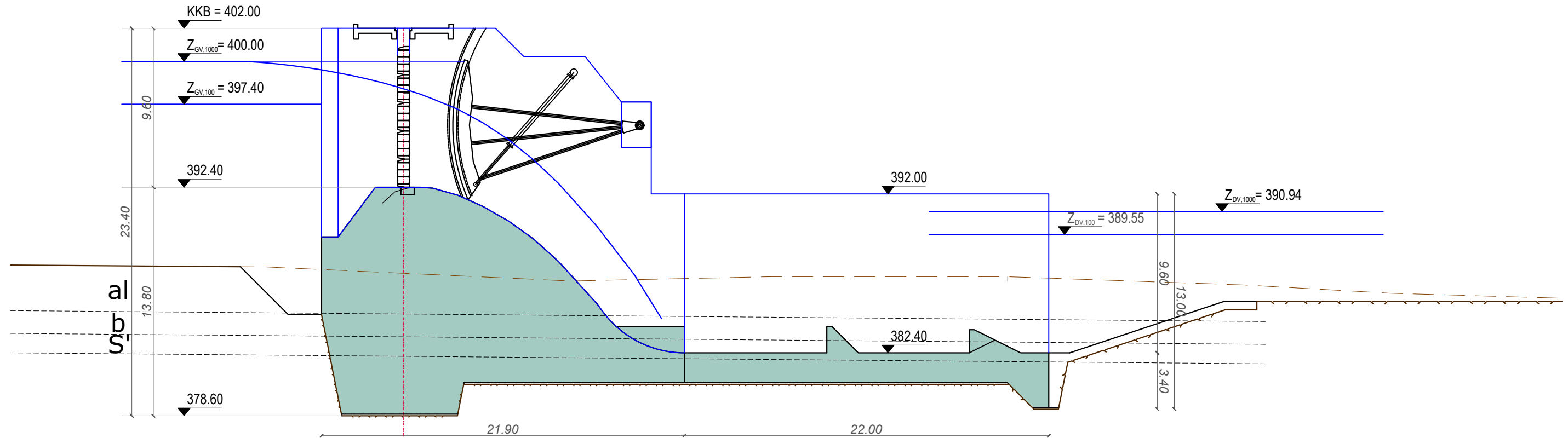
DESNI NEPRELIVNI
 DEO BRANE

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak					
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRILO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KNU = 400 mm	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ CRTEŽA:	08
						BROJ LISTOVA:	01/01

PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE
 KNU = 400 mm, KKB = 402 mm
 RAZMERA 1:250

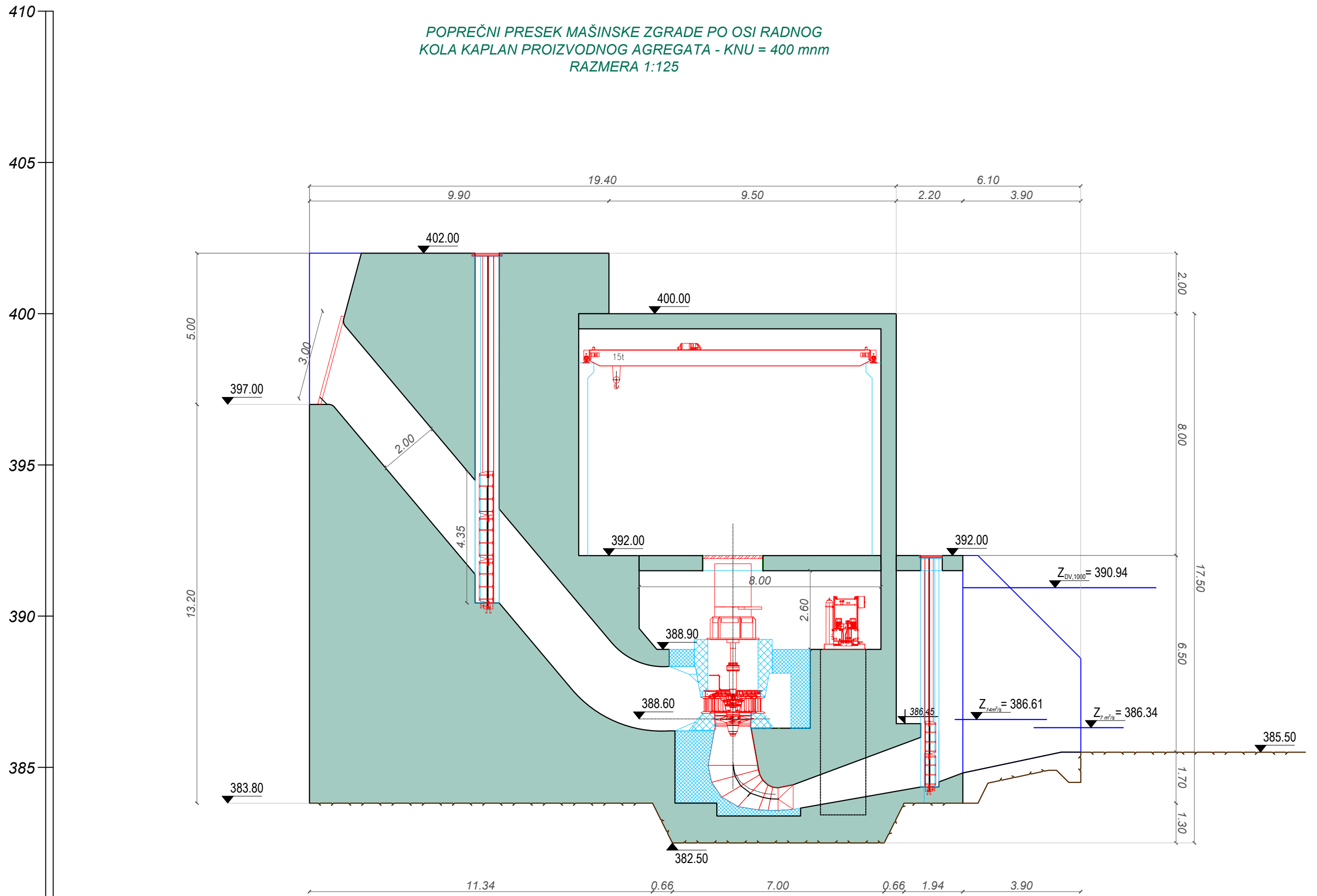


POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELA
 KNU = 400 mm, KKB = 402 mm
 RAZMERA 1:250



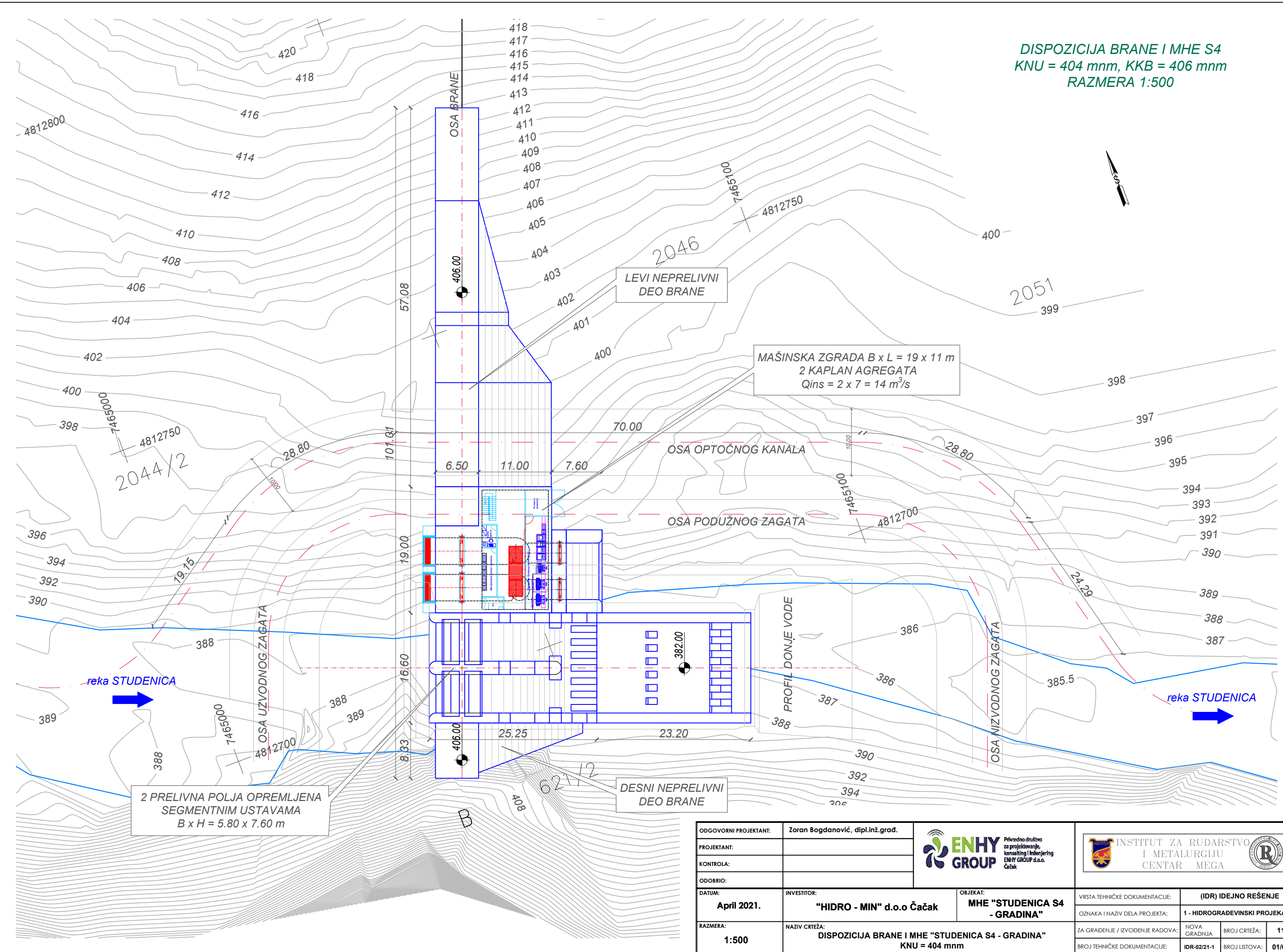
ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privedno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA						
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE - KNU = 400 mm		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	09	
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE PO OSI RADNOG
KOLA KAPLAN PROIZVODNOG AGREGATA - KNU = 400 mm
RAZMERA 1:125



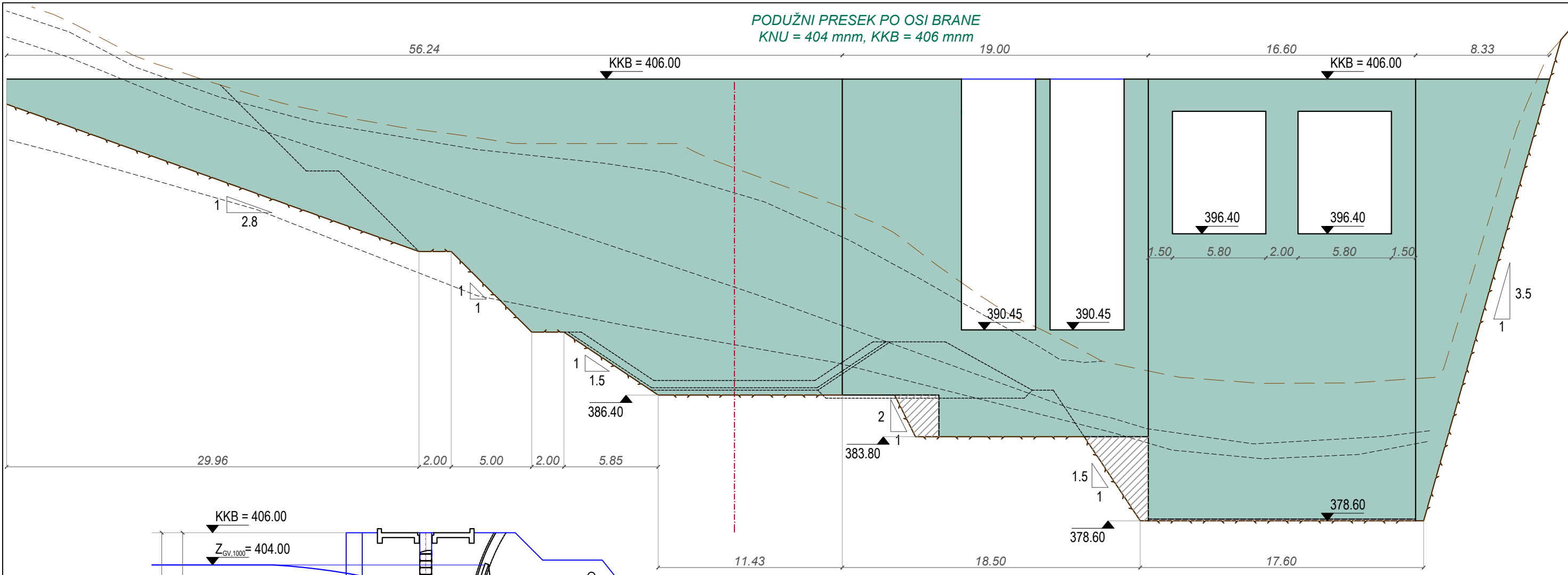
ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak							
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:125	NAZIV CRTEŽA:	POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE - KNU = 400 mm		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	10	
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

DISPOZICIJA BRANE I MHE S4
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:500

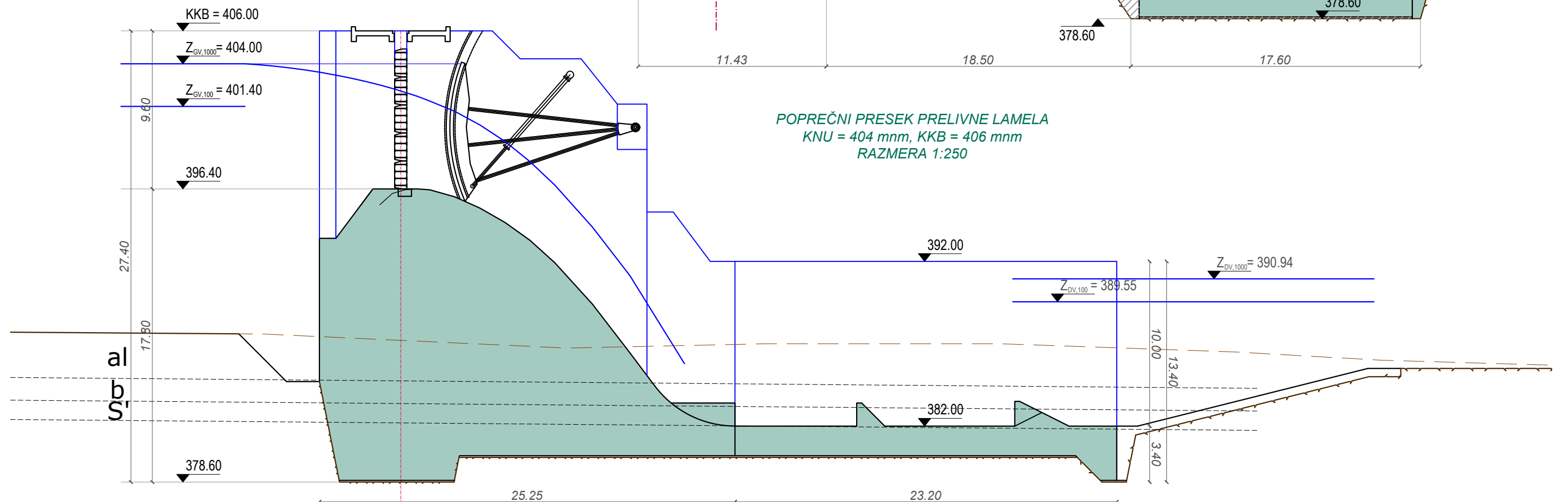


ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak							
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KNU = 404 mm	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT		
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ CRTEŽA:	11
						BROJ LISTOVA:		01/01	

PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm

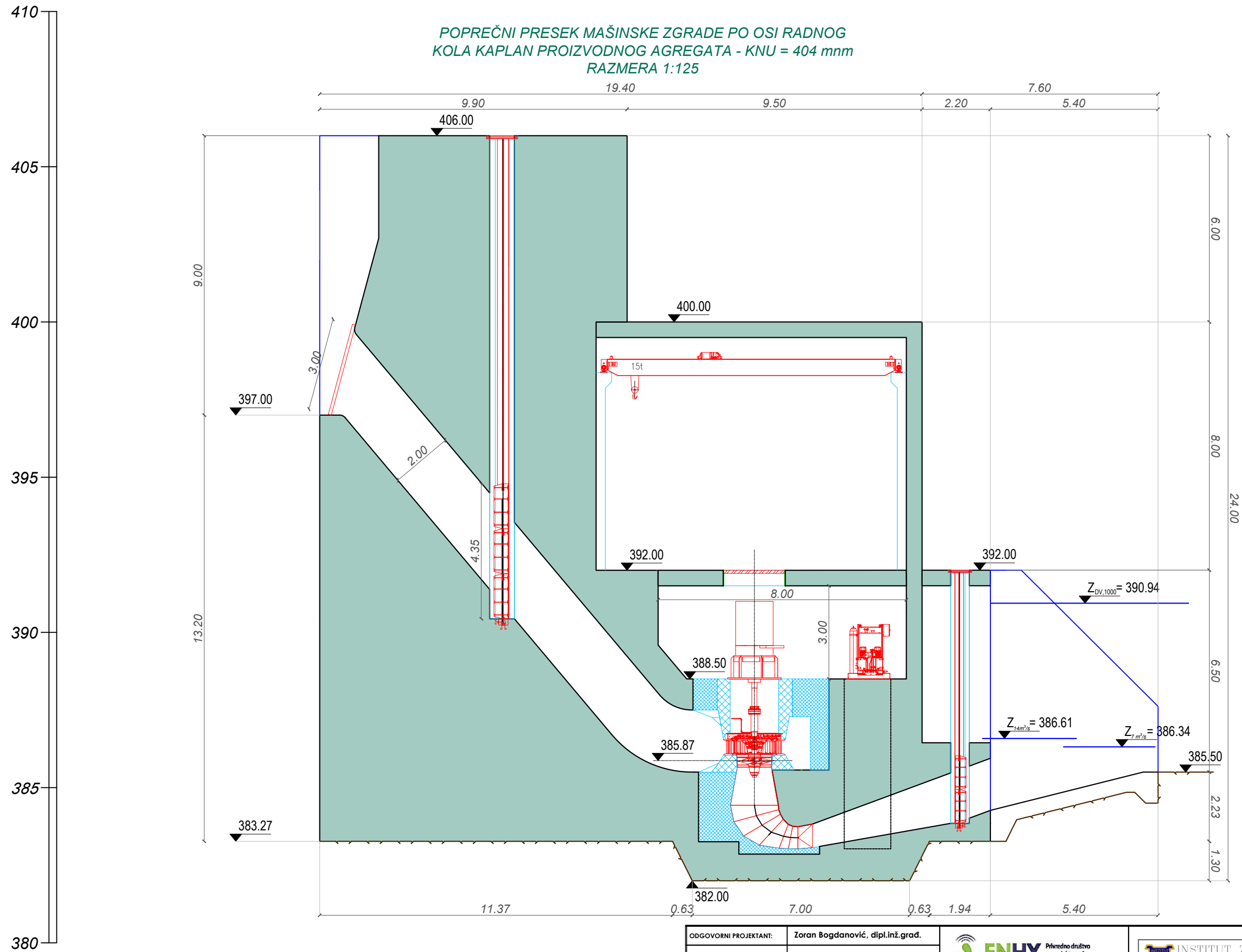


POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELA
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:250



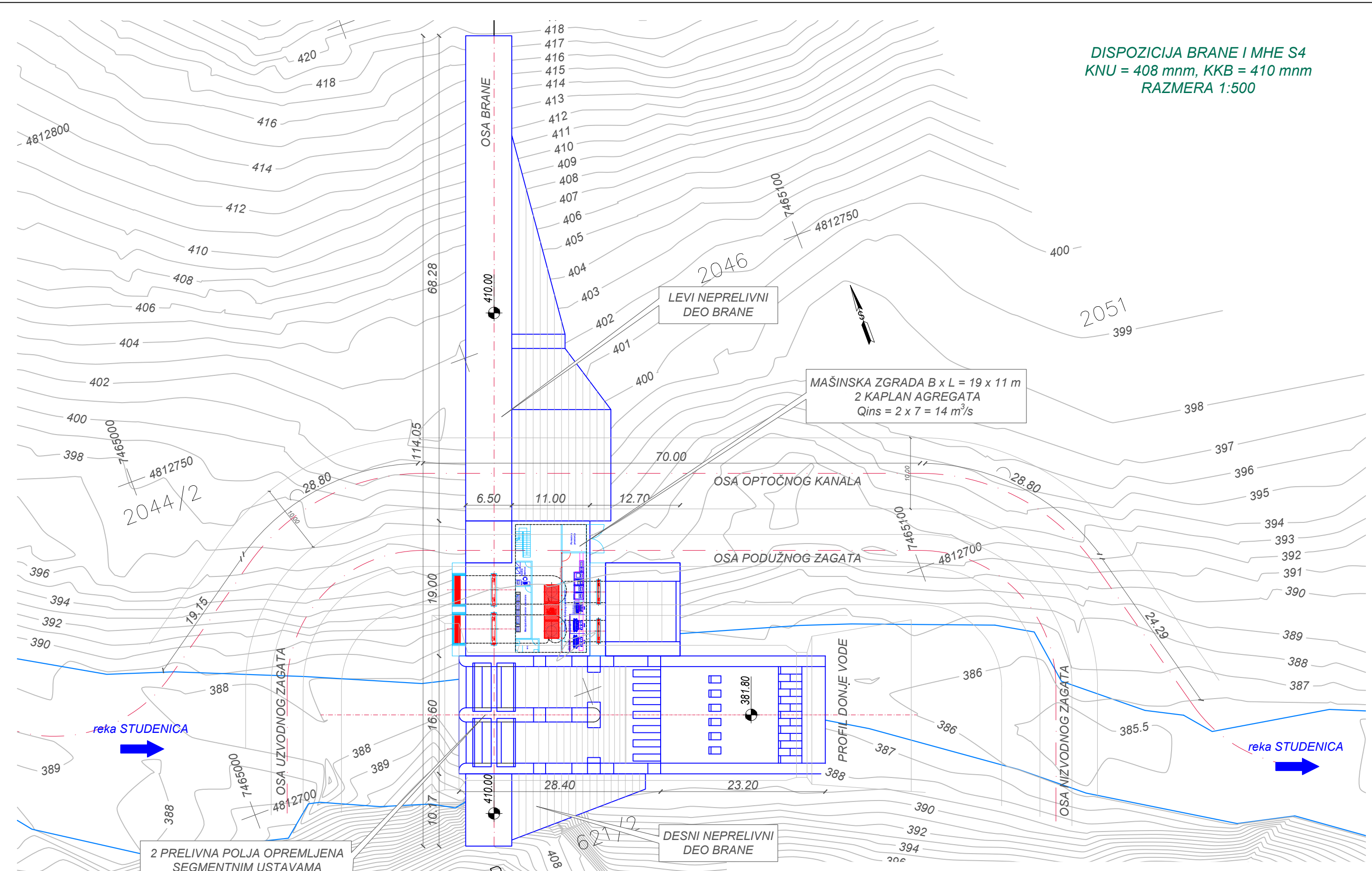
ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA						
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE - KNU = 404 mm		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	12	
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE PO OSI RADNOG
KOLA KAPLAN PROIZVODNOG AGREGATA - KNU = 404 mm
RAZMERA 1:125



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA						
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRIO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE - KNU = 404 mm		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	13	
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

DISPOZICIJA BRANE I MHE S4
 KNU = 408 mm, KKB = 410 mm
 RAZMERA 1:500



2 PRELIVNA POLJA OPREMLJENA
 SEGMENTNIM USTAVAMA
 B x H = 5.80 x 7.60 m

DESNI NEPRELIVNI
 DEO BRANE

MAŠINSKA ZGRADA B x L = 19 x 11 m
 2 KAPLAN AGREGATA
 $Q_{ins} = 2 \times 7 = 14 \text{ m}^3/\text{s}$

LEVI NEPRELIVNI
 DEO BRANE

OSA OPTOČNOG KANALA

OSA PODUŽNOG ZAGATA

PROFIL DONJE VODE

OSA UZVODNOG ZAGATA

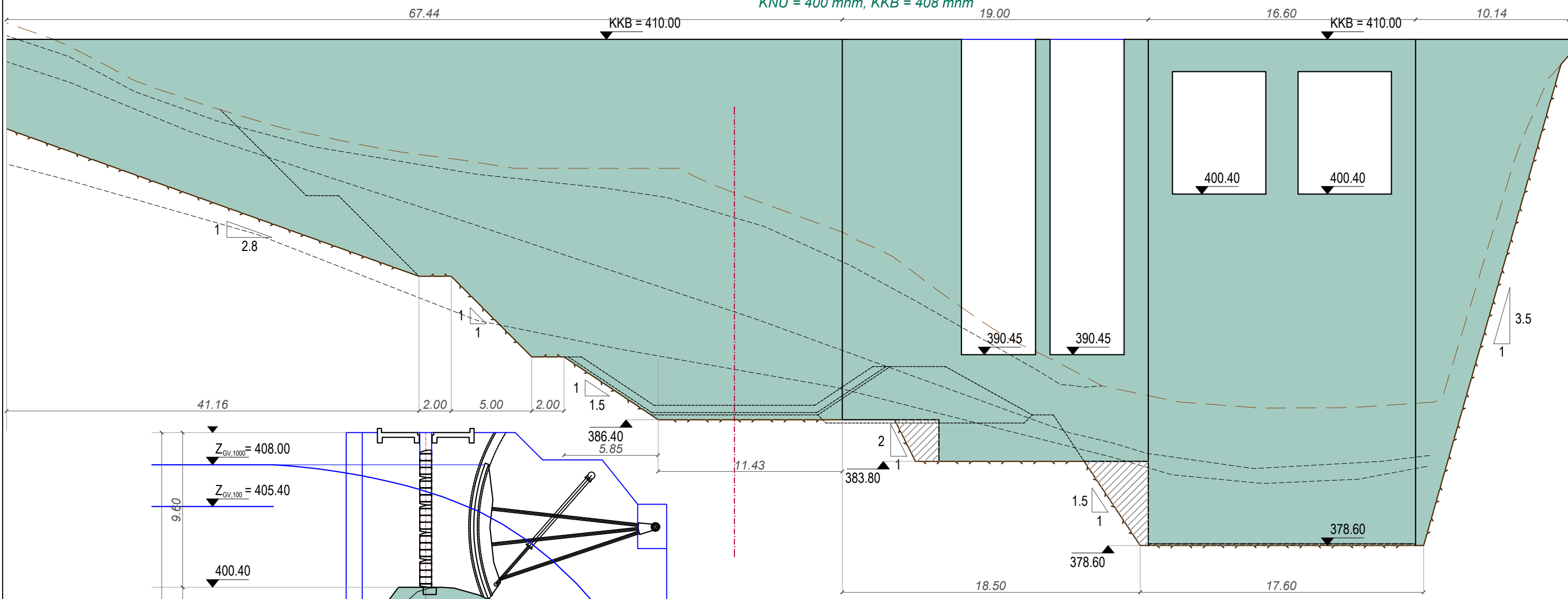
OSA NIZVODNOG ZAGATA

reka STUDENICA

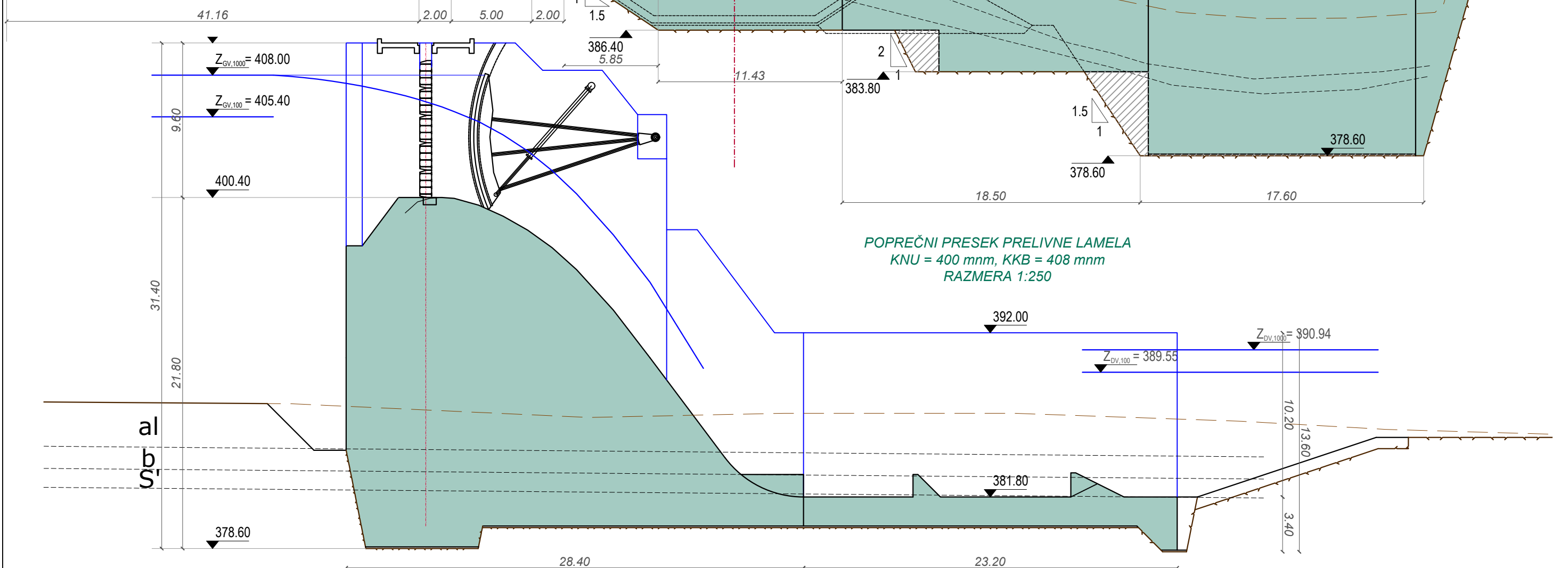
reka STUDENICA

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 <p>Privedno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak</p>	
PROJEKTANT:			
KONTROLA:			
ODOBRILO:		OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KNU = 408 mm
		VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
		OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT
		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA
		BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1
		BROJ CRTEŽA:	14
		BROJ LISTOVA:	01/01

PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE
 KNU = 400 mm, KKB = 408 mm

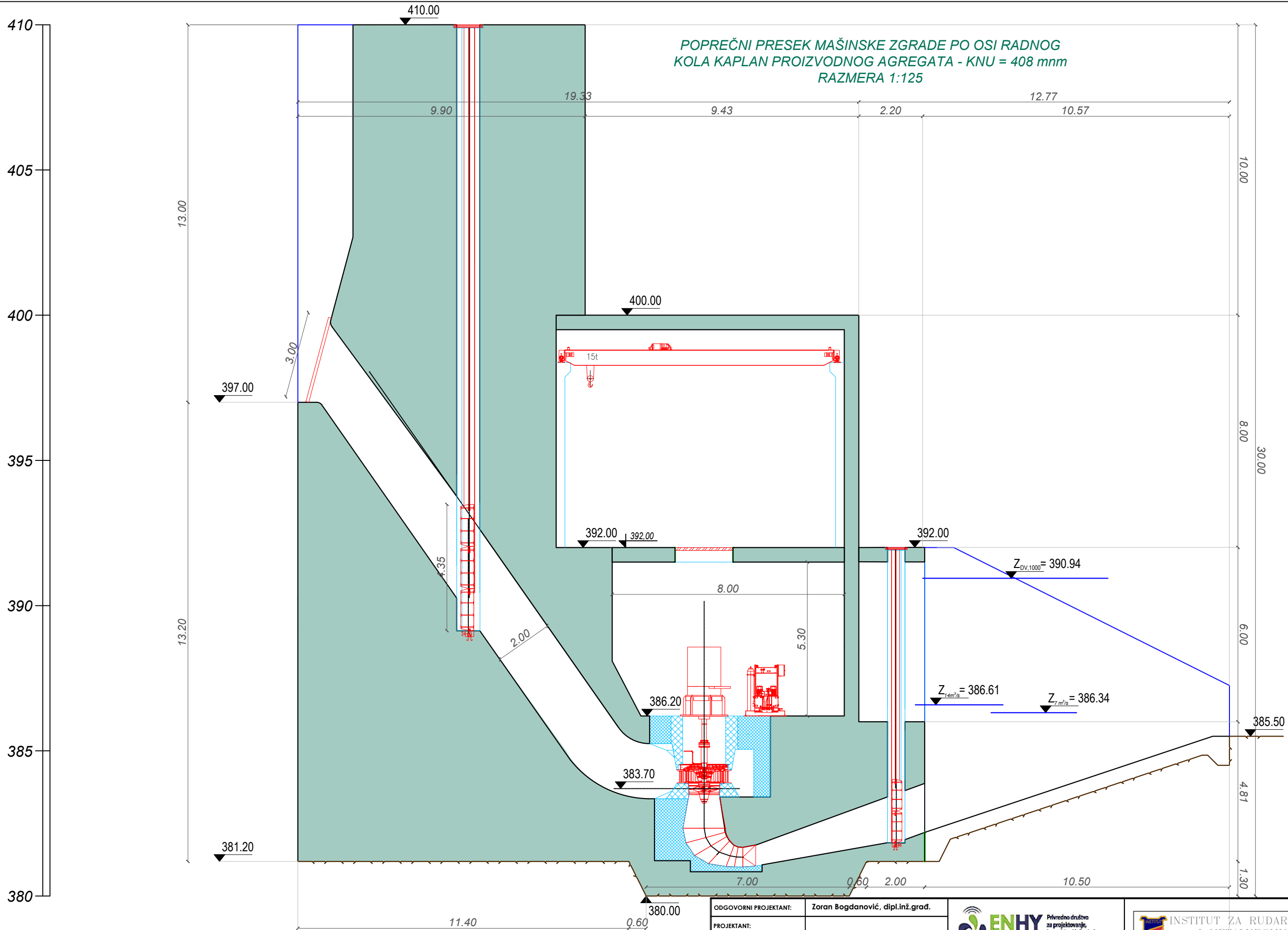


POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELA
 KNU = 400 mm, KKB = 408 mm
 RAZMERA 1:250



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA		
PROJEKTANT:					
KONTROLA:			VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE	
ODOBRILO:			OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT	
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE - KNU = 408 mm		
				ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1
				BROJ CRTEŽA:	15
				BROJ LISTOVA:	01/01

POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE PO OSI RADNOG
KOLA KAPLAN PROIZVODNOG AGREGATA - KNU = 408 mm
RAZMERA 1:125



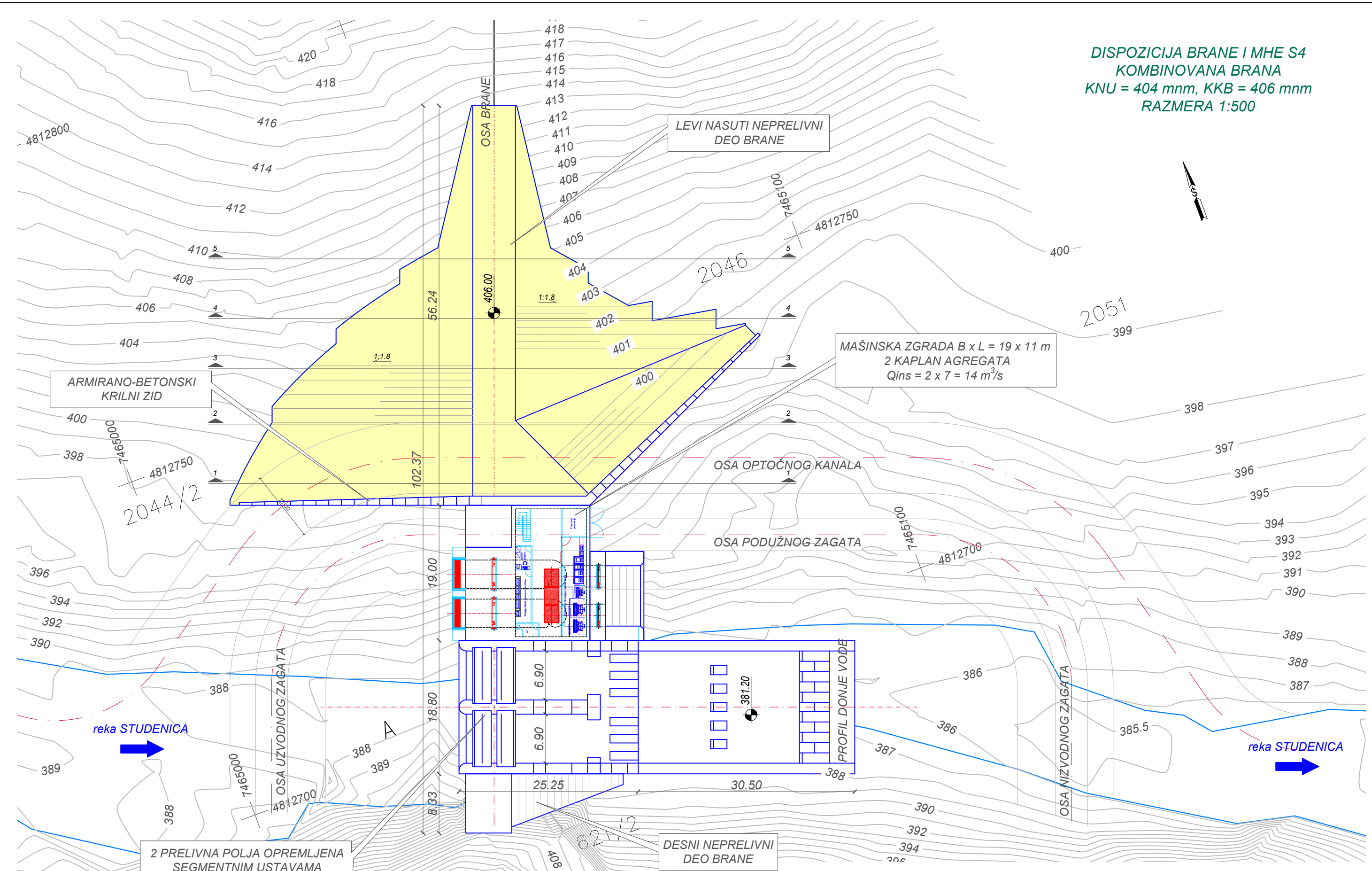
ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.
PROJEKTANT:	
KONTROLA:	
ODOBRILO:	



DATUM:	APRIL 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"
RAZMERA:	1:125	NAZIV CRTEŽA:	POPREČNI PRESEK MAŠINSKE ZGRADE - KNU = 408 mm		

VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT		
ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	16
BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

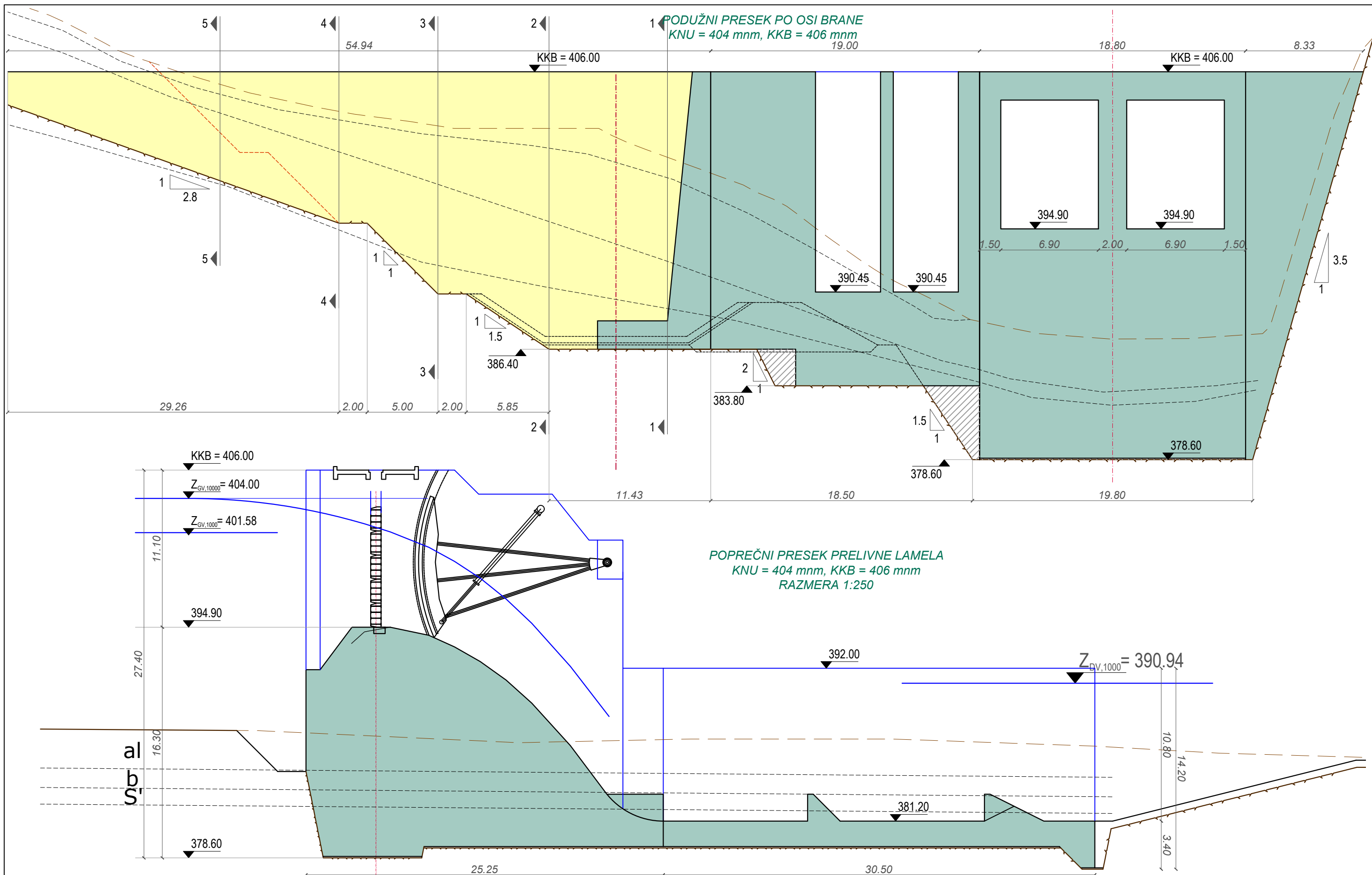
**DISPOZICIJA BRANE I MHE S4
KOMBINOVANA BRANA**
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:500



2 PRELIVNA POLJA OPREMLJENA
SEGMENTNIM USTAVAMA
B x H = 6.90 x 9.10 m

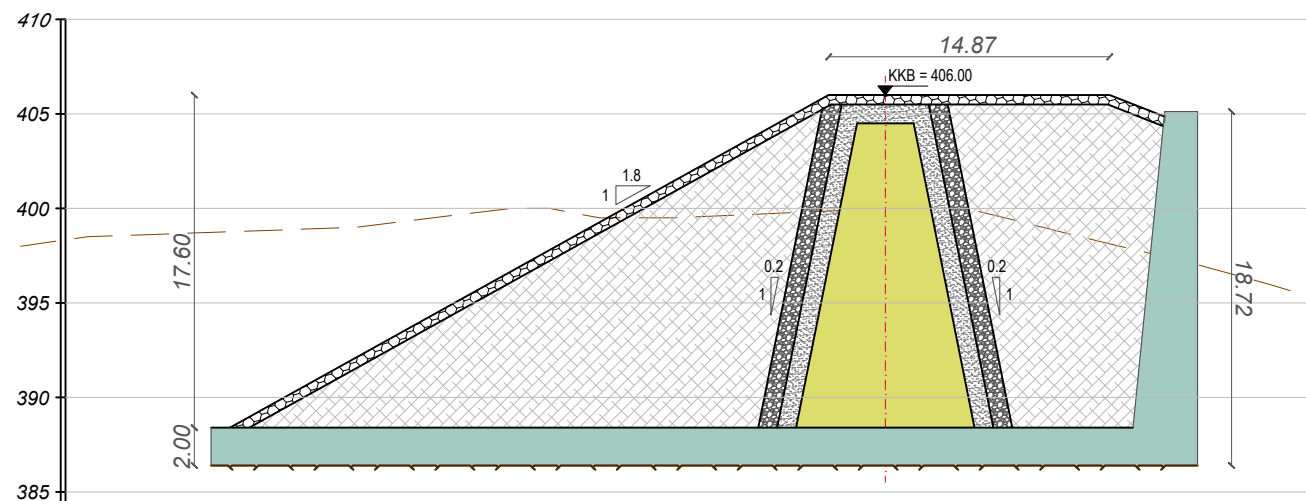
DESNI NEPRELIVNI
DEO BRANE

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	<p>Pravno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak</p>	<p>INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA</p>				
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRILO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KOMBINOVANA BRANA	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ CRTEŽA:	17
						BROJ LISTOVA:	01/01

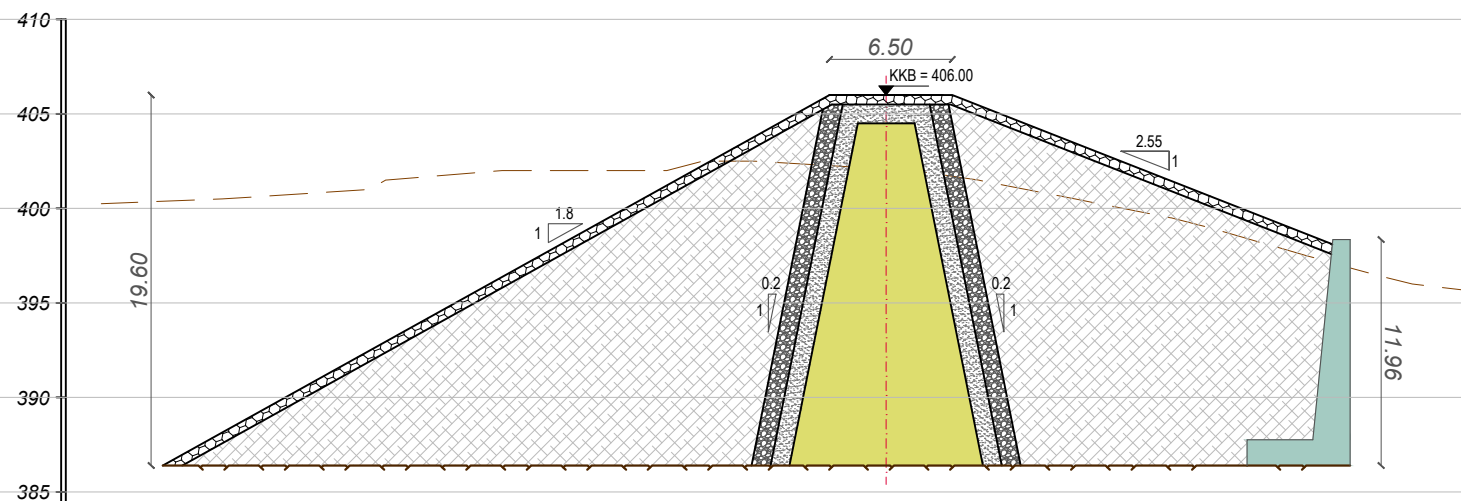


ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA				
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRILO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE - KOMBINOVANA BRANA, KNU = 404 mm	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	18
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

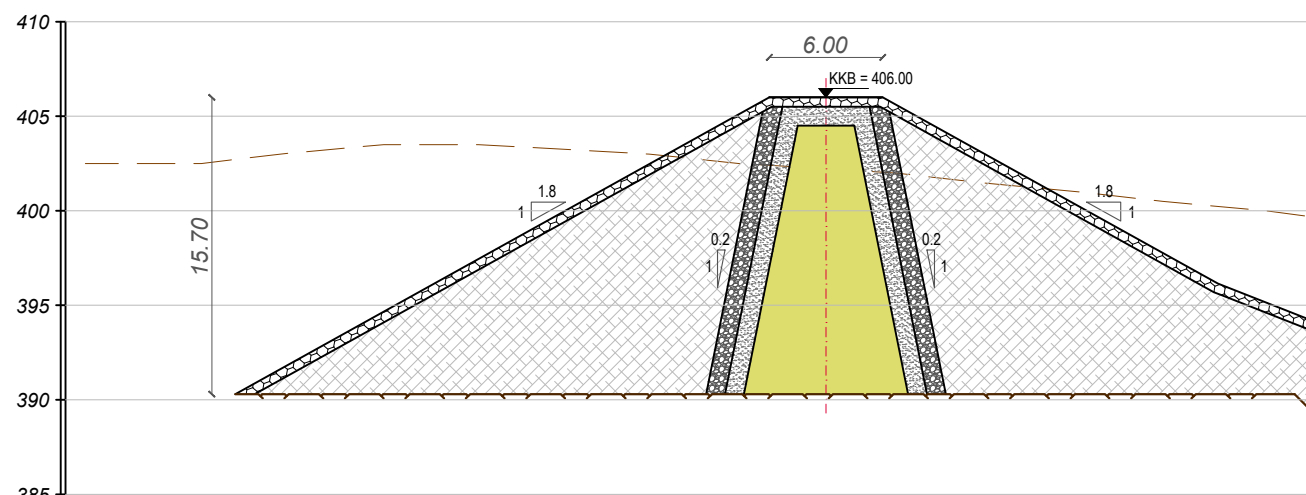
POPREČNI PRESEK 1-1
RAZMERA 1:400



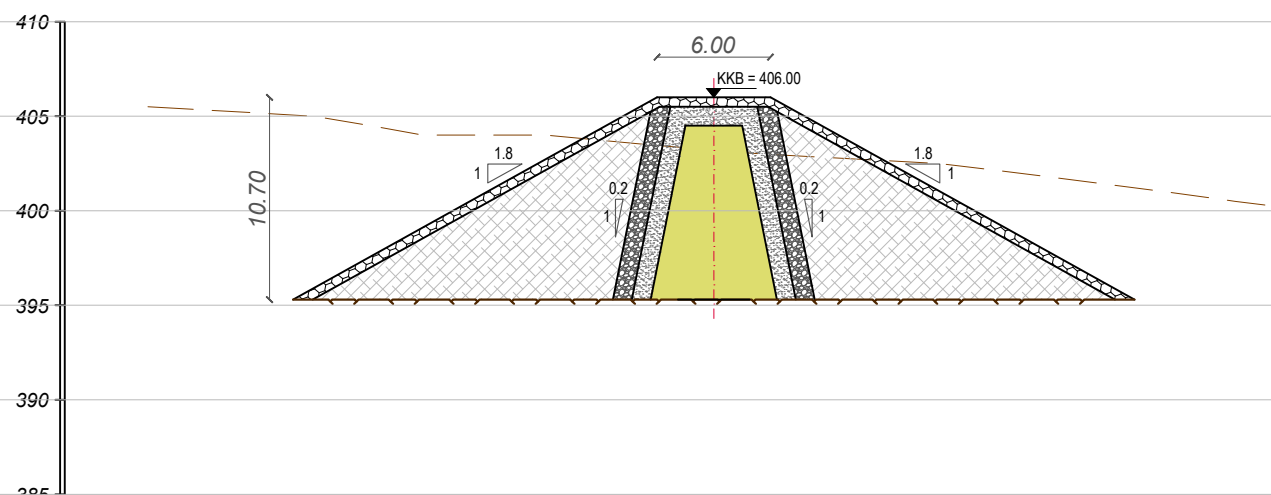
POPREČNI PRESEK 2-2
RAZMERA 1:400



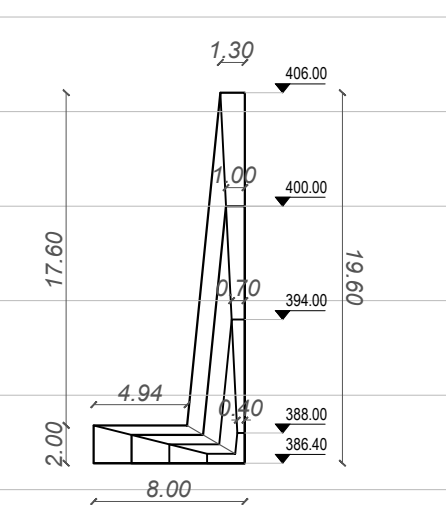
POPREČNI PRESEK 3-3
RAZMERA 1:400



POPREČNI PRESEK 4-4
RAZMERA 1:400



POPREČNI PRESEK 5-5
RAZMERA 1:400

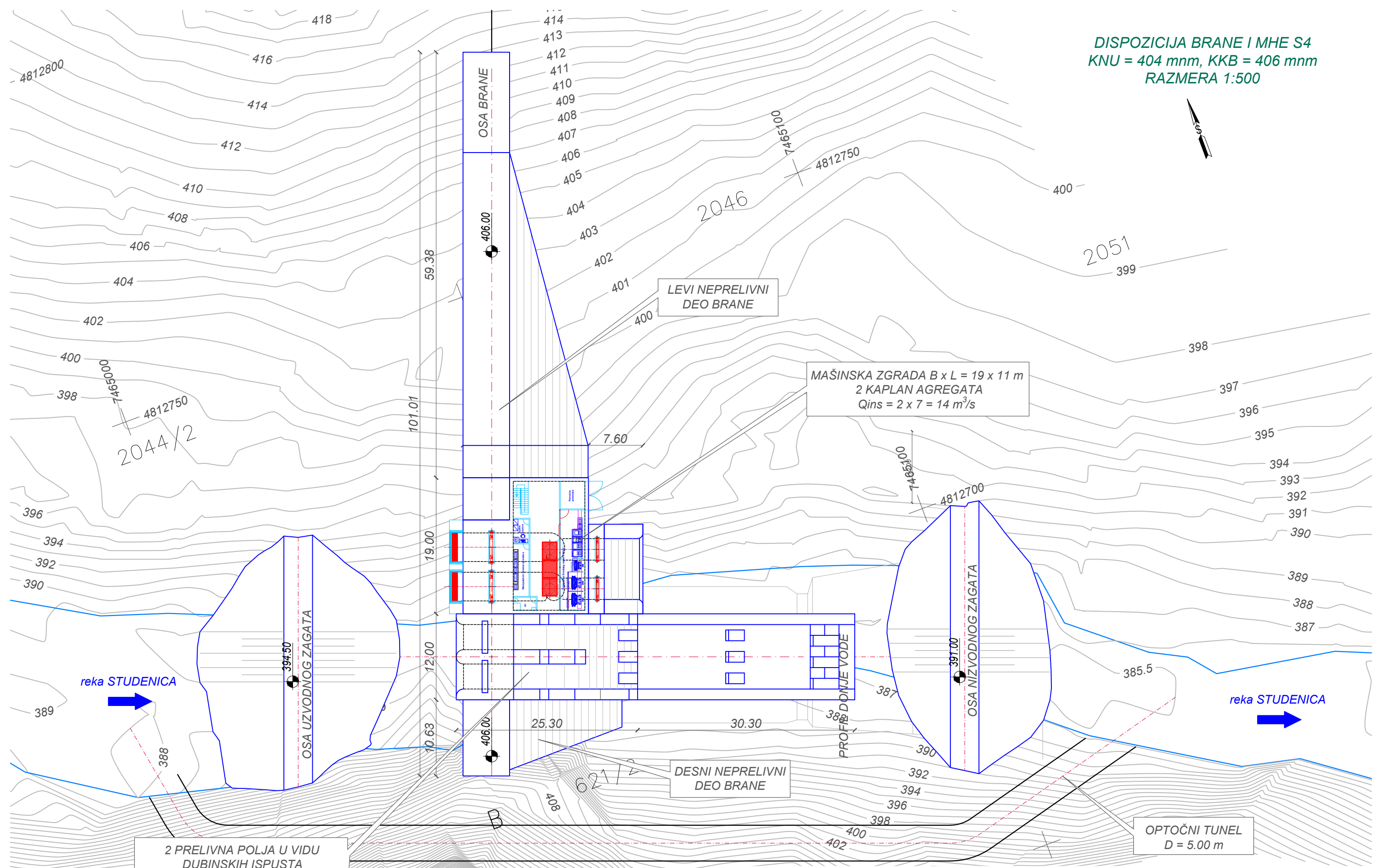


LEGENDA

- GLINENO JEZGRO
- FILTERSKI SLOJ OD PESKOVITOG MATERIJALA
- FILTERSKI SLOJ OD ŠLJUNKOVITOG MATERIJALA
- POTPORNO TELO BRANE OD MATERIJALA IZ ISKOPA
- KAMENA OBLOGA, RIP-RAP

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA				
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRILO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:400	NAZIV CRTEŽA:	POPREČNI PRESECI LEVOG NEPRELIVNOG DELA BRANE OD NASUTOG MATERIJALA - KOMBINOVANA BRANA, KNU = 404 mm	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	19
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

DISPOZICIJA BRANE I MHE S4
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:500



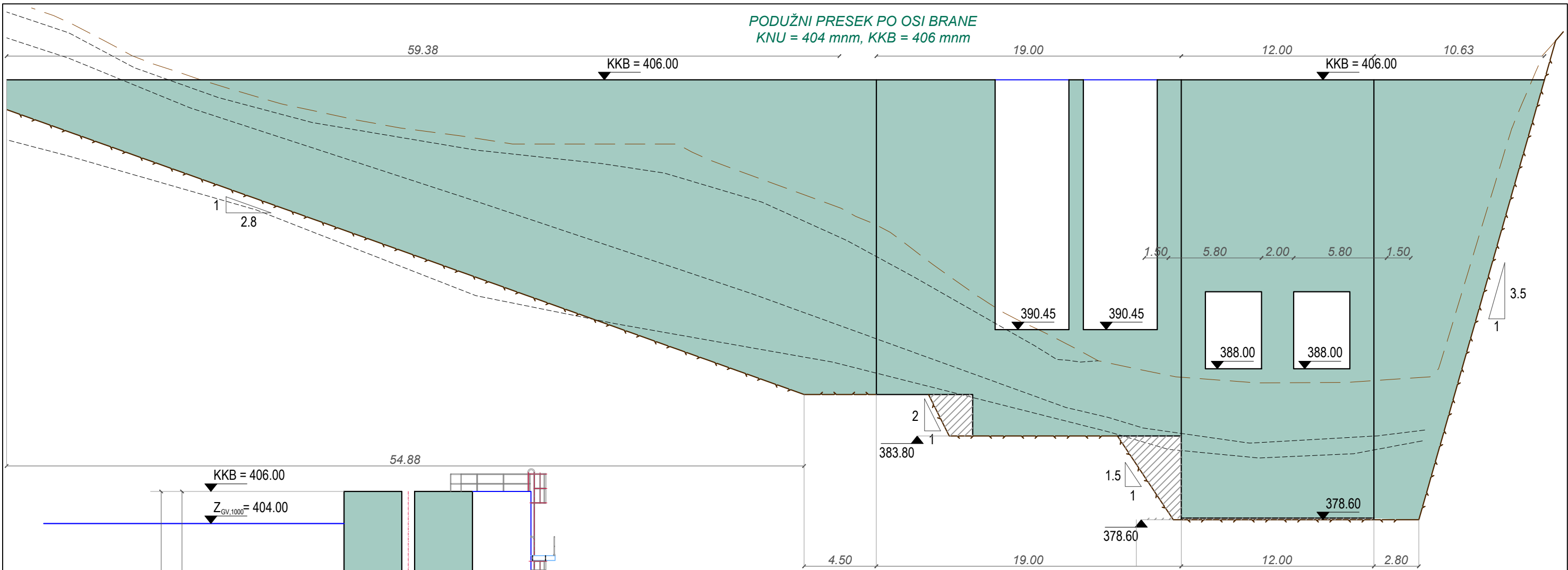
2 PRELIVNA POLJA U VIDU
 DUBINSKIH ISPUSTA
 B x H = 3.50 x 4.80 m

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.
PROJEKTANT:	
KONTROLA:	
ODOBRILO:	

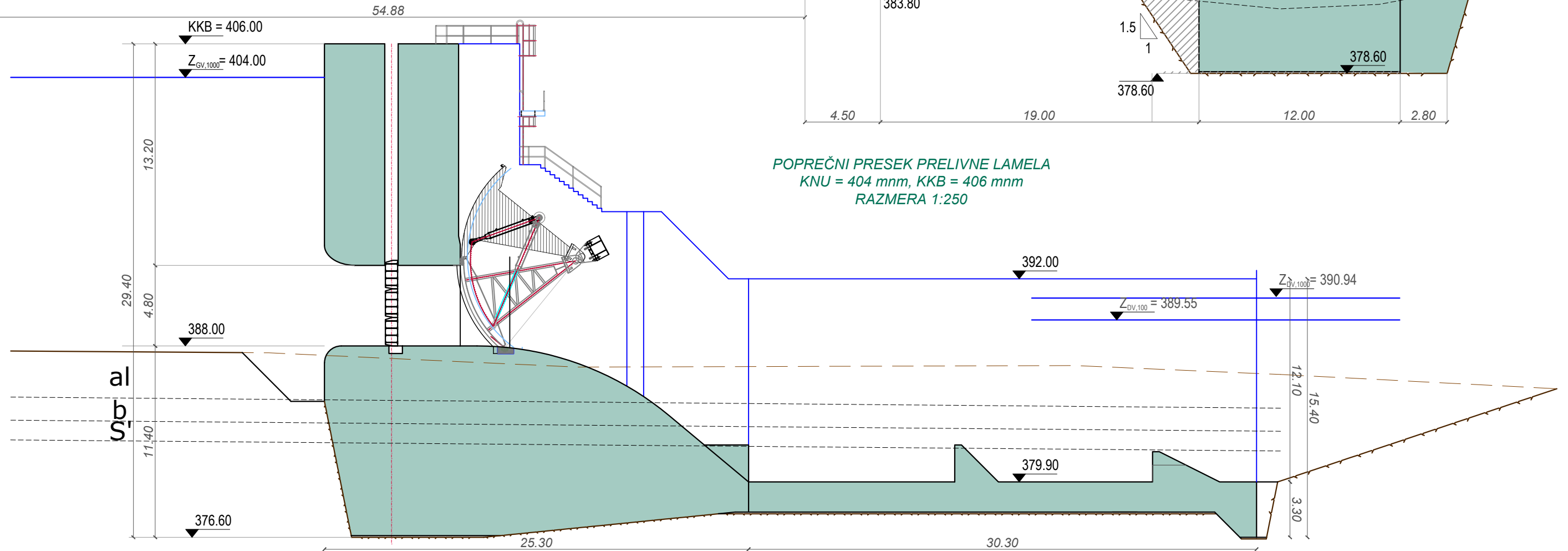


DATUM:	APRIL 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KNU = 404 mm, DUBINSKI ISPUST	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT
						ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA
						BROJ CRTEŽA:	20
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1
						BROJ LISTOVA:	01/01

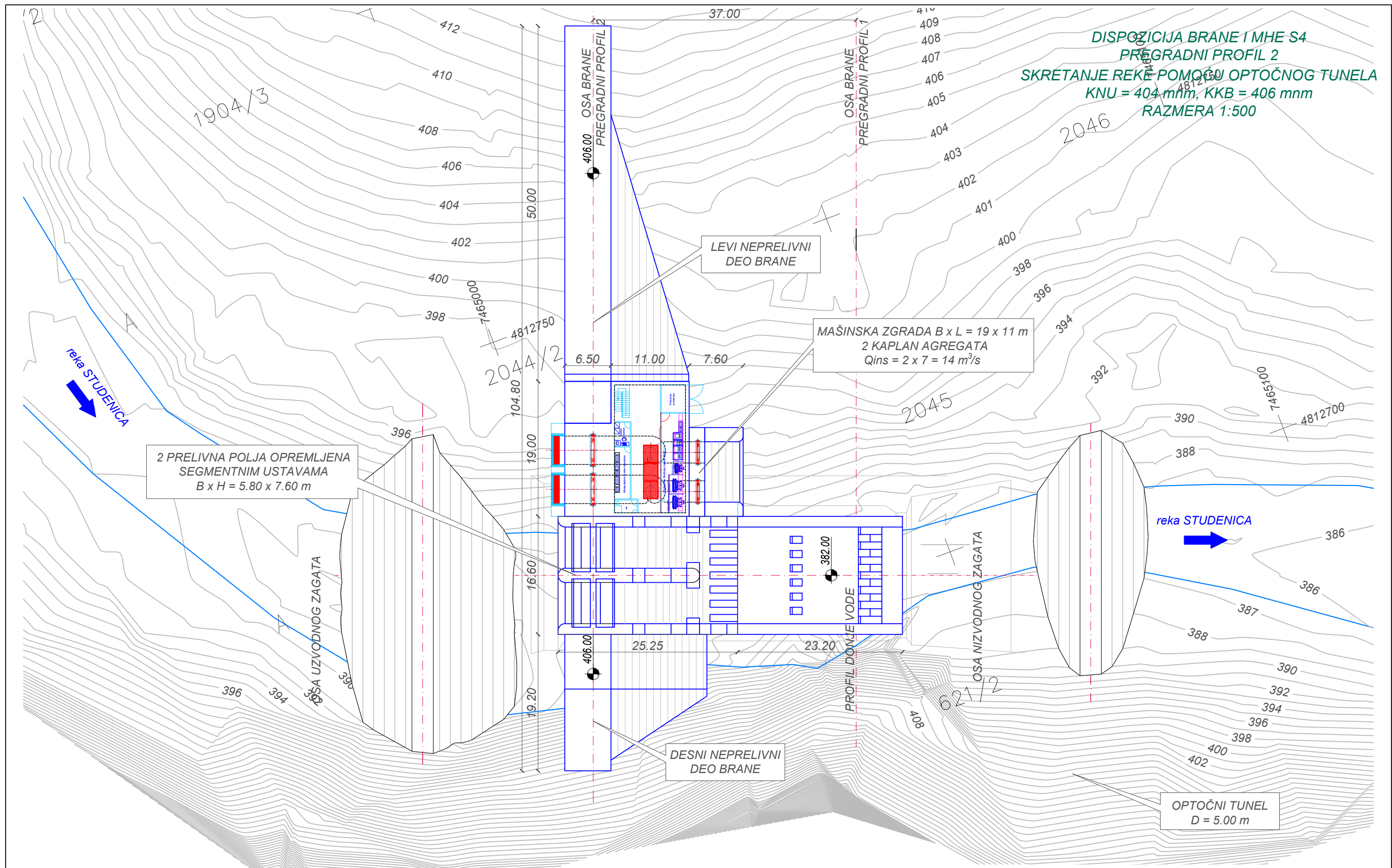
PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm



POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELA
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:250



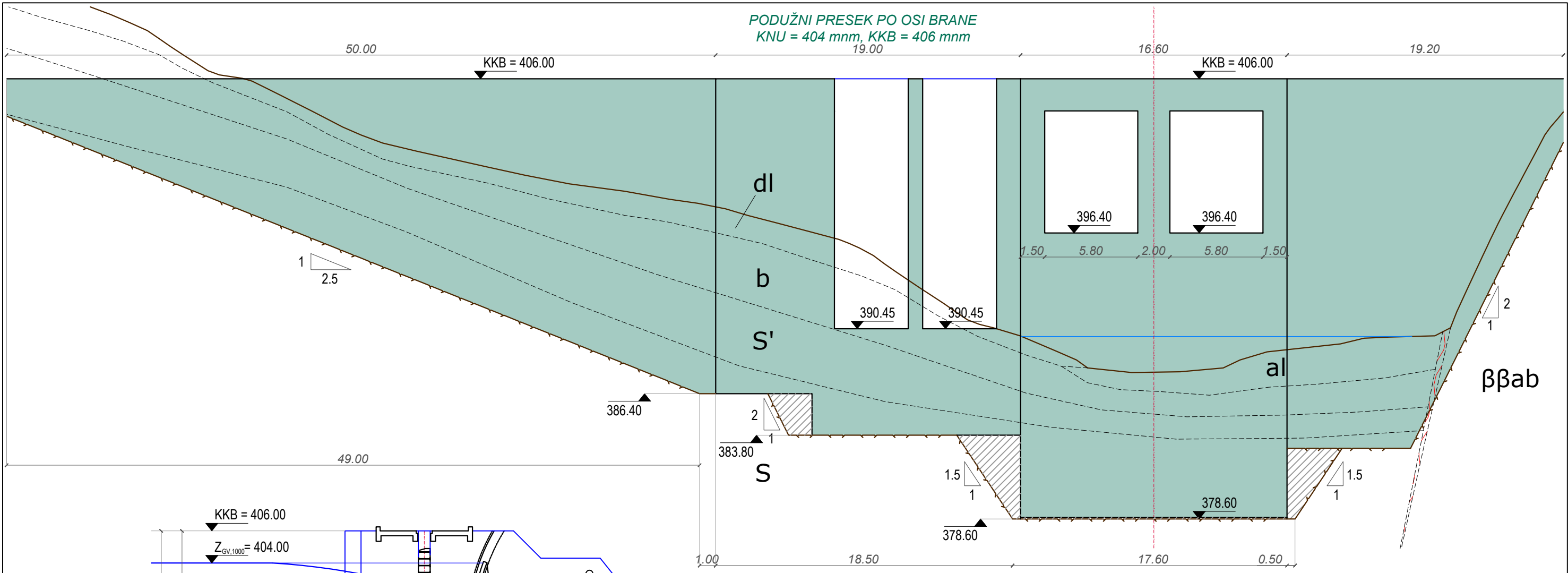
ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA						
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE SA DUBINSKIM ISPUSTOM - KNU = 404 mm	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	21		
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01



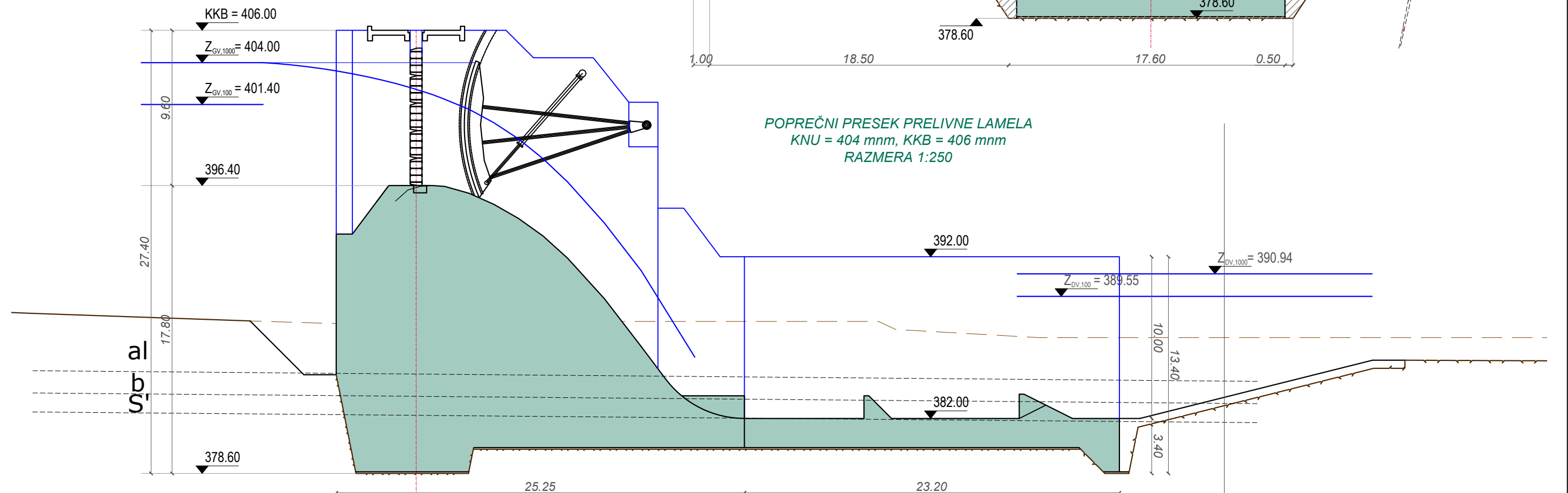
DISPOZICIJA BRANE I MHE S4
 PREGRADNI PROFIL 2
 SKRETANJE REKE POMOĆU OPTOČNOG TUNELA
 KNU = 404 mmm, KKB = 406 mmm
 RAZMERA 1:500

ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privedno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA						
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRILO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KNU = 404 mmm, PREGRADNI PROFIL 2 SKRETANJE REKE POMOĆU OPTOČNOG TUNELA		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	22	
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

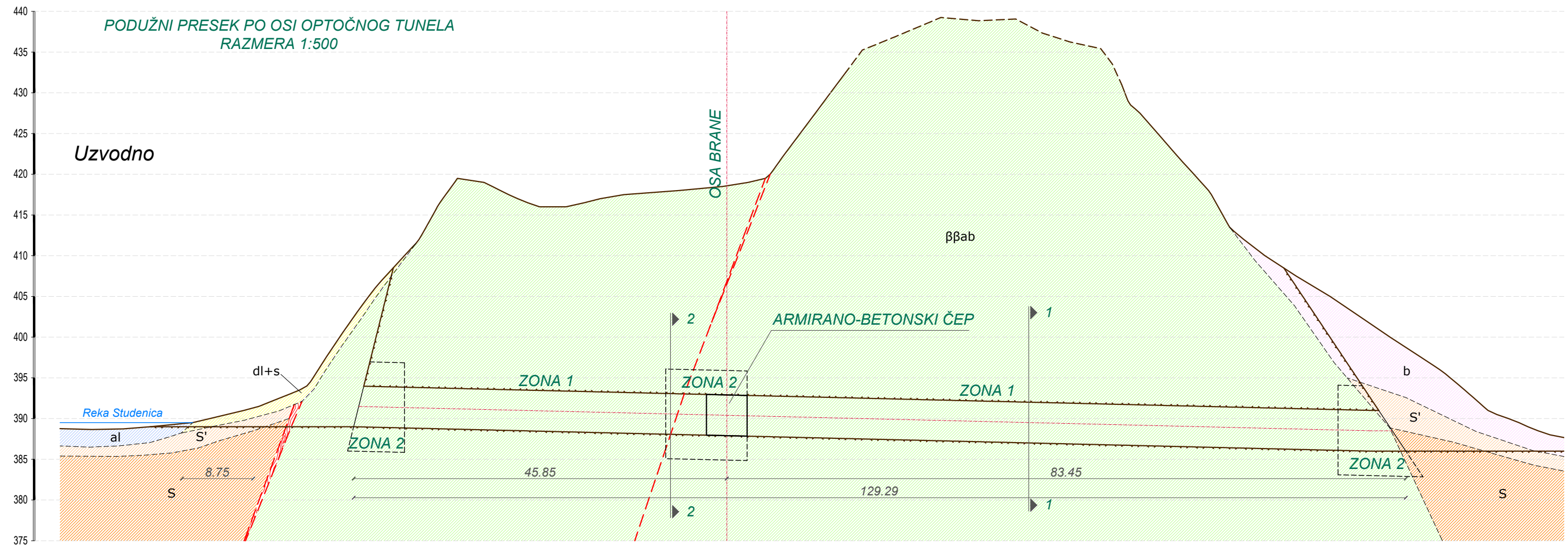
PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 19.00



POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELA
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:250



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA				
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRIO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE - KNU = 404 mm, PREGRADNI PROFIL 2	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ CRTEŽA:	23
						BROJ LISTOVA:	01/01



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 drobina
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

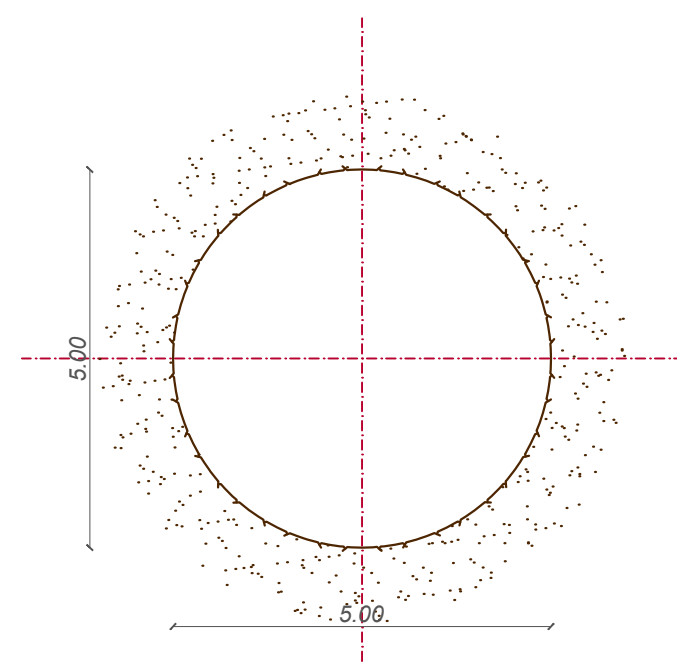
3. Izvedeni istražni radovi

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

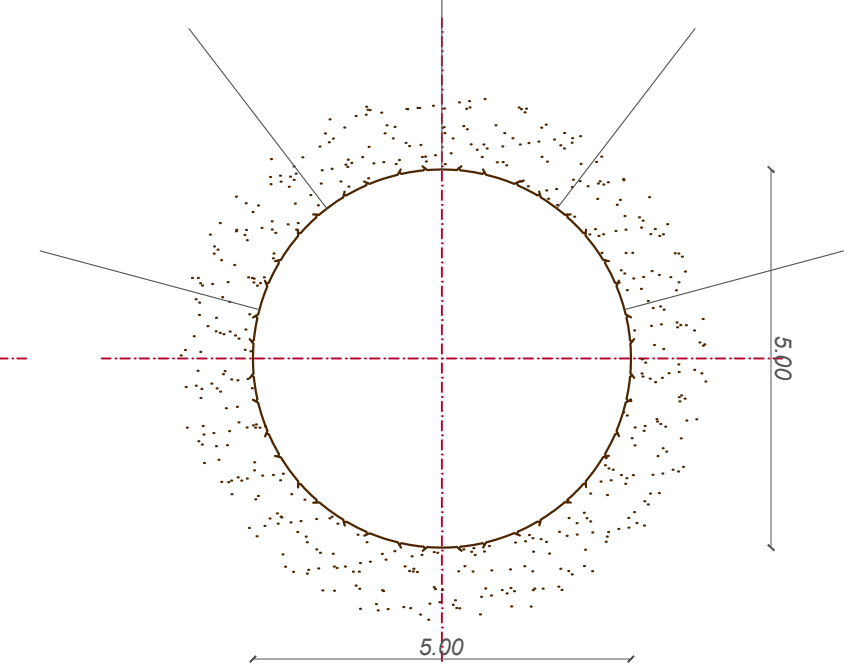
4. Ostale oznake

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

POPREČNI PRESEK OPTOČNOG TUNELA 1-1
RAZMERA 1:100

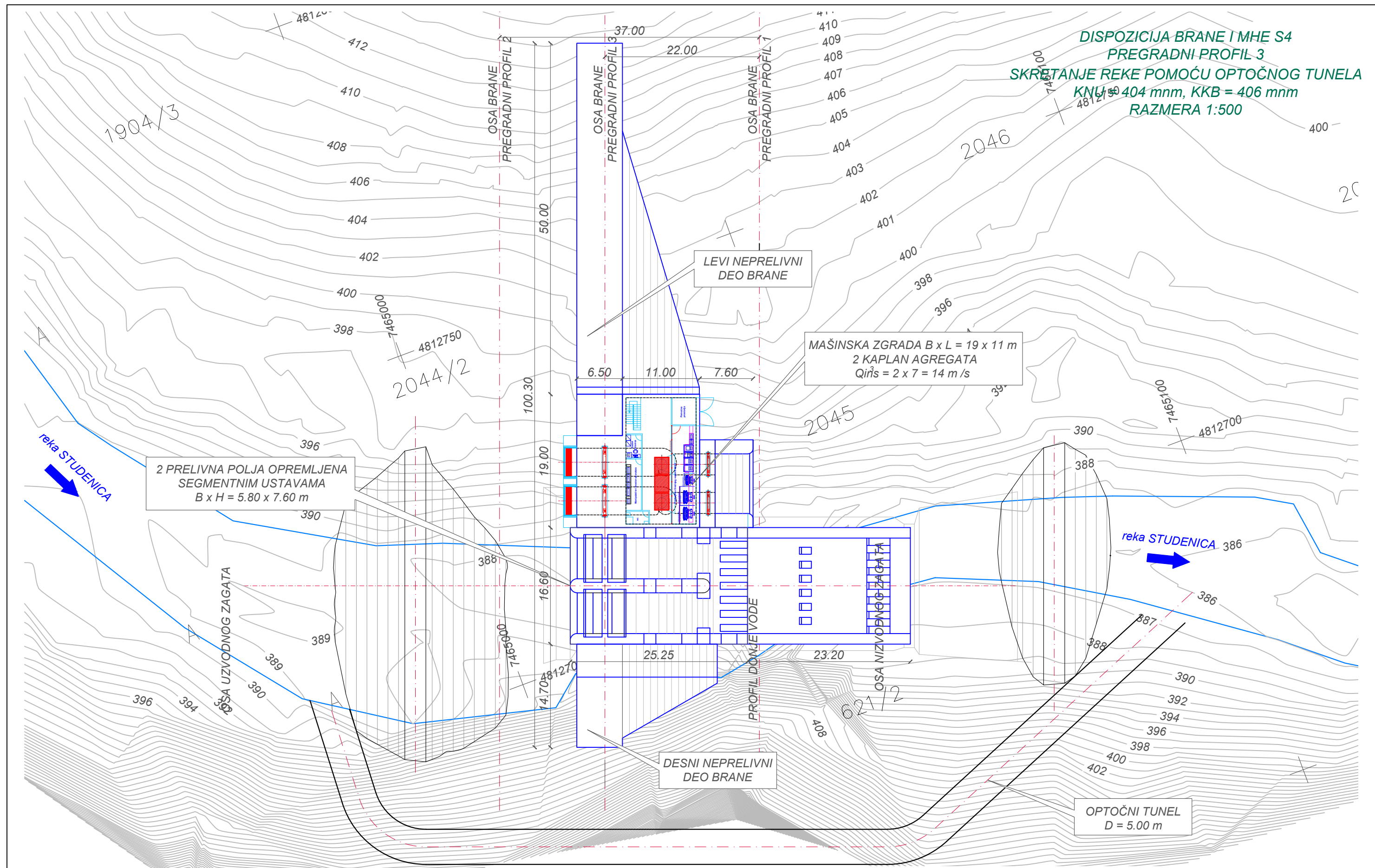


POPREČNI PRESEK OPTOČNOG TUNELA 2-2
RAZMERA 1:100



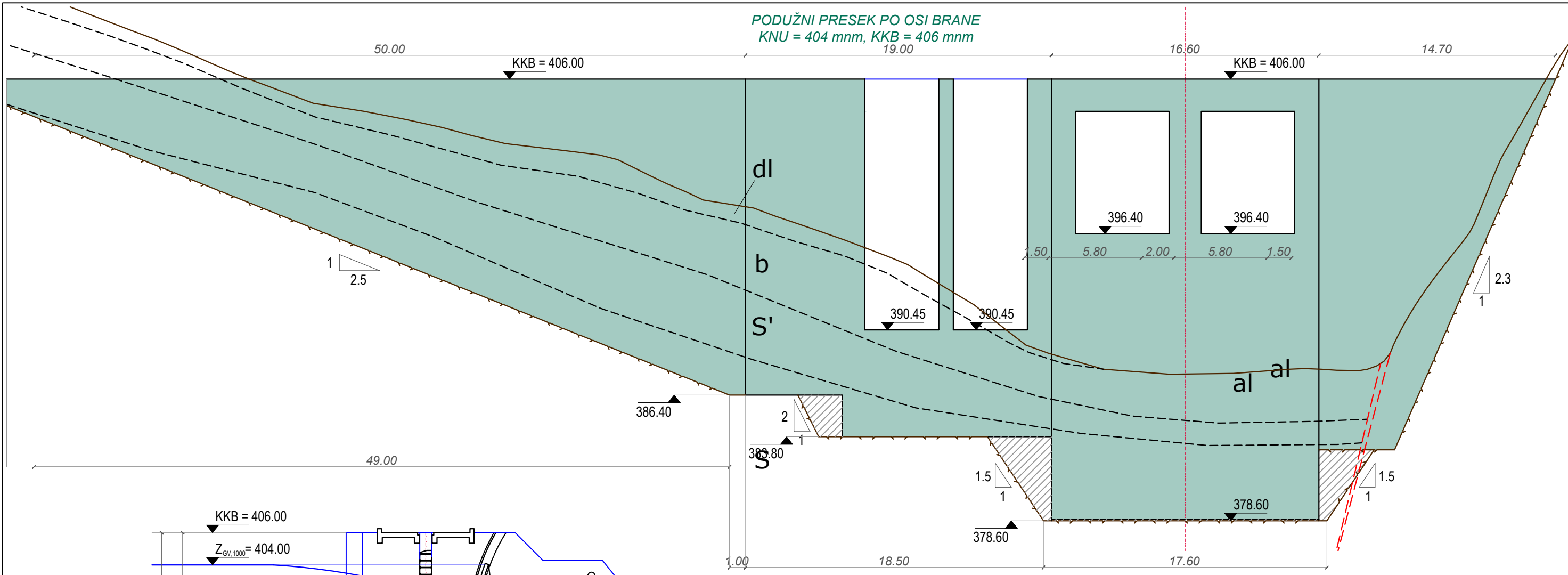
ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	<p>Pravno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak</p>							
PROJEKTANT:									
KONTROLA:									
ODOBRIO:									
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE		
RAZMERA:	1:500 / 1:100	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI I POPREČNI PRESECI OPTOČNOG TUNELA PREGRADNI PROFIL 2			OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT		
						ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	24
						BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

**DISPOZICIJA BRANE I MHE S4
PREGRADNI PROFIL 3
SKRETANJE REKE POMOĆU OPTOČNOG TUNELA
KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
RAZMERA 1:500**

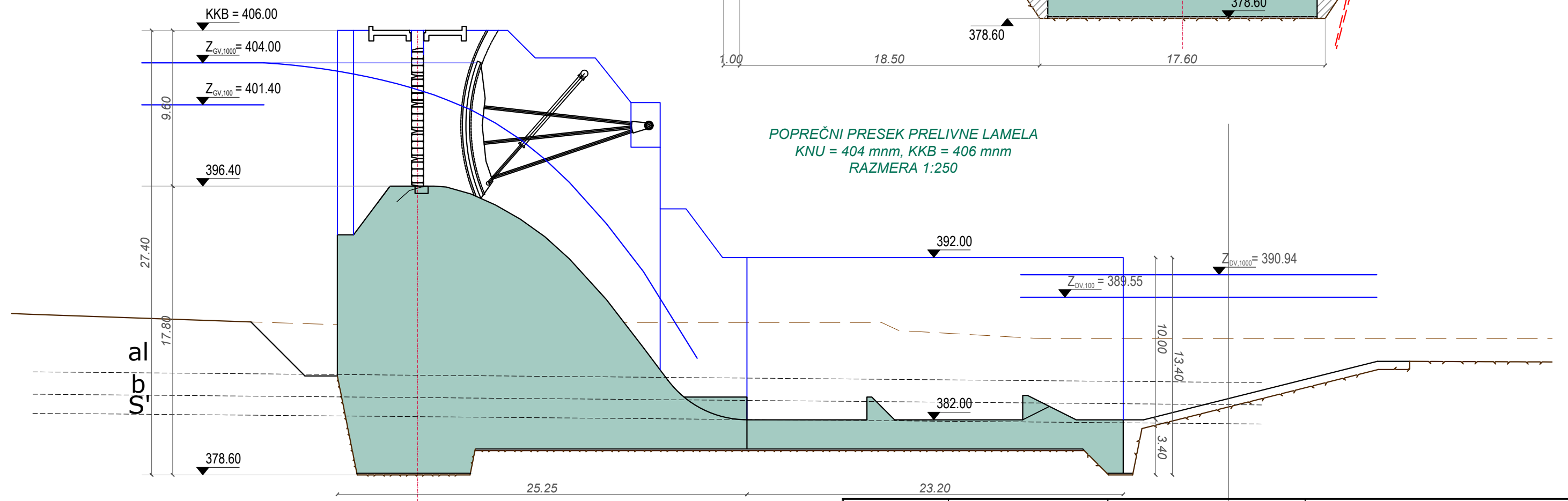


ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA				
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRILO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:500	NAZIV CRTEŽA:	DISPOZICIJA BRANE I MHE "STUDENICA S4 - GRADINA" KNU = 404 mm, PREGRADNI PROFIL 3 SKRETANJE REKE POMOĆU OPTOČNOG TUNELA	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	25
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01

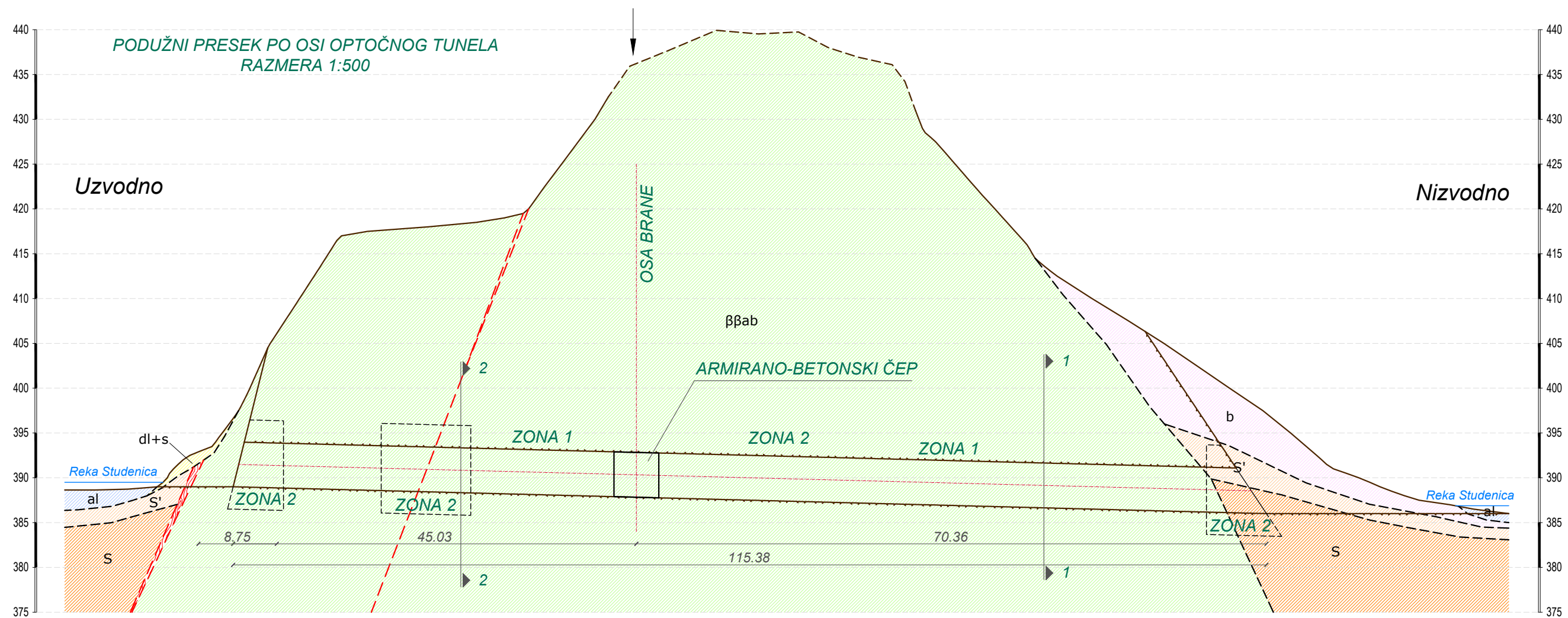
PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm



POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELA
 KNU = 404 mm, KKB = 406 mm
 RAZMERA 1:250



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	 Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	 INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA				
PROJEKTANT:							
KONTROLA:							
ODOBRILO:							
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE
RAZMERA:	1:250	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI PRESEK PO OSI BRANE I POPREČNI PRESEK PRELIVNE LAMELE - KNU = 404 mm, PREGRADNI PROFIL 3	ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	OZNAKA I NAZIV DELA PROJEKTA:	1 - HIDROGRAĐEVINSKI PROJEKAT
				BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ CRTEŽA:	26
						BROJ LISTOVA:	01/01



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 drobina
- 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

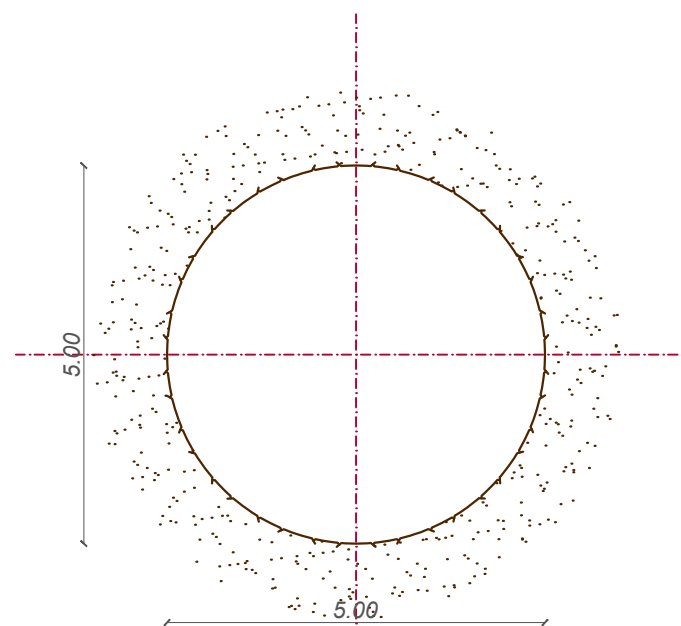
3. Izvedeni istražni radovi

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

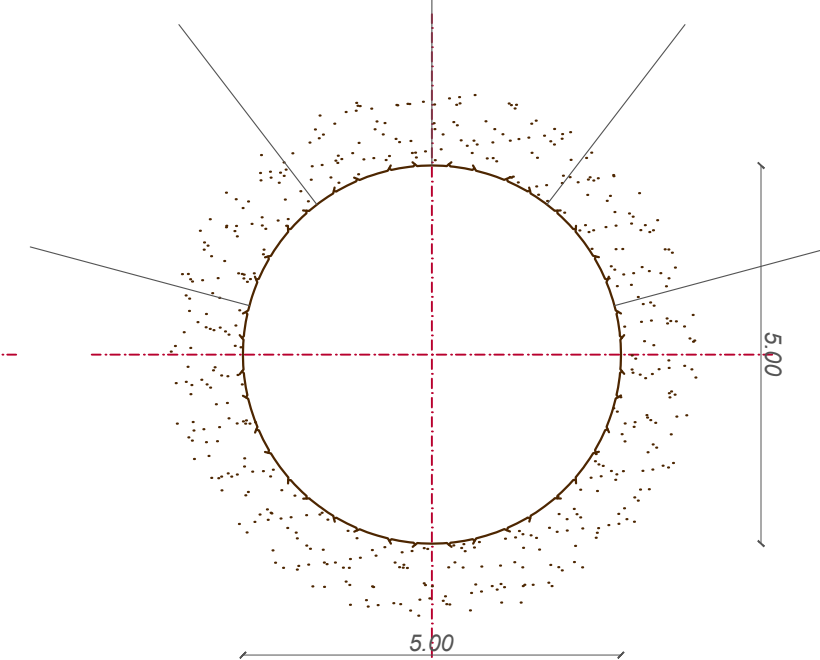
4. Ostale oznake

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

POPREČNI PRESEK OPTOČNOG TUNELA 1-1
RAZMERA 1:100



POPREČNI PRESEK OPTOČNOG TUNELA 2-2
RAZMERA 1:100



ODGOVORNI PROJEKTANT:	Zoran Bogdanović, dipl.inž.građ.	Privredno društvo za projektovanje, konsalting i inženjering ENHY GROUP d.o.o. Čačak	INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU CENTAR MEGA					
PROJEKTANT:								
KONTROLA:								
ODOBRIO:								
DATUM:	April 2021.	INVESTITOR:	"HIDRO - MIN" d.o.o Čačak	OBJEKAT:	MHE "STUDENICA S4 - GRADINA"	VRSTA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	(IDR) IDEJNO REŠENJE	
RAZMERA:	1:500 / 1:100	NAZIV CRTEŽA:	PODUŽNI I POPREČNI PRESECI OPTOČNOG TUNELA PREGRADNI PROFIL 3		ZA GRAĐENJE / IZVOĐENJE RADOVA:	NOVA GRADNJA	BROJ CRTEŽA:	27
					BROJ TEHNIČKE DOKUMENTACIJE:	IDR-02/21-1	BROJ LISTOVA:	01/01