

ELEBORAT O IZGRADNJI MALE HIDROELEKTRANE REKOVIĆI I



Investitor: "MINI HYDRO INVESTMENTS" doo. Beograd

Objekat: MHE "Rekovići I" na reci Lim

Opština: Priboj

Naziv dokumenta: Elaborat o izgradnji Mala hidroelektrana Rekovići I	Broj dokumenta: 1711/28	Datum: 17.11.2011.
Investitor:		
Izradili: <div style="text-align: right;">Potpis:</div> Rukovodilac projekta: Zoran Mojić dipl. inž. maš. Mirjana Milekić dipl. inž. građ. Darko Radosavljević dipl. inž. el. Ekoenergo Inženjering d.o.o.		
Broj strana: 110	Odobreno: <div style="text-align: right;">Potpis:</div>	



© Sva prava zadržava vlasnik autorskih prava, Ekoenergo Inženjering d.o.o., Beograd 2011.
Zabranjuje se korišćenje bilo kog dela bez odobrenja autora.

OPŠTA DOKUMENTACIJA



PROJEKTNII ZADATAK

Za izradu elborata o izgradnji i generalnog projekta MHE "Rekovići I" na reci Lim

Opšti deo

Investitor: „MINI HYDRO INVESTMENTS“ d.o.o. Beograd

Lokacija: reka Lim, opština Priboj

Objekat: Mala hidroelektrana MHE "Rekovići I"

Naziv projekta: Elaborat o izgradnji

Uvodne napomene

Opština Priboj se nalazi u jugozapadnom delu Srbije na tromedi Srbije, Bosne i Hercegovine i Crne Gore. Pripada Zlatiborskom okrugu i sa površinom od 827 km², druga je opština po površini u okrugu.

Lokacija buduće Mala hidroelektrana (MHE) "Rekovići I" nalazi se na reci Lim u okrugu opštine Priboj, udaljena je oko 4,1 km jugoistočno od grada Priboja; oko 1,8 km severozapadno od naselja Podpeč i oko 0,8 km zapadno od Pribojske Banje.

MHE "Rekovići I" treba projektovati kao akumulaciono-protočno pribransko postrojenje, sa potrebnim hidrograđevinskim i građevinskim objektima koji služe za dovod vode do turbina i smeštaj opreme u kojima se vrši transformacija energije, u ovom slučaju iz mehaničke u električnu.

Buduća mašinska zgrada kao i ostali građevinski i hidrograđevinski infrastrukturni objekti moraju da se uklape u prirodni ambijent koji ih okružuje i da se grade od prirodnih materijala, pri čemu treba voditi računa da se zadovolji osnovni zahtev, a to je da se pri izgradnji MHE ne utiče na promenu životne sredine u negativnom smislu i da se ne nanese šteta postojećoj infrastrukturi.

3. Podloge

A) Geodetske podloge

Za potrebe ovog projekta uraditi sledeće geodetske podloge:

Situacioni plan lokacije vodozahvata, i lokacije mašinske zgrade, razmere 1:1000

Karakteristične poprečne profile na mestu vodozahvata i mašinske zgrade. B) Hidrološke podloge
Izvršiti analizu srednjih, malih i velikih voda na profilu vodozahvata. Proračun vršiti nakon dobijenog mišljenja RHMZ-a.

4. Predmet i zadatak projekta

Na osnovu hidroloških parametara reke Lim, definisati sve značajne hidroenergetske parametre.

Izraditi konceptualni projekat MHE "Rekovići I" snage do 7 MW. Projekat treba da uzme u obzir osnovne elemente hidrograđevinskog dela i elektromašinskog dela MHE.

Projekat treba da se zasniva na jednostavnosti i standardizaciji projektovane i izabrane opreme.

Opšti principi za izradu projekta kojih se treba pridržavati:

- Da se zahvaćena voda, posle iskorišćenja energije, vrati u vodotok
- Da se ne umanjuje količina vode i ne sprečava korišćenje vode za vodosnabdevanje drugih korisnika
- Da se ne umanjuje stepen zaštite od štetnog dejstva vode u zoni objekta
- Da se ne pogoršavaju uslovi sanitarne zaštite i ne utiče negativno na stanje životne sredine

Projekat treba da sadrži:

Izbor parametara MHE

Na osnovu prikupljenih podloga, hidrauličkih proračuna i rekognosciranja terena izvršiti izbor instalisanog proticaja.

Energetski proračuni

Na osnovu izabranog instalisanog proticaja izvršiti proračun instalisane snage hidroelektrane, a zatim izračunati prosečnu godišnju proizvodnju električne energije.

Hidromašinski deo projekta

Na osnovu dobijenih parametara Q-H izvršiti izbor hidromašinske opreme hidroelektrane (broj i tip turbine).

Elektrotehnička oprema

Na bazi podataka o snazi postrojenja I tipa turbine, izvršiti izbor generatora i ostale neophodne elektro opreme.

Investiciona vrednost objekta

Na osnovu sračunatih parametara postrojenja, uraditi predmer i predračun građevinskih radova i specifikaciju hidromehaničke i elektromašinske opreme, kako bi se utvrdila ukupna investiciona vrednost budućih objekata.

Ekonomsko - finansijska analiza

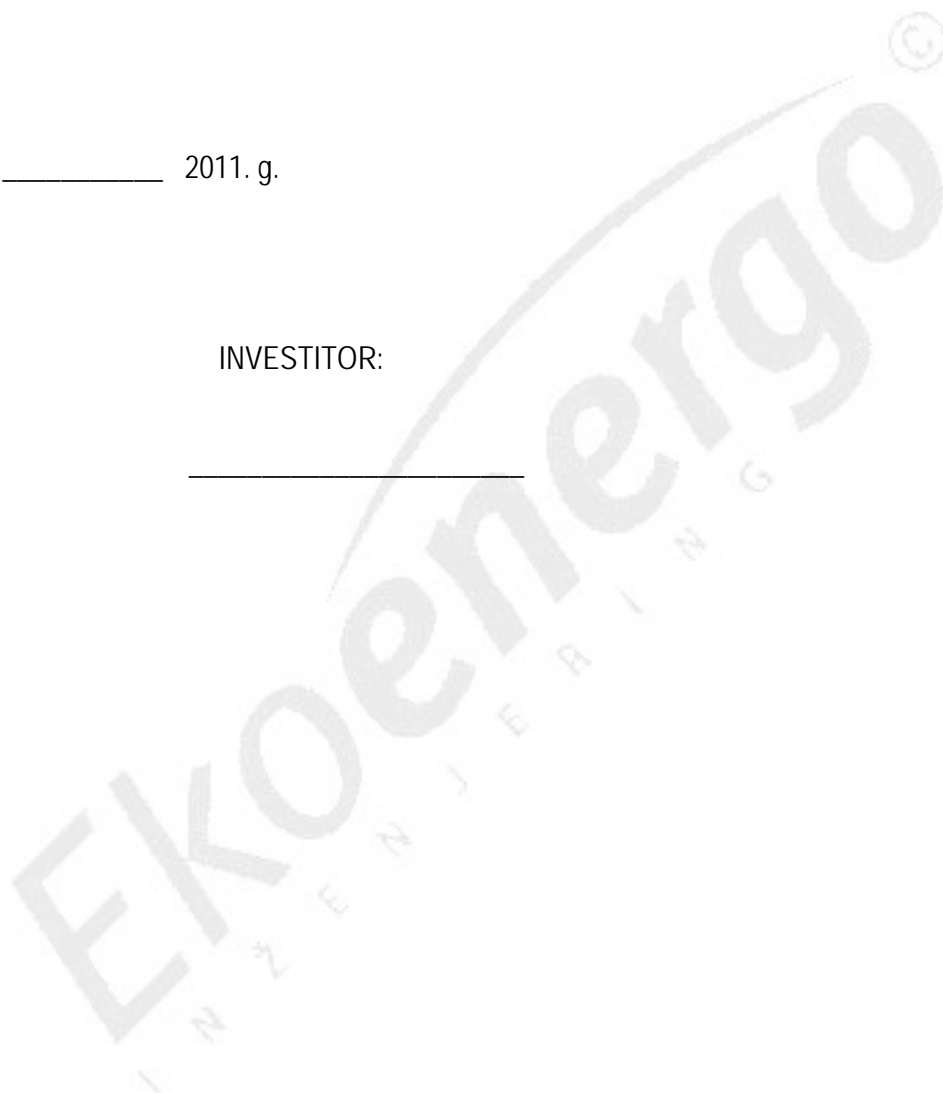
U ovom poglavlju biće prezentovana ekonomsko-finansijska analiza opravdanosti izgradnje MHE "Rekovići I"

Grafički prilozi

Dati dovoljan broj grafičkih priloga, osnova i preseka svih objekata MHE, na osnovu kojih je moguće utvrditi tačnu dispoziciju svih elemenata sistema, kao i količina potrebnih radova i opreme.

U _____ 2011. g.

INVESTITOR:





Република Србија
Агенција за привредне регистре

Регистар Привредних субјеката

БД. 174528/2006

Дана. 26.10.2006 године
Београд

Агенција за привредне регистре, Регистратор који води Регистар привредних субјеката, на основу чл. 4 Закона о Агенцији за привредне регистре (Службени гласник РС 55/04) и члана 23. и 25. Закона о регистрацији привредних субјеката (Службени гласник РС 55/04, 61/05), решавајући по захтеву подносиоца регистрационе пријаве за регистрацију оснивања привредног субјекта, који је поднет од стране:

Име и презиме: Раде Ђорђевић

ЈМБГ: 2104966790013

Адреса: Грчића Миленка 4 а, Београд (град), Србија

доноси

РЕШЕЊЕ

Усваја се захтев подносиоца регистрационе пријаве, па се у Регистар привредних субјеката региструје оснивање привредног субјекта

**EKOENERGO INŽENJERING PREDUZEĆE ZA PROJEKTOVANJE I INŽENJERING
DOO BEOGRAD, BULEVAR MIHAILA PUPINA 3/16**

са следећим подацима:

Пуно пословно име: **EKOENERGO INŽENJERING PREDUZEĆE ZA PROJEKTOVANJE I
INŽENJERING DOO BEOGRAD, BULEVAR MIHAILA PUPINA 3/16**

Правна форма: Друштво са ограниченом одговорношћу

Седиште: Београд (град)

Опис делатности: PREDUZEĆE ZA PROJEKTOVANJE I INŽENJERING

Скраћено пословно име: **EKOENERGO INŽENJERING DOO BEOGRAD**

Регистарски број/Матични број: 20213094

Претежна делатност: 74203 - ИНЖЕЊЕРИНГ

Привредни субјекат је регистрован за спољно трговински промет

Привредни субјекат је регистрован за услуге у спољнотрговинском промету

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I



Подаци о капиталу

Уписани капитал

Новчани 500,00 EUR, у динарској противвредности.

Уплаћен-унет капитал

Новчани 250,00 EUR, 17.10.2006 године, у динарској противвредности.

Подаци о оснивачима:

Име и презиме: Зоран Мојић

ЈМБГ: 0207952710501

Адреса: Булевар Михаила Пупина 3/89, Београд (град), Србија

Уписани капитал

Новчани 325,00 EUR, у динарској противвредности.

Уплаћен-унет капитал

Новчани 162,50 EUR, 17.10.2006 године, у динарској противвредности.

Удео 65,00 %.

Име и презиме: Раде Ђорђевић

ЈМБГ: 2104966790013

Адреса: Грчића Миленка 4 а, Београд (град), Србија

Уписани капитал

Новчани 175,00 EUR, у динарској противвредности.

Уплаћен-унет капитал

Новчани 87,50 EUR, 17.10.2006 године, у динарској противвредности.

Удео 35,00 %.

Подаци о директору:

Име и презиме: Зоран Мојић

ЈМБГ: 0207952710501

Адреса: Булевар Михаила Пупина 3/89, Београд (град), Србија

Подаци о заступницима:

Заступник

Име и презиме: Зоран Мојић

ЈМБГ: 0207952710501

Функција у привредном субјекту: Директор

Овлашћења у промету

Овлашћења у унутрашњем промету неограничена

Овлашћења у спољнотрговинском промету неограничена

Накнаду у износу од 3.600,00 динара за регистрацију напред наведених података наплаћена је од подносиоца регистрационе пријаве.

Образложење

Подносилац регистрационе пријаве поднео је регистрациону пријаву за оснивање привредног субјекта

**EKOENERGO INŽENJERING PREDUZEĆE ZA PROJEKTOVANJE I INŽENJERING
DOO BEOGRAD, BULEVAR MIHAILA PUPINA 3/16**

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

Решавајући по захтеву подносиоца, обзиром да су испуњени законом предвиђени услови, решено је као у диспозитиву.

Висина накнаде за регистрацију одређена је у складу са члановима 2., 3. и 4. Уредбе о висини накнаде за регистрацију и друге услуге које пружа Агенција за привредне регистре (Службени гласник РС број 109/05)

ПОУКА О ПРАВНОМ ЛЕКУ:

Против овог решења може се изјавити жалба министру надлежном за послове привреде у року од 8 (осам) дана од дана достављања решења, а преко Агенције за привредне регистре.





Predzeće za projektovanje i inženjering
Ekoenergo Inženjering d.o.o.
11000 Beograd
Bulevar Mihajla Pupina 3/89
(+381 11) 21 39 707

matični broj: 20213094, PIB: 104678981
Banca Intesa Beograd, t.r. 160-266416-11, delatnost: 74203 -
Inženjering

Na osnovu člana 128. Zakona o planiranju i izgradnji (Sl. Glasnik RS br.72/2009) i Zakona o izmenama i dopunama zakona o planiranju i izgradnji (Sl. Glasnik RS br.24/2011) donosim:

REŠENJE

Za izradu tehničke dokumentacije hidrotehničkog dela Elaborata o izgradnji i Generalnog projekta MHE „Rekovići I“ određuje se odgovorni projektant:

Mirjana Milekić, dipl. inž. građ., br. lic. 313 H648 09

Za izradu tehničke dokumentacije hidromašinskog dela Elaborata o izgradnji i Generalnog projekta MHE „Rekovići I“ određuje se odgovorni projektant:

Zoran Mojić, dipl. inž. maš., br. lic. 332 9777 04

Kao lica koja ispunjavaju Zakonom propisane uslove za izradu tehničke dokumentacije, shodno Zakonu o planiranju i izgradnji.

Projektna dokumentacija će se uraditi u svemu prema Zakonu o planiranju i izgradnji i pravilima struke. Za saradnike na projektu imenujem:

Mirjanu Milanović-Despotović dipl. inž. građ.

Aleksandru Menković dipl. ing. arh.

Jelenu Janevski dipl. inž. maš.

Darka Radosavljevića dipl. inž. el.

U Beogradu, 25.05.2011.

**Direktor:
Zoran Mojić**



ИНЖЕЊЕРСКА КОМОРА СРБИЈЕ

ЛИЦЕНЦА

ОДГОВОРНОГ ПРОЈЕКТАНТА

На основу Закона о планирању и изградњи и
Статута Инжењерске коморе Србије

УПРАВНИ ОДБОР ИНЖЕЊЕРСКЕ КОМОРЕ СРБИЈЕ
утврђује да је

Мирјана В. Милекић

дипломирани грађевински инжењер
ЈМБ 0112971795010

одговорни пројектант
грађевинских објеката хидроградње

Број лиценце

313 H648 09



У Београду,
2. јула 2009. године

ПРЕДСЕДНИК КОМОРЕ

Д. Шумаца
Проф. др Драгослав Шумаца
дипл. грађ. инж.

Број: 12-02/18275
Београд, 14.07.2011. године



На основу члана 75. Статута Инжењерске коморе Србије
("СГ РС", бр. 88/05 и 16/09), а на лични захтев члана Коморе,
Инжењерска комора Србије издаје

ПОТВРДУ

Којом се потврђује да је Мирјана В. Милекић, дипл.грађ.инж.
лиценца број

313 H648 09

за

одговорног пројектанта грађевинских објеката хидроградње

на дан издавања ове потврде члан Инжењерске коморе Србије, да је
измирио обавезу плаћања чланарине Комори закључно са 21.05.2012.
године, као и да му одлуком Суда части издата лиценца није одузета.



Председник Инжењерске коморе Србије

Проф. др Драгослав Шумарац, дипл.грађ.инж.

EKO
INŽENJERING



ИНЖЕЊЕРСКА КОМОРА СРБИЈЕ

ЛИЦЕНЦА

ОДГОВОРНОГ ПРОЈЕКТАНТА

На основу Закона о планирању и изградњи и
Статута Инжењерске коморе Србије

УПРАВНИ ОДБОР ИНЖЕЊЕРСКЕ КОМОРЕ СРБИЈЕ
утврђује да је

Зоран Б. Мојић

дипломирани машински инжењер
ЈМБ 0207952710501

одговорни пројектант

машинских инсталација објеката водоснабдевања и индустријских
вода, хидротехнике и хидроенергетике

Број лиценце

332 9777 04



У Београду,
15. јула 2004. године

ПРЕДСЕДНИК КОМОРЕ

Милош Лазовић

Проф. др Милош Лазовић
дипл. грађ. инж.

Број: 12-02/18277
Београд, 14.07.2011. године



На основу члана 75. Статута Инжењерске коморе Србије
("СГ РС", бр. 88/05 и 16/09), а на лични захтев члана Коморе,
Инжењерска комора Србије издаје

ПОТВРДУ

Којом се потврђује да је Зоран Б. Мојић, дипл.маш.инж.
лиценца број

332 9777 04

за

**одговорног пројектанта машинских инсталација објеката
водоснабдевања и индустријских вода, хидротехнике и
хидроенергетике**

на дан издавања ове потврде члан Инжењерске коморе Србије, да је
измирио обавезу плаћања чланарине Комори закључно са 15.07.2012.
године, као и да му одлуком Суда части издата лиценца није одузета.



Председник Инжењерске коморе Србије

Проф. др Драгослав Шумарац, дипл.грађ.инж.

EKO
INŽENJERING

SADRŽAJ:

1.	Uvod.....	12
1.1.	Makrolokacija objekta.....	12
1.2.	Karakteristike reke Lim.....	12
1.3.	Identifikacija energetskog potencijala opštine Priboj.....	14
1.4.	Osnovne karakteristike MHE "Rekovići I".....	15
1.4.1.	Geološki podaci.....	16
2.	Osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu VZ MHE "Rekovići I"	17
2.1.	Osnovni parametri	17
2.1.1.	Uvodne napomene.....	17
2.2.	Osnovne karakteristike brane i HE Potpeć.....	17
2.3.	Osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu vodozahvata MHE Rekovići I	18
2.4.	Osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu vod.stanice Priboj.....	18
2.4.1.	Definisanje krive trajanja dnevnih proticaja u profilu MHE Rekovići I.....	19
2.5.	Definisanje merodavnih malih voda.....	19
2.6.	Karakteristični srednji mesečni i godišnji proticaji vode na reci Lim u profilu vod.st.Priboj	20
2.6.1.	Maksimalni proticaji na reci Lim u profilu Podpeć.....	21
2.7.	Umesto zaključka.....	24
3.	Tehničko rešenje MHE "Rekovići I".....	25
3.1.	Izbor instalisanog protoka	25
3.1.1.	Hidrograđevinski deo	26
3.1.2.	Tehnički izveštaj	26
3.1.3.	Betonska brana	30
3.1.3.1.	Proračun propusne moći betonskog prelivnog praga	30
3.1.3.2.	Oblikovanje prelivne ivice Krigerovog preliva	31
3.1.3.3.	Preliminarni proračun slapišta.....	32
3.1.3.4.	Preliminarni proračun otvora za prolaz ribe.....	33
3.1.4.	Mašinska zgrada	34
3.1.4.1.	Arhitektonsko rešenje mašinske zgrade.....	34
3.1.4.2.	Konstrukcija mašinske zgrade.....	34
3.1.4.3.	Spoj mašinske zgrade sa donjom vodom.....	35
3.1.5.	Evakuacija vode za vreme građenja	35
3.1.6.	Predlog neophodnih istražnih radova za izradu idejnog projekta	36
3.1.7.	Napomene u vezi građenja i uređenja gradilišta	38
3.1.8.	Predračun građevinskih i hidrograđevinskih radova	39
3.2.	Mašinski i hidromašinski deo	41
3.2.1.	Izbor instalisanog protoka turbine za MHE Rekovići I u uslovima postojećeg režima reke Lim	41
3.2.2.	Izbor nominalnog broja obrtaja na osnovu sledećih formula.....	43
3.2.3.	Izbor parametara Kaplanove turbine.....	44
3.2.3.1.	Specifičan broj obrtaja Kaplanove turbine za uslove na mestu mikrolokacije.....	46
3.2.3.2.	Određivanje geometrijskih karakteristika Kaplanove turbine	47
3.2.3.3.	Određivanje usisne visine turbine	48
3.2.4.	Izbor zatvarača-čelična segmentne ustava na prelivnom polju brane.....	50
3.2.5.	Izbor čeličnih rešetki.....	51
3.2.6.	Predračun mašinske i hidromašinske opreme MHE.....	52
3.3.	Osnovne karakteristike elektro opreme MHE "Rekovići I"	53
3.3.1.	Predmet projekta i Zakonska regulativa.....	53

3.3.2.	Uvod.....	54
3.3.3.	Generatori.....	56
3.3.3.1.	Oprema generatorskog napona.....	57
3.3.4.	Energetski transformator.....	57
3.3.5.	Sopstvena potrošnja i kućni transformator.....	58
3.3.6.	Zaštite.....	59
3.3.7.	Sistem turbinske regulacije.....	62
3.3.8.	Regulacija pobude generatora.....	63
3.3.9.	Start stop sekventni automat i sinhronizacija.....	64
3.3.10.	Upravljanje i nadzor MHE.....	65
3.3.11.	Razvodno postrojenje 35 kV.....	68
3.3.12.	Priključenje MHE "Rekovići I" na DEES i obračun električne energije.....	69
3.3.13.	Osnovni tehnički zahtevi za priključenje MHE na EES.....	71
3.3.14.	Uzemljenje i gromobranska zaštita.....	75
3.3.15.	Zaštita od previsokog napona dodira i mere za izjednačavanje potencijala.....	76
3.3.16.	Instalacija osvetljenja i utičnica.....	76
3.3.17.	Oprema za protivpožarnu zaštitu.....	77
3.3.18.	Specifikacija, predmer i predračun elektro-opreme.....	78
3.4.	Zbirna rekapitulacija.....	78
4.	Rizici i bezbednost brane.....	79
4.1.	Izloženost MHE "Rekovići I" zemljotresnom riziku.....	80
4.2.	Hidrološki rizik i razne vremenske nepogode.....	80
4.3.	Rizik od vatre i požara.....	81
4.4.	Rizik od vremenskih nepogoda i poplava.....	81
5.	Mere za sprečavanje ili smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu.....	83
5.1.	Uvod.....	83
5.2.	Negativni uticaji na prirodu i životnu sredinu.....	83
5.2.1.	Biodiverzitet.....	84
5.2.2.	Hidroenergetika kao potencijalni faktor ugrožavanja prirode.....	84
5.3.	Procena uticaja MHE na životnu sredinu.....	86
5.3.1.	Kraći pregled osnovnih podataka za procenu uticaja.....	86
5.3.2.	Uticaji tokom izgradnje i eksploatacije MHE.....	86
5.3.3.	Procena uticaja na životnu sredinu u slučaju udesa.....	88
5.4.	Mere zaštite životne sredine.....	90
5.4.1.	Opšte mere.....	90
5.4.2.	Posebne mere.....	93
5.4.3.	Program praćenja uticaja na životnu sredinu.....	94
5.5.	Zaključak.....	94
6.	Ekonomsko – finansijska analiza.....	96
6.1.	Uvod.....	96
6.2.	Ekološki uticaj.....	96
6.2.1.	Uvod.....	96
6.2.2.	Pretpostavke.....	97
6.2.3.	Primenjene metode.....	97
6.3.	Troškovi.....	98
6.3.1.	Uvod.....	98
6.3.2.	Troškovi izgradnje MHE "Rekovići I".....	99
6.3.3.	Troškovi investicionog i tekućeg održavanja.....	99
6.3.4.	Troškovi materijala, delova i usluga (pogonski troškovi).....	100
6.3.5.	Zarade i naknade zaposlenih.....	100
6.3.6.	Troškovi osiguranja.....	101
6.3.7.	Troškovi amortizacije.....	101
6.4.	Cena otkupa električne energije, stimulatивne mere i olakšice.....	102
6.4.1.	Cena otkupa električne energije.....	102
6.4.2.	Stimulatивne mere i olakšice.....	102
6.5.	Cena proizvodnje električne energije u MHE "Rekovići I".....	103

6.6.	Profitabilnost projekta	104
6.7.	Finansijski i investicioni plan	104
6.8.	Finansijska projekcija	108



1. Uvod

1.1. Makrolokacija objekta

Opština Priboj se nalazi u Zlatiborskom okrugu, na tromeđi Srbije, Crne Gore i Republike Srpske i rasprostire se na 552 km². Kroz Priboj protiče reka Lim, zato ga često i zovu Priboj na Limu. Pored Priboja kao opštinskog centra ova površina obuhvata i naselja: Banja, Batkovići, Brezna, Bučje, Dobrilovići, Živinice, Zabrđe, Zabrnjica, Zagradina, Zaostro, Jelača, Kalafati, Kaluđerovići, Kasidoli, Kratovo, Krnjača, Kukurovići, Mažići, Miliješ, Plašće, Požegrmac, Pribojska Goleša, Pribojske Čelice, Rača, Ritošići, Sjeverin, Sočice, Strmac, Hercegovačka Goleša, Crnugovići, Crnuzi i Čitluk. Prema podacima Popisa stanovništva iz 2002. godine u Priboju je živelo 30.337 stanovnika.

Priboj se graniči sa opštinama Čajetina, Nova Varoš, Prijepolje, Pljevlja, Čajniče i Rudo. Kroz Priboj prolaze vrlo važni regionalni putevi ka Podgorici i Sarajevu, kao i pruga Beograd- Bar. Od Beograda Priboj je udaljen oko 280 km, od Podgorice oko 200 km, Sarajeva oko 160km a od Užica oko 90 km.

Opština Priboj se odlikuje raznovrsnim prirodnim vrednostima uslovljenim njenom složenom morfološkom strukturom.

Najznačajniji turistički potencijali opštine su: planine Javorje, Pobijenik, Bić i Crni vrh, visoravni Krnjača i Ljeskovac, reke Lim, Uvac i Sutjeska, jezero Potpeć, termomineralni izvori na Banji, povoljna klima i raznovrstan biljni i životinjski svet.

Smatra da su Priboj podigli srednjovekovni srpski feudalci kao četvorougaoni zidani grad Jagat na padinama planine Bić šireći svoju vlast i državu prema Bosni.

U okolini Priboja nalaze se **termalni izvori** sa najprimerenijom temperaturom vode i telesne temperature čoveka (oko 37 C). U blizini Priboja (na oko 5 km) nalazi se Pribojska Banja, koja je poznata baš zahvaljujući svojim lekovitim izvorima.

Klima je umereno kontinentalna. U toku godine sunčanih dana je 60, oblačnih 145.

1.2. Karakteristike reke Lim

Lim je najveća reka Pribojskog kraja pa su svi manji vodeni tokovi upravljani prema njemu. On ima odlike kompozitne doline jer se u njoj između Bijelopoljske i Pribojske kotline, naizmenično smenjuju klisure sa rečnim proširenjima - kotlinama.

Reka Lim pripada Crnomorskom slivnom području preko reka Drine, Save i Dunava. Slivno područje reke Lim obuhvata 5.963km².

Reka Lim zvanično nastaje na nadmorskoj visini od 999m isticanjem iz Plavskog jezera. Samo Plavsko jezero je protočno tako da se ovaj vodeni tok može pratiti još dalje rekom Ljučom, koja u njega utiče, do njenog nastanka spajanjem Grnčara i Vruje kod Gusinja. Sam Grnčar, kao jači tok, pod imenom Vermoša prethodno prolazi kroz Albaniju, varošicu Vermoši i Crnu Goru u kojoj i izvire. Njen izvor se nalazi ispod najvišeg vrha Crne planine Maglića na visini 2142m i udaljen je svega nekoliko kilometara od izvorišta reke Tare koja se nalazi sa druge strane Maglića. Sama Crna planina se nalazi u pograničnoj zoni Crne Gore i Albanije između Komova na severu i Žujeva na jugu u oblasti Kuča.



Slika 1-1: Reka Lim sa pritokama

Izvorište reke Lim pripada plavsko-gusinjskoj kotlini a reka Lim iz nje teče ka severozapadu u Sutjesku klisuru, posle koje izlazi u Beransku kotlinu. Reka zatim prelazi u Tivransku klisuru iz koje se otvara Bjelopoljska kotlina. Nakon Bjelopoljske klisure počinje Dubrakovačka klisura koja na kraju prelazi u pravi kanjon dugačak 11km sa visinom strana do 550m. Ona je poznata i kao Kumanička klisura, a u njoj se danas nalazi državna granica između Srbije i Crne Gore.

Posle Kumaničke klisure reka ulazi u Brodarevsku kotlinu, posle čega se rečne obale ponovo sužavaju, da bi se opet otvorili u Prijepoljsko polje u kome joj se pridružuje rečica Mileševka. Posle Prijepolja otpočinje nova klisura koja sa manjim kotlinastim proširenjima traje do ušća reke Uvac. Lim je na ovom delu svog toka pregrađen i na njemu je formirano veštačko akumulaciono Potpečko jezero zapremine 44.000.000 m³ na kome se nalaze dve hidroelektrane, od kojih jedna koristi jezero kao akumulaciju, a druga kao kompenzacioni bazen.

Gornjim tokom reka Lim protiče kroz Crnu Goru, dok srednji i donji deo sliva pripadaju Srbiji i Republici Srpskoj. Svojom dužinom od 197km prolazi kroz varoši Andrijevicu, Berane, Bijelo Polje, Prijepolje, Priboj i Rudo. Značajnije pritoke Lima jesu Zlorečica, šekularska, Ljuboviđa, Lješnica, Bjelopoljska Bistrica, Mileševka, Bistrica, i njegova najveća pritoka Uvac. Reka Lim se kod mesta Medveđe uliva u Drinu na 299mnm.

Širina reke varira duž čitavog toka, maksimalna iznosi 60m kod Prijepolja, a minimalna svega 3m. Prosečna dubina Lima iznosi od jednog do dva metra. Reka je na svom ušću široka 90m, a duboka 5m.

Jedna od glavnih osobenosti Lima jeste različitost predela kroz koje protiče. Naizmenično teče kroz klisure i kotline - iz Plavsko-gusinjske kotline ulazi u klisuru Sutjeska, potom u Beransku kotlinu i Trnovsku klisuru, dok nakon njih slede Bjelopoljska kotlina i Dobrakovačka klisura, koja prerasta u kanjon dubine 550m i dužine 11km, Brodarevska kotlina i Prijepoljsko polje. Pošto napusti Prijepolje, Lim ulazi u duboku klisuru sa manjim kotlinastim proširenjima, a nakon ušća Uvca nailazi na dolinu koja nizvodno postaje sve dublja, i na 5km od ušća postaje kanjon dubine 530m.

Prema merenjima vršenim na vodomernoj stanici u Beranama, najmanji protok vode zabeležen je 20.08.1954.godine i iznosio je svega 8.16 m³/s, dok je najveći od 864m³/s zabeležen 10.11.1965.godine.

Uzvodno od Priboja, na Limu se nalazi veštačko jezero Potpeć. Jezero je od Priboja udaljeno 10 km i nalazi se u neposrednoj blizini pruge Beograd- Bar i puta Priboj - Prijepolje.

Reka Lim obiluje raznovrsnom ribom, pa je idealna za zadovoljenje ribolovačkih strasti. Na Limu je zastupljen lov na pastrmku, mladicu i lipljan, a na jezeru Potpeć se love smuč, som, jezerska pasrtmka. Potočne pastrmke ima u reci Poblaćnici i Bučevki.

Brana "Potpeć" izgrađena je na reci Lim, u blizini Priboja 1967. godine. Brana ima pribransku elektranu koja je locirana na desnoj obali reke. Brana "Potpeć" je gravitaciono betonska brana. Građevinska visina brane iznosi 46 m, dužina brane u kruni je 218 m, a zapremina akumulacije iznosi 44 000 000 m³.

Potpeć je prva hidroelektrana izgrađena na reci Lim u okviru sistema limskih hidroelektrana. Ova elektrana koristi i akumulira vodu iz hidroelektrana na reci Uvcu. Mašinska zgrada i razvodno postrojenje su smešteni na desnoj obali reke uz samu branu. Brana je smeštena na 6 km uzvodno od Priboja i zatvara akumulaciono jezero dužine 23 km.

1.3. Identifikacija energetskog potencijala opštine Priboj

Energetski potencijal vodotokova i lokacije za izgradnju malih hidroelektrana određeni su (svojevremeno) dokumentima:

- „Katastar malih hidroelektrana na teritoriji SR Srbije van SAP” iz 1987. godine („Energoprojekt – Hidroinženjering” i Institut „Jaroslav Černi” – 856 lokacija);
- Katastar malih hidroelektrana u Autonomnoj Pokrajini Vojvodini („Hidroinvest” DTD, 1989. godine) – 13 lokacija.

MHE “Rekovići I” svojim karakteristikama, energetskim podacima i lokacijom ne odgovara niti jednoj lokaciji iz „Katastra malih hidroelektrana na teritoriji SR Srbije van SAP.

Podaci iz Katastra malih hidroelektrana često ne odgovaraju stvarnom stanju na terenu, zbog čega ga ne bi trebalo striktno primenjivati u današnjim uslovima. Potrebna je tehno-ekonomska i ekološka evaluacija rešenja pre utvrđivanja optimalnog korišćenja raspoloživog potencijala vodotoka.

Katastar se može koristiti kao dokumentaciona podloga za pripremu izgradnje MHE uz neophodnost prethodne provere stanja u prostoru i hidrologiji, što je i konstatovano u Zakonu o prostornom planu Srbije (2010). Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Srbije od 2007. do 2012. Godine (Izmene i dopune, 2009) takođe predviđa detaljnu reviziju lokacija predviđenih Katastrom MHE utvrđivanje precizne liste izvodljivih lokacija za izgradnju malih hidroelektrana

Razlozi za odstupanje od Katastra mogu biti:

- promena hidrogeoloških uslova,
- promena stanja na terenu usled izgrađenosti objekata i infrastrukture,
- promene nastale u uređenju i korišćenju prostora,
- nemogućnost izgradnje MHE na lokacijama predviđenim starim Katastrom

1.4. Osnovne karakteristike MHE "Rekovići I"

Hidroelektrana "Rekovići I" nalazi se u okrugu opštine Priboj u neposrednoj blizini varošice Rekovići; udaljena je oko 4,1 km jugoistočno od grada Priboj; oko 1,8 km severozapadno od naselja Podpeč i oko 0,8 km zapadno od Pribojske Banje.

Izlaskom na mesto lokacije buduće MHE utvrdilo se da postoje povoljni uslovi za izgradnju jednog takvog objekta, a oni se oslikavaju u sledećem:

- postoji dobar lokalni put koji omogućava pristup svim budućim hidrograđevinskim i hidroenergetskim objektima;
- elektroenergetska mreža nazivnog napona 35 kV se nalazi u neposrednoj blizini buduće MHE;
- u bliskoj okolini buduće MHE egzistira dobro konzumno područje koje obuhvata mesta Rekovići, Podpeč i Priboj;
- poboljšaće se elektroenergetske prilike u celom kraju;
- omogućiće se da se ovaj deo reke sačuva jer osoblje koje bude angažovano na čuvanju i održavanju MHE imaće uvid u svaku destruktivnu intervenciju, ako je bude, koja može da ugrozi rad same MHE, ali i okoline;
- poboljšaće se kvalitet vode što će pozitivno uticati na razvoj flore i faune u samoj reci. Voda iza turbine koja se vraća u reku je bez nanosa i obogaćena je kiseonikom.

MHE "Rekovići I" je akumulaciono-protočno pribransko postrojenje sledećih tehničkih karakteristika:

Vodotok	reka Lim
Kota gornjeg nivoa vode	395 mnm
Kota donjeg nivoa vode	389,5 mnm
Površina sliva	3.684 km ²
Specifično oticanje	25,9 l/s/km ²
Srednji protok godišnje	89,6 m ³ /s
Bruto pad postrojenja	5,5 m
Neto pad postrojenja	5,3 m
Biološki minimum	12 m ³ /s
Instalisani protok	165 m ³ /s
Instalisana snaga	7,18 MW
Broj i tip turbine	3, Kaplan
Godišnja proizvodnja električne energije	oko 28,131·10 ⁶ kWh

Osnovne tehničke karakteristike brane MHE "Rekovići I" su:

Tip brane	betonska gravitaciona brana sa kontrolisanim prelivom
Konstruktivna visina brane	13,0 m
Dužina brane u kruni	89,3 m

1.4.1. Geološki podaci

Geološki sastav limske doline je raznovrstan i čine ga stene različite starosti. Celim svojim tokom Lim teče kroz klisure i kotline, zavisno od sastava terena. U području krečnjaka doline su uske sa visokim dolinskim stranama, a u ostalim delovima su više proširene.



Slika 1.2. Karta geološke građe Polimlja u Srbiji *

*Osnovna geološka karta SFRJv1:100.000, listovi Prijepolje i Sjenica, Zavod za geološka, hidrološka, geofizička i geotehnička istraživanja, Geozavod, Beograd, 1978.

2. Osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu VZ MHE "Rekovići I"

2.1. Osnovni parametri

2.1.1. Uvodne napomene

Za potrebe projektovanja male, protočne hidrocentrale na reci Lim, potrebno je definisati merodavne količine voda u cilju sagledavanja njihovog korišćenja za proizvodnju električne energije i dimenzionisanja zahvatnog objekta. U postupku izrade tehničke dokumentacije urađena je i ova hidrološka studija.

Zadatak ove studije je da definiše osnovne karakteristike režima voda reke Lim na mestu vodozahvata male protočne hidrocentrale i to: prosečne proticaje, krivu trajanja proticaja i male i velike vode.

Navedene hidrološke karakteristike neophodne su za sagledavanje hidroenergetskog korišćenja voda, dimenzionisanja objekata MHE, određivanje instalisane snage postrojenja i osnova za određivanje merodavnih malih voda i „biološkog minimuma“.

Na reci Lim, nizvodno za oko 3,4 km od brane i HE Podpeč, planira se vodozahvat za potrebe izgradnje MHC Rekovići I.

Na ovom mestu vodozahvata ne postoje regularna hidrološka osmatranja. Nizvodno od brane za oko 8 km, odnosno od vodozahvata na 4,6 km postoji regularna hidrološka stanica Priboj na Limu na kojoj se počev od 1962 regularno osmatraju vodostaji i mere proticaji.

Uzvodno od planiranog vodozahvata se nalazi brana i HE Podpeč.

2.2. Osnovne karakteristike brane i HE Potpeć

Brana Podpeč je izgrađena na reci Limu (km 53+600), 8 km uzvodno od Priboja 1967.godine. Brana ima pribransku elektranu koja je locirana na desnoj obali reke. Brana Podpeč je gravitaciono betonska brana koja ima 16 blokova, od kojih su tri u sklopu preliva. Preliv je kontrolisan segmentnim ustavama 10 m dugačkim i 13 m visokim. Maksimalni kapacitet preliva je 3000 m³/s. Visina brane iznad najniže kote fundiranja iznosi 46 m, a iznad najniže kote zemlje 44 m. Dužina brane u kruni je 218 m, a zapremina tela brane 105000 m³. Zapremina akumulacije iznosi 44 miliona m³. Velike vode se evkuišu preko preliva kapaciteta 3000 m³/s, koji je kontrolisan segmentnim ustavama. Temeljni spust (dva otvora) ukupnog je kapaciteta 240 m³/s snabdeven je tablastim ustavama.

Osnovni podaci o brani i akumulaciji:

Površina sliva	3605 km ²
Prosečni proticaj	77,6 m ³ /s
Ukupna zapremina pri KNU	27,5x10 ⁶ m ³
Korisna zapremina akumulacije	19,8x10 ⁶ m ³
Kota normalnog uspora	435,6 mnm
Kota minimalnog radnog nivoa.....	423,6 mnm

Kota maksimalnog nivoa.....	437 mnm
Kota krune brane	439 mnm
Visina brane.....	46 m
Kapacitet preliva	3000 m ³ /s
Kapacitet temeljnog ispusta.....	240 m ³ /s
Kapacitet ispusta za biološki minimum	12 m ³ /s

Osnovni podaci o pribranskoj hidroelektrani Podpeč

Kota donje vode za Q_{ins}	398,9 mnm
Kota donje vode za Q_{min}	398 mnm
$H_{n\ max}$	38,4 m
$H_{n\ kon}$	37,6 m
$H_{n\ min}$	25,6 m
Q_i	3x55=165 m ³ /s
N_{max}	51 MW

*) Izvod iz članka: „Postojeće stanje izgrađenosti na slivu Drine“, D.Vučković.M.Milentijević,M.Milovanović, Vodoprivreda br.30/2004),

2.3. Osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu vodozahvata MHE Rekovići I

Osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu VZ MHE Rekovići I su identične hidrološkim karakteristikama reke Lim u profilu HE Podpeč. Režim rada HE Podpeč direkto se odražava na režim rada MHE Rekovići I, pa samim tim i dimenzionisanje pojedinih segmenata MHE Rekovići I direktno je u funkciji ispuštenih ili prelivnih voda HE Podpeč.

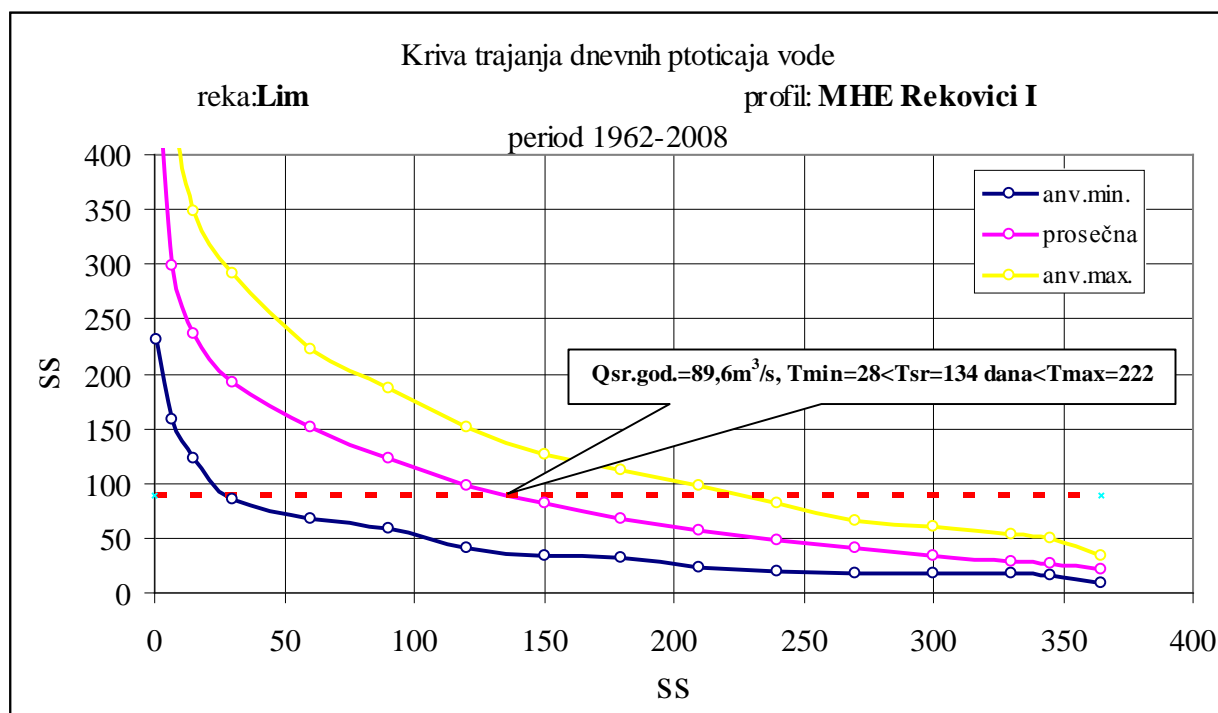
U nastavku se daju osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu vod.stanice Priboj, koja se nalazi na 3,4 km planiranog vodoozahvata i kontoliše površnu sliva od 3684 km² (prirast površine sliva $\Delta F=79$ km²).

2.4. Osnovne hidrološke karakteristike reke Lim u profilu vod.stanice Priboj

Vodomerna stanica Priboj poseduje osmatranja počev od 1962. godine. Obzirom da je akumulacija HE Podpeč izgrađena 1967 godine, to se osmotrene vremenske hidrološke serije na ovoj stanici moraju smatrati „poremećenim“ obzirom na veličinu i režim rada akumulacije i hidroelektrane Podpeč. Iz ovog razloga, u nastavku rada, date su samo prosečne (srednje) vrednosti, kao i maksimalne i minimalne karakteristike pojedinih hidroloških elemenata, izbegavajući probabilističku analizu. Dobijene vrednosti daju mogućnost sagledavanja dosadašnjeg režima rada hidroelektrane Podpeč.

2.4.1. Definisanje krive trajanja dnevnih proticaja u profilu MHE Rekovići I

Na osnovu podataka osmatranja u periodu 1962-2008 data je prosečna kriva trajanja dnevnih proticaja vode (grafički i tabelarno) iz koje se vidi da je prosečni proticaj iznosio $Q_{sr}=89,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Ti proticaji i veći od njega trajali su u proseku trajali 134 dana. U pojedinim godinama kretali su od 28 do 222 dana.



Slika 2-1: Karakteristične vrednosti dnevnih proticaja (m^3/s) za različita trajanja na reci Lim u profilu MHE Rekovići I

Tabela 2-1: Karakteristične vrednosti dnevnih proticaja (m^3/s) na reci Lim u profilu MHE Rekovići I

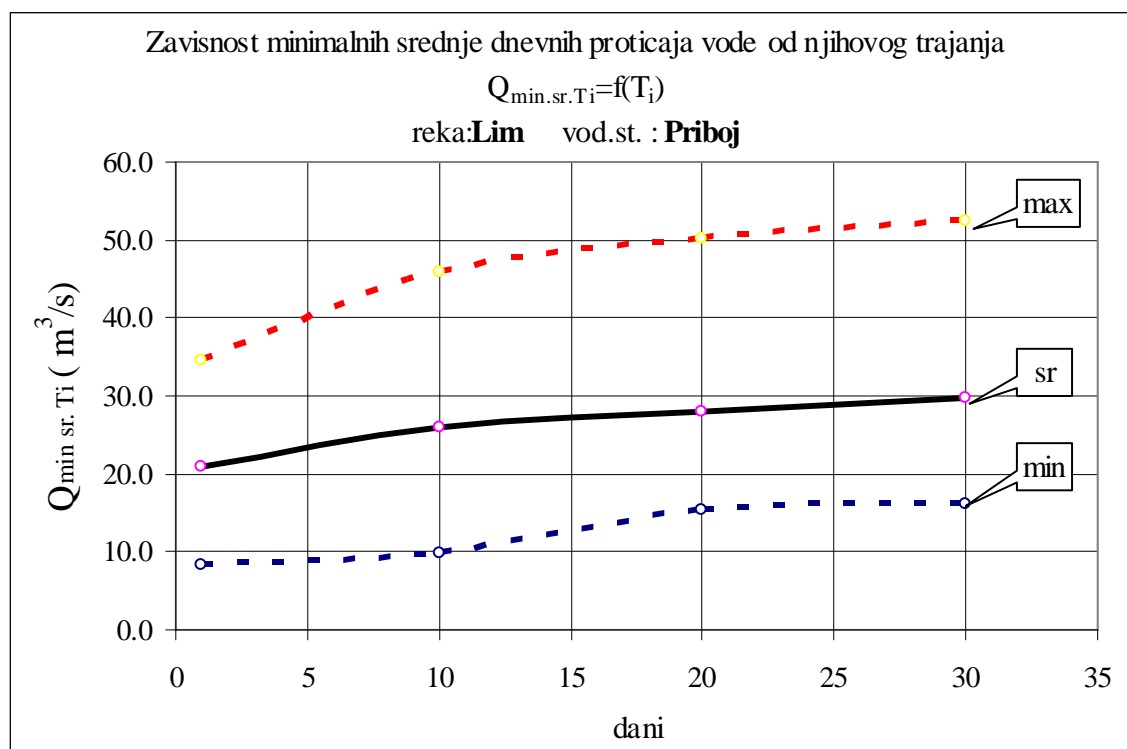
Ozn	Trajanje proticaja u danima															
	1	7	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	345	365
min	231	158	124	85,7	68,0	58,8	41,0	34,3	31,9	23,3	19,8	18,6	17,4	17,1	16,7	8,0
sr	490	299	237	192	151	123	97,8	81,3	68,1	56,8	47,4	40,1	33,9	28,9	26,8	20,6
max	1078	459	348	292	223	186	152	126	112	98,0	81,4	66,7	60,8	52,9	49,0	33,9

2.5. Definisanje merodavnih malih voda

U navedenom periodu najmanji osmotreni proticaj na Limu iznosio je $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prosečni minimalni srednj 10-ni proticaji kretali u granicama od $8,0$ do $33,9 \text{ m}^3/\text{s}$, u srednjem $20,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ostale kombinacije mogu se videti iz donje tabele ili grafičkog prikaza.



Slika 2-2: Srednje minimalni proticaji $Q_{sr, \min, T}$ (m³/s) trajanja $T=1, 10, 20$ i 30 dana na reci Lim u profilu vod. stanice Priboj

Tabela 2-2: Srednje minimalni proticaji $-Q_{sr, \min, T}$ (m³/s) trajanja $T=1, 10, 20$ i 30 dana na reci Lim u profilu MHE Rekovići I

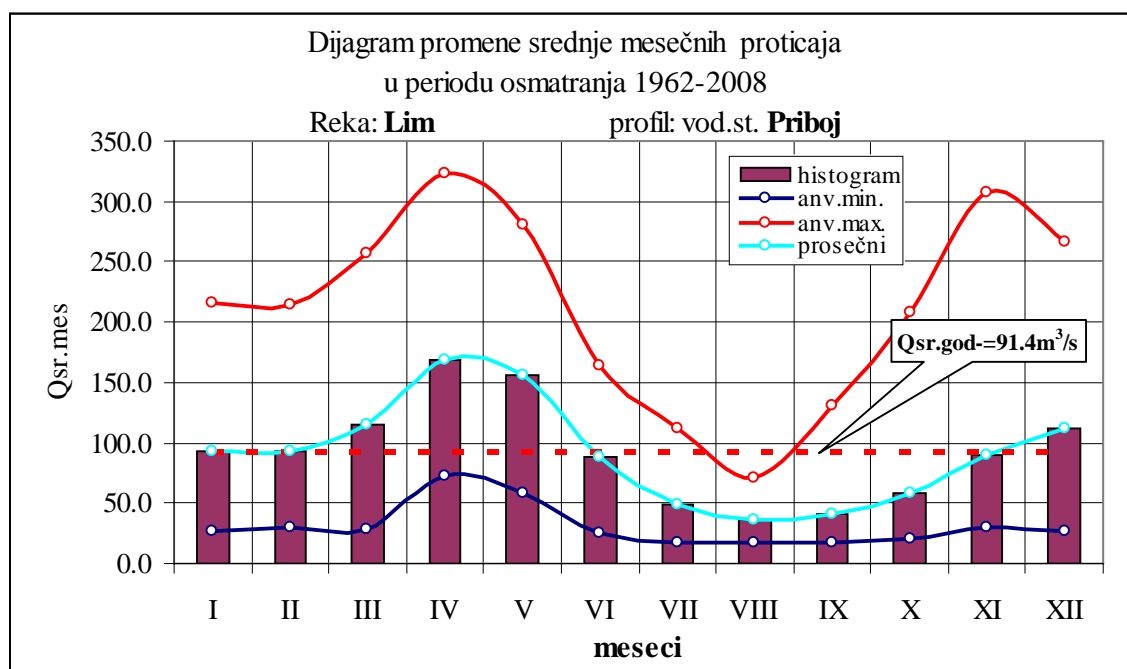
Oznake	Trajanje (dani)			
	1	10	20	30
Min.	8,04	9,70	15,2	15,8
Sr.	20,6	25,4	27,4	29,2
Max	34,9	44,9	49,1	51,5
$Q_{\min, sr, T=30 \text{ dana}, p=95\%}$				17,6

Obzirom na uticaj HE Podpeč na osmotrene vremenske hidrološke serije, raspoloživi podaci se smatraju „poremećenim“, pa se izbegava probabilistička analiza. Iz navedenog razloga, a kako je kapacitet biološkog minimuma za HE Podpeč $12 \text{ m}^3/\text{s}$ i min. $Q_{sr, \min 30} = 17,6 \text{ m}^3/\text{s}$, možemo sa dovoljnom tačnošću usvojiti da je za MHE „Rekovići I“:

$$Q_{\min, \text{biol.}} = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.6. Karakteristični srednji mesečni i godišnji proticaji vode na reci Lim u profilu vod.st.Priboj

Na osnovu osmatranja može se reći da je srednji višegodišnji proticaj na ovom profilu iznosio $91,4 \text{ m}^3/\text{s}$., zatim da su male vode obično u toku avgusta, dok se velike vode javljaju tokom aprila i maja meseca.



Slika 2-3: Srednje mesečni proticaji i srednje godišnji proticaji (m³/s) na reci Lim u profilu vod. stanice Priboj

Tabela 2-2: Raspodela srednje mesečnih i godišnjih proticaja(m³/s) na reci Lim u profilu MHE Rekovići I

Ozn.	meseci												Qsr. god
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
min	27,3	29,6	29,1	72,0	58,8	25,4	17,6	17,6	17,1	20,8	29,3	27,2	42,8
sr	90,0	91,3	112,5	165,2	151,9	85,5	47,6	35,7	39,8	59,0	89,4	109,8	89,8
max	215,7	214,1	256,4	323,2	279,9	163,8	112,0	71,7	130,2	208,1	307,7	266,5	138,7

2.6.1. Maksimalni proticaji na reci Lim u profilu Podpeč

Pod uslovom da se maksimalni proticaji u profilu Rekovići I mogu smatrati „prirodnim“, odnosno da je uticaj transformacije poplavnih talasa akumulacijom HE „Podpeč“ zanemarljivo mali (što svakako nije slučaj), to, ilustracije radi, klasičnom statističkom analizom se dobija(prema log P3 raspodeli , pri Cs, opt.= 0.834):

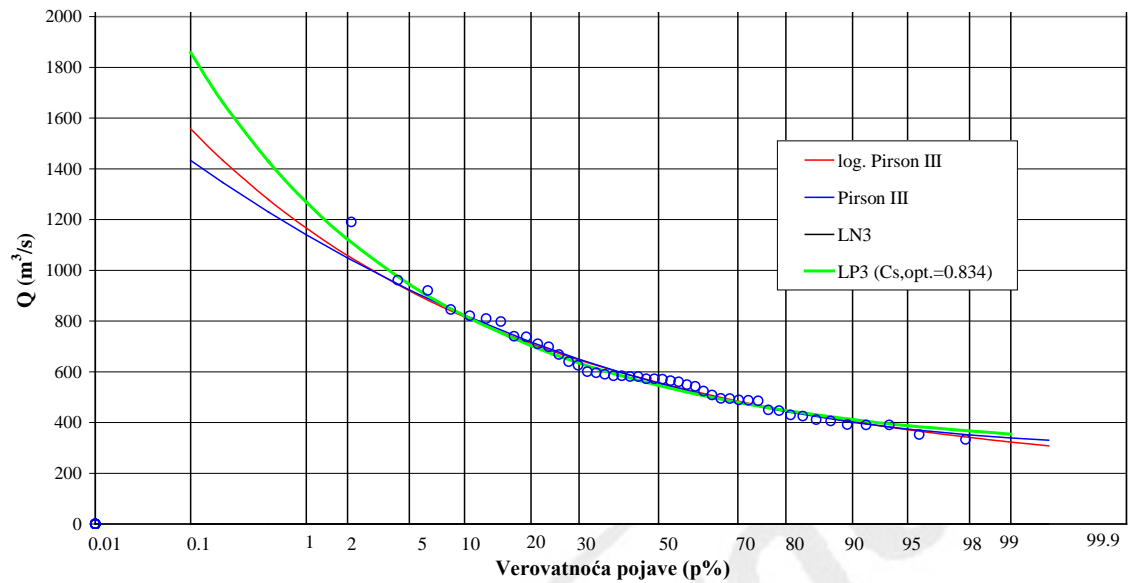
- Qmax 0,1%=1858m³/s
- Qmax 1%=1269 m³/s,
- Qmax.5%=945m³/s,
- Qmax10%= 821 m³/s.itd

Naglašava se, da je maksimalni proticaj u profilu vodozahvata MHE Rekovići I **identičan** maksimalnom transformisanom proticaju na koji je projektovana brana Podpeč na Limu.

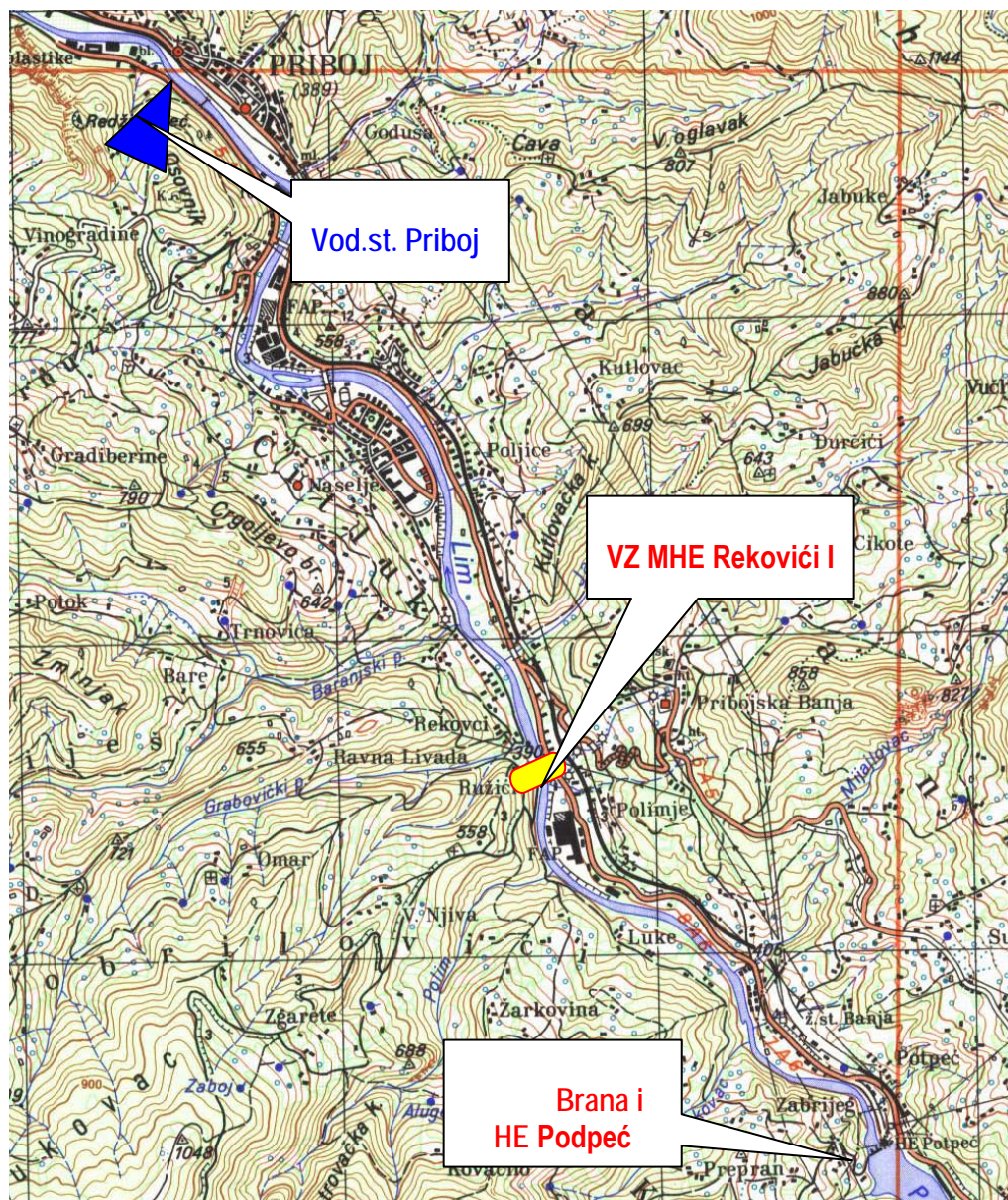
Empirijska i teorijska raspodela maksimalnih godišnjih proticaja*

reka: **Lim** profil: **Priboj** 1962-08

*)transformisani proticaji radom HE Podpeč



Slika 2-4: Empirijska i teorijska raspodela maksimalnih godišnjih proticaja



Slika 2-5: Shematski prikaz položaja vod.st. Priboj, brane i HE Podpeč i VZ MHE Rekovići I

Tabela 2-3: Usvojene vrednosti maksimalnog proticaja vode na reci Lim u profilu VZ MHE "Rekovići I"

Reka	Profil	oznaka	Verovatnoća (%)			
			0,1%	1%	2%	5%
Lim	VZ MHE "Rekovići I"	$Q_{\max} (m^3 / s)$	1858	1269	945	821

Grafički prikaz hidrograma velikih voda po metodi složenog jediničnog hidrograma dat je na slici 2-5.

2.7. Umesto zaključka

Izvršene hidrološke analize i proračuni predstavljaju polaznu osnovu u ovoj fazi razmatranja hidroenergetskog potencijala reke Lim u profilu VZ MHE "Rekovići I", i to:

- $Q_{\max. 0.1\%} = 1858 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\max. 1\%} = 1269 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\max. 2\%} = 945 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\max. 5\%} = 821 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sr, god. Lim, 'VZ MHE "Rekovići I" }} = 89,6 \text{ m}^3/\text{s}$ $T=134$ dana
- $Q_{\min, \text{ sr } T=30 \text{ dana, } p=95\%} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$

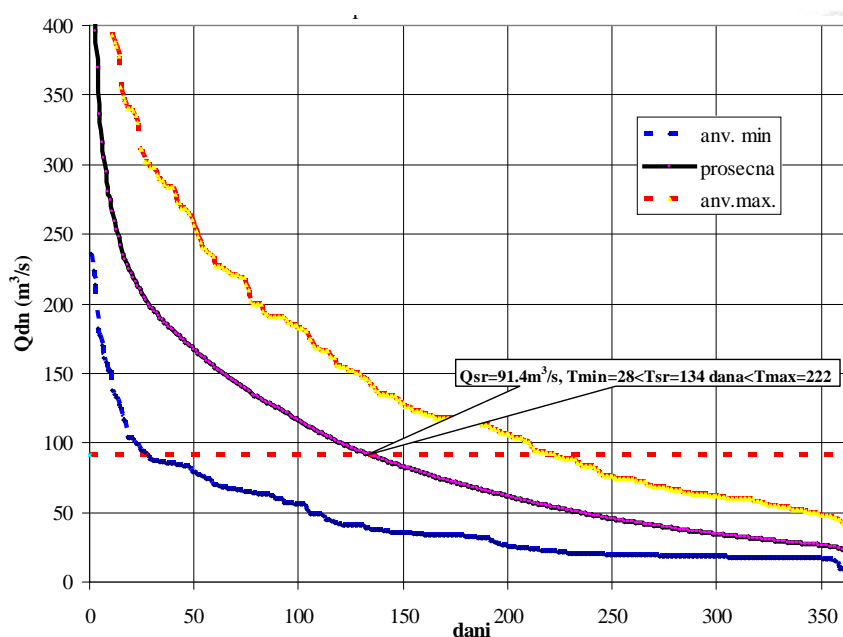
Za detaljnije hidrološke analize bilo bi poželjno na ovom mestu uspostaviti hidrološku stanicu i sistematski, sve do eventualnog početka građenja pa i dalje, pratiti osnovne hidrološke parametre i time pouzdanije definisati sve elemente oticaja neophodne za analizu i korišćenje vodnog potencijala na ovom pregradnom mestu.

3. Tehničko rešenje MHE "Rekovići I"

3.1. Izbor instalisanog protoka

Kriva trajanja pokazuje koliko je u nekom periodu trajao određeni proticaj i svi proticaji veći od njega.

Kriva učestalosti pokazuje koliko se puta neki proticaj javio u određenom intervalu. Za izradu pregleda trajanja i učestalosti ukupna amplituda proticaja podeljena je na intervale, a zatim se vrši popis broja dana pojave proticaja u svakom intervalu.



Slika 3-1: Kriva trajanja dnevnih proticaja na vodomernoj stanici Priboj

Na osnovu osmatranja može se reći da je srednji višegodišnji proticaj na ovom profilu iznosio 91.4 m³/s., zatim da su male vode obično u toku avgusta, dok se velike vode javljaju tokom aprila i maja meseca.

Tabela:3.1: Karakteristične vrednosti dnevnih proticaja (m³/s) za različita trajanja na reci Lim u profilu vod. stanice Priboj

Ozn.	Trajanje proticaja u danima													
	1	15	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	365
Min	236	126	87.4	69.4	60.0	41.8	35.0	32.5	23.8	20.2	19.0	17.8	17.4	8.2
Sr	500	242	196	154	126	99.8	83.0	69.5	57.9	48.4	40.9	34.5	29.5	21.0
Max	1100	355	298	227	190	155	129	114	100	83.0	68.0	62.0	54.0	34.6

Ostale kombinacije takođe se mogu dobiti iz ovog dijagrama, koji između ostalog pruža mogućnost da se za dati proticaj sračunaju troškovi cene koštanja postrojenja i troškovi izgubljene energije za usvojene parametre. Minimizacijom ovih troškova određuju se optimalni parametri postrojenja.

Količina vode koju ispušta Hidroelektrana „Potpeć“, koja se nalazi neposredno uzvodno je 165 m³/s, srednje dnevni proticaj u profilu vodomerne stanice Priboj sa trajanjem 30 dana iznosi 196 m³/s, biološki minimum na mestu MHE Rekovići I je 12 m³/s, usvojamo da je Q instalisano 165 m³/s.

Radna kota donje vode HE „Potpeć“ je 398,8 mm, što teorijski može predstavljati kotu maksimalnog uspora za MHE „Rekovići I“. Kako se u neposrednoj blizini iznad planiranog vodozahvata nalazi fabrika „Fap“, ukoliko bi usvojili ovu kotu za kotu maksimalnog uspora, došlo bi do plavljenja većeg dela parcele fabrike. Ovo bi se moglo izbeći postavljanjem izgradnjom nasipa ili zidova, ali bi ovo bilo ekonomski neopravdano sa stanovišta investitora.

Projektant se odlučio za usvajanje kote donje vode od 395 mm.

Otvor kroz koji voda prolazi iz akumulacije predviđen je da se izvede kao riblja staza i tako je dimenzionisan i treba da bude izveden, da može da propusti količinu vode koja neće ugroziti migraciju riba ni u jednom delu godine. Ova količina vode koja se propušta na riblju stazu iznosi 3 m³/s. U slučaju da ne radi niti jedna turbina, 3,0 m³/s će teći niz riblju stazu, a ostatak vode se pušta kroz otvorenu jednu ili dve klapne na segmentnim ustavama.

3.1.1. Hidrograđevinski deo

Na osnovu Mišljenja RHMZ-a br. 92-I-1-390/2010 od 12.oktobra.2010. godine hidrauličke proračune je potrebno sprovesti za karakteristične računске vrednosti u skladu sa merodavnim protocima sistema akumulacija na slivu Lima. Kako na rad MHE "Rekovići I", direktno utiče rad, tj protoci sa HE Podpeć, kao merodavne protoke ćemo usvojiti vrednosti definisane na mestu brane Podpeć, i one iznose:

Hiljadugodišnja velika voda	$Q_{0.1\%}=1858 \text{ m}^3/\text{s}$
Stogodišnja velika voda	$Q_{1\%}=1269 \text{ m}^3/\text{s}$
Pedesetogodišnja velika voda	$Q_{2\%}=945 \text{ m}^3/\text{s}$
Srednje vode	$Q_{\text{sre}}=89,6 \text{ m}^3/\text{s}$
Minimalni srednji mesečni protok obezbeđenosti 95%	$Q_{\text{min},95\%}=12 \text{ m}^3/\text{s}$
Površina sliva	$F=3.684 \text{ km}^2$

3.1.2. Tehnički izveštaj

MHE "Rekovići I" je akumulaciono-protično pribransko postrojenje koje se nalazi u opštini Priboj na reci Lim nizvodno od fabrike FAP.

Osnovni parametri i karakteristike MHE "Rekovići I" su sledeći:

- bruto pad	$H_{\text{br}} = 5,5 \text{ m}$
- neto pad	$H_{\text{inst}} = 5,3 \text{ m}$
- instalisani protok	$Q_i = 165 \text{ m}^3/\text{s}$
- instalisana snaga	$P_{\text{inst}} = 7,1 \text{ MW}$
- broj agregata	$n = 3$
- tip turbine	Kaplan

Sama hidroelektrana po važećoj zakonskoj regulativi Republike Srbije, spada u male hidroelektrane.

Osnovni funkcionalni delovi postrojenja su:

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

-Akumulacioni bazen ispred zahvata vode za MHE stvoren izgradnjom pregradnog objekta i podužnih obalnih nasipa

-Pregradni objekat sa sektorom za propuštanje voda u nizvodno korito (pregrada, betonska-gravitaciona brana sa kontrolisanim prelivom) i sa sektorom za transformaciju energije (mašinska zgrada)

-Odvod vode kroz produbljeno i regulisano korito sa ciljem postizanja koncentracije pada

Akumulacioni bazen MHE Rekovići I predstavlja prostor obuhvaćen usporom nivoa reke Lim na normalnoj koti 395,00 m n.m, između prirodnih obala korita iste. Formira se betonskom branom odnosno pregradnom građevinom u cilju postizanja određenog pada potrebnog za opravdanost izgradnje ovog postrojenja.

Glavni hidrograđevinski objekat je sama brana smeštena u koritu reke Lim na desnoj obali, čija je evakuaciona sposobnost 1240 m³ /s, a njene osnovne karakteristike su:

- Kota normalnog uspora..... 395,00 mnm
- Kota donje vode 389,50 mnm
- Tip brane..... betonska, gravitaciona sa kontrolisanim prelivom
- Građevinska visina brane..... $H_r=13,0$ m
- Hidraulička visina brane $H_h=7,0$ m
- Dužina prelivne ivice brane $L=50$ m
- Broj prelivnih polja brane..... $n=5$

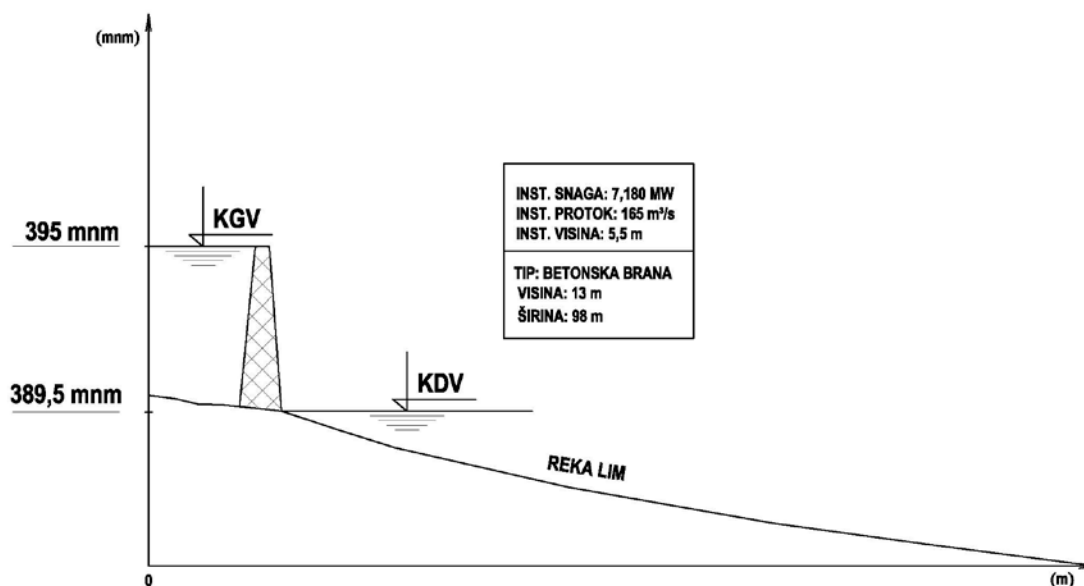
Mašinska zgrada je smeštena u profilu brane, uz levu obalu. Njeni osnovni gabariti su uslovljeni brojem i tipom turbine, kao i dispozicijom i tehničkim rešenjem ostale opreme. Prilikom projektovanja mašinske zgrade kao i ostalih objekata vodilo se računa da se svi objekti uklope u prirodni ambijent postojeće lokacije kako se ne bi uticalo na promenu životne sredine u negativnom smislu i da se ne nanese šteta postojećoj infrastrukturi.

U sastavu ovog postrojenja je i riblja staza čiji je prevashodni zadatak da obezbedi migraciju riba i akvatičnih organizama u toku cele godine.

Na osnovu instalisanog protoka i usvojenog pada terena usvojen je tip turbine i generatora i na osnovu njihovih gabarita određene su građevinske dimenzije mašinske zgrade i prilagođene topografskim i geološkim uslovima temeljenja.

Istovremeno, izrađen je topografski plan terena u zoni vodozahvata i u zoni mašinske zgrade na kojem se vide svi građevinski infrastrukturni objekti koji se nalaze u sistemu MHE.

Na ovim topografskom planu jasno je definisan položaj svakog objekta u smislu geometrijskih veličina, ali i veličina koje određuju položaj istih u odnosu na druge okolne objekte.



Slika 3-2: Hidraulička šema elektrane MHE "Rekovići I"

Pre početka gradnje, teren koji je predviđen za gradnju i na kome se organizuje gradilište, mora biti očišćen od raznog materijala i šteta, kao i od rastinja bez obzira na veličinu, a otpadni materijal mora biti odvežen na deponiju koju odredi Investitor. Deponija se nalazi na minimalnoj udaljenosti 2 km od mesta izgradnje. Do pregradnog mesta potrebno je napraviti pristupni put za potrebe gradnje. Pre početka izvođenja zemljanih radova Izvođač je dužan da zemljište na kome se grade objekti očisti od korova, drveća, šiblja i sl. Nakon pripremnih radova i čišćenja, potrebno je snimiti kote celokupnog terena, na svim karakterističnim tačkama i ove podatke unese u građevinsku knjigu.

Iskope treba vršiti do projektovane kote pri čemu su nagibi kosina za temeljne jame 1:1, a za rovove se vrši vertikalno odsecanje strana. Ručni i mašinski iskop u materijalu (III, IV, V, VI, VII kategorija zemlje) se vrši u cilju izgradnje vodozahvata. Iskop je sa bočnim stranama u nagibu 1:1, a širina temeljne jame od ivice konstrukcije do ivice temeljne jame je 1,0 m. Privremeno odlaganje iskopanog materijala mora se vršiti najmanje 1,0 m od ivice jame ili rova, kako se ne bi ugrozila stabilnost bočnih strana iskopa.

Kopanje se predviđa u prirodno vlažnom terenu III kategorije, sa pravilnim odsecanjem bočnih strana i finim planiranjem dna iskopa sa pumpanjem atmosferske vode. Prilikom iskopa, Izvođač je dužan da izvrši sva potrebna obezbeđenja, izradi provizorne drvene mostove, lestve, prelaze, rukohvate i sl. preko kojih će se omogućiti nesmetan i bezbedan pristup svim objektima unutar gradilišta, kao i van njega, vezom za spoljne i unutrašnje saobraćajnice, držeći se pri tome važećih HTZ propisa.

Iskop u steni obuhvata sve iskope u materijalima za čiji sklop je potrebno da se primene eksplozivi. Pri upotrebi eksploziva, posebnu pažnju obratiti na rukovanje, uskladištenje i prevoz eksploziva, kao i osiguranje okoline i ljudi pri miniranju., pri čemu treba postaviti svu potrebu saobraćajnu i sigurnosnu signalizaciju. Iskop za objekte obuhvata sve iskope temeljnih jama, temelja, kanala i sve ostale iskope koji moraju biti izvršeni u cilju izgradnje objekata koji su predmet ovog projekta. Iskop se izvodi u širokom otkopu uz mogućnost primene svih vrsta mehanizacije za iskop, ili u suženom prostoru gde je primena mehanizacije ograničena ili nemoguća, iskopi se izvode ručno. Iskop koji se vrši neposredno uz izvedene objekte ili njihove delove moraju biti izvedeni sa punom pažnjom u cilju zaštite ovih objekata od oštećenja. Obavezno moraju da se izvrše sva razupiranja i osiguranja površina iskopa, radi obezbeđenja stabilnosti i sigurnosti rada prilikom izvođenja radova.

Potrebno je da se vrši odvodnjavanje građevinskih jama i isušivanje radnih mesta primarnim stacionarnim ili sekundarnim prenosivim crpkama, bilo da su u pitanju podzemne ili atmosferske vode. Crpljenje vode primarnim stacionarnim instalacijama vrši se tokom dužeg vremenskog perioda iz većih temeljnih jama, a iscrpljena voda se odvodi sa gradilišta u recipijent. Crpljenje vode sekundarnim prenosnim crpkama vrši se na mestima, gde je potrebno relativno kratkotrajno crpljenje vode iz temeljnih jama i rova u cilju prebacivanja vode ka stacionarnim pumpama ili gde se voda prebacuje do mesta odakle voda gravitacijom otiče van radnog mesta.

Pod transportom materijala iz iskopa podrazumeva se:

- transport materijala iz iskopa na stalnu ili privremenu deponiju.
- transport materijala sa privremene deponije do mesta ugrađivanja.
- transport materijala sa pozajmišta do mesta ugrađivanja.

Po završetku zemljanih radova treba obezbediti fabriku betona. Ukoliko u blizini nema fabrike betona onda je treba napraviti za potrebe betoniranja. Zatim treba izvršiti spravljanje, transport, ugrađivanje i negovanje hidrotehničkog vodonepropusnog betona u cilju izrade tela i slapišta betonske gravitacione brane. Ugrađivanje betona će se vršiti mašinskim putem. Pri betoniranju strogo voditi računa da armatura ostane u projektovanom položaju i bude obavijena betonom sa svih strana.

Brana se gradi u lamelama, dužina lamela je 5,0 m. Povezivanje lamela se vrši dilatacionim spojnica tj. zaptivnim trakama od bakarnog lima ili gumene zaptivne trake i time se obezbeđuje vododrživost brane na spojevima.

Beton za branu mora da obezbedi dovoljnu čvrstoću na pritisak i da ima nisku toplotu hidratacije. Koristiće se sporovezujući cement. Nije dozvoljena upotreba različitih vrsta cementa, niti upotreba iste vrste cementa koji su proizveli različiti proizvođači, u istom betonskom elementu. Izvedene betonske konstrukcije u roku od tri dana zaštititi od uticaja sunca, vetra i mraza, polivanjem vodom, pokrivanjem i sl.

Takođe treba izvršiti nabavku, sečenje, savijanje i ugrađivanje betonskog čelika RA 400/500 u cilju izrade armirano betonskih zaštitnih zidova. Kvalitet čelika za armiranje mora odgovarati odredbama članova 64-67 PBAB.

Akumulacija koja će biti stvorena podizanjem nivoa vode je dužine oko 300 m i potapa teren koji je nenaseľen i nema obradivog zemljišta. Zemljište je opštinsko, odnosno vodoprivredno i postoji nešto malo privatnog.

Uzimajući u obzir morfologiju sliva, karakter toka reke, turbulenciju poplavnog talasa, moramo pristupiti stabilizaciji i zaštiti obala od erozije.

Na osnovu prethodno navedenog, potrebni su regulacioni radovi na regulaciji rečnog korita ukupnoj dužini od 200 m. Stabilizacija rečnog korita i zaštita obala od erozije radiće se obaloutvrdama ili gabionima. Obaloutvrde su kose konstrukcije od kamena koje štite obalu od erozije.

Odvodna voda i obale reke u zoni odvodnih građevina, obloženi su lomljenim kamenom u betonu kao zaštita od rečne erozije i deformacije korita.

Gledajući u pravcu toka reke, iza brane se nalazi betonsko slapište koje služi da apsorbujue energiju vode pri aktiviranju prelivnih polja. Ovo je vrlo značajno jer se time guši energija velikih voda čime se, pre svega štite bočne strane brane ali i rečna obala.

Zbog toga je neophodno izvršiti proračun brane i osigurati je od mogućeg uzgona, klizanja ili prevrtanja. Proračun brane na ove parametre se prema zahtevima Vodoprivrede, vrši na dejstvo stogodišnjih velikih voda.

3.1.3. Betonska brana

U ovom projektu dat je jedan tip brane, betonski prelivni prag sa kontrolisanim prelivom pomoću ustava. Ovakav tip vodozahvata je projektovan tako da odgovara karakteristikama reke Lim, kao i okolnoj geografiji terena.

Betonski prelivni prag, zajedno sa segmentnim ustavama, ima ulogu da obezbedi visinsku kotu uspora u akumulaciji kako bi se taj pad koristio za proizvodnju električne energije. Druga uloga prelivnog praga je da kada je doticaj mnogo veći od Q_i , dizanjem ustava omogući preliivanje nizvodno od pregrade.

Za preliv je usvojen krivolinijski Krigerov preliv tip II, projektovan tako da pri visini prelivnog mlaza pritisak na leđima preliva bude nešto veći od atmosferskog odnosno optimalno prilagođen donjoj konturi prelivnog mlaza. U svom sastavu sadrži pet prelivna polja sa četiri zaobljena stuba čiji je prečnik zaobljenosti $r=b_s/2$. Na samom pragu nalaze se ustave čija visina zavisi od visine prelivnog mlaza ispred praga, tako da pri njihovom potpunom otvaranju prelivni prag može da primi i propusti velike vode.

3.1.3.1. Proračun propusne moći betonskog prelivnog praga

Proračun proticaja preko Krigerovog preliva vrši se prema obrascu:

$$Q = B \cdot C_p \cdot \delta \cdot \sqrt{2g \cdot H_0^3}$$

Pri čemu je:

$$Q_{1\%}=1240 \text{ m}^3/\text{s}$$

$C_p=0,495$ - koeficijent proticaja za usvojeni preliv

B - efektivna širina vodozahvata

$H_0=H_r + v^2/2g=5 \text{ m}$ –energetska visina prelivnog mlaza ispred praga

$V=3 \text{ m/s}$ –brzina vode u akumulaciji za 100-godišnju veliku vodu

$\Delta/H_0=0,59 < 0,6$ – preliv je ne potopljen $\rightarrow \delta=0,96$ – koeficijent potopljenosti

Stvarna energetska visina prelivnog mlaza:

$$H_0 = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 \cdot C_p^2 \cdot \delta^2 \cdot 2g}} = 5,0 \text{ m}$$

Računska visina mlaza ispred preliva:

$$H_r = H_0 - \frac{v^2}{2g} = 5,0 - 0,45 = 4,55 \text{ m}$$

Usvojen je preliv, koga čine pet prelivna polja širine $b=11 \text{ m}$. Širina jednog stuba može se proceniti na osnovu iskustvenog obrasca:

$$b_s = K \cdot b \cdot \sqrt{H_0}, \text{ gde je } K=0,05 \div 0,08$$

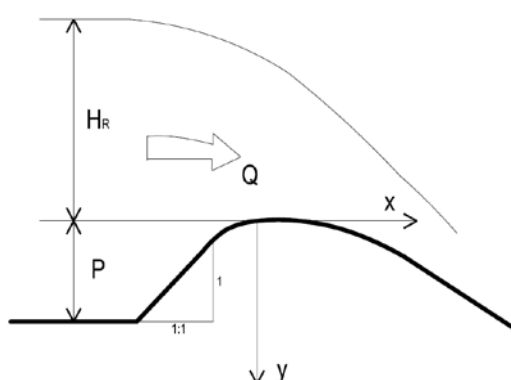
usvojena širina stuba $b_s = 1,50 \text{ m}$

Za dobijenu vrednost visine prelivnog mlaza usvojiće se visina ustava 5,5 m, pri čemu će kota u normalnom režimu i kota pri pojavi velikih voda biti iste.

3.1.3.2. Oblikovanje prelivne ivice Krigerovog preliva

Kruna preliva kod krivolinijskih profila se najčešće prilagođava konturi prelivnog mlaza, tako da pritisak na leđima preliva bude nešto veći od atmosferskog. Takav preliv odgovara Krigerovom prelivu. Proračun oblika preliva dat je tabelarno. Kako je $P/H_R < 0,5$ u cilju poboljšanja uslova prelivanja, uzvodno lice preliva je zakošeno u nagibu 1:1.

Spajanje nizvodne strane preliva sa slapištem vrši se krivom poluprečnika $r \geq 4h_1$.



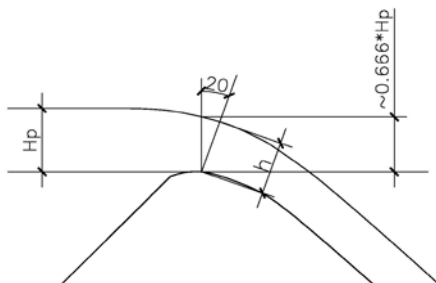
Slika 3-3: Krigerov preliv sa zakošenim uzvodnim licem

koordinate Krigerovog preliva			
$H_R=1$		H_R	
X	Y	XH_R	YH_R
0,0	0,126	0,000	0,630
0,1	0,036	0,500	0,180
0,2	0,007	1,000	0,035
0,3	0,000	1,500	0,000
0,4	0,006	2,000	0,030
0,5	0,027	2,500	0,135
0,6	0,06	3,000	0,300
0,7	0,100	3,500	0,500
0,8	0,146	4,000	0,730
0,9	0,198	4,500	0,990
1	0,256	5,000	1,280
1,1	0,321	5,500	1,605
1,2	0,394	6,000	1,970
1,3	0,475	6,500	2,375

Ako se pretpostavi da je ugao između vertikale i proticajnog preseka $\alpha=20^\circ$ (sl. 3-4), onda je:

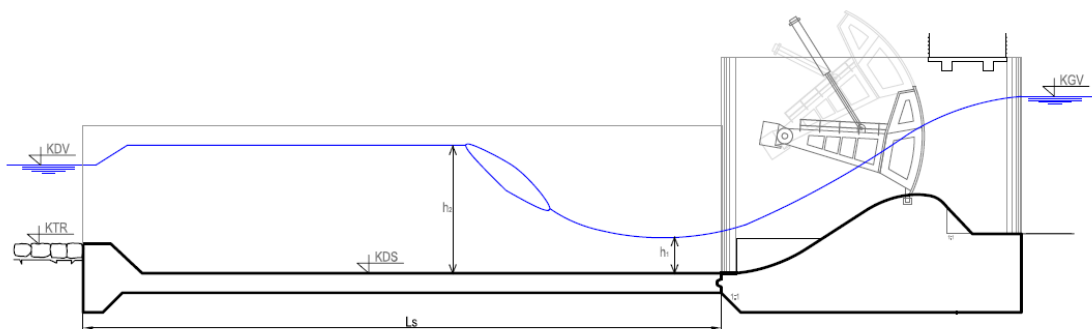
$$h = \frac{2}{3} \times H_p \times \cos \alpha = 0,627 H_p$$

$$h=3,135 \text{ m}$$



Slika 3-4: Preliv preko brane

3.1.3.3. Preliminarni proračun slapišta



Slika 3-5: Šematski prikaz preliva sa slapištem

Određivanje kote dna slapišta:

Razlika nivoa donje i gornje vode (pad piezometrijske kote):

$$\Delta Z = KGV - KDV$$

$$\Delta Z = 2,0 \text{ m}$$

Prva hidraulička dubina h_1 (dubina vode u suženom preseku) dobija se iz uslova da izraz:

$$h_1 \cdot \left[1 + \frac{\alpha_1}{2} - \frac{\alpha_1}{2} \cdot \sqrt{1 + \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot B_1^2 \cdot h_1^3}} \right] + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot B_1^2 \cdot \varphi^2 \cdot h_1^2} = \Delta Z$$

$$h_1 = 2,1 \text{ m}$$

Brzina u suženom preseku dobiće se jednačinom kontinuiteta:

$$v_1 = \frac{Q}{B \cdot h_1} = 10,9 \text{ m/s}$$

Za usvojenu brzinu $V_1=10,9$ m/s i dubinu vode na kraju preliva h_1 , vrednost Frudovog broja dobija se izrazom:

$$F_r = \frac{v_{stv}^2}{g \cdot h_1} = 6,0$$

Druga hidraulička dubina h_2 dobija se izrazom:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8F_r} - 1) = 6,0\text{m}$$

Na osnovu dobijenih vrednosti možemo zaključiti da imamo odbačeni hidraulički skok.

Potrebna dužina slapišta dobija se izrazom:

$$L_s = (4 \div 6) h_2 \rightarrow L_s = 33,5 \text{ m}$$

3.1.3.4. Preliminarni proračun otvora za prolaz ribe

Na prelivnom pragu, rezervisan je deo za održivi proticaj, sa slobodnim prelivom-bez ustava, koji će na koti preliva vodozahvata za elektranu imati propusnu sposobnost definisanu biološkim minimumom. U ovom slučaju, rešenje je dato u vidu riblje staze.

Na delu brane gde se nalazi riblja staza postoji otvor kojim se riblja staza snabdeva vodom iz akumulacije, odnosno, vodom koja se nalazi u jezeru stvorenom pregradom.

Otvor kroz koji voda prolazi iz brane u riblju stazu je pravougaoni i on se tako dimenzioniše da može da propusti garantovanu i veću količinu vode. Diferencijalna jednačina elementarnog protoka koja određuje količinu vode kroz otvor na vodozavatu odakle počinje riblja staza (otvor je dat u obliku pravougaonika) glasi:

$$dQ_s = \mu \cdot \sqrt{2gz} \cdot b \cdot dz$$

Integracijom ovog izraza dobija se:

$$Q_s = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{1.5}$$

Vrednost visine h se dobija iz obrasca:

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{3 \cdot Q_{\min}}{2 \mu b \cdot \sqrt{2g}} \right)^2} = \left[\frac{3 \cdot Q_{\min}}{2 \cdot 0,46 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{2g}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Biološki minimum Q_{\min} za Lim je $12 \text{ m}^3/\text{s}$, dobijena vrednost za visinu otvora riblje staze koja iznosi $h=0,80$ m i širinu $2,5$ m dovoljna je da propusti količinu vode od $3 \text{ m}^3/\text{s}$, a $9 \text{ m}^3/\text{s}$ će se propuštati kroz turbine, pa je

$$h=0,80 \text{ m}$$

Projektovanje riblje staze vrši se prema vrsti ribe u reci na kojoj se gradi MHE. Međutim, nije bitna samo vrsta ribe već postoji čitav niz zahteva koji su bitni za stvaranje dobrih uslova za prelazak ribe iz zone ispred vodozahvata u zonu iza vodozahvata.

Iz tih razloga mora se napraviti takav prelaz (riblja staza) koji mora da zadovolji sledeće uslove:

- da u vodi riblje staze ima dovoljno svetla,
- da se na kaskadama prelaza čuje prirodni žubor vode,
- da se za izgradnju staze koriste prirodni materijali kao što je drvo i klesan kamen koji se spaja cementnim malterom,
- da nagib dna bazena bude manji od 0,05%,
- da maksimalna brzina vode u stazi ne prelazi 5 m/s.

Ovi uslovi zahtevaju da se konstruktivno osmisli takav prelaz za ribu koji će biti sa slobodnom površinom, blagim padom i glatkim dnom. Za odmor ribe predviđeni su mali bazeni. Detaljniji proračun riblje staze biće dat u glavnom projektu.

3.1.4. Mašinska zgrada

Na navedenoj lokaciji biće izgrađena mašinska zgrada neposredno iza neprelivnog dela brane u kojoj će biti ugrađena tri agregata sa Kaplanovim turbinama.

Položaj zgrade male hidroelektrane je određen topografijom terena i nalazi se na koti 395,0 mnm (kota poda mašinske zgrade).

Položaj mašinske zgrade takođe je određen i odvodnim kanalom koji mora biti tako postavljen da voda koja izlazi iz njega ne erodira obale i dno reke Lim, odnosno da ima miran tok.

Prema hidrološkim parametrima koji su definisani hidrološkom studijom određena je geometrija dovodnog kanala, bruto i neto pad i instalisani proticaj. Na bazi ovih parametara predložen je tip turbine i generatora i oni u osnovi diktiraju i buduću geometriju mašinske zgrade.

3.1.4.1. Arhitektonsko rešenje mašinske zgrade

Mašinska zgrada je P₀+P objekat dimenzija 14,2 x 27,8 m ispod koje se nalazi odvodni kanal sa turbinskim odvodom koji je ugrađen u armirano-betonski sklop.

Aneks mašinske zgrade dimenzija 7,3 x 27,8 m sastoji se iz prostorija u kojima je smeštena elektro oprema i sistemi za upravljanje.

Zgrada MHE biće izrađena u skladu sa okolnom arhitekturom, a materijali koji će biti ugrađeni u nju odgovaraće okolnoj sredini i u skladu sa urbanističko tehničkim uslovima. Osnovni zahtev je da se mašinska zgrada svojim konstruktivnim rešenjem ne ističe od okolnog prostora.

3.1.4.2. Konstrukcija mašinske zgrade

Konstrukcija objekta je armiranobetonska i predstavlja sistem ramova u dva ortogonalna pravca koji su dimenzionisani da prime i prenesu sva opterećenja koja deluju na objekat. Gabaritne dimenzije mašinskog objekta su 14,2 x 27,8 m. Predviđen je i aneks glavnom objektu u kome su smeštene prostorije sa elektro opremom i prostorije za tehničko upravljanje MHE. Krovnu konstrukciju mašinske zgrade čini krut krovni pokrivač od AB ploče koja se direktno oslanja na glavne nosače. Iz tehničko-

tehnoloških uslova u objektu je predviđena kranska dizalica tipa STAHL. Na nivou idejnog projekta konstrukcije nije predviđen prostor izvan hale za manevrisanje opremom koji opslužuje kran. Stubovi poprečnih i podužnih ramova su promenljivog poprečnog preseka i to 80/120 cm do kote +8.00 i 60/60 cm. Grede u objektu imaju statičku funkciju u okviru podužnih i poprečnih ramovskih nosača. Fasadni i pregradni zidovi su od opeke tipa "POROTHERM" visokih termoizolacionih i zvučnih karakteristika. U objektu su predviđeni horizontalni i verikalni serklaži. Mašinska hala se oslanja na masivnu armiranobetonsku konstrukciju u kojoj su pozicionirane 3 turbinske jedinice za proizvodnju električne energije, preko koje se sva postojeća opterećenja dalje prenose na armiranobetonsku temeljnu ploču.

Svi noseći betonski elementi su od marke betona MB 30 i armirani su rebrastom armaturom RA 400/500.

U narednim fazama projektovanja neophodno je uraditi proračun stabilnosti mašinske zgrade i to za tri radne situacije: u uslovima normalne eksploatacije, u uslovima pri remontu ili određenim fazama građenja, kada je protočni trakt prazan, agregat demontiran, a ostvaruje se najnepovoljnije hidsrostatičko opterećenje zgrade i u izuzetnim uslovima pri evakuaciji velikih voda, pri dejstvu zemljotresa iz najnepovoljnijeg pravca.

3.1.4.3. Spoj mašinske zgrade sa donjom vodom

Spoj mašinske zgrade sa odvodnikom treba da je tako oblikovan i rešen da obezbedi stabilne hidrauličke režime i pogodan spoj sa koritom nizvodno od elektrane, da spreči pojavu sekundarnih tečenja koja bi podizala uspor i narušavala stabilnost tečenja i da smanji na minimum nepoželjnu eroziju korita. Slapišnu ploču treba raditi razdvojenu fugom od difuzora, kako bi se omogućila nezavisna pomeranja proizvodnog bloka i nizvodne spojne konstrukcije.

Između mašinske zgrade i evakuatora mora se postaviti razdeoni zid. Njegov zadatak je da hidraulički potpuno razdvoji tečenje u slapištima difuzora i evakuatora i spreči pojavu sekundarnih tečenja (povratni vrtložni tok) koja narušavaju hidrauličku stabilnost i povišavaju kotu donje vode. Razdeoni zid treba postaviti na čitavoj dužini slapišta.

U okviru spojne konstrukcije predviđeno je postepeno proširenje korita, sa ulom proširenja od max. 10°.

3.1.5. Evakuacija vode za vreme građenja

S obzirom da se brane grade u rečnom koritu, neophodno je u toku građenja vodu kontrolisano skrenuti i sprovesti van korita u kome će se graditi. Da bi se obezbedila suva temeljna jama najčešće se javlja potreba, posle skretanja reke, i postaviti drenažni sistem za crpljenje provirne vode.

Dva postupka koji se najčešće koristi za evakuaciju vode tokom izgradnje brane su:

- Skretanje reke kroz optočni tunel (jednofazno skretanje)
- Parcijalno (dvofazno), pregrađivanje reke zagatima

Skretanje reke kroz optočni tunel je primenljivije kod uzanih dolina sa strmim padinama, a kako to u ovom konkretnom primeru nije slučaj, treba se opredeliti za parcijalno (dvofazno) pregrađivanje reke.

Najpre je potrebno zagatom pregraditi jedan deo rečnog korita sa istovremenim dreniranjem temeljne jame od provirne vode. Prvi deo brane (zaštićen zagatom) radi se samo do nivoa koji

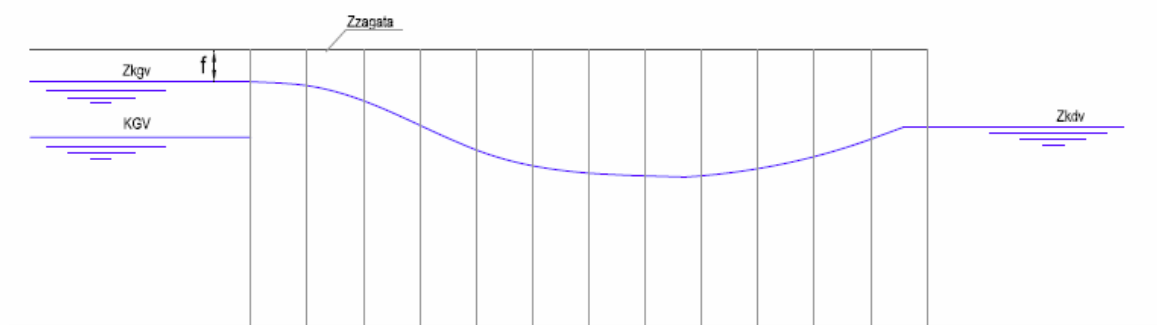
obezbeđuje stabilnost objekta i propuštanje rečnog toka kroz privremene propuste koji se ostavljaju u tu svrhu.

U drugoj fazi se uklanja zagat prve faze, i gradi se uzvodni deo zagata druge faze sa ciljem da se reka potpuno pregradi. Na ovaj način se značajno smanjuje proticajni profil, nivo vode ispred zagata raste, a brzina kroz otvor se povećava, pa raste i vučna sila toka. Potrebni su veći kameni blokovi kako bi se oduprli ovoj sili. Po završetku drugog dela brane, potrebno je ukloniti zagat druge faze kako bi se voda propustila na drugi deo vodozahvata.

Zagata je moguće raditi u vidu "pregradnih zidova" sastavljenih od međusobno povezanih cilindričnih ćelija. Ćelije se formiraju od čeličnih talpi, pobijenih u aluvijon i međusobno povezanih. Ovaj tip zagata je veoma stabilan i otporan na prelivanje.

Pregrađivanje reke treba predvideti u periodu malih voda, jer je tada snaga toka najmanja. Temeljna jama se štiti od 10-godišnje ili 20- godišnje vode, u zavisnosti od štete koju bi izazvalo plavljenje zagata. Kruna zagata se diže za zazor od 1-1,5 m iznad proračunate linije nivoa.

U našem slučaju, desetogodišnje vode su $400 \text{ m}^3/\text{s}$, pa je visina preliivanja 2,0 m, iznad kote gornje vode. Šematski prikaz linije nivoa duž zagata dat je na slici 3.6.



Slika 3-6: Šematski prikaz linije nivoa duž zagata

3.1.6. Predlog neophodnih istražnih radova za izradu idejnog projekta

Za potrebe izrade Idejnog projekta potrebne podloge su:

Geodetski radovi:

Poprečni presezi duž trase cevovoda na karakterističnim stacionažama i na poziciji vodozahvata i mašinske zgrade

Podužni profil duž trase cevovoda

Geološki terenski istražni radovi i geomehanička laboratorijska ispitivanja uzorka tla na pregradnom profilu, duž trase cevovoda i na poziciji mašinske zgrade, a u cilju definisanja pogodnosti terena za izgradnju sa inženjersko-geološkog, hidrogeološkog i geomehaničkog aspekta.

Za potrebe projektovanja i izgradnje objekta neophodno je da se definiše:

litološki sastav tla

strukturna građa terena

inženjersko-geološke karakteristike terena

hidrogeološke karakteristike terena

- ispitivanje osnovnih fizičko-mehaničkih parametara u geomehaničkoj laboratoriji za konstatovane litološke članove

- određivanje granulometrijskog sastava rečnog nanosa

Na osnovu navedenih istaživanja potrebno je da se uradi izveštaj sa predlogom o načinu i mogućnosti fundiranja budućeg objekta i da se daju merodavni geomehanički parametri za proračun dozvoljenog opterećenja tla.

Hidrogeološke i inženjerskogeološke podloge treba da sadrže rezultate o izvršenim ispitivanjima, i to:

1) uticaju geomorfologije terena na izbor mikrolokacije brane i mašinske zgrade;

2) uticaju geološke građe terena na izgradnju objekata;

3) seizmičnosti područja mikrolokacije brane, sa izvršenim određivanjem projektnog i maksimalnog zemljotresa na osnovu istraživanja seizmičkog rizika;

4) hidrogeološkim oblicima terena sa posebnim osvrtom na vodopropusnost pod pritiskom, stanjem podzemnih voda i njihove agresivnosti na beton i druge materijale;

5) savremenim geodinamičkim procesima, stanju njihovih tvorevina i mogućnostima njihovog razvoja za vreme izgradnje i kasnije eksploatacije objekta;

6) geomehaničkim svojstvima terena s posebnim osvrtom na nosivost, odnosno dozvoljeno opterećenje i mogućnosti smicanja tela brane i pratećih objekata;

7) geotehničkim svojstvima stenskih masa, odnosno njihovog uticaja na iskop, bušenje i razaranje naročito na mestu na kome će se fundirati graditi objekti;

8) mogućnostima snabdevanja prirodnim (geološkim) građevinskim materijalom;

9) rezervama mineralnih sirovina i drugih dobara na terenu.

Hidrogeološke i inženjerskogeološke podloge za izradu linijskih objekata sadrže rezultate izvršenih ispitivanja:

1) uticaj reljefa na objekat;

2) uticaj geološke gradnje terena;

3) uticaj hidrogeoloških i inženjerskogeoloških svojstava terena;

4) uticaj geodinamičkih procesa, stanja njihovih tvorevina i mogućnosti njihovog razvoja za vreme izgradnje i kasnije eksploatacije objekta;

5) geomehanička i geotehnička svojstva stenskih masa sa posebnom pažnjom na nosivost, odnosno njihov uticaj na iskop, bušenje i razaranje;

6) mogućnosti snabdevanja prirodnim (geološkim) građevinskim materijalom.

3.1.7. Napomene u vezi građenja i uređenja gradilišta

Gradnja malih hidroelektrana predstavlja specifičan zadatak koji se po pravilu karakteriše sledećim elementima:

- malim obimom radova
- razuđenost postrojenja
- nepristupačnost gradilišta

Polazeći od principa da gradilište mora biti primerno organizovano, kao uslov ekonomičnosti građenja, generalna opredeljenja su sledeća:

1. Obim pripremnih radova treba svesti na minimum i to:

- pristupni put sa elementima koji omogućavaju brzu i jeftinu gradnju puta
- smeštaj radnika ograničiti samo na smeštaj neophodnog stručnog kadra a pomoćnu radnu snagu obezbediti iz susednih mesta i naselja
- za gradilište predvideti male, po mogućnosti priručne i pokretne radioice, male separacije za agregat i male fabrike betona ili transportovati beton od najbliže fabrike betona

2. Maksimalno koristiti raspoložive lokalne materijale kod postrojenja koji uslovljavaju skupe i nepovoljne Transporte i to:

- kamen, šljunak, zemlja za nasipanje
- filteri i agregat za beton

3. Maksimalno koristiti montažne i prefabrikovane elemente (mašinska zgrada, cevovod i sl.) kod postrojenja koji imaju povoljne i kraće Transporte.

4. Maksimalno mehanizovati radove do granice ekonomičnosti uz korišćenje mašina manjih kapaciteta i univerzalnije primene.

Da bi male hidroelektrane bile i ekonomične, potrebno je da se zadovolji i uslov o minimalnom roku građenja.

3.1.8. Predračun građevinskih i hidrograđevinskih radova

U tabeli 3-2 dat je predračun građevinskih i hidrograđevinskih radova MHE "Rekovići I"

Tabela 3-2: *Predračun građevinskih i hidrograđevinskih radova*

Predračun građevinskih i hidrograđevinskih radova					
r.br	Opis pozicije	Jed. mere	količina	Cena po jed mere	ukupno
Bran sa prelivom i ribljom stazom					
1.	Radovi na raščišćavanju terena	m ²	1200	3,50	4.200
2.	Zemljani radovi	m ³	40000	10,0	400.000
3.	Izgradnja zagata	m ¹	100	2400	240.000
4.	Betonski i armirano-betonski radovi	m ³	9000	250	2.250.000
5.	Izrada slapišne ploče	m ²	3500	120	420.000
6.	Izrada riblje staze	m ¹	85	220	18.700
7.	Ostali radovi	paušalno			150.000
8.	Nepredviđenosti (10%)				340.600
Svega:					3.823.500 €
Elektromašinska zgrada					
1.	Raščišćavanje terena	m ²	1200	3,50	4.200
2.	Zemljani radovi	m ³	4500	6,0	27.000
3.	Betonski i armirano-betonski radovi	m ³	3600	220,0	792.000
4.	Tesarski radovi	m ²	1500	100,0	150.000
5.	Radovi na izradi krova	m ²	875	45,00	39.375
6.	Zidarsko-fasaderski radovi	m ²	560	7,50	4.200
7.	Bravarski i limarski radovi	m ²	260	25,00	6.500
8.	Ostali radovi	paušalno			50.000
Svega:					1.073.275 €
Ostali radovi					
1.	izgradnja pristupnih saobraćajnica	m ¹	50	45,00	1.750,00
2.	Radovi na uređenju rečne obale	m ¹	200	4.500,00	900.000
3.	Radovi na uređenju rečnog korita	m ¹	500	95,00	47.500
Svega:					949.250 €

Rekapitulacija građevinskih radova

Predračun građevinskih troškova		
1.	Prethodni radovi	150.000
2.	Brana sa ribljom stazom	3.823.500
3.	Regulacioni radovi na uređenju rečnog toka	250.000
4.	Elektromašinska zgrada	1.073.275
5.	Ostali radovi	949.250
		Ukupno: 6.246.025 €

ODGOVORNI PROJEKTANT:
 Mirjana V. Milekić, dipl. inž. građ.
 br. lic. 313 H648 09

3.2. Mašinski i hidromašinski deo

3.2.1. Izbor instalisanog protoka turbine za MHE Rekovići I u uslovima postojećeg režima reke Lim

Razmatrana slivna područja reka Lim je sa gledišta hidrološke izučenosti, pripada kategoriji hidrološki neizučeni slivova, pošto na njemu na ovom mestu vodozahvata ne postoje regularna hidrološka osmatranja i do sada nije bilo organizovanih osmatranja vodostaja ni merenja proticaja. Zbog toga su, za potrebe izrade ove studije, korišćene metodologije proračuna koje se najčešće, u sličnim uslovima, koriste u hidrološkoj praksi. U osnovi primenjene metodologije baziraju se na uspostavljanju prostornih zavisnosti između različitih hidrometeoroloških promenljivih u širem regionu i prostornoj interpolaciji dobijenih rezultata na razmatrani hidrološko neizučeni profil. Pri tome se teži da se odabere jedna ili više hidroloških stanica kao "analog", sa veoma sličnim fizičko-geografskim i morfološkim karakteristikama sliva, kao i razmatrani hidrološki neizučeni profil.

Primenjujući isti princip analognosti, definisana je i raspodela srednjih godišnjih proticaja i minimalnih srednje mesečnih proticaja u profilu vodozahvata MHE "Rekovići I". Rezultati proračuna dati su u sledećoj tabeli 3-3:

Tabela 3-3: *Raspodela srednjih mesečnih proticaja Qsr. god.(m³/s) na reci Lim u profilu vodozahvata MHE "Rekovići I" u 2009. god.*

Oznaka %	Qsr.mes.(m³/s)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Qsr,mes(m³/s)	90,0	91,3	112,5	177	151,9	85,5	47,6	35,7	39,8	59,0	89,4	109,8

U skladu sa mišljenjem RHMZ kao merodavni minimalni proticaj ("biološki minimum"), koji se mora ostaviti u reci Lim za potrebe održavanja biocenoze, usvaja se minimalni srednje mesečni proticaj 95-% obezbeđenosti. Prema hidrologiji, on za profil MHE "Rekovići I" iznosi :

$$Q_{\min, \text{biol.}} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Usvojamo instalisani proticaj MHE "Rekovići I" na reci Lim kada od maksimalnog protoka za mesec april oduzme biološki minimum dat mišljenjem RHMZ a ima vrednost:

$$Q_{\text{in. max}} = Q_{\text{sred.mes.max}} - Q_{\min, \text{biol.}}$$

$$Q_{\text{in. max}} = 165 \text{ m}^3/\text{s}$$

Instalisana snaga MHE zavisi od mnogo parametara a najvažniji su neto instalisani pad i količina vode odnosno instalisani protok. Bruto instalisana visina MHE "Rekovići I" može se dobiti na osnovu izraza:

$$H_{\text{br}} = KGV - KDV = 395 - 389,5 = 5,5 \text{ m}$$

Neto instalisana visina se može dobiti ako se od bruto instalisane visine oduzmu gubici, koji se proračunavaju na osnovu sledećeg izraza:

$$H_{\text{gub}} = (\xi_u + \Delta h_z + \xi_{\text{gub.tor}}) \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,20 \text{ m}$$

Na osnovu analize gubitaka kroz finu rešetku na dovodnom kanal do turbine i čeličnoj tablastoj ustavi ukupni gubici ovog sistema iznose $\Delta H = 0,50 \text{ m}$, a da neto instalisana visina iznosi $H_{\text{inst}} = 5,3 \text{ m}$.

Ukupna instalisana snaga agregata za MHE "Rekovići I" iznosi :

$$P_{\text{neto}} = \eta \cdot \eta_{\text{ml}} \cdot \rho g H_{\text{neto}} \cdot Q_{\text{inst}} = 7480 \text{ kW}$$

U slučaju MHE "Rekovići I" moguće je ugraditi dva tipa turbine, a oba tipa su vrlo praktična za ugradnju jer rade u širokom opsegu promene proticaja, a istovremeno se primenjuju za ovakve padove. To su Kaplan i S turbina. Svaki od ovih tipova ima svoje mane i prednosti. Međutim, za naveden pad najčešće se koristi Kaplan turbina. U nastavku teksta će biti prezentovan preliminarni proračun Kaplanove turbine koja za navedeni instalisani pad ostvaruje izuzetno veliki koeficijent iskorišćenja.

Broj agregata koji će se ugraditi u MHE zavisi od mnogo faktora ali najbitnija je hidrološka slika određene reke odnosno vrednost promene proticaja tokom godine i sposobnosti izabrane turbine da u određenom opsegu promene proticaja radi sa visokim stepenom iskorišćenja.

Navedena promena proticaja data je na graficima koji se nalaze u hidrološkoj studiji i koja se bavi hidrološkim podlogama naročito na dijagramima koji određuju vremensko trajanje proticaja kao i analizom koja je u tu svrhu sprovedena.

Zahvaljujuću tome može se odrediti snaga MHE koja će menjati tokom godine i prema toj promeni može se definisati broj agregata u MHE da bi njena efikasnost bila što je moguće veća.

Kod nekih proizvođača u njihovom proizvodnom programu prikazan je sledeći stepen iskorišćenja turbine koji se kreće od 0,87 do 0,91.

Na osnovu toga može se izračunati proizvodnja električne energije tokom godine. Svi podaci su dati u tabeli 3-4:

Tabela 3-4: Proizvodnja električne energije tokom godine

Dani	Q (m³/s)	η_T	P _T (kW)	P _A (kW)	E (kWh)
I	51,97	0,88	3567	3388	2473528
II	79,34	0,89	3671	3488	2546084
III	100,61	0,88	4603	4373	3192418
IV	165,00	0,897	7695	7180	5241140
V	140,40	0,87	6351	6033	4404434
VI	73,78	0,88	3376	3207	2341195
VII	35,59	0,87	1610	1529	1116439
VIII	23,80	0,87	1077	1023	746642.1
IX	27,93	0,87	1263	1200	876039.4
X	47,10	0,88	2155	2047	1494640
XI	77,15	0,88	2353	2236	1632011
XII	97,71	0,88	2980	2831	2066817
				UKUPNO	28.131.388

Na osnovu prethodne tabele vidi se da je dobijena značajna količina proizvedene električne energije u prosečnoj godini. Ako se ova količina električne energije podeli sa ukupnom instalisanom snagom na MHE "Rekovići I" dobiće se ukupno vreme rada agregata tokom godine pa je:

$$n = \frac{E}{P_A} = \frac{28.131.388 \text{ kWh}}{7180 \text{ kW}} = 3918 \text{ časova}$$

3.2.2. Izbor nominalnog broja obrtaja na osnovu sledećih formula

Na osnovu sledeće tabele usvajamo normalani broj obrtaja za turbinu tipa Kaplan na osnovu preliminaranih proračuna pokazano je da je specifična brzina obrtanja turbine data formulama a zatim je proračunat nominalni broj obrtaja i na kraju iz tabele je usvojena prva adekvatna vrednost koja zadovoljava visinu sisanja radnog kola.

p	n o/min
4	750
5	600
6	500
7	428
8	375
10	300
12	250
14	214
16	187,5
18	166,7
20	150
24	125
28	107
30	100
32	93,8
34	88,2
36	83,3
40	75
44	68,2
48	62,5
50	60
52	57,7
56	53,6
60	50
64	46,9
68	44,1

$$n_s = \frac{2088}{\sqrt{H_{\text{inst}}}} \div \frac{2702}{\sqrt{H_{\text{inst}}}}$$

$$n_s = 907 \div 1174 \text{ o/min}$$

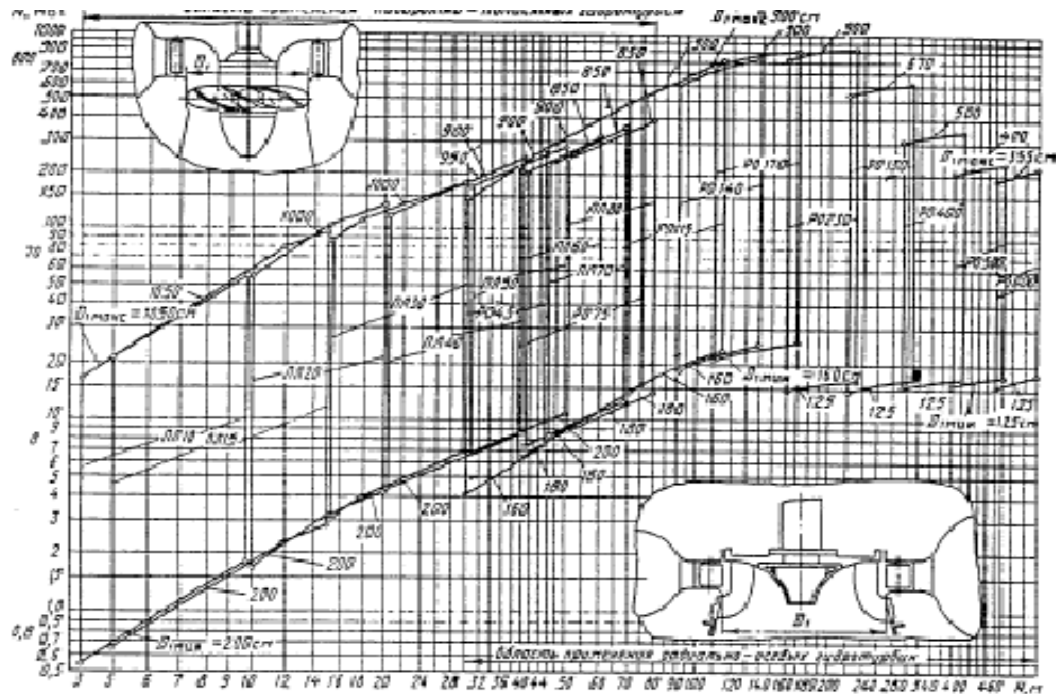
$$n_s = \frac{n_n}{H_n^{5/4}} \sqrt{P_{\text{opt}}} \Rightarrow n_n = \frac{n_s H_n^{5/4}}{\sqrt{P_{\text{opt}}}}$$

$$n_{n1} = 160 \text{ o/min}$$

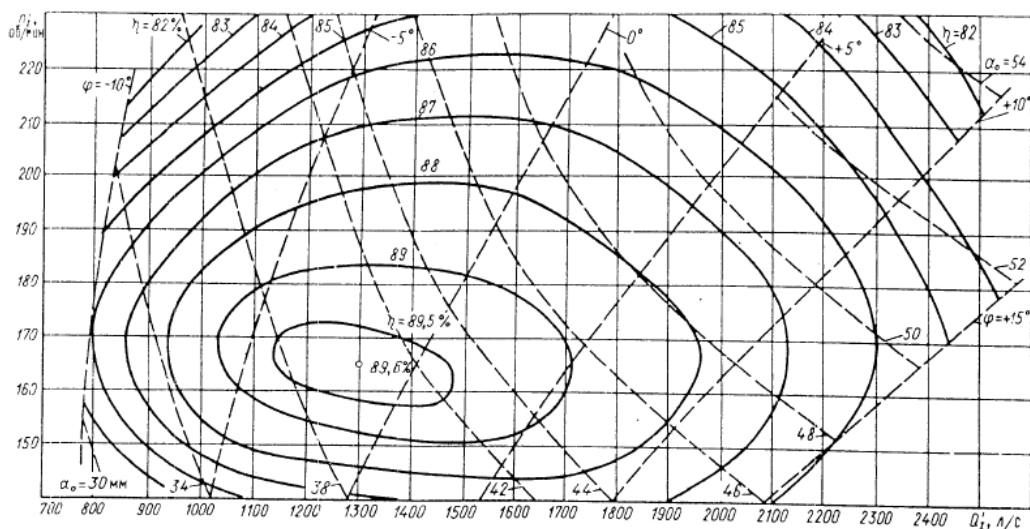
$$n_{n1} = 123 \text{ o/min}$$

Usvojen je standardni broj obrtaja $n=125 \text{ min}^{-1}$ gde je broj pari polova $p=24$. Broj polova se smanjuje jer smo u proračun uključili i multiplikator pa je nominalna brzina obrtanja generatora na 375 min^{-1} a broj pari polova je $p=10$.

3.2.3. Izbor parametara Kaplanove turbine



Slika 3-7: Šematski prikaz dijagrama za odabir turbine Kaplan, Fransis itd.



Slika 3-8: Šematski prikaz Ojlerovih bezdimenzionalnih koeficijenata na osnovu kojih se usvaja stepen iskoriscenja turbine

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

U praktičnoj hidraulici pri stvaranju rezultatnih zavisnosti energetskih jednačina koriste se Ojlerove jednačine za bezdimenzionalne veličine :

$$n_1 = n \frac{D_1}{\sqrt{H}} = 125 \cdot \frac{3,1}{\sqrt{5,3}} = 168,3$$

$$Q_1 = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}} = 2,48$$

$$N_1 = \frac{N}{D_1^2 H \sqrt{H}} = 61,22$$

gde je :

n = broj obrtaja turbine u o/min

Q - protok kroz turbinu m^3/s

H - instalisani pad

N - snaga turbine

Ukupna instalisana snaga jednog agregata za MHE "Rekovići I" iznosi:

$$P = 0,952 \cdot 0,897 \cdot 0,98 \cdot \rho \cdot g \cdot Q_{\max} \cdot H_n = 2393 \text{ kW}$$

Proračun instalisane snage za MHE "Rekovići I" će se izvršiti prema dobijenim hidroenergetskim podacima koji se odnose na gubitke na rešetkama na samom ulasku u mašinsku zgradu je:

- instalisani proticaj $55 m^3/s$
- instalisana visina $5,3 m$

Ukoliko su u nekoj MHE instalirane turbine istih karakteristika njihova pojedinačna snaga može se dobiti iz izraza:

$$P_t = \frac{P_{\text{inst}}}{m \eta_{\text{mul}} \eta_{\text{gen}}}$$

gde je:

P_{inst} - ukupna instalisana snaga MHE

m - broj agregata

η_{gen} - stepen iskorišćenja generator

η_{mul} - stepen iskorišćenja multiplikatora

Za MHE "Rekovići I" dobija se da snaga jedne turbine iznosi $P_t = 2564,95 \text{ kW}$.

3.2.3.1. Specifičan broj obrtaja Kaplanove turbine za uslove na mestu mikrolokacije

Specifičan broj obrtaja turbine (n_s) često se naziva i koeficijent brzohodnosti. Ovaj koeficijent daje vezu između pada, snage i nominalnog broja obrtaja (n) turbine. Za izračunavanje ovog koeficijenta koristi se sledeći obrazac:

$$n_s = \frac{n_n}{H_n^{5/4}} \sqrt{P_{\text{opt}}} = \frac{125}{5,3^{5/4}} \sqrt{3488,34} = 918,06$$

Gde je:

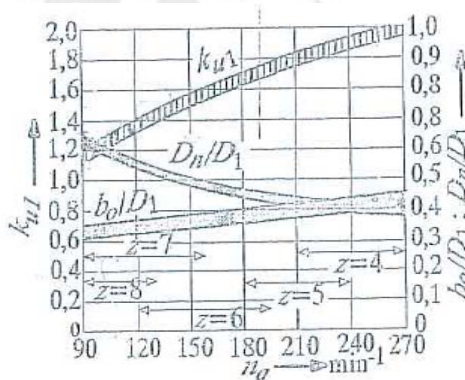
$n_n = 125 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ – usvojen standardan broj obrtaja radnog kola Kaplanove turbine.

Ova vrednost specifičnog broja obrtaja turbine govori da se radi sporohodnim turbinama za standardan broj obrtaja od $125 \text{ (min}^{-1}\text{)}$. U praksi se često koristi još jedan specifičan broj obrtaja (n_q) koji u funkciji protoka i pada, a izračunava se po obrazcu:

$$n_q = \frac{n_n}{H_n^{3/4}} \sqrt{Q} = \frac{125}{5,3^{3/4}} \sqrt{55} = 265$$

Na osnovu ovog specifičnog broja obrtaja određuje se parametar K_{U1} koji omogućava da se odredi prečnik turbine. Ovaj parametar se određuje iz dijagrama, pa za specifični broj obrtaja n_q on iznosi.

$$K_{U1} = 2$$



Slika 3-9: Šematski prikaz faktora turbine K_{U1}

Ako se usvoji da je sinhrona brzina obrtanja generatora $n_s = 375 \text{ min}^{-1}$ može se dobiti da prenosni odnos multiplikatora iznosi :

$$N_{mul1} = 1 : 3$$

Rezultati dobijeni preliminarnim proračunom se poklapaju sa kataloškim podacima za turbine sa istim ulaznim parametrima, više proizvođača opreme.

3.2.3.2. **Određivanje geometrijskih karakteristika Kaplanove turbine**

Vrednost parametra K_{U1} kao i ostali hidrodinamički parametri omogućavaju da se izračuna prečnik radnog kola Kaplanove turbine a u odnosu na njega i ostali geometrijski parametri koji definišu fizičke dimenzije iste, pa je:

$$D_1 = 84,6 \cdot \frac{K_{U1} \cdot \sqrt{H}}{n} = 84,6 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{5,3}}{125} = 3,1 \text{ m}$$

Definisanjem prečnika radnog kola turbine mogu se izračunati i ostali parametri koji definišu ostale dimenzije Kaplanove turbine, pa je:

- srednji prečnik statora turbine

$$D_0 = (1,2 \div 1,4) \cdot D_1 = 1,2 \cdot 3,1 = 3,72 \text{ m}$$

- prečnik osovine glavčine rotora turbine

$$D_g = (0,4 \div 0,6) \cdot D_1 = 0,4 \cdot 3,1 = 1,24 \text{ m}$$

- unutrašnji prečnik statora turbine

$$D_z = (1,0 \div 1,1) \cdot D_1 = 1,05 \cdot 3,1 = 3,26 \text{ m}$$

- visina lopatica statora

$$b_0 = (0,35 \div 0,45) \cdot D_1 = 0,45 \cdot 3,1 = 1,40 \text{ m}$$

- prešnik zarubljenog vrha glavčine rotora turbine

$$d = (0,1 \div 0,15) \cdot D_1 = 0,15 \cdot 3,1 = 0,47 \text{ m}$$

- udaljenost lopatica radnog kola turbine od statora turbine

$$h_1 = (0,23 \div 0,28) \cdot D_1 = 0,26 \cdot 3,1 = 0,81 \text{ m}$$

- udaljenost lopatica radnog kola turbine od zarubljenog vrha glavčine turbine

$$h_2 = (0,45 \div 0,6) \cdot D_1 = 0,6 \cdot 3,1 = 1,86 \text{ m}$$

- prečnik korena lopatice koji se vezuje na radno kolo turbine

$$e = (0,15 \div 0,2) \cdot D_1 = 0,15 \cdot 3,1 = 0,47 \text{ m}$$

- radijus iznad radnog kola turbine a na osovini turbine

$$r_1 = (0,15 \div 0,2) \cdot D_1 = 0,15 \cdot 3,1 = 0,47 \text{ m}$$

- radijus na kućištu turbine

$$r_2 = (0,05 \div 0,09) \cdot D_1 = 0,08 \cdot 3,1 = 0,25 \text{ m}$$

3.2.3.3. Određivanje usisne visine turbine

Određivanje ove visine je vrlo značajno jer ona određuje koliko treba turbina da se potopi kako bi je obezbedili od pojave kavitacije. Visina sisanja tj potapanja Kaplanove turbine (H_s) se određuje na osnovu sledeće formule:

$$H_s = 10,33 - \frac{z_T}{900} - H_d - \sigma_T^* \cdot H$$

Da bi se odredila ova visina sisanja mora se definisati vrednost bezkavitacijskog koeficijenta σ_T^* po izrazu:

$$\sigma_T^* = \sigma_{KR} + \frac{1,5}{H}$$

Kavitacioni koeficijent se određuje na osnovu formule koju je predložio Ščapov. Ta formula za Kaplanove turbine glasi:

$$\sigma_{KR} = \frac{(n_s - 54)^2}{450000} + 0,035 = \frac{(918,06 - 54)^2}{450000} + 0,035 = 1,7$$

Zamenom dobijene vrednosti za kavitacioni koeficijent u prethodne formule na kraju se dobija visina sisanja, pa je:

$$\sigma_T^* = 1,7 + \frac{1,5}{5,3} = 2$$

Pritisak zasićenja vodene pare dobija se iz izraza:

$$p_d = 133,333 \cdot \exp\left(18,5916 - \frac{3991,11}{10,8 + 233,84}\right) = 1230 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Visina H_d dobija se po izrazu:

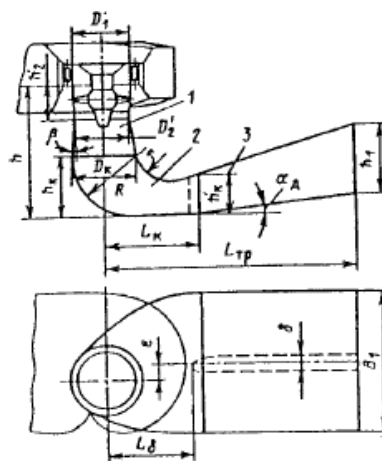
$$H_d = \frac{p_d}{\rho \cdot g} = \frac{1230}{\rho \cdot g} = 0,125 \text{ m}$$

Pa je visina potapanja turbinskog kola turbine:

$$H_s = 10,33 - \frac{389,5}{900} - 0,125 - 1,98 \cdot 5,3 = -0,7 \text{ m}$$

3.2.3.4. Proračun sifona

Savijeni difuzor sa kolenom se primenjuju kod svih hidroelektrana sa krupnim vertikalnim agregatima. Ovaj difuzor sastoji se od izlaznog koničnog difuzora, kolena, odvodnog difuzora.



Slika 3-10: Šematski prikaz krive trajanja dnevnih proticaja za turbinu

Hidraulički je povoljna veća visina sifona h jer omogućava veću visinu koničnog difuzora h_{kon} , što smanjuje brzine u kolenu, a time i gubitke. Tabelarno su dati svi podaci u odnosu na prečnik Radnog kola. Uzeti iz knjige "Hidrauličke osnove hidromašina" izdanje 1988. god. Vasiljev.

Tabela 3-5: Dimenzije krivolinijskih sifona

Напор, м	Отсасывающая труба			Колено			Отводящий диффузор	
	Высота h	Длина L_{tp}	Ширина B_1	Высота h_k	Длина L_k	Диаметр входного отверстия D_k	Высота входного отверстия h_k	Высота выходного отверстия h_1
До 80	2—2,3	4—5	2,5—2,8	0,9—1	1,2—1,5	1,2—1,5	0,58—0,7	1,15—1,35
80—170	2,5—3	4—5	2,5—3	0,9—1,2	1,4—1,8	1,1—1,4	0,6—0,7	1—1,3
170—230	2,5—3,5	4,5—5	2,5—3	0,9—1,4	1,5—2	1,05—1,25	0,65—0,74	1—1,5
230 и бо- лее	3—3,5	5—6	1,25—2,7	1,1—1,5	1,5—2,2	1,3—0,95	0,7—1,1	1,1—1,5

$$h = (2 - 2,3) D_1 = 6,8 \text{ m}$$

$$L = (4 - 5) D_1 = 14,0 \text{ m}$$

$$B_1 = (2,5 - 2,8) D_1 = 7,8 \text{ m}$$

$$h_k = (0,9 - 1,0) D_1 = 3,1 \text{ m}$$

$$L_k = (1,2 - 1,5) D_1 = 3,72 \text{ m}$$

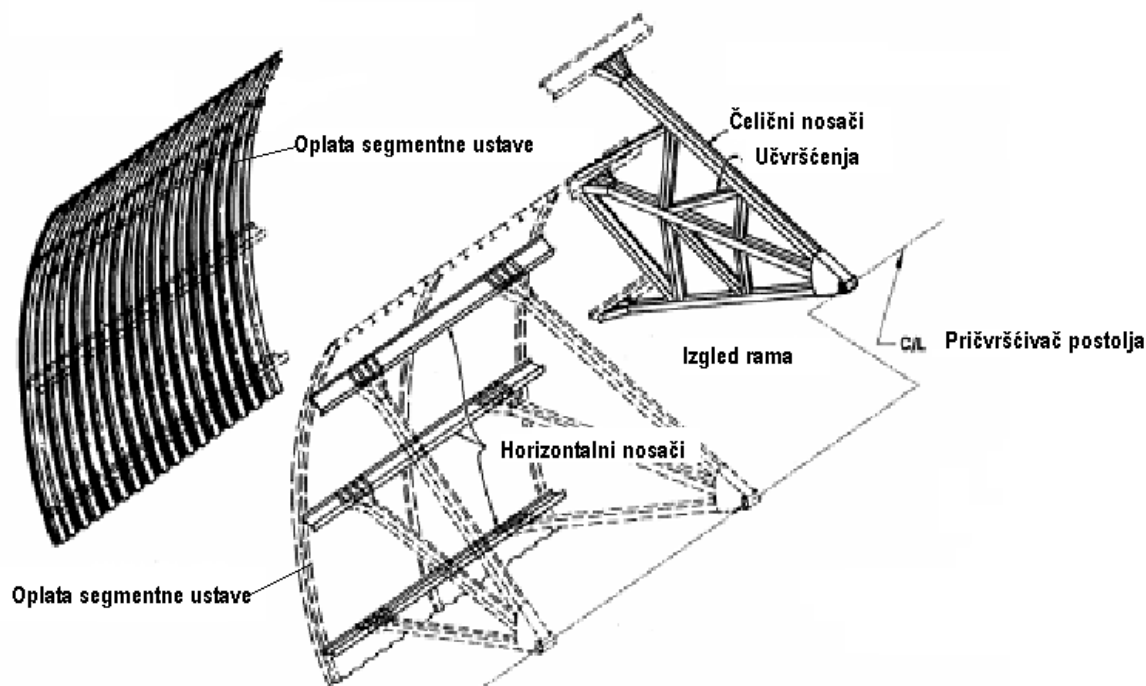
$$D_k = (1,2 - 1,5) D_1 = 3,72 \text{ m}$$

$$h_1 = (1,15 - 1,35) D_1 = 3,68 \text{ m}$$

3.2.4. Izbor zatvarača-čelična segmentne ustava na prelivnom polju brane

Na prelivnom delu brane ugrađićemo segmentne zatvarače kod kojih se hidrostatsko opterećenje prenosi na dva oslonca u vidu zglobova a preko njih na bočne konstrukcije protočnog elementa. Lice ustave biće realizovano u vidu cilindra konstantnog radijusa.

Oslonci segmentnog zatvarača biće koničnog oblika. Zaptivanje ustave na spoju sa vertikalnim zidovima protočnog dela obezbediće se zaptivkom, koju čine elastični elementi koje će hidrostatski pritisak da priljublji uz kliznu površinu bočnih zidova. Da bi obezbedili neometano funkcionisanje zatvarača u zimskim uslovima duž klizne površine ćemo postaviti cevi za zagrevanje.



Slika 3-11: Šematski prikaz segmentne ustave sa servouređajem

Radijus segmentne ustave R najčešće se kreće u sledećim granicama:

$$R = (1,2 \div 1,5)H = 7,5 \text{ m}$$

Segmentne ustave ćemo pokretati servouređajima ili elektromotorima sa vitlom. Obezbedićemo i mogućnost ručnog pogona u slučaju kvara pogonskih uređaja ili prekida dovoda energije.

Težine segmentnih ustava moćemo odrediti na osnovu empirijskog obrasca:

$$G = (W \cdot L_{ot} / 15)^{0.7} = 127,5 \text{ t}$$

3.2.5. Izbor čeličnih rešetki

Na dovodu do mašinske zgrade potrebno je postaviti rešetke na dovodnim kanalima do turbina. Gubici na samoj rešetkama zavise od relativne gustine rešetke oblika elementa i nagiba rešetke. Najčešće korišćen nagib rešetke sa stanovišta rada čistilice je od 1:4 do 1:5. Rešetke treba postaviti pod nagibom od 72° do 75°. Obrazac koji nam daje tu zavisnost je:

$$\xi_r = \beta(s/b)^{4/3} \sin \alpha$$

Rastojanje između elemenata rešetke obično se usvaja zavisno od tipa turbine i prečnika radnog kola D_1 obično se za Kaplanove turbine uzima:

$$b = D_1/20$$

Preporučuje se da ulazna brzina na rešetci elektrane malog i srednjeg pada ne bude veća od brzine:

$$v_r = K\sqrt{H}$$

Armatura za koju se spajaju čelične rešetke varenjem može biti od Ø 5 mm do Ø 36 mm. Postavićemo ram pravougaonog oblika i dimenzija 5 x 3 m čija je ispuna od čeličnih šipki koje su međusobno zavarene čiji je prečnik Ø 18 mm, a u fazi Glavnog projekta izvršiće se detaljan proračun gubitaka na rešetkama.

3.2.6. Predračun mašinske i hidromašinske opreme MHE

Tabela 3-6: Predračun mašinske i hidromašinske opreme

Predračun mašinske i hidromašinske opreme						
R. br.	NAZIV OPREME	Količina	J.mere	Masa [Kg]	J. cena [€/Kg]	Uk.cena [€]
1.	Kaplanova turbina, $D_c=3,1$ mm, $n_T=125$ min ⁻¹ , $Q_i=55$ m ³ /s, $H_{max}=4,9$ m, $P_T=2564,95$ kW	kom.	3	/	/	1.170.000
2.	Sifoni Kaplanovih turbina	kom.	/	/	/	140.000
3.	Uređaji za automatsko upravljanje turbinoma, turbinski regulatori	kom.	2	/	/	351.000
4.	Segmentne ustave na brani	kom	5	/	/	720.000
5.	Čelična tablasta ustava na dovodnom kanalu do turbine 6000x5000 mm	kom	3	/	/	92.400
6.	Čelična tablasta ustava na odvodnom kanalu do turbine 2600x5000 mm	kom	3	/	/	86.400
7.	Fine čelične rešetke na odvodnom kanalu, 3000x5000 mm	kom.	3	/	/	94.500
8.	Mosna dizalica nosivosti 160 t	/	/	/	/	112.500
9.	Multiplikator	kom	3	/	/	60.000
10.	Ostali pomoćni sistemi u MHE (drenažne pumpe, ventilacija, grejanje, PP aparati i dr.)	/	/	/	/	4.000
11.	Transport, montaža i ispitivanje (10%)	/	/	/	/	283.100
12.	Nepredvidjenosti (5%)	/	/	/	/	155.700
UKUPNO:		cena, 3.269.600 €				

ODGOVORNI PROJEKTANT:
 Zoran B. Mojić, dipl. inž. maš.
 br. lic. 332 9777 04

3.3. Osnovne karakteristike elektro opreme MHE "Rekovići I"

3.3.1. Predmet projekta i Zakonska regulativa

Predmet ovog projekta jeste davanje osnovnog konceptualnog rešenja elektro opreme za MHE "Rekovići I". Shodno tome biće navedene osnovne karakteristike generatora i opreme generatorskog napona. Definisaće se prenosni odnos transformacije i dati osnovne karakteristike transformatora. Priključenje na DEES i merenje proizvedene električne energije u potpunosti predvideti prema važećim tehničkim preporukama. Dati rešenje napajanja sopstvene potrošnje kao i sistema sigurnog napajanja. Rasklopno sredjenaponsko postrojenje prdvideti uz upotrebu tipske opreme. Dati konceptualno rešenje sistema električne zaštite u saglasnosti sa važećom tehničkom preporukom. Opisati predviđeni sistem instalacije osvetljenja, uzemljenja i gromobranske zaštite za mašinsku zgradu. Dati preliminarni predmer i predračun elektro opreme.

Za izradu Generalnog projekta i u narednim stepenima izrade projektne dokumentacije koristiti sledeće propise, standarde i preporuke:

1. Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona (Sl. list SFRJ, br. 53/88, 54/88 i SRJ br. 28/95)
2. Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000V (Sl. list SFRJ, br. 4/74 i 13/78; Sl. list SRJ, br. 61/95)
3. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu elektroenergetskih objekata od atmosferskog pražnjenja (Sl. list SFRJ, br. 13/78)
4. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica. (Sl. list SFRJ, br. 13/78)
5. Pravilnik o tehničkim propisima za specijalnu zaštitu elektroenergetskih postrojenja od požara (Sl. list SFRJ br. 74/90)
6. Pravilnik o tehničkim normativima za uzemljenje elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1000V (Sl. list SRJ br. 61/95-30)
7. SRPS N.A0.826 Električne instalacije u zgradama. Temini i definicije;
8. SRPS N.B2.730 Električne instalacije u zgradama. Opšte karakteristike i klasifikacija;
9. SRPS N.B2.741 Električne instalacije u zgradama. Zahtevi za bezbednost. Zaštita od električnog udara;
10. SRPS N.B2.751 Električne instalacije u zgradama. Izbor i postavljanje električne opreme;
11. SRPS N.B2.743 Električne instalacije u zgradama. Zahtevi za bezbednost. Zaštita od prekomernih struja;
12. SRPS N.B2.754 Električne instalacije u zgradama. Uzemljenje i zaštitni provodnici;

- | | |
|---|---|
| 13.SRPS IEC 1024-1 | Gromobranske instalacije - Opšti uslovi; |
| 14.SRPS IEC 1024-1-1 | Gromobranske instalacije - Određivanje nivoa zaštite; |
| 15.SRPS IEC B4.803 | Gromobranske instalacije - Određivanje nivoa zaštite.
Utvrdjivanje prosečnog broja dana sa grmljavinom. Izokeraunička karta; |
| 16.SRPS U.C9.100 | Dnevno i električno osvetljenje u zgradama; |
| 17.TP-23:1982 | Projektovanje, izgradnja i održavanje uzemljenja elektroenergetskih postrojenja; |
| 18.TP-16:2003 | Osnovni tehnički zahtevi za priključenje malih elektrana na mrežu elektrodistribucije Srbije; |
| 19.TP-05:1997 | Primena temeljnih uzemljivača i mera za izjednačenje potencijala u objektima i transformatorskim stanicama; |
| 20.TP-06:1998 | Uzemljenje neutralnih tačaka u elektrodistributivnim mrežama 110kV, 35kV, 20kV, 10kV i 0.4kV; |
| 21.Zakon o bezbednosti i zaštiti zdravlja na radu, Sl. glasnik RS, br.101/2005; | |
| 22.Zakon o inspekciji rada SR Srbije, Sl. glasnik RS br. 22/85; | |
| 23.Zakon o planiranju i izgradnji, Sl. glasnik RS, br.72/2009; | |

3.3.2. Uvod

Osnovni režim rada MHE "Rekovići I" jeste režim paralelnog rada sa električnom mrežom pri čemu se kompletna proizvedena električna energija predaje Električnoj prenosnoj mreži Republike Srbije. Ostrvski ili kombinovani režim rada elektrane nije dozvoljen, ni predviđen i ne postoji lokalna električna mreža koju bi elektrana napajala. Ostrvski rad elektrane je predviđen samo u slučaju remonta odnosno popravki MHE (probni rad) kada elektrana napaja jedino sopstvenu potrošnju. Osim toga MHE "Rekovići I" radi i u režimu regulacije nivoa gornje vode što je uobičajeno za MHE ovakvog tipa i namene.

Za MHE "Rekovići I" je takođe predviđeno da radi u automatskom režimu uz mogućnost ručnog režima rada. Ručni režim rada se koristi samo prilikom ispitivanja odnosno podešavanja elektrane, tokom njenog održavanja ili remonta i eventualno u slučaju kada drugi režimi rada nisu mogući.

U automatskom režimu rada, upravljanje, komandovanje i nadzor kompletne MHE obavlja određeni broj mikroračunara (programabilnih logičkih kontrolera, PLC računara) kao krajnjih stanica (RTU) i glavni (master) računar koji kontroliše rad svih ostalih podsistema u elektrani. U slučaju MHE "Rekovići I" kao glavni računar je primenjen industrijski PC računar odgovarajućih karakteristika kako bi se zadovoljili potrebni uslovi.

Tokom automatskog režima rada sve funkcije MHE su potpuno automatizovane. Međutim, uzimajući u obzir instalisanu snagu i ostale karakteristike MHE "Rekovići I" neophodno je da ova elektrana ima organizovanu stalnu (dežurnu) ljudsku posadu. Dežurna posada elektrane je zadužena za kontrolu i nadzor svih sistema elektrane. U slučaju vanrednih situacija (havarije, poplave itd.)

upravljački sistem MHE "Rekovići I" reaguje prema prethodno definisanim procedurama uz asistenciju navedene posade. U sklopu MHE "Rekovići I" biće uspostavljen i odgovarajući tehnički nadzor brane shodno gabaritima, konstrukciji i nameni brane kao i u saglasnosti sa svim važećim standardima, propisima, preporukama i normama koji se odnose na predmetnu oblast.

U okviru MHE "Rekovići I" predviđena je i primena sistema za daljinsku kontrolu i nadzor tipa SCADA čiji je zadatak daljinski nadzor MHE i formiranje odgovarajuće baze podataka.

Uzimajući u obzir prethodno navedene zahteve i zahteve za pouzdanost, jednostavnošću montaže i održavanja MHE "Rekovići I" kao i na osnovu ostalih bitnih parametara vezanih za ovu lokaciju, izvršen je preliminarni izbor elektro opreme MHE. Izbor elektro opreme izvršen je i u skladu sa važećim elektrotehničkim propisima, standardima i preporukama za ovu oblast. Konačan izbor i dimenzionisanje elektro opreme biće izvršeno u glavnom odnosno izvođačkom projektu prema zahtevima definisanim tehničkim uslovima za priključenje MHE "Rekovići I" na Distributivni Elektroenergetski Sistem (DEES) izdatim od strane nadležnog elektroprivrednog preduzeća.

U ovom projektu će biti prikazano rešenje sa Kaplanovom turbinom kao pogonskom mašinom. Konačan izbor tipa turbine biće izvršen u glavnom projektu MHE "Rekovići I".

U mašinskoj zgradi i aneksu mašinske zgrade MHE "Rekovići I" smešteni su agregati, veći deo pripadajuće mašinske i elektroopreme generatorskog napona kao i 35 kV-no rasklopno postrojenje. Glavni energetska transformator je predviđen za spoljnu montažu i postavljen je u posebnoj prostoriji u sklopu mašinske zgrade.

Osnovne karakteristike MHE "Rekovići I" su sledeće:

- Tip MHE **pribranska**
- Način rada MHE **Automatski, paralelno sa mrežom**
- Tip primenjene turbine..... **Kaplanova turbina**
- Instalirana snaga **7180 kW**
- Broj agregata..... **3**
- Tip primenjenih generatora **Trofazni, sinhroni**
- Nazivni generatorski napon..... **6,3 kV**
- Pobuda generatora..... **kontaktna, statička**
- Tip primenjenog transformatora **Uljni za spoljnu montažu**
- Snaga energetskog transformatora **10000 kVA**
- Režim rada MHE **Automatski, paralelno sa mrežom**
- Nazivni napon priključne mreže..... **35 kV, 50Hz**
- Tip spojnog voda **Vazdušni**
- Nazivni napon sopstvene potrošnje..... **3x0,4/0,23 kV, 50 Hz**
- Komandni napon (napon sigurnog napajanja)..... **110 VDC**

Na crtežu 5, list 1 datom u prilogu ovog projekta, prikazana je *Jednopolna električna šema MHE, generatorski napon*. Na šemi su prikazani važniji delovi elektro opreme u mašinskoj zgradi (generatori, generatorski prekidači, zaštite i sl.).

Na crtežu 5, list 2 data je *Jednopolna električna šema elektrane, 35 kV napon*. Srednjenaponska oprema je uglavnom locirana u mašinskoj zgradi.

Na crtežu 5, list 3 prikazana je *Blok šema upravljanja MHE* sa koje se može sagledati princip kontrole i upravljanja MHE.

U nastavku teksta slede detaljnija objašnjenja pojedinih delova elektro-opreme.

3.3.3. Generatori

Za pretvaranje mehaničke energije u električnu u MHE "Rekovići I" predviđeni su trofazni sinhroni vertikalni generatori. Proračun i izbor Kaplanovih turbina za MHE "Rekovići I" dat je u mašinskom delu projekta MHE "Rekovići I".

Na osnovu navedenog proračuna je jasno da je uz primenu Kaplanovog tipa turbina potrebno instalirati tri turbine da se pokrije kompletan opseg protoka reke Lim na predmetnoj lokaciji uz optimalno iskorišćenje raspoložive hidromehaničke energije (visok stepen iskorišćenja).

Navedene turbine na izlaznoj osovini vratila pri nazivnom padu i nazivnom protoku razvijaju mehaničku snagu od $P_{t1} = P_{t2} = P_{t3} = 2564,95 \text{ kW}$

Na osnovu ovih podataka, podatka o faktoru snage $\cos(\varphi) = 0,85$, podatka o stepenu korisnosti generatora $\eta_{g1} = \eta_{g2} = \eta_{g3} = 0,952$ i podatka o stepenu korisnosti multiplikatora $\eta_m = 0,98$ može se dobiti da prividne snage generatora iznose:

$$S_{g1} = S_{g2} = S_{g3} = \frac{P_t \cdot \eta_g \cdot \eta_m}{\cos(\varphi)} = \frac{2564,95 \cdot 0,952 \cdot 0,98}{0,85} = 2815,29 \text{ kVA}$$

Uzimajući u obzir ove vrednosti, specifične brzine obrtanja turbina, način montaže i ostale relevantne podatke i uslove, biramo sinhronne generatore za vertikalnu montažu sledećih karakteristika:

- Nazivna prividna snaga generatora 2850 kVA
- Nazivna aktivna snaga generatora 2423 kW
- Nazivni napon generatora (međufazni) 6300 V
- Nazivni faktor snage $0,8 \pm 1$
- Nazivna struja generatora 260 A
- Opseg regulacije napona $\pm 5 \%$
- Klasa izolacije namotaja F
- Nazivna učestanost 50 Hz
- Stepenn korisnog dejstva 0,952
- Broj polova $2p = 16$
- Nazivni broj obrtaja 375 min^{-1}
- Broj obrtaja pri pobegu 500 min^{-1}

Nazivni napon generatora od 6,3 kV usvojen je na osnovu veličine generatora i upoređenja sa mašinama sličnih konstrukcija.

Opseg regulacije napona od $\pm 5\% U_n$ usvojen je na bazi uobičajenih rešenja i preliminarne razmatranja uslova plasmana proizvedene energije pri različitim naponskim prilikama u mreži DEES-a na koju je priključena elektrana a na datoj lokaciji. Regulacija napona se vrši regulatorom pobude koji

održava napon na krajevima generatora u propisanim granicama pri različitim opterećenjima generatora. Prilikom izbora ovog opsega uzeta je u obzir i mogućnost podešavanja napona ($\pm 2,5\%$, u beznaponskom stanju) na visokonaponskoj strani glavnog energetskog transformatora.

Stator generatora je sa magnetnim kolom od dinamo limova. Statorski namotaj izolovan je izolacijom klase F. Rotor generatora je lamelirani. Izolacija pobudnog namotaja takođe je klase F.

Generator oblika **IM 4011** odnosno **IM 3011** u skladu sa IEC 60034-7.

Kočenje generatora će biti dvojako. Osnovno kočenje će biti električno počev od oko (50-60)% n_n pa do zaustavljanja pomoću prekidača i odgovarajućih otpornika na strani generatorskog napona. Rezervno kočenje će biti klasično, mehaničkim kočnicama sa kočionim oblogama na donjoj strani rotora. Detaljan opis sistema kočenja biće dat u narednom stepenu projektovanja kada se će se dobiti detaljni podaci od konkretnog proizvođača opreme.

Kako bi se obezbedila zemljospojna zaštita statorskog namotaja generatora zvezdišta statorskih namotaja generatora su uzemljena preko odgovarajućih otpornika u sekundarnim kolima. Ovim su se obezbedili uslovi za formiranje odgovarajućih zemljospojnih zaštita generatora. Ovakav način izvođenja uzemljenja generatora je primenjen u cilju ograničenja struja jednopolnog i dvopolnog zemljospoja u postrojenju generatorskog napona.

3.3.3.1. Oprema generatorskog napona

Rasklopno postrojenje generatorskog napona (6,3kV) predviđeno je za unutrašnju montažu. Sva oprema generatorskog napona smeštena je u blizini samog generatora.

Oprema generatorskog napona obuhvata:

- generatorski prekidač
- opremu za uzemljenje zvezdišta generatora
- strujne i naponske transformatore na izvodima generatora
- strujne i naponske transformatore u zvezdištu generatora
- kablovsku vezu, glavne generatorske sabirnice - energetski transformator

Nazivni napon između faza za navedenu opremu je u skladu sa nazivnim generatorskim naponom odnosno 6,3 kV.

Za MHE "Rekovići I" usvojeno je uzemljenje zvezdišta generatora preko visokonaponskog otpora za ograničenje struje jednofaznog zemljospoja. Sa ovom otpornošću paralelno je vezan naponski transformator odgovarajućeg prenosnog odnosa, prilagođenog osetljivosti usvojene generatorske odnosno statorske zemljospojne zaštite. Strujni transformator je takođe odgovarajućeg prenosnog odnosa prilagođen takođe prethodno navedenoj zaštiti.

3.3.4. Energetski transformator

Na crtežu 5 list 2 (*Jednopolna električna šema MHE, 35 kV napon*) datom u prilogu ovog projekta, prikazan je energetski transformator Te01 koji služi za prilagođenje naponskog nivoa generatorskih sabirnica sa naponskim nivoom elektrodistributivne mreže na koju se priključuje MHE. Namotaj višeg napona ovog transformatora je spojen u zvezdu a namotaj nižeg napona na koji se priključuju generatori je spojen u trougao. Neutralna tačka 35kV-ne strane, odnosno zvezdište visokonaponske strane energetskog transformatora je uzemljeno preko odgovarajuće impendanse

kako bi se ispoštovali odgovarajući propisi u pogledu struja zemljospoja 35kV-ne mreže. U ovom slučaju će navedeni transformator biti postavljen u okviru mašinske zgrade.

Karakteristike primenjenog energetskog transformatora su sledeće:

- Nominalna snaga 10000 kVA
- Odnos transformacije $35 \pm 2 \times 2,5\% / 6,3 \text{ kV}$
- Sprega YNd5
- Nominalna učestanost 50Hz
- Tip hlađenja ONAN
- Tip montaže spoljašnji

Glavni energetski transformator će biti opremljen svom standardnom pomoćnom opremom kao što su konzervator ulja, Buholc rele, termometri i sl.

Zaštite glavnog energetskog transformatora će biti izvedene na uobičajen način za transformatore ovakvih ili sličnih karakteristika (naponski nivoi, prenosni odnos, instalisana snaga, namena itd.).

Na crtežu 5 list 5 (*Opšta dispozicija energetskog transformatora*) datim u prilogu ovog projekta, prikazani su gabariti energetskog transformatora.

3.3.5. Sopstvena potrošnja i kućni transformator

Pored navedenog glavnog energetskog transformatora u elektrani će se nalaziti i kućni transformator za napajanje sopstvene potrošnje.

Kućni transformator je odgovarajuće dimenzionisan i njegova snaga je veća od snage potrebne za napajanje sopstvene potrošnje.

Sa crteža 5 list 2, *Jednopolna električna šema elektrane, 35 kV napon*, je vidljivo da je kućni transformator Te02 priključen na 35kV-ne sabirnice.

Karakteristike transformatora za napajanje sopstvene potrošnje MHE "Rekovići I" su sledeće:

- Nominalna snaga 250 kVA
- Odnos transformacije $35 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4 \text{ kV}$
- Sprega Yyno
- Nominalna učestanost 50Hz
- Tip hlađenja ONAN
- Zaštite kontakti termometar
- Tip montaže unutrašnji

Na mestu ugradnje kućni transformator se postavlja na šine i njegovi točkovi se fiksiraju. Izvodi transformatora prilagođeni su za kablovski priključak na stranama višeg i nižeg napona.

Transformator će biti opremljen svom standardnom pomoćnom opremom kao što su konzervator ulja, Buholc rele, termometri i sl.

Napajanje sopstvene potrošnje MHE je rešeno na klasičan način i uobičajenim kriterijumima za slične objekte. Sopstvena potrošnja elektrane napajaće se sa glavnog razvodnog ormara sopstvene potrošnje. Na crtežu 5 list 4 *Opšta šema sistema sopstvene potrošnje* konceptualno je predstavljen glavni razvodni ormar. Pre izrade detaljne jednopolne šeme, svi potrošači su grupisani u tehnološke celine koje se napajaju preko svojih podrazvoda. Iz glavnog razvodnog ormara napajaće se svi potrošači koji su neophodni za rad elektrane (pumpe, grejači, upravljačka oprema, zaštite, signalizacija, itd.), razvodni ormar rasvete i utičnica kao i razvodni ormar na vodozahvatu. Ovaj način napajanja potrošača u MHE "Rekovići I", ima veliku prednost, jer u slučaju kada elektrana ne radi omogućava napajanje iz elektrodistributivne mreže.

I pored činjenice da je MHE predviđena da radi paralelno sa mrežom, neophodno je da poseduje autonoman izvor električne energije. Ovaj zahtev se standardno rešava primenom sigurnog napajanja. Uzimajući u obzir veličinu MHE kao i očekivanu potrošnju opreme predviđene da se napaja od strane sigurnog napajanja, sigurno napajanje treba da se sastoji od sledećeg:

- Regulisani ispravljač-punjač 110V.
- Olovna akumulatorska baterija.
- Razvod sigurnog napajanja.

Regulisani ispravljač punjač je smešten u zajedničkoj prostoriji sa invertorom dok je akumulatorska baterija smeštena u zasebnoj prostoriji. Pomenute prostorije pripadaju aneksu mašinske zgrade.

Aku-baterija je vezana na sabirnice glavnog razvoda 110V JSS preko regulisanog ispravljača - punjača (pufer spoj). U normalnom pogonu ispravljač - punjač napaja potrošače vezane na glavni razvod jednosmerne struje i istovremeno održava aku-bateriju. U slučaju ispada ispravljača (nestanak naizmeničnog napona napajanja ispravljača, kvar ispravljača), ulogu izvora jednosmerne struje preuzima aku-baterija.

Napajanje potrošača koji ne podnose ni kratkotrajni nestanak napona napajanja obezbeđuje se sistemom besprekidnog napajanja.

Sistem besprekidnog napajanja čine invertor 110 V JSS/220V, 50 Hz, sa ugrađenom statičkom preklopkom i razvod besprekidnog napajanja. Navedena oprema smeštena je u aneksu mašinske zgrade.

3.3.6. Zaštite

Svi bitniji uređaji i objekti MHE "Rekovići I" su opremljeni odgovarajućim zaštitama. Električni uređaji u MHE se svojim sopstvenim zaštitama štite prvenstveno od unutrašnjih kvarova. MHE "Rekovići I" se štiti od spoljašnjih kvarova odnosno od kvarova u EES primenjenom sistemskom zaštitom.

Uzimajući u obzir instalisanu snagu MHE, tip turbina i generatora, namenu i predviđeni režim rada elektrane kao i ostale relevantne parametre, za MHE "Rekovići I" su predviđene sledeće zaštite:

Turbinske zaštite:

- Zaštita od prevelike brzine (zaštita od pobega agregata)
- Termička zaštita ležajeva
- Zaštita od gubitka pritiska hidrauličkog ulja u sistemu turbinske regulacije

Generatorske zaštite:

- Diferencijalna zaštita generatora (87G)
- Naponski zavisna prekostrujna zaštita (51V)
- Naponski zavisna kratkospojna zaštita generatora (50V)
- 95 % zemljospojna zaštita generatora (59N + 50N)
- Zaštita od gubitka pobude (40)
- Zaštita od povratne snage (zaštita od trajnog motornog režima rada) (32)
- Zaštita od inverzne komponente struje (46)
- Termička zaštita ležajeva i namotaja generatora (49B i 49W)

Zaštite glavnog energetskeg transformatora:

- Buholc zaštita (BU)
- Kontaktni termometar
- Diferencijalna zaštita transformatora (87T)
- Nulta diferencijalna zaštita transformatora (87N)

Sistemske zaštite:

- Podnaponska (27)
- Prenaponska (59)
- Podfrekventna (81U)
- Nadfrekventna (81H)

Zaštite priključnog voda u MHE:

- Prekostrujna (51)
- Kratkospojna (50)
- Zemljospojna zaštita voda (64)
- Distantna zaštita (21)

Zaštite od atmosferskih prenapona

Svi zaštitni uređaji (releji) u MHE "Rekovići I" su izvedeni primenom mikroprocesorske tehnologije i imaju sledeće osnovne karakteristike:

- neosetljivi su na prelazne režime;
- imaju visok nivo samodijagnostike, a kvar u zaštitnom uređaju ne izaziva proradu zaštite;
- imaju ugrađenu funkciju registrovanja i pamćenja događaja (kvarova);
- imaju mogućnost ispitivanja i podešavanja preko tastature i displeja na uređaju, kao i preko prenosnog računara i serijskog priključka;
- imaju metalno kućište osigurano od prodora prašine i vlage IP 51 (IEC 529).

Prorada neke od sistemskih zaštita, zaštita spojnog voda, transformatorskih zaštita i zaštite mašinske zgrade dovodi do isključenja spojnog prekidača i automatskog prekida paralelnog rada generatora MHE "Rekovići I" sa električnom prenosnom mrežom. Odmah zatim startuju procedure havarijskog zaustavljanja agregata odnosno generatora (brzo razbuđivanje i brzo zaustavljanje). Prorada generatorskih i turbinskih zaštita dovodi do havarijskog zaustavljanja pojedinih agregata.

Sve zaštite u MHE "Rekovići I" su odabrane u skladu sa odgovarajućim preporukama, propisima i standardima kao i u zavisnosti od karakteristika uređaja koji se štiti. Za prilagođavanje ulaza svih zaštita u elektrani koriste se odgovarajući strujni i naponski merni transformatori.

U TP 16 na sledeći način su definisane karakteristike zaštita:

Sistemska zaštita se sastoji od:

- naponske zaštite, koja reaguje na poremećaj ravnoteže između proizvodnje i potrošnje reaktivne energije;
- frekventne zaštite, koja reaguje na poremećaj ravnoteže između proizvodnje i potrošnje aktivne energije.

Naponska zaštita se sastoji od:

- nadnaponske zaštite ($U >$) koju čini trofazni naponski rele najmanjeg opsega podešavanja (0,9 - 1,2) • Ung, koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja (0,2 - 3) s;
- podnaponske zaštite ($U <$) koju čini trofazni naponski rele najmanjeg opsega podešavanja (1,0-0,7) • Ung, koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja (0,2 - 3) s.

Frekventna zaštita se sastoji od:

- nadfrekventne zaštite ($f >$) koju čini monofazni frekventni rele najmanjeg opsega podešavanja (49 - 52) Hz, koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja (0,2 - 3) s;
- podfrekventne zaštite ($f <$) koju čini monofazni frekventni rele najmanjeg opsega podešavanja (51 - 48) Hz, koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja (0,2 - 3) s.

Frekventni rele treba da bude sa funkcijom brzine promene frekvencije u intervalu 10mHz.

Obe zaštite mogu da budu realizovane preko jednog uređaja (relea) koji ispunjava prethodne zahteve ($f >$ i $f <$).

Turbinske zaštite su izvedene u okviru turbinskih regulatora.

Zaštite elektromašinske zgrade realizovane u okviru tehničkog sistema za upravljanje.

Zaštita od atmosferskih prenapona u MHE "Rekovići I" će biti izvedena primenom odgovarajućih odvodnika prenapona monitoranih na ulazu u elektranu.

Signali prorade bilo koje od zaštita su potpuno nezavisni i neposredno deluju na odgovarajuće izvršne organe (prekidači, ventili itd.). Zaštite takođe šalju signal i tehničkom sistemu za upravljanje. Nakon prorade neke od zaštita tehnički sistem za upravljanje preduzima odgovarajuće korake i dalje vodi elektranu (npr. zatvaranje predturbinskog zatvarača, izdavanje naloga za gašenje pobude itd.).

U slučaju prolaznih kvarova (npr. neispravna mreža), reagovanja sistemskih zaštita na ove kvarove i nakon prolaska kvarova tehnički sistem za upravljanje najpre resetuje navedene zaštite i automatski restartuje elektranu po prethodno definisnoj proceduri.

Automatski restart elektrane se obavlja samo u slučaju uspostavljanja svih potrebnih uslova i nakon isteka odgovarajućeg vremenskog perioda.

Procedura automatskog restarta elektrane biće preciznije definisana u glavnom odnosno izvođačkom projektu.

Ukoliko su zaštite izvedene mikroprocesorski, relejni izlazi zaštita mogu biti zamenjeni odgovarajućom digitalnom komunikacijom između uređaja (optička komunikacija, RS232, RS422, modbas itd.).

Nakon prorade bilo koje od zaštita tehnički sistem za upravljanje daljinski signalizira pojavu kvara.

3.3.7. Sistem turbinske regulacije

Kao što je već navedeno za MHE "Rekovići I" je predviđeno da radi u automatskom režimu rada paralelno sa električnom mrežom i u režimu regulacije nivoa gornje vode (nivoa vode u brani). Kako bi se zadovoljili ovi zahtevi i zahtevi u pogledu statičkog i dinamičkog ponašanja MHE "Rekovići I" tokom njenog pogona sistemi turbinske regulacije u ovoj elektrani moraju zadovoljiti određene tehničke kriterijume. U narednom tekstu biće navedene osnovne tehničke karakteristike koje poseduju sistemi turbinske regulacije u MHE "Rekovići I".

Sistem turbinske regulacije agregata čine, turbina (spvodni aparat, i sistem za zakretanje lopatica radnog kola), turbinski regulator i aktuator. Sistemi turbinske regulacije agregata u MHE "Rekovići I" su opremljeni digitalnim (mikroprocesorskim) turbinskim regulatorima i elektrohidrauličkim aktuatorima.

Sistem turbinske regulacije agregata instaliranih u MHE "Rekovići I" obezbeđuje sledeće:

- Automatski start agregata (otvaranje turbinskih organa do predviđene vrednosti, pokretanje turbine i regulaciju broja obrtaja u praznom hodu);
- Regulaciju broja obrtaja odnosno učestanosti, u ostrvskom radu agregata;
- Regulaciju snage odnosno protoka (regulaciju nivoa vode u akumulaciji) u režimu paralelnog rada agregata sa mrežom;
- Automatsko odvijanje procesa zaustavljanja u uobičajenim uslovima (nomalni stop) kada se primenjuje standardno zaustavljanje turbine i zatvaranje spvodnog aparata uz prethodno rasterećenje agregata;

- Automatsko odvijanje procesa zaustavljanja, u slučaju havarije (kvar agregata, ispad mreže itd. havarijski stop), kada se primenjuje naglo zaustavljanje turbine i zatvaranje sprovodnog aparata bez prethodnog rasterećenja agregata;
- Proporcionalno-integralno-diferencijalnu (PID) karakteristiku regulacije sa širokim opsegom podešavanja parametara regulacije (K_i , K_d , T_i itd.);
- Sistem turbinske regulacije agregata u MHE "Rekovići I" obavljaju svoje funkcije uz poštovanje tehnološkog dijagrama turbine i generatora kako ne bi došlo do naprezanja opreme preko projektovanih odnosno nominalnih vrednosti i eventualne pojave kvarova.

Rad sa delimičnim brojem agregata u grupnom radu (uključenje i isključenje pojedinih agregata omogućeno je na centralnom upravljačkom računaru).

Osnovne tehničke karakteristike sistema automatske turbinske regulacije u MHE "Rekovići I" su:

- Opseg podešavanja učestanosti u praznom hodu $\pm 10\%$,
- Opseg podešavanja statike po aktivnoj snazi od 0 do 10%;
- Tačnost održavanja učestanosti $\pm 0,05\%$;
- Opseg podešavanja opterećenja, odnosno protoka, od 20 do 100%;
- Tačnost regulacije nivoa vode $\pm 0,5\%$;

3.3.8. Regulacija pobude generatora

Sistem regulacije pobude sinhronih generatora čine, sistem pobude i regulator napona.

Sistem pobude obezbeđuje energiju odnosno jednosmernu struju potrebnu za rad pobude sinhronog generatora.

Regulator napona obezbeđuje, posredstvom sistema pobude, održavanje napona na sabirnicama sinhronog generatora, odnosno spoljnu naponsko-reaktivnu karakteristiku sinhronog generatora, po unapred zadatom programu. Sistem regulacije pobude u MHE "Rekovići I" pripadaju u grupi kontaktnih statičkih (tiristorskih) sistema pobude sinhronih generatora.

Sistemi automatske regulacije pobude u MHE "Rekovići I", obezbeđuju sledeće:

- Održavanje napona na sabirnicama generatora sa potrebnom tačnošću za različita opterećenja od praznog hoda do punog opterećenja;
- Sleđenje napona mreže;
- Ograničenje preopterećenja pri opadanju napona mreže;
- Zaštitu generatora od prevelikih opterećenja u slučaju kratkih spojeva u mreži;
- Zaštitu od prevelikih napona pri ispadu opterećenja;
- Kompenzaciju pada napona na spojnom vodu;

- Raspodelu reaktivnog opterećenja među paralelno vezanim generatorima;
- Regulatori napona u sastavu sistema regulacije pobude treba da obezbede proporcionalno-integralnu karakteristiku regulacije sa širokim opsegom podešavanja parametara regulacije (K_i , K_d , T_i itd.);
- Sistemi regulacije pobude u MHE "Rekovići I" obavljaju svoje funkcije uz poštovanje tehnološkog dijagrama generatora i turbine kako ne bi došlo do naprezanja opreme preko projektovanih odnosno nominalnih vrednosti i eventualne pojave kvarova.

Osim toga za sisteme regulacije pobude MHE "Rekovići I" važi da:

- Poseduju odgovarajuće brzinu reagovanja, čime se obezbeđuje održavanje napona generatora u propisanim granicama i pri naglim maksimalnim opterećenjima i rasterećenjima (uključenje i isključenje punog opterećenja agregata);
- Omogućuju zadržavanje napona sinhronog generatora u dozvoljenim granicama i u slučaju pobega agregata;
- Obezbeđuju napajanje pobuda sa samih generatora nezavisno, od mreže ili posebnog izvora energije;
- Da zadovoljavaju odgovarajuće stepene pouzdanosti.

Osnovne tehničke karakteristike sistema automatske regulacije pobude generatora u MHE "Rekovići I" su:

- Opseg podešavanja napona generatora u praznom hodu od 85% do 115% nazivne vrednosti;
- Opseg podešavanja statike napona po reaktivnom opterećenju od 0 do 10%;
- Opseg podešavanja graničnog reaktivnog opterećenja u induktivnom području od 0 do 100%;
- Tačnost održavanja naponsko-reaktivne spoljnje karakteristike generatora $\pm 1\%$;
- Mogućnost rada sa konstatnim $\cos \varphi$;
- Opremljeni su modulima koji omogućuju grupnu regulaciju pobude.

Na osnovu prethodno izloženog može se zaključiti da su predviđeni sistemi turbinske regulacije i sistemi regulacije pobude MHE "Rekovići I" u skladu sa ostalim karakteristikama MHE i da će zadovoljiti sve zahteve koji su tom smislu pred njih postavljaju.

3.3.9. Start stop sekventni automat i sinhronizacija

Pokretanje agregata, sinhronizacija i priključenje generatora na mrežu kao i zaustavljanje agregata (normalno i havarijsko) mora se obaviti prema odgovarajućim procedurama. Ove procedure se nazivaju start odnosno stop sekvencama i obuhvataju čitav niz radnji koji se moraju obaviti u precizno definisanim vremenskim intervalima uz predhodno ispunjenje odgovarajućih preduslova. Uređaj koji obavlja navedene funkcije tokom pokretanja odnosno zaustavljanja agregata naziva se start-stop sekventni automat.

Kontrolno upravljački sistemi pojedinih agregata MHE "Rekovići I" sadrže u sebi i navedene start stop sekventne automate koji su izvedeni u mikroprocesorskoj tehnici. Primena mikroprocesora odnosno digitalne tehnike omogućava visoku fleksibilnost i pouzdanost ovih uređaja i kvalitetan rad u praktično svakoj situaciji (havarije, ispadi mreže itd.).

U skladu sa namenom i principom rada MHE "Rekovići I" ova elektrana će posedovati opremu koja će omogućiti njen paralelan rad sa prenosnom električnom mrežom, sa stalnom ili povremenom predajom električne energije u mrežu, bez mogućnosti izolovanog (ostrvskog) rada.

Zaštitna i druga oprema instalirana u MHE "Rekovići I" obezbediće da priključenje MHE na prenosnu mrežu bude izvršeno samo ako je u svim faznim provodnicima prisutan napon potrebnih karakteristika. Za priključenje MHE će se koristiti spojni prekidač u visokonaponskom postrojenju MHE, a za priključenje samih generatora koristiće se generatorski prekidači.

Kako bi se priključenje sinhronih generatora obavilo na propisan način neophodna je primena sinhronizatora a u MHE "Rekovići I" će se za ovu svrhu primeniti automatski digitalni (mikroprocesorski) sinhronizatori.

Tokom procesa sinhronizacije, automatski uređaj za sinhronizaciju, kontroliše rad turbinskog regulatora i regulatora pobude tako da se međusobna odstupanja amplituda, učestanosti i faza napona na izlazu iz generatora i mrežnog napona ne smanje ispod prethodno zadatih vrednosti odnosno dok se ne postigne poklapanje ova dva napona.

Automatski uređaji za sinhronizaciju MHE "Rekovići I" će dozvoliti priključenje generatora na mrežu samo u slučaju ako su zadovoljeni sledeći uslovi:

- razlika amplitude napona: $\Delta U < \pm 10\% U_n$;
- razlika frekvencija: $\Delta f < \pm 0,5\text{Hz}$;
- razlika faznog ugla: $\Delta \varphi < \pm 10^\circ$.

Automatski uređaji za sinhronizaciju MHE "Rekovići I" će biti realizovani u mikroprocesorskoj, (digitalnoj) tehnici tako da je omogućeno softversko podešavanje svih parametara sinhronizacije.

3.3.10. Upravljanje i nadzor MHE

Osnovni zadatak Tehničkog sistema za upravljanje (TSU) MHE je da obezbedi automatski režim rada elektrane sa maksimalnim iskorišćenjem hidromehaničke snage vode a samim tim i sa maksimalnom proizvodnjom električne energije. Istovremeno kvalitet električne energije na izlazu iz MHE uvek mora biti u propisanim granicama a moraju se ispoštovati i zahtevi sekundarne regulacije odnosno zahtevi nadređenog dispečerskog centra ukoliko postoje.

Važno je naglasiti da je pored potpuno automatskog režima rada u slučaju MHE "Rekovići I" obezbeđen i poluautomatski i ručni režim rada MHE koji se koriste u specifičnim okolnostima (remonti, havarije itd.).

Ručno upravljanje podrazumeva direktno pojedinačno uključivanje pojedinih delova opreme. Ostvaruje se sa komandnih ormarića, komandnih ormara, operatorskih panela, i računara u komandi elektrane. Primenjuje se u slučaju ispitivanja, remonta, prekida komunikacije, itd.

Poluautomatsko upravljanje ostvaruje se iz računara u komandi elektrane. Poluautomatsko upravljanje podrazumeva sekventno izdavanje komandi "korak po korak", pojedinačne ili grupne inicijalizacije određenih komandi i praćenje izvršenja tih komandi. Pri poluautomatskom upravljanju inteligentna digitalna jedinica upravlja opremom na osnovu sopstvenog programa i ručnih naloga koje dobija sa odgovarajućeg upravljačkog nivoa. Ovakav način upravljanja takođe se primenjuje u slučaju ispitivanja, remonta, prekida komunikacije, itd.

Automatsko upravljanje ostvaruje se iz računara u komandi elektrane i računara u DCU. Pri automatskom upravljanju inteligentna digitalna jedinica upravlja opremom na osnovu sopstvenog programa i parametara i referentnih vrednosti koje dobija sa viših upravljačkih nivoa.

Dotok vode u akumulaciju odnosno u turbine MHE može oscilovati u velikom opsegu tako da je u cilju efikasnog rada MHE neophodno konstantno prilagođavati rad elektrane odnosno turbina trenutnoj hidrološkoj situaciji.

Tokom vanrednih situacija (ispad mreže, havarije agregata ili drugih delova MHE, poplavni talas itd.) TSU MHE takođe treba adekvatno da reaguje što se obezbeđuje pravilnom predikcijom i analizom svih mogućih događaja i kasnijim pravilnim dizajnom svih elemenata i procedura MHE. Osim toga rad MHE mora biti pouzdan, bezbedan i siguran i u svim ostalim režimima rada elektrane.

TSU MHE "Rekovići I" je rešen primenom distribuiranog sistema upravljanja (Distributed Control System, DCS). Distribuirani sistemi upravljanja se standardno sastoje procesnih jedinica (kontrolera) raznih veličina (procesne snage, broja ulaza i izlaza, memorije itd.), povezanih, međusobno i sa operatorskim jedinicama u komandi, pomoću brze komunikacijske odnosno računarske veze (Local Area Network, LAN). Uzimajući u obzir veličinu i namenu MHE "Rekovići I" TSU ove MHE će imati jednu operatorsku jedinicu koja će imati praktičnu funkciju centralnog računara komande MHE.

TSU MHE "Rekovići I" osim navedenog, pripadaju još i ostala kontrolno-upravljačka kola, sinoptika, indikacija i merenje, komandne table sa pripadajućom opremom pojedinih agregata i rasklopnih postrojenja itd.

Svaka procesna jedinica samostalno ili u grupi sa drugim procesnim jedinicama obavlja sve potrebne zadatke lokalnog automatskog upravljanja i nadzora (npr. agregat, rasklopno postrojenje itd.). Lokalna procesna jedinica takođe obavlja i primarnu obradu podataka koje može poslati bilo kojoj procesnoj i/ili operatorskoj jedinici spojenim u zajedničku računarsku mrežu.

Operatorska jedinica odnosno centralni računar komande će koordinirati i nadzirati rad svih procesnih jedinica odnosno svih lokalnih upravljačkih i zaštitnih sistema u MHE i prosleđivaće im eventualne komande nadređenog dispečerskog centra.

Mašinska zgrada MHE "Rekovići I" i ostali objekti koji spadaju u njen sastav zajedno sa svim uređajima koji spadaju u njen sastav su u svim potrebnim tačkama opremljeni odgovarajućim sistemima za merenje i dijagnostiku (senzori, davači, merni transformatori, merni pretvarači itd.). Na osnovu signala dobijenih iz ovih uređaja TSU MHE "Rekovići I" permanentno ima uvid u stanje svih segmenata MHE kao i u sve važnije parametre električne mreže na koju je elektrana priključena. Navedeno predstavlja jedan od osnovnih preduslova za ispravno reagovanje sistema u svakoj situaciji.

Osnovne funkcije TSU MHE su:

- Praćenje svih relevantnih parametara MHE u pogonu i određivanje trenutnog režima rada elektrane izdavanjem naloga turbinskim regulatorima za pokretanje odnosno zaustavljanje agregata;
- U slučaju zaustavljanja svih agregata usled nedostatka vode, TSU MHE permanentno prati dotok vode u akumulacioni bazen i u slučaju da ova veličina pređe minimalno potrebnu vrednost ponovo pušta u pogon agregat odnosno agregate;
- Nakon zaustavljanja agregata usled prolaznog kvara (npr. neispravna mreža) Sistem za upravljanje MHE takođe monitoriše odgovarajuće parametre i restartuje agregat/agregate čim se steknu potrebni uslovi;
- Nakon zaustavljanja jednog ili više agregata usled neprolaznog kvara TSU MHE i dalje monitoriše stanje u elektrani i na brani i šalje daljinske poruke i alarme ako je to potrebno. U slučaju da je preostao jedan ili više agregata i ako su ispunjeni i ostali uslovi TSU MHE nastavlja sa radom elektrane stavljanjem u pogon ispravnog/ispravnih agregata;
- TSU MHE kontroliše odnosno upravlja radom i ostalih delova sistema MHE (npr. segmentne ustave, sistem hidrauličkog ulja pod pritiskom na brani i u mašinskoj zgradi, riblja staza itd.). U slučaju bilo koje nepravilnosti ili nemogućnosti obavljanja kontrolno upravljačke funkcije Sistema za upravljanje MHE ili neispravnosti nekog sistema u MHE aktivira se alarm i dojava kvara odnosno pokreće se procedura greške.
- TSU MHE formira odgovarajuću bazu podataka za prethodno definisani vremenski period. Baza podataka sadrži odgovarajući skup parametara elektrane (dnevna proizvodnja el energije, datum, vreme i tip greške, vršne snage, nivoi vode, dotok vode u akumulaciju itd. Navedeni skup parametara koji ulazi u sastav baze podataka može se prema želji korisnika modifikovati. Pristup ovim podacima je omogućen preko operatorskog panela sa LCD ekranom glavnog računara, preko GSM mreže ili preko odgovarajućeg gateway-ja i prenosnog puta. Navedeni sistem akvizicije MHE "Rekovići I" je rešen primenom standardnog SCADA programa;
- Nadzor svih važnijih parametara u elektrani;
- Daljinsku komunikaciju sa korisnikom;
- Lokalni prikaz izabranih veličina (LCD displej);
- Centralizovani prikaz izabranih veličina (monitor);
- Lokalnu i daljinsku signalizaciju;

Prethodno je navedeno da je u okviru sistema za upravljanje MHE "Rekovići I" primenjen algoritam maksimizacije proizvodnje MHE "Rekovići I". Osim svoje standardne funkcije (optimizacija i maksimizacija proizvodnje električne energije) ovaj algoritam sadrži u sebi i komponente čijom se primenom izbegava pojava kavitacije i neželjnih vibracija i na taj način dodatno povećava pouzdanost i efikasnost kompletnog sistema MHE.

Osim ovih funkcija TSU MHE će kontrolisati i nadzirati rad hidromašinske opreme i ostalih sistema na brani kao što su, tablasti zatvarači temeljnih ispusta, predturbinski zatvarači itd.

Na crtežu 5 list 3 datom u grafičkom prilogu prikazana je blok šema TSU MHE "Rekovići I". Sa ove blok šeme je vidljivo da se TSU MHE sastoji od više lokalnih procesnih jedinica koji upravljaju pojedinim delovima postrojenja elektrane i centralnog računara komande (operatorske jedinice).

Svi navedeni delovi TSU MHE međusobno su povezani pomoću računarske mreže (LAN). U sklopu TSU MHE "Rekovići I" primenjena je optička računarska mreža (optical LAN) iz nekoliko razloga a prvenstveno zbog većeg stepena pouzdanosti i bezbednosti kao i ukupnog kvaliteta rada ovakvih mreža. Optičke računarske mreže su po pravilu daleko otpornije na smetnje od klasičnih mreža što ih čini naročito pogodnim za primenu elektroenergetskim objektima gde je nivo elektromagnetnih i ostalih smetnji izuzetno visok. U ovom slučaju je primenjena optička računarska mreža iz nekoliko razloga a prvenstveno zbog većeg stepena pouzdanosti i bezbednosti kao i ukupnog kvaliteta rada ovakvih mreža. U slučaju da pojedine procesne jedinice ne poseduju optički mrežni priključak biće opremljene odgovarajućim modulima koji će im omogućiti povezivanje preko prethodno navedene mreže.

Sa blok šeme upravljanja MHE je vidljivo da je za potrebe komunikacije TSU MHE "Rekovići I" sa nadređenim DC JP EMS odnosno sa nadređenim Upravljačkim centrom PD za distribuciju električne energije predviđen je odgovarajući interfejs za priključenje na prenosni put (RS232, Ethernet). U sklopu ove komunikacije biće primenjeni i odgovarajući komunikacioni protokoli kao što su IEC 870-5-101, IEC 870-5-104 odnosno IEC 60870-6 TASE.2. U okviru same MHE biće primenjeni protokoli IEC 60870-6, IEC 60870-5 i IEC 61850.

Navedena komunikacija sa nadređenim dispečerskim centrom odnosno PD za distribuciju električnom energijom je realizovana primenom odgovarajućeg OPWG zaštitnog užeta koje je jej sastavni deo 35kV-nog spojnog voda između MHE "Rekovići I" i priključne TS.

3.3.11. Razvodno postrojenje 35 kV

Plasman proizvedene energije MHE "Rekovići I" u električnu prenosnu mrežu naponskog nivoa 110 kV ostvaruje se preko spojnog vazdušnog voda naponskog nivoa 35 kV.

Uzimajući u obzir navedeno u MHE "Rekovići I" je predviđeno tipsko, razvodno postrojenje 35 kV za unutrašnju montažu sa jednostrukim sistemom sabirnica.

Razvodno postrojenje 35 kV, locirano je u aneksu mašinske zgrade.

Postrojenje je predviđeno kao prefabrikovano, sastavljeno od slobodno stojećih limenih ćelija od dva puta dekapiranog lima. Dispozicija opreme u ćelijama je predviđena za kablovski priključak transformatorskih ćelija sa donje strane i priključak izvodnih ćelija na dalekovod, preko kabla, sa gornje strane.

Ukupno je predviđeno 3 (tri) ćelija i to:

- 2 transformatorske ćelije za priključak glavnog energetskog transformatora 35/6,3 kV i kućnog transformatora 35/0,4 kV;
- 1 merno-izvodnu ćeliju za merenje i priključak kablovske veze do prvog stuba DV 35 kV ;

Svi rastavljači i prekidači biće sa elektromotornim pogonom čime je omogućeno daljinsko upravljanje. Prekidači i rastavljači će biti vakumskog ili SF6 tipa.

Merni transformatori će biti suvog tipa (zaliveni epoksidnim smolama). Merni transformatori će imati odgovarajući broj jezgara odnosno namotaja zavisno od potrebe.

Sa prednje strane ćelije će biti opremljene indikacionim instrumentima i slepom šemom.

3.3.12. Priključenje MHE "Rekovići I" na DEES i obračun električne energije

Uzimajući u obzir instalisanu snagu MHE "Rekovići I" ona će biti priključena preko jednog priključka na SN mrežu DEES-a. Kao što je već rečeno obračunsko merenje električne energije i snage za MHE "Rekovići I" se obavlja u priključnoj TS dok je merenje električne energije i snage u SN rasklopnom postrojenju same elektrane, pokaznog odnosno kontrolnog tipa. Priključak MHE "Rekovići I" se sastoji od priključnog voda, rasklopnih aparata u rasklopnom postrojenju MHE, rasklopnih aparata i druge opreme na mestu priključenja na DEES i opreme i uređaja za merno mesto.

Rasklopni aparati, merna, zaštitna i druga oprema u rasklopnom postrojenju MHE su elementi rasklopne aparature u izvodnom polju (ćeliji) priključnog voda u objektu MHE. Glavni elementi ovog dela rasklopne aparature su spojni prekidač i merni transformatori za zaštitu, kao i za merenje predate i primljene električne energije ako je predviđeno merenje u MHE. Spojni prekidač služi za spajanje (povezivanje) MHE sa DEES automatsko odvajanje MHE od DEES-a zbog kvarova i poremećaja u DEES-u (kratak spoj, zemljospoj, promena napona i/ili promena frekvencije), delovanjem sistemske zaštite ili zaštite priključnog voda, odvajanje MHE od DEES-a zbog izvođenja radova, remonata, prelaska na izolovani rad MHE itd.

Rasklopni aparati, merna, zaštitna i druga oprema koji čine priključak na mestu priključenja na DEES-a su elementi rasklopne aparature u distributivnoj TS u izvodnom polju (ćeliji) priključnog voda za MHE ili na mreži ED.

Vod do mesta priključenja MHE na DEES će biti odgovarajuće dimenzionisani vazdušni vod. Priključni vod između MHE i početnog stuba spojnog vazdušnog voda biće izveden podzemnim sredjenaponskim kablom. Na početnom stubu spojnog vazdušnog voda biće montiran odgovarajući odvodnik prenapona. Priključni vod će se izvesti na betonskim/čelično rešetkastim stubovima, najkraćom i najpovoljnijom trasom do mesta priključenja na DEES.

Tačna lokacija mesta priključenja, kao i način biće definisani tehničkim uslovima za priključenje MHE "Rekovići I" na DEES izdatim od strane nadležnog PD za distribuciju električne energije.

Jednopolne šeme RP u sklopu same MHE "Rekovići I" data je u grafičkom prilogu ovog projekta na crtežu 5 listovi 2, *Jednopolna šema MHE, srednji napon*.

Obračun električne energije odnosno njeno merenje će se obavljati u mernim ćelijama navedenih postrojenja. U odnosu na snagu MHE i naponskog nivoa na kom se priključuje na distributivnu mrežu, za merenje proizvedene i isporučene električne energije iz MHE i/ili preuzete električne energije iz distributivne mreže za sopstvene potrebe MHE, upotrebiće se trofazna trosistemska (četvorožično priključenje) višefunkcijska elektronska (statička) brojila za indirektno merenje na naponskom nivou 35 kV.

Brojila, uređaji za tarifiranje i merni transformatori moraju da su klase tačnosti u skladu sa metrološkim uslovima, imaju atest o tipskom ispitivanju od strane Direkcije za mere i dragocene metale, kao i da su komadno ispitani i podešeni (žig o baždarenju).

Osnovne tehničke karakteristike i funkcionalni zahtevi višefunkcijskog elektronskog (statičkog) brojila su:

- merenje aktivne i reaktivne energije u dva smera, maksimalne aktivne srednje 15-minutne snage u dva smera (A+, A -, R+, R -, P+, P-, Q+, Q-);
- tarifni registri obračunskih veličina su zasebni, bez međusobnog uticaja;
- upravljanje tarifnim registrima realizuje se pomoću uređaja integrisanog u brojilo;
- naznačeni napon kod indirektnog merenja je 3x100/58 V;
- naznačena - maksimalna struja za poluindirektno i indirektno merenje je 5(6) A;
- klase tačnosti brojila – merne grupe za merenje aktivne energije je 0.5, merenje reaktivne energije 3.0, merenje snage 0.5;
- broj tarifa je u skladu sa važećim tarifnim sistemom;
- prikaz veličina: merene i registrovane veličine prikazuju se ciklično, na LC displeju, u formi OBIS kodova, sa adekvatnim brojem celih i decimalnih mesta;
- impulsni izlazi: brojilo mora da ima minimalno četiri impulsna izlaza. Obavezno je da dva budu optička (preko LED diode), a ostali električni;
- maksimalna snaga: brojila mere, registruju i prikazuju, prema zahtevima određenim tarifnim sistemom, maksimalnu aktivnu srednju snagu u okvirima klase tačnosti u oba smera i u obe tarife;
- aktivna energija: brojila mere, registruju i prikazuju aktivnu energiju u okvirima klase tačnosti u oba smera i u obe tarife;
- reaktivna energija: brojila mere, registruju i prikazuju reaktivnu energiju u sva četiri kvadranta, u okvirima klase tačnosti u oba smera i u obe tarife;
- merenje struje: brojila mere i prikazuju struje po svakoj fazi, bez obaveze da to bude u klasi tačnosti;
- prisustvo faza: brojilo ima prikaz prisustva faznog napona na priključenim provodnicima;
- trenutna tarifa: brojilo ima kontinuirani prikaz trenutno aktivnog tarifnog registra, bez obzira koji je način njegovog prikaza;
- integritet merenja: brojila imaju realizovanu funkciju evidentiranja i pamćenja narušavanja integriteta merenja (otvaranje poklopca priključnice, promene u napajanju , izmenu parametara i sl.);
- zaptivenost kućišta: prema IEC 529, IP52;
- brojilo omogućuje registrovanje profila opterećenja u intervalima od 15 min. za period do 60 dana za aktivnu i za reaktivnu 15-minutnu srednju snagu;
- mereni podaci: aktivna energija, reaktivna energija, maksimalna aktivna srednja 15-minutna snaga, u oba smera, čuvaju se u periodu ne kraćem od 12 obračunskih perioda, po pravilu 12 meseci. Kada započne novi ciklus, mora biti obezbeđen prostor za novi memorijski blok, tako da briše prvi-najstariji u nizu registara;
- upravljanje tarifnim registrima realizuje se pomoću uređaja integrisanog u brojilo.

Merni uređaji moraju posedovati mogućnost dvosmerne komunikacije. Komunikacija treba da omogući lokalnu i eksternu komunikaciju između brojila i različitih uređaja (ručni terminali, komunikatori, registratori, koncentratori podataka itd.).

Ukoliko merni uređaji imaju realizovanu eksternu komunikaciju, tada ona mora biti izvedena modularno, tako što je odgovarajući modul ugrađen u brojilo (interni modul). Isto se može ostvariti i

preko realizovanog interfejsa (RS 485) i ugradnjom modema DLC (opciono i drugih komunikatora) za komunikaciju. Moduli za eksternu komunikaciju, ako ih ima, mora da koriste komunikacioni protokol koji definiše ODS u postupku izdavanju Rešenja o odobrenju za priključenje.

Brojila moraju biti pripremljena za daljinsko očitavanje. Podaci sa brojila se daljinski očitavaju i prikupljaju u Centru. Za prenos podataka od brojila do Centra koristi se prenosni put koji definiše ODS. U Centru je omogućen nadzor - daljinsko očitavanje potrošnje za obračun, daljinsko očitavanje merenih veličina na zahtev bilo kada u toku dana, praćenje opterećenja, praćenje događaja na mernom mestu, memorisanje izmerenih veličina u bazu podataka, pregled očitanih podataka, izrada potrebnih izveštaja, izdavanje računa itd.

Ako se merno mesto nalazi u objektu MHE, nadležna ED ima pravo na nadoknadu troškova zbog gubitaka električne energije u priključnom vodu između mesta merenja i tačke napajanja mreže ED. Količina izgubljene električne energije proračunava se i sporazumno utvrđuje na osnovu maksimalne srednje snage koju MHE predaje u mrežu ED i parametara priključnog voda (dužina, tip i presek voda).

3.3.13. Osnovni tehnički zahtevi za priključenje MHE na EES

Da bi se MHE uspešno priključila na EES Republike Srbije odnosno na njegovu prenosnu mrežu neophodno je da pored ostalog ona zadovolji i određeni broj tehničkih uslova koji su definisani TP-16. U narednom tekstu će biti prezentovani tehnički uslovi odnosno zahtevi za priključenje MHE na električnu prenosnu mrežu. Svi navedeni uslovi su posebno analizirani za MHE "Rekovići I".

Prilikom priključenja MHE "Rekovići I" na EES Republike Srbije neophodno je da ona zadovolji osnovne tehničke kriterijume:

a) kriterijum dozvoljenog odstupanja (promene) napona

Najveće dozvoljeno odstupanje (promena) napona (Δu_m) na mestu priključenja na DEES, u odnosu na vrednosti nazivnog napona, u prelaznom režimu, pri uključenju na DEES ili isključenju generatora iznosi 2%, jednom u 3 min.

Dozvoljeno odstupanje (promena) napona (Δu_m) mogu biti procenjene preko sledeće formule:

$$\Delta u_m = k_{i,max} \cdot \frac{S_{ngm}}{S_{ks}}$$

gde je:

$k_{i,max} = I_p / I_n$ koeficijent određen količnikom maksimalne polazne struje I_p (struje uključenja) i naznačene struje I_n generatora.

S_{ks} - snaga kratkog spoja u tački priključenja na DEES

S_{ngm} - naznačena prividna snaga generatorske jedinice koja će biti priključena na DEES

Za naponske nivoe 10, 20 i 35 kV, primenjuje se sledeća aproksimacija za faktor $k_{i,max}$:

- $k = 1$ za sinhronne generatore;

- $k = 1,5$ za asinhronne generatore sa finom regulacijom polazne struje do $1,5 I_n$;
- $k = 4$ za asinhronne generatore priključene na distributivnu mrežu u granicama $\pm 5\%$ sinhronne brzine;
- $k = 8$ za asinhronne generatore pokrenute kao asinhroni motor preko mreže i slučajeve kada polazna struja nije data.

U procesima kontinualnog uključivanja više generatora ponaosob, može se prouzrokovati stanje prilikom koga se prevazilaze vrednosti 2%. Stoga, se generatori moraju priključivati pojedinačno u vremenskim intervalima od 3min. za slučaj angažovanja maksimalne prividne snage posmatrane generatorske jedinice. Ovaj vremenski intervali može biti i kraći (40s za niski napon i 12s za 10, 20 i 35 kV naponski nivo) pod uslovom da se angažuje maksimum 50% prividne snage posmatrane generatorske jedinice.

U ovoj fazi projektovanja nije poznata snaga kratkog spoja u tački priključenja. Po dobijanju tehničkih uslova za priključenje od strane nadležnog PD za distribuciju električne energije proveriće se ispunjenost ovog kriterijuma.

b) kriterijum snage kratkog spoja

MHE ukupne instalisane snage svih generatora $S_{mel} = \sum S_{ng}$ može da se priključi na DEES bez štetnog delovanja, ako ispunjava uslov:

$$S_{mel} = \sum S_{ng} \leq \frac{S_{ks}}{500}$$

i u tom slučaju nije bitan način (redosled) priključenja pojedinih generatora na DEES, niti je potreban dokaz da su zadovoljeni ostali kriterijumi.

Kriterijum snage kratkog spoja se proverava samo za MHE instalisane snage preko 1MVA, tako da će za MHE "Rekovići I" ovaj kriterijum biti proveren po dobijanju tehničkih uslova za priključenje od strane nadležnog PD za distribuciju električne energije.

c) kriterijum flikera

Kriterijum flikera se ocenjuje pomoću faktora smetnji (A_{fs}) MHE, izazvanih flikerom dugog trajanja (preko dva sata) i prvenstveno ima značaj kod elektrana na vetar i solarnih elektrana.

Prethodno je navedeno da je za MHE "Rekovići I" predviđeno da ona ima instalisana 3 generatora sa statičkom pobudom. Takođe je poznato da ove generatore pogoni Kaplanova turbina. Uzimajući u obzir navedeno kao i činjenicu da je u pitanju hidroelektrana koja koristi hidromehaničku (potencijalnu) energiju vode za proizvodnju električne energije jasno je da je ovde pojava flikera zanemarljiva tako da se u slučaju MHE "Rekovići I" treći kriterijum, kriterijum flikera ne proverava.

d) kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika

Kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika se proverava pomoću izraza:

$$I_{vhdoz} = I_{vhs, v, \mu} \cdot S_{ks}$$

gde je:

I_{vhdoz} – dozvoljena vrednost struje višeg harmonika na naponskom nivou generatora, u [A];

$I_{vhs,v,\mu}$ – vrednost struje višeg harmonika/interharmonika koja je svedena na snagu kratkog spoja na mestu priključenja na DEES, u [A/MVA];

S_{ks} – snaga trofaznog kratkog spoja (stvarna vrednost) na mestu priključenja na DEES, u [MVA].

U narednoj tabeli date su vrednosti struja viših harmonika svedenih na snagu kratkog spoja na mestu priključenja na DEES.

Redni broj višeg harmonika [v]	$i_{vhs, v, \mu}$ [A/MVA]			
	Niski napon	10 kV	20 kV	35 kV
2	1,5	0,058	0,029	0,0163
3	4	/	/	/
4	0,47	0,019	0,009	0,005
5	1,5	0,058	0,029	0,0163
6	0,58	0,023	0,012	0,007
7	2	0,082	0,041	0,0231
8	0,2	0,008	0,004	0,002
9	0,7	/	/	/
10	0,36	0,014	0,007	0,004
11	1,3	0,052	0,026	0,0146
12	0,27	0,011	0,005	0,002
13	1	0,038	0,019	0,0111
14	0,17	0,007	0,003	0,002
16	0,15	0,006	0,003	0,002
17	0,55	0,022	0,011	0,0600
18	0,12	0,005	0,002	0,001
19	0,45	0,018	0,009	0,0051
23	0,3	0,012	0,006	0,0034
25	0,25	0,010	0,005	0,0026
25<v<40*	0,25-25/v	0,01 · 25/v	0,005 · 25/v	0,0026 · 25/v
v=paran 18<v	1,5/v	0.06/v	0.03/v	0.0171/v
μ <40	1,5/v	0.06/ μ	0.03/ μ	0.0171/ μ
μ >40**	1,5/v	0.18/ μ	0.09/ μ	0.0514/ μ

* neparan broj harmonika

** za opseg modulacije pri frekvenciji od 200 Hz. Mereno u skladu sa EN 61000-4-7, Anex B

Ukoliko je nekoliko MHE ili generatora priključeno na DEES u istoj tački priključenja primenjuje se sledeća formula:

$$I_{vhdoz} = I_{vhs,v,\mu} \cdot S_{ks} \cdot \frac{S_i}{S_{gsum}}$$

gde je:

S_i - posmatrana MHE/ generator na mestu priključenja

S_{gsum} - suma svih MHE/generatora na mestu priključenja

Ukoliko je na nekoliko mesta u SN došlo do priključenja MHE, dozvoljena vrednost struja viših harmonika se izračunava prema formulama:

$$\text{za } v < 13, I_{vhdoz} = I_{vhs,v,\mu} \cdot S_{ks} \cdot \frac{S_{gsum}}{S_{net}}$$

$$\text{za } v > 13, I_{vhdoz} = I_{vhs,v,\mu} \cdot S_{ks} \cdot \sqrt{\frac{S_{gsum}}{S_{net}}}$$

gde je:

S_{net} - prividna snaga transformatora u TS distributera preko koga se vrši isporuka električne energije od strane svih MHE/generatorsa.

Kriterijum dozvoljenih vrednosti napona viših harmonika se proverava prema sledećoj tabeli:

Redni broj višeg harmonika [v]	Dozvoljenih vrednosti napona viših harmonika za 10,20 i 35 kV mrežu
5	0,5
7	1
11	1
13	0,85
17	0,65
19	0,6
23	0,5
25	0,4
25 < v < 40*	0,4
v = paran	0,1
$\mu < 40$	0,1
$v, \mu > 40^{**}$	0,3

Ukoliko nisu ispunjeni prethodno navedeni kriterijumi, vlasnik MHE treba da obezbedi atest o tipskom ispitivanju nekog drugog generatora koji ispunjava prethodno navedene kriterijume i koji ima iste ili slične karakteristike kao generator koji će se ugraditi u MHE, ili da preduzme posebne zaštitne mere, kao na primer:

- ugradnja filtra za odgovarajući red višeg harmonika;
- priključenje MHE u tački sa većom vrednošću snage kratkog spoja (priključenje na viši naponski nivo itd.).

Prilikom primene i ovog kriterijuma treba uzeti u obzir da su u pitanju sinhronne mašine koje danas prema specifikacijama većine proizvođača u svetu imaju jako mali sadržaj viših harmonika u svom izlaznom naponu. Osim toga primenom odgovarajućih metoda ovaj sadržaj se može dodatno sniziti tako da u ovom slučaju ni ovaj kriterijum nije potrebno proveravati.

e) kriterijum bezbedne sinhronizacije

Ugradnjom odgovarajućih zaštitnih i drugih tehničkih uređaja u MHE, treba obezbediti da priključenje MHE na DEES bude izvršeno samo ako je na svim faznim provodnicima prisutan napon mreže. Za priključenje se koristi spojni prekidač u rasklopnom postrojenju MHE ili izuzetno

generatorski prekidač kod MHE sa jednim generatorom snage do 63 kVA, pod uslovom da je to rešenje usaglašeno sa nadležnom ED pri izdavanju odobrenja za priključenje MHE na DEES.

Za priključenje sinhronog generatora na DEES, potreban je uređaj koji treba da zadovolji sledeće uslove sinhronizacije:

Ukupna snaga generatora (kVA)	Razlika frekvencija (Δf , Hz)	Razlika napona (ΔV , %)	Razlika faznog ugla ($\Delta \phi^\circ$)
0-500	0,3	10	20
500-1500	0,2	5	15
>1500	0,1	3	10

Sinhronizacija se vrši na generatorskom prekidaču.

3.3.14. Uzemljenje i gromobranska zaštita

Na osnovu podataka o jednopolnom i dvopolnom zemljospoju (struje zemljospoja, vremena prorade zaštita itd.), odgovarajućih propisa i specifične otpornosti zemljišta na mestu izgradnje MHE dimenzioniše se odgovarajuće uzemljenje i zemljovodi (otpornost uzemljenja, poprečni preseki uzemljivača itd.). Kao podloga za projektovanje uzemljivača biće usvojena vrednost od 20 A za struju zemljospoja. Tačna vrednost struje zemljospoja biće data u "Tehničkim uslovima za priključenja na DEES".

Prema tehničkoj preporuci *Projektovanje, izgradnja i održavanje uzemljenja elektroenergetskih postrojenja* (TP-23:1982), sistem uzemljenja elektroenergetskog objekta se izvodi kao združeno uzemljenje zaštitnog, radnog i gromobranskog uzemljenja.

Sam uzemljivač će biti izveden kao temeljni odnosno kombinovani uzemljivač.

Temeljni uzemljivač se ugrađuje u spoljne zidove temelja objekta u obliku zatvorenog prstena, tako da preko betona u kome se nalazi, ima direktan spoj sa zemljom. Temeljni uzemljivač je jednostavan, efikasan i ekonomičan uzemljivač. Najveća prednost ovog uzemljivača je što se nalazi u betonu koji ga štiti od korozije, pa je vek trajanja ovog uzemljivača praktično neograničen. Da bi temeljni uzemljivač bio propisno izveden i odgovorio svojoj nameni, pri projektovanju i izgradnji objekta neophodna je saradnja i usklađenost dinamike izvođenja radova od strane građevinara, električara i izvođača drugih instalacija.

Uzimajući u obzir poziciju MHE kao i druge činioce (Izokeraunički nivo itd.) gromobranska zaštita elektrane će biti izvedena u obliku mreže napravljene od pocinkovanih čeličnih traka i postavljene na krovu elektromašinske zgrade. Spusni provodnici su postavljeni tako da predstavljaju direktno produženje prihvatnog sistema. Njihova osnovna uloga jeste povezivanje prihvatnog sistema sa zemljovodima. Hvatiljke, spusni provodnici i zemljovodi će biti napravljeni od istog materijala kao i mreža. Kao što je već navedeno gromobranski zemljovodi spojeni su sa združenim uzemljenjem. Pri projektovanju gromobranske instalacije pridržavati se Pravilnika o tehničkim normativima za zaštitu elektroenergetskih objekata od atmosferskog pražnjenja (Sl. list SRJ, br. 11/96) i standarda SRPS N.B4.803, SRPS N.B4.810, SRPS N.B4.811, SRPS IEC 1024-1, SRPS IEC 1024-1-1

Na osnovu odgovarajućih podataka biće proverena odnosno proračunata opasnost od iznošenja potencijala i preduzete odgovarajuće mere ukoliko ta opasnost postoji.

3.3.15. Zaštita od previsokog napona dodira i mere za izjednačavanje potencijala

Zaštita od previsokog napona dodira, izvedena je na svim delovima električne instalacije, električne opreme i postrojenja MHE "Rekovići I", gde je moguće da dođe do kvara pod napon. Svi provodni delovi električne instalacije i opreme koji u normalnom pogonu nisu pod opasnim naponom ali u slučaju kvara mogu doći pod opasan napon, povezani su sa zaštitnim provodnikom (PE). Zaštitni provodnik je povezan sa zaštitnim uzemljenjem i nultim provodnikom sistema (TN-C-S). Zvezdište kućnog transformatora povezano je sa zaštitnim uzemljenjem, zaštitnim provodnikom i nultim provodnikom MHE. Za zajedničko uzemljenje vezani su i katodni odvodnici prenapona i odgovarajuće sekundarne klemne mernih transformatora. Pri izradi zaštite od previsokog napona dodira pridržavati se standarda SRPS IEC 60364-4-41.

U okviru samog postrojenja i njegovoj neposrednoj okolini preduzeće se mere za izjednačavanje potencijala. Izjednačavanje potencijala će se izvesti FeZn polaganjem po zidu unutar mašinske zgrade. sa unutrašnjeg uzemljivačkog sabirnog prstena izvode se otopci prema svim metalnim konstrukcijama i uređejima, koji nisu deo postrojenja pod naponom. Obavezno se povezuju, najkraćim putem, na instalaciju za izjednačavanje potencijala:

- metalne stepenice, ograda
- sva metalna vrata, svi metalni okviri prozora, metalni pokrov kablovskih kanala sa fleksibilnom bakarnom pletanicom nazivnog preseka 16 mm².
- metalne mase generatora i turbina
- sve kablovske glave
- zaštitni plaševi kablova
- profilni nosači transformatora
- kućište transformatora
- noževi za uzemljenje u sklopu visokonaponskih sklopnih blokova

3.3.16. Instalacija osvetljenja i utičnica

Predviđena je standardna unutrašnja i spoljašnja rasveta mašinske zgrade, sa električnim instalacijama male snage, distributivnim NN ormarima, utičnicama i mikroprekidačima.

Nivo potrebne osvetljenosti ostvaren je pomoću svetiljki sa stepenom mehaničke zaštite IP 54, sa sijalicama sa užarenim vlaknom i fluo svetiljkama. Uključivanje rasvete vrši se instalacionim prekidačima smeštenim u blizini ulaznih vrata na dohvata ruke. Instalacija rasvete izvedena je kablovima PP00 3x1,5 mm². Kablovi se polažu po zidu na odstoynim obujmicama. Za instalacije utičnica se koriste kablovi PP00 3x2,5 mm² i PP00 5x2,5 mm².

Na ulazu u obekat elektrane su predviđeni reflektori koji će se uključivati automatski prilikom pristupa osoblja objektu elektrane.

Pored glavne (opšte) rasvete predviđena je i sigurnosna (panik) rasveta sa svetiljkama sa vlastitim izvorima napajanja. Svetiljke su opremljene baterijom i priključene na 230 V, 50 Hz, a po ispadu naizmeničnog napona se automatski uključuju.

Ugrađena oprema i materijal moraju biti u skladu sa važećim SRPS standardima.

3.3.17. Oprema za protivpožarnu zaštitu

U MHE "Rekovići I" predviđen je sistem automatske dojave požara i planiran je tako da omogućava neprekidan nadzor od požarne opasnosti svih prostora u objektu u kojima se može očekivati pojava požara. Uzimajući u obzir moguće uzroke izbijanja požara, namenu objekta kao i moguću brzinu automatskih javljača sa druge strane, došlo se do zaključka da optički javljač - detektor (analogni i analogno adresabilni) zadovoljava sve uslove za što ranijim otkrivanjem požara u svim prostorijama.

Za zaštitu objekta od požara predviđeni su i ručni prenosni aparati za gašenje požara sa CO₂ gasom. Za zaštitu generatora i energetskog transformatora od požara predviđeni su aparati sa CO₂ gasom za gašenje na kolicima odgovarajućeg kapaciteta.

EKOenergo[®]
INŽENJERING

3.3.18. Specifikacija, predmer i predračun elektro-opreme

U tabeli 3-7 dat je predmer i predračun elektro opreme MHE "Rekoviči I".

Tabela 3-7: **Predračun elektro opreme MHE "Rekoviči I"**

Predračun elektro opreme				
R. br.	Naziv	Količina	J. cena (€)	Cena (€)
1.	Generatori, 2423kW/2850kVA, 3x6,3/3,64 kV, 50 Hz, 375 ob/min IM 4011 odnosno IM 3011 prilagođeni za rad sa Kaplanovim turbinama, vazdušno hlađen sa pobudnim sistemom i rezervnim delovima	3 kom.	400.000	1.200.000
2.	Energetski transformator, trofazni, dvonamotajni u ulju, za spoljašnju montažu, hlađenje tipa ONAN, instalisana snaga 10000 kVA, 35kV $\pm 2 \times 2,5\%$ / 6,3 kV, 50 Hz	1 kom.	80.000	80.000
3.	Oprema generatorskog napona u MHE	/	/	305.000
4.	Srednjenaponska oprema u MHE	/	/	256.000
5.	Priključni vazdušni vod 35 kV	4 km	45.000	180.000
6.	Elektro-oprema u priključnoj TS	/	/	215.000
7.	Ostala elektro-oprema	/	/	156.000
8.	Transport, montaža i ispitivanje (10%)	/	/	239.200
9.	Nepredviđenosti (5%)	/	/	131.600
UKUPNO:				2.762.800 €

3.4. Zbirna rekapitulacija

U tabeli 3-8 data je zbirna rekapitulacija troškova izgradnje MHE "Rekoviči I".

Tabela 3-8: **Zbirna rekapitulacija troškova izgradnje MHE "Rekoviči I"**

Zbirna rekapitulacija		
1.	Građevinski i hidrograđevinski deo	6.246.025
2.	Mašinska i hidromašinska oprema	3.269.600
3.	Elektrotehnička oprema	2.762.800
4.	Projektovanje	460.000
Ukupno:		12.738.425 €

Na osnovu prezentovane ukupne cene izgradnje MHE "Rekoviči I" može se izračunati da jedinična cena izgradnje MHE "Rekoviči I" iznosi 1.774,15 €/kW.

4. Rizici i bezbednost brane

Budući da zemljotresi, kao specifičan prirodni fenomen uvek nose kao osnovno obeležje svog destruktivnog dejstva rasprostiranje u nekom prostorno – regionalnom kontinumu ovaj osvrt će se odnositi na seizmičnost teritorije na kojoj se nalazi MHE "Rekovići I" i šire okruženje kome pripada.

Prostorno i urbanističko planiranje raspolaže po prirodi stvari svojstvom, snagom i mogućnostima da usmerava sve razvojne projekte i druge akcije u odnosu prema prirodnoj okolini i životnoj sredini, i to na takve načine kod kojih će se ili izbeći sam hazard ili kod kojih će se primeniti odgovarajuće ekonomski opravdane mere zaštite, i koji će usmeravati na izbore manje povredljivih prostornih razvojnih šema - sa nižim i različitim nivoima hazarda.

U seizmičkim regionima odgovarajuća geotehnička istraživanja, po pravilu, treba da obuhvate i obezbede dobijanje pune informacije u vezi sa fizičkom prirodom bilo koje lokacije kao i njene okoline, kako bi se omogućilo izvođenje adekvatne evaluacije seizmičkog hazarda.

Obim ovih istraživanja predstavlja predmet stručnog prosuđivanja, a zavisi od seizmičnosti područja i prirode, lokacije kao i od karaktera predviđene građevine.

Dodatno u odnosu na efekte lokalnih uslova tla zavisnih od žestine kretanja tla, ova istraživanja treba da pokriju i moguću zemljotresnu opasnost od raznih geoloških i drugih posledičnih hazarda kao što su:

- kretanje raseda,
- sleganje,
- likvefakcija nekohezionog tla,
- prolom osetljivih i živih glina.

Faktori koji naročito utiču kroz lokalne modifikacije na osnovno kretanje jesu topografija i priroda osnovne stene, kao i priroda i geometrija depozitnog tla. Otuda termin "lokalno" može podrazumevati i obuhvatiti dubinu od 1 km i više, kao i površinu terena zahvaćenu razmakom i od po nekoliko kilometara od lokacije. Uslovi tla odnosno lokalni geološki činioci koji utiču na odgovor lokacije veoma su brojni, a ovde će biti navedeni neki od najvažnijih, i to:

- što veći horizontalni opseg kod mekog tla, to manji granični efekti osnovne stene na odgovor lokacije;
- dubina tla koje leži preko osnovne stene utiče na dinamički odgovor, tj. prirodnu periodu vibracije tla, uvećavajući je sa povećanjem dubine;
- nagib naležućih ravni tla, koje naležu preko osnovne stene, od evidentnog je uticaja na dinamički odgovor;
- horizontalne promene tipova tla preko lokacije utiču na odgovor lokalno, u okviru lokacije, i mogu značajno uticati na sigurnost građevine koja se na njima (tj. različitim tipovima tla) fundira;
- topografija, kako osnovne stene tako i depozitnog materijala, ima različit uticaj na dolazeće seizmičke talase - prouzrokujući takve efekte kao što su odbijanje, prelamanje, fokusiranje i rasipanje;
- sadržaj vode u tlu predstavlja važan faktor odgovora lokacije. Ovo se odnosi ne samo na tlo kod prethodno pomenutih terena u nagibu, već i na pojavu likvefakcije kod ravnih terena, sastavljenih od saturiranog nekoherentnog tla;

- zemljotresi ponekad izazivaju vodene talase. Vodeni talasi, zvani sejše, javljaju se kod zatvorenih voda kao što su jezera, i to najčešće usled klizanja većih masa zemlje. Sejše mogu takođe prouzrokovati velike štete;
- promene u nivou - izbacivanju podzemnih voda javljaju se posle zemljotresa, posebno zbog promene pritiska porne vode. Ovo izbacivanje može ponekad izazvati lokalne poplave ili pak presušivanje strujanja, ekstenzivno ključanje peska ili pak, eroziju.

Na kraju, valja naglasiti da je seizmički odgovor lokacije i objekta na njoj funkcija lokalnih tipova tla i njihovih uslova.

4.1. Izloženost MHE "Rekovići I" zemljotresnom riziku

Svi zemljotresi koji se događaju u ovom delu zapadnog Balkana su tektonskog tipa. Oni nastaju kao posledica preopterećenja Zemljine kore. Vezani su za poznatu tektonsku strukturu koja se proteže od severne Grčke, vardarskom i moravskom dolinom, pa sve do Beograda. Severno od te aktivne epicentralne zone u Kragujevcu nalazi se rudnik, pa su epicentri 1927. i 1998. godine bili aktivni upravo tu. Južno od te lokacije nalazi se kopaonička trusna oblast i Brus. Tamo je 1980. godine bio prilično snažan zemljotres. Kopaonička oblast spada u veoma trusna područja.

Naša zemlja se nalazi u severnoj perifernoj oblasti Mediterana, koja je činjenica seizmički aktivna, ali ni približno kao Tihookenska oblast ili oblast Indijskog okeana ili Atlantska. J. Mihailović izdvojio je pet trusnih regija sa svojim seizmičkim zonama koje se nalaze na teritoriji Srbije i Crne Gore:

1. Dinarska regija: Crnogorsko primorje, Kopaoničke planine i Kosovo i Metohija
2. Savska regija: Fruška gora i Rudnički kraj
3. Rodopska regija: Veliko i Južno pomoravlje
4. Karpatsko-balkanska regija: Krajnska (donji tok Timoka), Crna reka, Beli Timok, Vlasina
5. Šarka regija sa Prizrenskom potolinom.

Osim što rušilačka snaga zemljotresa može oštetiti i uništiti ljudske tvorevine i ugroziti njihove živote, mogu izazvati denivelaciju Zemljine površine, presušivanje postojećih i pojavu novih izvora, dezorijentaciju rečnih tokova, obrušavanje, snežne i stenovite lavine. No, glavni problem svega ovoga je što mi još uvek nismo u stanju da predvidimo pojavu zemljotresa, znamo samo koje su potencijalne zone ali ne kada i gde će se dogoditi. Jedino što možemo učiniti jeste poštovanje pravila aseizmičke gradnje objekata

4.2. Hidrološki rizik i razne vremenske nepogode

Hidrološki rizik predstavlja posledicu izvesnih morfoloških promena u nekom manje ili više kratkom periodu vremena izazivajući tako moguće efekte raznih hidroloških činilaca (kišu, sneg i dr.), istovremeno udruženih sa određenim faktorima geološke prirode.

U navedeni okvir spadaju naročito - poplave, razni oblici pokretanja tla (urvine, odroni, odizanje slojeva), snežne lavine i nanosi itd. Takođe, tome treba pridodati efekte odmrzavanja kao i moguće

veštački izazvano izlivanje vode, koji mogu postati opasni izazivajući rušenja objekata i poplave, uzrokovane bilo pokretanjem tla odnosno određenom meteorološkom ili drugom situacijom u izgradnji.

Evidentno, uzroci koji generišu takav rizik mogu biti prirodnog porekla, bilo s obzirom na postojanje prirodne predisponiranosti ili, pak, zbog nekog meteorološkog događaja kojim se menja hidrološka ravnoteža, a mogu biti povezani i sa čovekovim aktivnostima, uključivo i njegovo nepoznavanje teritorije.

Prema preliminarnim procenama područje lokacije MHE "Rekovići I" predstavlja relativno stabilno hidrogeološko područje. Uzimajući navedeno u obzir potrebno je preduzeti standardne mere zaštite u cilju svođenja hidrogeološkog rizika na propisani nivo tokom izgradnje i eksploatacije MHE "Rekovići I".

4.3. Rizik od vatre i požara

Verovatnoća pojave požara na MHE "Rekovići I" postoji praktično samo u mašinskoj zgradi kao i u visokonaponskom rasklopnom postrojenju.

Shodno tome, treba obratiti pažnju na izbor materijala za građevinsko-konstruktivne elemente mašinske zgrade. Izbor materijala za građevinsko-konstruktivne elemente treba da bude takav da se smanji mogućnost da ti elementi budu izvor ili uzročnik požara ali i da spreče njegovo eventualno širenje. Za sve ugrađene građevinske materijale potrebno je pribaviti ateste proizvođača na vatrootpornost.

Sva ugrađena elektro-oprema mora imati predviđene ateste ovlašćenih proizvođača o vatrootpornosti. Svi rasklopni blokovi moraju imati glavne sklopke, kojima se može izvršiti brzo isključenje pojedinih delova ili čitavog postrojenja.

Elaboratom protivpožarne zaštite treba definisati adekvatne mere protivpožarne zaštite koje će onemogućiti nastanak požara, odnosno sprečiti proširenje već nastalog požara, a u skladu sa važećim propisima, normativima i preporukama.

4.4. Rizik od vremenskih nepogoda i poplava

U cilji zaštite od vremenskih nepogoda i sprovođenja adekvatnih mera, trebalo bi sprovesti istraživanja, a naročito:

- istraživanja vremenskih nepogoda i poplava na predviđenoj mikrolokaciji,
- razvoj i usavršavanje metoda prognoze,
- postavljanje mernog uređaja za registrovanje proticaja nizvodno od vodozahvata
- izgradnju i razvoj sistema upozorenja na vremenske nepogode i poplave.

Radi zaštite od poplava potrebno je pristupiti radovima na regulaciji korita reke uzvodno i nizvodno od lokacije brane u uslovima njene izgradnje, kao i izgradnje ostalih hidrograđevinskih i građevinskih objekata koji se nalaze u dohvat predviđenog plavnog talasa. Osim toga, neophodno je preduzeti odgovarajuće mere zaštite od vremenskih nepogoda i poplava i na prethodno navedenim objektima uz poštovanje odgovarajućih propisa, normativa i preporuka kojima se reguliše ova oblast.

ELABORAT O IZGRADNJI- MHE REKOVIĆI I

Neophodno je predvideti mere za održavanje postojećih regulacionih građevina (nasipi, obaloutvrde, i sl.) na vodotoku, naročito u zonama naselja naslonjenim na vodotoke, posebno one bujičnog karaktera.

Sistematsko regulisanje bujica treba nastaviti i u tom smislu, sačiniti odgovarajući program aktivnosti.

U slučaju nailaska poplavnog talasa, rad MHE mora biti usklađen sa Odlukama i savetima Opštinskog štaba za elementarne nepogode i Rukovodioca odbrane od poplava za predviđeno slivno područje.



5. Mere za sprečavanje ili smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu

5.1. Uvod

MHE imaju značajnu ulogu u sistemima za upravljanje i korišćenje voda.

Zahvaljujući svojim konstruktivnim i radnim karakteristikama one se lako prilagođavaju postojećim uslovima zaštite životne sredine i infrastrukture, kao i drugim korisnicima prostora i vode.

Izgradnjom MHE smanjuje se rizik od plavljenja, smanjuje sezonska neravnomernost proticaja reke, omogućava kontrola protoka i korišćenja vode za potrebe poljoprivrede ili za snabdevanje stanovništva.

Pažljivim projektovanjem i izvođenjem MHE moguće ih je vrlo dobro uklopiti u postojeće estetske i vizuelne vrednosti okoline. Akumulacija MHE se mogu koristiti za potrebe rekreacije, turizma, sporta i ribolova, a da se njihovom izgradnjom bitno ne utiče na promene geoloških i seizmičkih karakteristika terena niti na promene korita reke. Manje akumulacije ne prouzrokuju značajne efekte termičke stratifikacije vode, a prolaskom kroz turbine voda se po pravilu dodatno obogaćuje kiseonikom.

Uprkos navedenim pogodnostima MHE mogu imati i niz nepovoljnih uticaja na životnu sredinu, posebno u pogledu mogućih promena kvaliteta vode i brzih fluktuacija protoka i nivoa vode (u akumulaciji i nizvodno).

5.2. Negativni uticaji na prirodu i životnu sredinu

U pogledu mogućih uticaja na životnu sredinu, analizirani su uticaji na okolinu svake lokacije zasebno, i to:

- tokom izgradnje: zagađenje vazduha, zagađenje voda, pojava buke, vizuelni efekti, socijalni i ekonomski efekti;
- tokom eksploatacije: moguće promene kvaliteta vode, fluktuacije veličine protoka i nivoa voda, direktni uticaji na riblji i drugi živi svet u vodi, vizuelni efekti i socijalni i ekonomski uticaji.

Negativni uticaji tokom izgradnje MHE na životnu sredinu mogu biti različiti. Najznačajniji su:

Zagađivanje vazduha se događa uglavnom prašinom pri izvođenju građevinskih radova; miniranju, utovaru, transportu i istovaru materijala i raznošenjem prašine vetrom. Vazduh može biti zagađen i gasovima (NO_x, CO i SO₂) emitovanim od strane građevinskih mašina i transportnih sredstava.

Zagađenje voda i tla događa se najviše pri izvođenju građevinskih radova, a takođe vodotoci ili padavine mogu sprati čestice zemljišta zagađene uljima, mazivima i tečnim gorivima ispuštenim iz građevinskih mašina i transportnih sredstava ili slučajno prolivenim.

Buka je neizbežna posledica izvođenja građevinskih radova i rada teških mašina i transportnih sredstava. Najnepovoljniji su momenti izvođenja radova miniranja. Buka plaši divlje životinje i ptice u okolini tako da oni privremeno napuštaju okolinu u neposrednoj blizini izvođenja radova. Posledice

mogu biti vrlo ozbiljne ako se radovi obavljaju tokom reproduktivnog perioda. Obično lokacije MHE nisu u neposrednoj blizini naseljenih mesta, tako da su uticaji na ljude od manjeg značaja.

Vizuelni uticaj tokom izgradnje MHE može biti značajan, jer privremeni objekti, samo gradilište i građevinski radovi narušavaju bitno estetske vrednosti okoline.

Društveni i ekonomski uticaji mogu biti pozitivni i negativni. Izgradnja MHE je prilika za privremeno zapošljavanje lokalnog stanovništva i za prodaju svojih poljoprivrednih i rukom rađenih proizvoda. Postoji veći broj negativnih uticaja, kao što su: privremeno zauzeće i oštećenje zemljišta, otežan saobraćaj na putevima u neposrednoj blizini, seča drveća i oštećenja poljoprivrednih kultura i zemljišta za potrebe izgradnje derivacija i dalekovoda za povezivanje na distributivnu mrežu, povećan rizik intenzivnije erozije u zoni koridora dalekovoda i na površinama gradilišta, kao i odlaganje ogromnih količina otpadnog građevinskog materijala. Radovi istraživanja i izgradnje derivacionih kanala i dalekovoda obavljaju se često u zonama dužine više kilometara, na kosinama, pošumljenim terenima i poljoprivrednim površinama.

5.2.1. Biodiverzitet

Šire područje sliva reke Lim odlikuje poseban biodiverzitet. Na navedenom području planirana je izgradnja više MHE čime će se ostvariti određeni uticaj na okolnu životnu sredinu. Kako bi se minimizirale negativne posledice ovog uticaja neophodno je komplementan proces izgradnje obaviti na pravilan i kvalitetan način uz sagledavanje svih aspekata zaštite životne sredine i poštovanje svih važećih pravila, propisa i standarda koji obuhvataju ovu oblast. Ovakav pristup je neophodan i prilikom eksploatacije MHE.

5.2.2. Hidroenergetika kao potencijalni faktor ugrožavanja prirode

Procesima izgradnje infrastrukturnih objekata narušavaju se sve komponente strukture nenarušenih ekosistema. Pri tom, negativno dejstvo ispoljava veći broj različitih faktora koji se kroz svoje ispoljavanje mogu grupisati okvirno u tri celine – tri grupe faktora.

Te grupe su definisane kao: modifikacije normalnog režima funkcionisanja područja izmenom fizičkih karakteristika prostora, transformacija zemljišta izgradnjom objekata i građevinskom pripremom terena i različiti vidovi zagađivanja. Pri izgradnji i eksploataciji hidroenergetskih objekata, nepovoljno dejstvo ispoljavaju sve tri grupe faktora, sa različitim vremenskim i prostornim obuhvatom.

Najveće posledice (efekti) su:

- Izgradnja velikih veštačkih akumulacija u kanjonima i klisurama dovodi do potpunog uništavanja vrsta i ekosistema u zoni potapanja. Poseban gubitak diverziteta izazvan potapanjem, je nestanak ili krajnja fragmentacija reliktnih i posebno vrednih ekosistema;
- Mnoge kanjonske doline su još uvek nedovoljno biološki i ekološki istražene, te potapanjem mogu nestati vrste i ekosistemi koje za nauku još nisu ni evidentirani i opisani;
- Kanjonske doline su ujedno i najznačajniji refugijumi (pribeglišta) tercijarne šumske flore i vegetacije i retkih životinjskih vrsta, pa bi njihovim eventualnim uništavanjem nestali i značajni centri genetičkog, specijskog i ekosistemskog diverziteta Srbije, Balkanskog poluostrva i Evrope;
- Poseban problem prilikom izgradnje akumulacija u uzanim kanjonima i klisurama predstavlja presecanje rečnog toka i formiranje dva, praktično različita vodena ekosistema, različitih fizičko-hemijskih i drugih ekoloških karakteristika - jezerski, stvoren akumulacijom iznad brane i rečni, ispod brane. Komunikacija rečnog naselja donjeg i gornjeg toka se u najvećem broju

slučajeva tada skoro potpuno prekida, ne samo zbog nepostojanja odgovarajućih koridora (tzv. "riblje staze") već i zbog potpuno izmenjenih ekoloških uslova koji vladaju u jednom rečnom, i veštačkom, lakustričnom ekosistemu. Problem predstavlja i zasipanje brane i dna akumulacije materijalom koji nanosi vodena struja;

- Formiranjem većih (dubljih) vodenih akumulacija dolazi do pojave stratifikovanosti vertikalnog vodenog stuba u jezeru u pogledu fotičnog, gasnog i temperaturnog režima. Ovo dalje utiče na izmenjeni režim primarne i sekundarne produkcije, izmenu sastava fito- i zooplanktona, kao trofičkih baza čitavog ekosistema, što za posledicu ima izmenu specijskog sastava ribljeg naselja i drugih životinjskih grupa.
- Stvaranjem veće, stajace vodene mase i vodenog ogledala, dolazi do izmene mikroklimatskih, hidroloških, toplotnih i drugih osnovnih ekoloških karakteristika prostora. Ove izmene mogu imati veoma negativan efekat naročito na pojedine vrste biljaka, stenoendemite i relikte, koje su sve zaštićene zakonom kao prirodne retkosti, a skoro bez izuzetka i kao međunarodno značajne vrste, obuhvaćene odgovarajućom nacionalnom i međunarodnom legislativom;
- Klisuraste i kanjonske doline predstavljaju staništa, mrestilišta i plodišta, populacione rezervoare ili svojevrsne komunikacione koridore za veliki broj životinjskih vrsta vodozemaca, gmizavaca, ptica i sisara. Potapanje staništa i koridora za posledicu može imati potpuno nestajanje tih vrsta ili njihovo povlačenje u druga, manje povoljna staništa.

Pobrojani negativni efekti se u pogledu svojih posledica, prostornog obuhvata i vremenskog trajanja prvenstveno odnose na izgradnju velikih hidroenergetskih objekata, izgradnju većih brana i akumulacija.

Međutim, izgradnjom pojedinačnih manjih objekata ili sistema, u ovom slučaju malih hidroelektrana i prateće infrastrukture, u velikoj meri bi se mogli izbeći ili pak znatno ublažiti nepovoljni uticaji na živi svet, prirodne ekosisteme i zaštićena prirodna dobra.

Argumenti za to su sledeći:

- Proces proizvodnje električne energije u mini-hidroelektranama po pravilu ne zahteva formiranje većih vodenih akumulacija ni većih brana. Uglavnom se potrebna količina vode obezbeđuje formiranjem vodospora na delu toka, izgradnjom znatno nižih pregrada i uz manje podizanje vodene linije. U tom slučaju ne dolazi do značajnijeg potapanja kanjonskih dolina i totalne devastacije prisutne vegetacije, pa se na taj način u većoj meri čuva postojeći refugijalni karakter klisura i kanjona i u manjoj meri ugrožavaju staništa reliktnih i endemičnih vrsta i ekosistema;
- Izgradnjom nižih pregrada se u velikoj meri čuva i kontinuitet vodotoka i postojeća ekološka sredina iznad i ispod pregrade, što za rezultat ima očuvanje komunikacije rečnih cenobionata. I u slučajevima potpunog pregrađivanja, lakša je izgradnja odgovarajućih prolaza (staza) između dva dela rečnog toka;
- Zasipanje vodospora aluvijalnim materijalom je znatno sporije, a mogućnost samoprečišćavanja i mehaničkog čišćenja nanosa znatno veća;
- Formiranjem znatno plićih vodospora praktično se izbegava pojava stratifikovanosti vertikalnog vodenog stuba i izmene osnovnih fizičko-hemijskih svojstava sredine. Na taj način se u mnogo manjoj meri narušava postojeći trofički režim i čuva originalni cenotički sastav biljnog i životinjskog sveta u samoj reci, posebno riba;

U značajno manjoj meri dolazi do izmene, hidroloških, toplotnih i drugih osnovnih ekoloških karakteristika prostora oko same vode, a i erozivni procesi su manjeg obima. Na ovaj način se smanjuje rizik ugrožavanja stenoendemičnih i reliktnih vrsta;

- Formiranjem vodouspora umesto masivnih akumulacija, u dobroj meri se čuvaju i plavne zone reke, važne kao staništa, mrestilišta i/ili plodišta mnogih vrsta riba, vodozemaca, gmizavaca i ptica. Takođe se čuvaju i postojeći komunikacioni i ekološki, sezonski ili stalni, migratorni i disperzivni koridori duž toka ili između obala.
- Što se tiče klimatskih uticaja, formiranjem akumulacije, uzimajući u obzir njenu veličinu, može se očekivati blago povećanje isparavanja sa vodene površine, što može da utiče na povećanje vlažnosti vazduha i magle. Kako u neposrednoj blizini akumulacije nema industrijskih objekata koji mogu pogoršati aerozagađenje, ne očekuje se da će akumulacija značajnije povećati broj dana sa maglom i smogom. Mogu se takođe očekivati blaže klimatske promene kao što je smanjenje ekstremnih dnevnih i mesečnih temperatura, blago povećanje vlažnosti vazduha u regionu, blagi porast temperature vode, kao i promena pravca i intenziteta vetrova. Izvesne promene klimatskih faktora mogle bi se smatrati pozitivnim, neke negativnim, ali se sve ukupno može zaključiti da se ne očekuju promene koje mogu bitno promeniti klimu regiona.

Pomenuti efekti, nepovoljni i manje nepovoljni/povoljni, svoje dejstvo će ispoljiti uglavnom nakon izgradnje i tokom eksploatacije malih hidroelektrana. Određeni negativni efekti će delovati i tokom same izgradnje objekata i prateće infrastrukture (pristupnih saobraćajnica, uređenja delova obale, odlaganja građevinskog materijala i sl.).

Što se tiče ostalih aspekata poput uticaja na zdravlje i nezbednost ljudi neće ih biti uopšte ili će biti izuzetno zanemarljivi.

Međutim, njihovo negativno dejstvo će ipak biti prostorno i vremenski ograničeno na period izgradnje, dok će nakon završetka radova ono prestati ili se znatno smanjiti.

5.3. Procena uticaja MHE na životnu sredinu

5.3.1. Kraći pregled osnovnih podataka za procenu uticaja

MHE "Rekovići I" predstavlja manji hidroenergetski objekat. Sastoji se od: brane sa ribljom stazom i mašinske zgrade u kojoj će biti smeštene tri turbine. Izgradnjom MHE neće biti ugrožen nijedan od postojećih objekata.

Sagledavajući moguće uticaje na životnu sredinu konstatovane su dve vrste uticaja - u fazi izgradnje i u fazi eksploatacije.

U okviru sagledavanja ukupnog uticaja MHE na životnu sredinu konstatovani su i ne mali pozitivni efekti.

5.3.2. Uticaji tokom izgradnje i eksploatacije MHE

U pogledu mogućih uticaja na životnu sredinu, analizirani su uticaji na okolinu prilikom izgradnje i eksploatacije MHE "Rekovići I" i to:

- Tokom izgradnje: zagađenje vazduha, zagađenje voda, pojava buke, vizuelni efekti, socijalni i ekonomski efekti;
- Tokom eksploatacije: moguće promene kvaliteta vode, fluktuacije veličine protoka i nivoa voda, direktni uticaji na riblji i drugi živi svet u vodi, vizuelni efekti i socijalni i ekonomski uticaji.

Za svaki od mogućih uticaja analizirane su i mere zaštite.

Imajući u vidu obim i vrstu građevinskih radova tip opreme koja će biti ugrađena, nivo obaveznog infrastrukturnog opremanja, kao i efekte do kojih može doći kod izgradnje i eksploatacije ovakvih objekata, konstatovano je da se mogući negativni uticaji na životnu sredinu kod malih hidroelektrana mogu svesti na sledeće:

- Onemogućavanje slobodnog kretanja ihtiofaune i drugih vodenih organizama i narušavanje vodenih ekosistema;
- Intervencije u koritu reke kojima se sprečava razvoj hranidbene baze (makrozoobentos) živog sveta, posebno ihtiofaune;
- Potapanje objekata ili pojedinih prirodnih resursa (lokalni put, most, infrastruktura, poljoprivredno zemljište, šume itd.);
- Potapanje objekata ili prirodnih resursa (uzvodno) usled nailaska velikih voda i otežanog propuštanja tih voda u zoni brane MHE;
- Potapanje objekata ili prirodnih resursa (nizvodno) usled jednovremenog nailaska velikih voda i jednovremenog pucanja brane i formiranja poplavnog talasa;
- Plavljenje elektromreže od mašinske zgrade do postojeće razvodne elektromreže;
- Slobodno deponovanje otpadnih materija, do kojih će doći tokom izgradnje u vodotok i zemljište;
- Zasipanje akumulacije i neredovno čišćenje rečnog nanosa;
- Oštećenje prirodnog dobra mineraloško-petrografskog porekla;
- Oštećenje ostataka materijalne kulture, odnosno pokretnih i nepokretnih kulturnih dobara;
- Vizuelna degradacija prostora usled primene neadekvatnih građevinsko-arhitektonskih rešenja pri izgradnji objekata;
- Erozija obala usled građevinskih radova;
- Erozija rečne obale na mestu ispusta vode iz mašinske zgrade.

Predviđene mere za sprečavanje navedenih negativnih uticaja ogledaju se u sledećem:

Potpuno pregrađivanje rečnog toka bi bilo neprihvatljivo jer bi značilo trajno sprečavanje migracije ihtiofaune i drugih organizama u vodi. Ovaj izrazito nepovoljan efekat će biti eliminisan izgradnjom odgovarajuće riblje staze, koja je konstruktivno prilagođena vrsti ribe na predmetnom vodotoku. U ovom slučaju će biti primenjeno odgovarajuće projektno-građevinsko rešenje kojim će se garantovati nesmetano kretanje riba uzvodno i nizvodno preko brane kao i dovoljna količina vode koja će konstantno proticati preko riblje staze.

Ovakvo rešenje znači da dovoljne količine vode moraju konstantno proticati pre svega preko riblje staze, dok se rad turbine i obezbeđenje odgovarajućih količina vode za te svrhe mora staviti pri nedovoljnom protoku u drugi plan. To je neophodan uslov da se spreče svi mogući negativni efekti na ekosisteme u rečnom toku. Projektom je predviđeno rešenje koje će onemogućiti rad turbine pri manjim protocima vode.

Na prostoru predviđenom za realizaciju projekta nema seoskih domaćinstava, većih infrastrukturnih objekata, puta, obradivog poljoprivrednog zemljišta itd., pa negativnih efekata u tom smislu neće biti.

Izgradnja objekta mini hidroelektrane i pratećih objekata neminovno vodi do promene postojeće namene površine. Međutim, ovi efekti su neizbežni, ali ih je moguće ublažiti ukupnim izgledom pre

svega vodozahvatnih građevina, odgovarajućim spoljnim izgledom mašinskog objekta i delimičnim kabliranjem razvodne elektromreže.

Uz nevelike rizike po kompleks životne sredine, promena namene površine u ovom slučaju je smisljena i opravdana sa ekonomskog aspekta proizvodnje električne energije, a u širem smislu i ekološkog aspekta, jer se koristi obnovljivi izvor energije. Istovremeno, izgradnjom akumulacije, moguće je obezbediti navodnjavanje poljoprivrednih površina, izgradnju ribnjaka, stvaranje potencijala za razvoj turizma i uslove za razvoj sportova na stajaćoj vodi.

Slobodno deponovanje otpadnih materija do kojih će doći tokom izgradnje je zabranjeno, a trajna evakuacija biće organizovana preko opštinske komunalne službe. U fazi građenja, biće organizovana privremena deponija radi kontrolisanog odlaganja otpadnog materijala.

Negativni efekti neredovnog čišćenja rečnog nanosa se pre svega negativno odnose na rad MHE pa je u interesu korisnika da obezbedi radove na redovnom čišćenju rečnog nanosa i njegovo uklanjanje.

Oštećenje bilo kakvog prirodnog dobra mineraloško-petrografskog porekla tokom izvođenja građevinskih radova će biti onemogućeno propisivanjem odgovarajućih mera zaštite. Izvođač radova će imati obavezu da privremeno obustavi radove do dolaska ovlašćenog lica iz nadležnog Zavoda za zaštitu prirode Srbije, ukoliko dođe do iskopavanja ovakvih dobara. Slična mera zaštite je propisana i u slučaju da se tokom izvođenja zemljanih radova otkriju pokretna ili nepokretna kulturna dobra, s tim da je u ovom slučaju nadležan Zavod za zaštitu spomenika kulture.

Izgradnjom MHE i njenom pravilnom eksploatacijom i održavanjem obezbediće se dodatna stabilnost rečnih obala i sprečavanje daljeg erozivnog dejstva rečnog korita izgradnjom nasipa i uređenjem obala.

Za svaki od mogućih navedenih uticaja definisane su odgovarajuće mere zaštite prirode i životne sredine.

5.3.3. Procena uticaja na životnu sredinu u slučaju udesa

Kod objekata, kao što su male hidroelektrane, moguće je da pod određenim uslovima dođe do sledećih akcidentnih situacija:

- Pucanje vodozahvatne građevine usled nailaska velikih voda ili iz nekog drugog razloga;
- Formiranje poplavnog talasa u nizvodnom delu doline od vodozahvatne građevine;
- Plavljenje objekta sa turbinom;
- Ruiniranje i/ili zapušanje riblje staze granjevinom i drugim nanosima;
- Elektrostaticko pražnjenje na novim objektima;
- Zamućenje vode u vodotoku usled izvođenja građevinskih radova u periodu dužem od 5 dana;
- Požar na novim objektima i u okolini (posebno na šumskom zemljištu);
- Kvar na turbini usled rada u "praznom hodu";
- Korišćenje eksploziva i njegovo nekontrolisano detoniranje usled nepridržavanja mera tehničke zaštite;
- Ispuštanje antikorozivnih materija (opasnih i štetnih za akvatične ekosisteme) u vodotoke;
- Nekontrolisano ispuštanje ulja iz transformatora.

Pucanje brane usled nailaska velikih voda, zemljotresa, upotrebe neatestiranog ili nedovoljno kvalitetnog građevinskog materijala u fazi izgradnje, odnosno lošeg statičkog proračuna ili iz ma kog drugog razloga predstavlja potencijalno najveći negativni uticaj na životnu sredinu.

Ta mogućnost je predupređena pre svega izradom kvalitetnog projekta sa svim neophodnim pratećim podacima, proračunima i rešenjima. U postupku verifikacije projekat mora da prođe svu zakonom propisanu proceduru i rigoroznu kontrolu. Od posebnog značaja je da se organizuje kontinuirana kontrola pri nabavci građevinskog materijala i izvođenju građevinskih radova. Investitor je obavezan da obezbedi isključivo atestirani građevinski materijal od ovlašćenog dobavljača, kao i da kroz stručni nadzor vrši redovnu kontrolu kvaliteta materijala koji se ugrađuju. To isto se odnosi i na mašinsku i drugu opremu.

Ukoliko se preduzmu sve neophodne mere i provere, biće stvoreni osnovni preduslovi za nesmetan rad MHE i definisane sve mogućnosti kako bi se predupređili eventualni uzroci rušenja vodozahvatne građevine.

Pojava poplava uzvodno ili nizvodno od vodozahvatne građevine se ne očekuje. Naprotiv, izvesno je da će deo velikih voda biti akumuliran ispred vodozahvatne građevine čime će negativni efekti poplavnog talasa biti umanjeni. Pored toga, daljinska kontrola ovih parametara u radu MHE će omogućiti pravovremeno obaveštavanje u slučaju nailaska poplavnog talasa, što do sada nije bio slučaj.

Za slučaj da dođe do privremenog zapušanja riblje staze usled iznenadnog deponovanja granjevine ili komunalnog otpada, uklanjanje ovih materija sa riblje staze će imati prioritet, kako bi se vreme, u kome će ihtiofauna biti privremeno sprečena u dnevnim migracijama, u što većoj meri skratilo.

Opasnost od elektrostatičkog pražnjenja, a pre svega kod mašinske zgrade biće eliminisana ugradnjom odgovarajuće opreme kako bi se objekat i oprema u njemu maksimalno obezbedili.

Deo planiranih radova će biti realizovan u koritu vodotoka. Usled toga će neminovno doći do određenog zamućenja vode. Prema raspoloživim podacima baziranim na operativnim istraživanjima riblja mlad može da podnese zamućenje u trajanju do 5 dana, ali ne duže. Stoga svi građevinski radovi koji će za posledicu imati zamućenje vode ne smeju trajati u kontinuitetu duže od 5 dana.

U fazi izgradnje i eksploatacije objekta investitor je obavezan da preduzme sve neophodne protivpožarne mere i da ih posebno detaljno obradi u odgovarajućem protivpožarnom elaboratu. Takođe, svi zaposleni, i u fazi izgradnje i u fazi eksploatacije objekta, moraju biti adekvatno obučeni i opremljeni za pravovremeno i efikasno delovanje u ovakvim situacijama.

Bilo kakva oštećenja turbine i druge opreme, praktično su svedena na teorijsku mogućnost. Međutim, ukoliko do toga ipak dođe, ugrađena visokosofisticirana oprema, koja automatski reaguje u svim vanrednim situacijama, prestaje sa radom. Uz daljinsku kontrolu to je više nego dovoljno obezbeđenje u navedenoj situaciji. Do otklanjanja kvara MHE neće biti u eksploataciji.

Neadekvatno skladištenje i rukovanje eksplozivom, koji može biti korišćen pri izgradnji brana, može dovesti do njegovog nekontrolisanog detoniranja. To bi imalo nesagledive posledice po ljudstvo, opremu i materijalna dobra.

Rukovanje eksplozivom se može učiniti bezbednim uz angažovanje kvalifikovane radne snage i striktno pridržavanje mera tehničke zaštite. Međutim, problem skladištenja eksploziva je mnogo teže

rešiti, jer odgovarajućeg skladišta, koji zadovoljava sve bezbednosne uslove, u blizini budućeg gradilišta nema. To znači da se dnevno dopremaju potrebne količine eksploziva i privremeno skladište duž gradilišta, ali isključivo na lokaciji koja je za to pogodna.

O negativnim efektima i akcidentima koji su vezani za upotrebu eksploziva u odnosu na zaštitu ihtiofaune nije potrebno ni govoriti, pa investitor strogo mora da obrati pažnju da pri eventualnoj upotrebi eksploziva nikako ne dođe do devastacije korita reke, kao ni živog sveta.

Generalno, ocenjuje se da upotreba eksploziva pri izvođenju radova može izazvati određene probleme. Ukoliko je neophodna upotreba eksploziva na manjim deonicama investitor je dužan da obezbedi posebne odgovarajuće dozvole i saglasnosti od nadležnih organa koji će proceniti da li i pod kojim uslovima može da se koristi eksploziv. Takođe, moraju se propisati i odgovarajuće mere zaštite životne sredine.

Nekontrolisano izlivanje ulja iz transformatora i posebno zagađenje vode ovim uljem bi izazvalo vrlo negativne efekte po životnu sredinu. Stoga je neophodno ili izgraditi odgovarajuću uljnu jamu zaprihvata prolivenog ulja (podrazumeva se da mora biti tako dimenzionirana i obezbeđena da prihvati sve količine prolivenog ulja) ili izabrati tzv. suvi transformator.

5.4. Mere zaštite životne sredine

Prilikom projektovanja, izgradnje i eksploatacije MHE "Rekovići I", moraju se primeniti odgovarajuće mere zaštite životne sredine. Mere zaštite životne sredine mogu se podeliti na opšte i posebne. U nastavku, biće navedene obe grupe mera zaštite životne sredine za MHE "Rekovići I".

Mere zaštite prirode i životne sredine su definisane pre svega u okviru Uslova koje su izdale nadležne državne ustanove - Republički hidrometeorološki zavod, Zavod za zaštitu prirode Srbije, kao i druge nadležne ustanove.

5.4.1. Opšte mere

Pri obradi neophodne dokumentacije, izgradnji i eksploataciji objekta investitor - korisnik - izvođač radova - projektant objekta se mora/moraju pridržavati sledećih mera i uslova zaštite prirode i životne sredine:

- Pri svim planiranim radovima investitor se mora striktno pridržavati mera zaštite koje su propisane Uredbom Vlade Republike Srbije ("Službeni glasnik RS", br. 135/2004 i 36/2009).
- Izgradnja objekata (preliva brane, mašinska zgrada i srednjenaponsko postrojenje) se može realizovati isključivo na lokacijama navedenim u projektnoj dokumentaciji.
- Svi hidrograđevinski i građevinski objekti moraju biti tako izgrađeni da se skladno uklape u okolni prirodni ambijent.
- Betoniranje korita reke uz dno brane svesti na neophodan minimum.
- U slučaju korišćenja betona neophodno je obložiti ga sa spoljne strane grubo klesanim kamenom ili drugim prirodnim materijalom.
- Uklanjanje visoke vegetacije u priobalnom pojasu, na lokaciji predviđenoj za izgradnju brane svesti na najmanju moguću meru.
- Građevinski radovi na izgradnji i eksploataciji MHE ne smeju da izazovu bilo kakve poremećaje stabilnosti okolnog terena, ni procese erozije.

- Ispust vode iz mašinske zgrade tako organizovati da se ne izazove erodiranje obale ili korita reke Lim.
- Posle svake velike vode treba izvršiti inspekciju slapišta i ostalih elemenata konstrukcije i eventualna oštećenja popraviti.
- Ukoliko tokom izvođenja radova, ali i kasnije tokom korišćenja objekta MHE, dođe do pojave rečne erozije ili spiranja zemljišta sa okolnih padina, investitor je obavezan da hitno preduzme odgovarajuće antierozivne mere.
- Svi viškovi kamena, zemlje, šut i drugih otpadnih materija se moraju što pre ukloniti sa gradilišta na mesto i pod uslovima koje odredi nadležna opštinska komunalna služba, a najkasnije nakon okončanja građevinskih radova.
- Privremeno deponovanje građevinskog materijala, opreme i dr. organizovati na unapred određenim lokacijama, ali tako da se ne izazove oštećenje visoke vegetacije i ne ometa bezbedno odvijanje drumskog saobraćaja.
- Objekat mašinske zgrade mora biti tako izgrađen da se eliminiše mogućnost ugrožavanja objekta, mašinske i druge opreme u njemu u periodima velikih voda.
- Prenos proizvedene električne energije organizovati tako da se mašinski objekat najkraćim putem poveže sa postojećom elektromrežom.
- Ugrađeni kabal mora zadovoljiti odgovarajuće propise i standarde. Olovni omotač i čelična armatura kabla moraju biti uzemljeni. Zatrpavanje rova za polaganje kabla vršiti isključivo sitnozrnastom zemljom, peskom ili sličnim prirodnim materijalom. Korišćenje drugih materijala, kamena iz iskopa, šuta, otpada i sl.za ugradnju u rov za polaganje kabla nije dozvoljeno.
- Pri izgradnji brane obavezna je izgradnja riblje staze.
- Riblja staza mora biti tako dimenzionisana i tako pozicionirana u odnosu na ostatak vodozahvatne građevine da u njoj vode ima uvek i u dovoljnoj količini za nesmetani prolaz ihtiofaune i drugih vodenih organizama.
- Nesmetano funkcionisanje riblje staze mora imati prioritet u odnosu na proizvodnju električne energije, što znači da u slučaju minimalnih protoka rad turbine mora biti obustavljen, kako bi u ribljoj stazi bilo dovoljno vode.
Riblja staza mora imati dovoljno veliku slobodnu površinu, blagi pad i glatko dno, kao i odgovarajući broj malih bazena.
- Navedeni bazeni i riblja staza u celini moraju biti tako obezbeđeni, uključujući ulazni i izlazni deo, kako bi se onemogućio pristup neovlašćenim licima i postavljanje bilo kakve opreme za izlov ihtiofaune.
- Riblja staza mora biti redovno čišćena od svih nanosa koji mogu da ometaju kretanje akvatičnih organizama.
- U slučaju začepljenja riblje staze ili u slučaju da iz bilo kog razloga bude van funkcije, MHE mora prestati sa radom dok se ne otklone uzroci.
- U saradnji sa korisnikom ribarskog područja obezbediti monitoring stanja živog sveta u vodotoku, posebno ihtiofaune, kako bi se pratio dalji razvoj u toku eksploatacije objekta.
- Izvođenje građevinskih radova na izgradnji MHE u noćnim satima nije dozvoljeno.
- Konstruktivno rešenje preliva brana mora imati dovoljno veliki svetli otvor na prelivu kako bi mogao da propusti stogodišnje velike vode.
- Kvalitet vode po ispuštanju iz mašinske zgrade mora biti istog ili boljeg kvaliteta nego u recipijentu.
- Investitor je obavezan da redovno prati kvalitet voda nizvodno od ispusta, a posebno u periodima velikih voda.

- Ukoliko se konstatuje da je kvalitet voda nizvodno od ispusta lošijeg kvaliteta usled zagađenja u mašinskoj zgradi, MHE mora prestati sa radom dok se izvor zagađenja ne eliminiše u potpunosti.
- Sva oprema i materijali koji će biti korišćeni pri izgradnji MHE moraju biti atestirani i moraju da zadovoljavaju sve propisane standarde za ovakvu vrstu objekata.
- Mašinska zgrada i srednjenaponsko postrojenje moraju biti adekvatno obezbeđeni od elektrostatičkog pražnjenja i obezbeđeni od ulaska neovlašćenih lica.
- Izgradnja svih konstruktivnih elemenata MHE mora da bude realizovana u skladu sa važećim propisima za trusna područja.
- Ispuštanje opasnih i štetnih materija (pogonskih goriva, ulja, maziva i tsl.) i otpadnih voda od redovnog održavanja alata i građevinskih mašina tokom izgradnje i u fazi eksploatacije u reku Lim je zabranjeno.
- Profil brane mora biti tako konstruisan da se njima omogući stalno proticanje biološkog minimuma - garantovanog proticaja na nivou minimalnog srednjeg mesečnog proticaja, a u skladu sa izdatim Mišljenjem Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda.
- Investitor je obavezan da vrši redovnu kontrolu turbine i druge opreme u mašinskoj zgradi. Ovo održavanje organizovati tako da se spreči oticanje bilo kakvih materija, koje će biti korišćene, u vodotok.
- Čišćenje opreme mlazom od abraziva se može vršiti u odgovarajućoj radionici i eventualno na gradilištu, ali pod uslovom da ne dospeju u vodotok.
- Radove na zaštiti od korozije izvesti tako da se koriste samo atestirani materijali, odnosno materijali koji u pogledu kvaliteta ispunjavaju uslove propisane važećom regulativom.
- Investitor je obavezan da predvidi sve neophodne mere prevencije da sredstva za zaštitu od korozije ne dospeju u vodotok.
- Za zaštitu od korozije investitor je obavezan da na licu mesta (u mašinskoj zgradi) koristi samo ona sredstva koja nisu opasna i štetna po vodu u vodotoku i akvatične ekosisteme.

Korišćenje drugih sredstava je moguće samo pod zakonom propisanim uslovima i u za ove poslove, ovlašćenim radionicama.

- Na prilazu mašinskoj zgradi i brani neophodno je postavljanje tabli sa upozorenjem o zabrani pristupa mašinskoj zgradi i o opasnosti od visokog napona.
- Nakon okončanja svih radova obavezno treba sanirati sve degradirane površine (planiranje zemljišta, zatravljivanje i sl.) i ukloniti sve viškove građevinskog materijala, opreme, mašina i sl.
- Za sanacione i druge radove na predmetnom prostoru mogu se koristiti isključivo autohtone vrste. Unošenje alohtonih vrsta je strogo zabranjeno.
- Ukoliko se tokom zemljanih radova na pripremi lokacije za izvođenje planiranih radova naide na prirodno dobro koje je geološko-paleontološkog ili mineraloško-petrografskog porekla za koje se pretpostavlja da ima svojstvo prirodnog spomenika, shodno Zakonu o zaštiti životne sredine, Izvođač radova je dužan da o nalazu odmah obavesti Zavod za zaštitu prirode Srbije, odnosno preduzme sve mere kako se prirodno dobro ne bi oštetilo do dolaska ovlašćenog lica.
- Ukoliko se tokom zemljanih radova otkriju pokretni ili nepokretni materijalni ostaci prošlosti, izvođač radova je obavezan da privremeno obustavi radove i o nalazu što pre obavesti nadležni Zavod za zaštitu spomenika kulture, a nalazište obezbedi do dolaska ovlašćenog lica.
- Uzvodno od vodozahvata uspostaviti hidrološku stanicu za sistematsko praćenje protoka vode.
- Investitor je obavezan da održava u ispravnom stanju hidrološku stanicu.

- U slučaju kvara na hidrološkoj stanici investitor je obavezan da što pre otkloni tehničke nedostatke na hidrološkoj stanici.
- Voditi evidenciju zahvaćenih količina vode.
- Za sve planirane radove investitor je obavezan da obezbedi odgovarajuće uslove i saglasnosti od nadležne vodoprivredne organizacije.
- Ukoliko se iz bilo kog razloga ukaže potreba za bitnijom izmenom projektne dokumentacije, Investitor je obavezan da se naknadno obrati Zavodu za zaštitu prirode Srbije i drugim nadležnim ustanovama, organizacijama i preduzećima za izdavanje dodatnih ili dopunskih uslova, a za eventualne izmene konsultuje Projektanta.

5.4.2. Posebne mere

U cilju sprečavanja akcidentnih situacija i umanjavanja negativnih efekata na zaštićeno prirodno dobro, odnosno na životnu sredinu, propisuju se i sledeće posebne mere zaštite prirode i životne sredine:

- Vodozahvatna građevina mora biti izgrađena u skladu sa Uslovima Republičkog hidrometeorološkog zavoda.
- Ukoliko dođe iz ma kog razloga do pucanja vodozahvatne građevine investitor je obavezan da postupi u skladu sa važećim obavezama propisanim u planu odbrane od poplava i primeni sve neophodne mere zaštite ljudi, materijalnih dobara i životne sredine.
- Ista mera zaštite važi i za slučaj pojave iznenadnog poplavnog talasa.
- Pri izgradnji MHE mogu se koristiti isključivo atestirani građevinski materijali i oprema.
- Transport i privremeno deponovanje građevinskog materijala i opreme moraju biti tako organizovani da se zaštite i očuvaju sva njihova osnovna svojstva i kvaliteti, a u skladu sa uslovima proizvođača
- Svi objekti u sastavu MHE, koji mogu biti ugroženi od elektrostatičkog pražnjenja moraju biti adekvatno obezbeđeni, a u skladu sa važećim propisima.
- Zabranjuje se izvođenje svih građevinskih i drugih radova koji mogu izazvati zamućenje vode u periodu dužem od 5 dana.
- Mašinsku zgradu tako pozicionirati i izgraditi da bude u potpunosti zaštićena od negativnih uticaja stogodišnjih velikih voda.
- Za potrebe izgradnje objekta mašinske zgrade investitor je obavezan da obezbedi odgovarajuće uslove od nadležnog Zavoda za zaštitu spomenika kulture.
- Objekat mašinske zgrade mora biti izgrađen u stilu tradicionalne lokalne arhitekture.
- Pri izradi projektne dokumentacije neophodno je predvideti sve neophodne protivpožarne mere, kako u fazi izgradnje tako i u fazi eksploatacije objekta MHE.
- Ukoliko iz ma kog razloga dođe do požara investitor je obavezan da izvrši što hitniju sanaciju i što pre obnovi uništenu vegetaciju uz korišćenje isključivo autohtonih vrsta.
- Svi zaposleni i u fazi izgradnje i u fazi eksploatacije moraju da budu obučeni i opremljeni za brzo i efikasno reagovanje u slučaju akcidenta.
Svi zaposleni i u fazi izgradnje i u fazi eksploatacije moraju da budu obučeni i opremljeni za brzo i efikasno reagovanje u slučaju požara.
- Svi zaposleni i u fazi izgradnje i u fazi eksploatacije moraju da budu obučeni i opremljeni za brzo i efikasno reagovanje u slučaju akcidenta.

- Ukoliko se u sistemu MHE bude instalirao uljni transformator neophodno je izgraditi odgovarajuću uljnu jamu. Jama mora biti tako dimenzionirana da može prihvatiti sve količine ulja iz transformatora.
- Preporučuje se ugradnja tzv. suvog transformatora.
- Ukoliko se ukaže potreba za upotrebom eksploziva neophodno je primeniti sve mere tehničke zaštite i obezbediti sve zakonom propisane uslove i saglasnosti.

5.4.3. Program praćenja uticaja na životnu sredinu

Imajući u vidu o kakvom objektu se radi, kao i procenjene - očekivane i teoretski moguće uticaje izgradnje i eksploatacije na životnu sredinu, neophodno je pre svega obezbediti redovno praćenje:

- protoka vode u vodotoku i preko riblje staze i
- količine nanosa ispred vodozahvatne građevine i u riblje staze.

Posebna pažnja mora biti posvećena protivpožarnim merama i protivpožarnim aktivnostima. Aktivnosti na ovom planu moraju biti zasnovane na odgovarajućoj dokumentaciji koja će biti verifikovana od nadležnih ustanova, kao i na ugradnji odgovarajuće protivpožarne opreme. Poseban sistem automatske daljinske kontrole će biti ugrađen u sistem upravljanja MHE. Svojim karakteristikama ovaj sistem će garantovati bezbedno i maksimalno racionalno upravljanje objektom.

U vezi bezbednog rada turbine biće organizovan redovni - dnevni obilazak svih objekata i, ukoliko to bude bilo potrebno, preduzeti odgovarajuće aktivnosti na obezbeđenju nesmetanog rada celog sistema, a u skladu sa propisanim merama zaštite prirode i životne sredine.

Specifičnost monitoringa, kad su u pitanju ovakvi objekti, odnosi se na pojavu poplavnog talasa. U tom slučaju mora se reagovati u skladu sa važećim programima i planovima odbrane od poplava, a na osnovu relevantnih podataka iz merne stanice.

Osim toga, investitor ima obavezu da uspostavi odgovarajuću mernu stanicu i da prati sve relevantne promene, a u skladu sa vodoprivrednim uslovima i da o dobijenim rezultatima redovno obaveštava nadležnu VPO, RHMZ i organe lokalne samouprave. Isto se odnosi i na praćenje stanja ihtiofaune. Praćenje taloženja nanosa ispred vodozahvatnih građevina i riblje staze je prioritet. Najveći problem može biti taloženje nanosa na ulaznom delu i duž riblje staze, jer to može da uspori, oteža i onemogućiti nesmetan prolaz akvatičnih organizama.

U slučaju pojave taloženja nanosa ili nekog drugog materijala u oblasti vodozahvatne građevine i riblje staze ili pojave neke druge nepravilnosti čime se ometa odnosno onemogućuje normalno funkcionisanje navedenih objekata odnosno ugrožava životna sredina u bilo kom obliku neophodno je da investitor sprovede odgovarajuću akciju otklanja navedenih nepravilnosti. Uzimajući u obzir da se pojava nanosa na navedenim oblastima javlja periodično i da postoji velika verovatnoća nastajanja drugih nepravilnosti neophodno je da investitor organizuje odgovarajuću službu koja će biti zadužena za održavanje navedenih objekata.

5.5. Zaključak

Izgradnjom i eksploatacijom MHE "Rekovići I", ostvaruje se izvestan uticaj na životnu sredinu. Pre realizacije projekata izgradnje MHE "Rekovići I", neophodno je sagledati sve aspekte ugrožavanja životne sredine na predmetnoj lokaciji MHE kao i na širem području. Tokom izgradnje pomenute elektrane neophodno je preduzeti sve potrebne mere u cilju očuvanja životne sredine. Primena

prethodno navedenih pravila i metoda kao i ostalih potrebnih mera, negativan uticaj navedene MHE na okolnu životnu sredinu minimizira i svodi na praktično zanemarljiv nivo. Takođe je neophodno i tokom eksploatacije navedene MHE pridržavati se navedenih kriterijuma i pravila kako se ne bi pojavili negativni efekti na životnu sredinu. Na ovaj način izgradnja i eksploatacija MHE "Rekovići I", u najmanjoj mogućoj meri remeti postojeće stanje životne sredine predmetne oblasti, a postižu se i određeni pozitivni efekti.



6. Ekonomsko – finansijska analiza

6.1. Uvod

U ovom poglavlju biće prezentovana ekonomsko-finansijska analiza opravdanosti izgradnje MHE "Rekovići I" koja se nalazi u opštini Priboj na reci Lim nizvodno od fabrike FAP. Izgradnjom ove MHE iskoršćava se deo hidroenergetskog potencijala reke Lim.

Instalisana snaga MHE "Rekovići I" iznosi 7180 kW, a njena prosečna godišnja proizvodnja električne energije iznosi 28.131.388 kWh. Kompletna proizvodnja električne energije se predaje Nacionalnoj elektroenergetskoj mreži.

Osnovni finansijski i ekonomski parametri ovog projekta dati su u tabeli 6-1.

Tabela 6-1: *Finasijski plan i profitabilnost*

Sopstveni kapital (20% ukupne investicije)	2.547.700 €
Donacija	0 €
Kredit	10.190.725 €
Ukupna investicija	12.738.425 €
Bruto godišnji prihod (godina 2013)	2.288.529 €
Neto godišnji prihod (godina 2013)	1.618.101 €
Prosto vreme povraćaja uloženog kapitala	7 godina i 10 meseci
Vreme povraćaja uloženog kapitala	9 godina i 7 meseca
Neto sadašnja vrednost (posle 30 godina)	18.018.401 €
Koeficijent neto sadašnje vrednosti (posle 30 godina)	1,41
Unutrašnja stopa povraćaja (IRR)	24,29%

Uslovi: ekonomski vek = 30 godina, diskontna stopa = 6,0 %, dobit se ostvaruje samo od prodaje električne energije Nacionalnoj električnoj mreži.

U tabeli 6-2 prikazan je izvod iz tabele protoka novca.

Tabela 6-2: *Izvod iz tabele Toka novca [1000 €]*

Tok novca											
Godina	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Neto tok novca	-2.547,70	0,00	344,26	378,96	414,30	450,27	486,90	524,18	562,15	600,80	2.215,41
Akum. tok novca	-2.547,70	-2.547,70	-2.203,44	-1.824,48	-1.410,18	-959,91	-473,01	51,18	613,32	1.214,13	3.429,54

6.2. Ekološki uticaj

6.2.1. Uvod

MHE "Rekovići I" proizvodi električnu energiju korišćenjem hidromehaničke energije vode i na taj način štedi fosilna goriva. Električna energija proizvedena u MHE "Rekovići I" predaje se Nacionalnoj električnoj mreži Republike Srbije. U istoj meri okolne termoelektrane i ostali

konvencionalni izvori električne energije smanjuju svoju proizvodnju. Ovim se ostvaruju uštede u potrošnji fosilnih goriva i smanjuje se emisija štetnih gasova.

Proračunske vrednosti ušteda u fosilnim gorivima date su u tabeli 6-3:

Tabela 6-3: Proračunske uštede u fosilnim gorivima

Smanjenje potrošnje goriva, Prirodni gas	28.131,39	MWh/god.	=	8.512.558,0	m ³ /god.
Smanjenje potrošnje goriva, Dizel gorivo	28.131,39	MWh/god.	=	7.961,2	t/god.
Smanjenje potrošnje goriva, Ugalj	28.131,39	MWh/god.	=	11.590,1	t/god.

Za godišnju proizvodnju od **28.131.388 kWh** neophodno je potrošiti **8.512.558 m³** prirodnog gasa ili **7.961,2 t** dizel goriva ili **11.590,1 t** uglja.

Na osnovu jedinične cene električne energije, od **0,0814 €/kWh** u 2013. godini može se izračunati da godišnje bruto uštede iznose **2.288.529 €**.

6.2.2. Pretpostavke

Proračun smanjenja emisije štetnih gasova, (Green House Gases - GHGs), obavljen je na osnovu sledećih pretpostavki:

- Emisioni faktori (IPCC 2006) iznose za: ugalj 27,6 t-C/TJ, prirodni gas 15,3 t-C/TJ i dizel gorivo 20,0 t-C/TJ;
- Nivo oksidacije ugljenika prilikom sagorevanja (IPCC, 2006) iznosi za dizel gorivo 99,0%, ugalj 98,0% i prirodni gas 99,5%;
- Stepni iskorišćenja procesa konverzije fosilnih goriva u električnu energiju za područje republike Srbije su preuzeti iz *Izveštaja o energetskom bilansu* (IEA 2006). Prema ovom izveštaju u Republici Srbiji efikasnost konverzije za ugalj iznosi 30,8%, za dizel gorivo 29,7% i za prirodni gas 31,2%.
- Srednja tržišna cena za CER (Certified Emission Reductions) prema Kyoto CDM u 2008. iznosi 19,50 € po toni CO₂;

6.2.3. Primenjene metode

Metode koje su korišćene prilikom proračuna smanjenja emisije štetnih gasova su u saglasnosti sa Međunarodnim Panelom o Klimatskim Promenama (IPCC) i odgovarajućim preporukama (IPCC, 2006). Istovremeno su uzete u obzir i informacije, projekcije i preporuke Međunarodne Agencije za (Energetiku International Energy Agency, IEA) kao i zvanični podaci Elektroprivrede Srbije za 2007. godinu.

- Metode korišćene prilikom procene redukcije emisije štetnih gasova (the emission reduction of GHGs, CO₂) su u saglasnosti sa metodom, Approved Consolidated Methodology ACM0002 (CDM Executive Board, 2008). Na osnovu ove metode se dobija da emisioni faktor ugljen dioksida iznosi 807 tona CO₂/GWh na teritoriji Republike Srbije.
- Za procenu redukcije emisije drugih zagađivača vazduha primenjena je revidirana metoda US DOE metoda, iz 2001 godine.

Korišćenjem prethodno navedenih metoda i tehnika i podatka da prosečna godišnja proizvodnja električne energije MHE "Rekovići I" iznosi 28.131.388 kWh, može se izračunati prosečno godišnje smanjenje emisije štetnih gasova odnosno zagađivača. Dobijeni rezultati su prikazani u tabeli 6-4.

Tabela 6-4: Ukupno smanjenje emisije štetnih gasova (kg/god.)

Štetna supstanca	CO ₂ x10 ³	SO ₂	NO _x	CO	VOCs
Ukupno smanjenje emisije [kg/god.]	22.842,69	198,36	35,75	0,01	16,73

Jedinični troškovi smanjenja emisije CO₂ mogu se izračunati ako se ukupna investicija podeli sa ukupnom količinom CO₂ ekvivalenta za period od 30 godina (tehnološki vek) što u ovom slučaju iznosi 18,59 €/toni CO₂ ekvivalenta.

6.3. Troškovi

6.3.1. Uvod

U tekstu koji sledi biće prezentovani investicioni troškovi izgradnje MHE "Rekovići I" kao i finasijska analiza projekta.

Analiza se bazira na sledećim podacima:

- Instalirana snaga MHE "Rekovići I" iznosi 7180 kW;
- Prosečna godišnja proizvodnja električne energije MHE "Rekovići I" 28.131.388 kWh;
- Cena električne energije iznosi 0,0814 €/kWh u 2013. godini;
- Životni vek MHE "Rekovići I" iznosi 30 godina.

6.3.2. Troškovi izgradnje MHE " Rekovići I"

MHE "Rekovići I" je bazirana na modernoj, ali standardnoj tehnologiji. Uzimajući ovo u obzir izgradnja MHE "Rekovići I" isključuje bilo kakav tehnološki rizik.

Tabela 6-5: Troškovi izgradnje MHE " Rekovići I"

R.br.	Naziv	Cena [€]
1.	Planiranje i projektovanje	368.000
2.	Menadžment projekta	92.000
3.	Betonska brana sa ribljom stazom	3.823.500
4.	Mašinska zgrada sa odvodnim kanalom	1.073.275
5.	Regulacija rečnog toka u okolini brane	250.000
6.	Prethodni radovi	150.000
7.	Ostali radovi	949.250
8.	Turbine sa regulatorima	1.521.000
9.	Hidromašinska oprema	1.305.800
10.	Pomoćni sistemi i ostala hidromašinska oprema	4.000
11.	Generatori sa pobudnim sistemima	1.200.000
12.	Energetski transformator	80.000
13.	Oprema generatorskog napona	305.000
14.	Srednjenaponska oprema	256.000
15.	Priključni vod	180.000
16.	Elektro-oprema u priključnoj TS	215.000
17.	Ostala elektro-oprema	156.000
18.	Transport i montaža	522.300
19.	Nepredviđenosti	287.300
Ukupno:		12.738.425 €

Cena izgradnje MHE "Rekovići I" data je u tabeli 6-5. Cene prikazane u tabeli 6-5 predstavljaju srednje vrednosti važećih cena na tržištu Republike Srbije.

Ukupni investicioni troškovi izgradnje MHE "Rekovići I" iznose 12.738.425 €. Srednja jedinična cena MHE " Rekovići I" iznosi 1774,15 € po instalisanom kW.

6.3.3. Troškovi investicionog i tekućeg održavanja

Troškovi investicionog i tekućeg održavanja obuhvataju sredstva koja se moraju izdvojiti na godišnjem nivou za održavanje kompletnog objekata, odnosno MHE " Rekovići I". Ovi troškovi su prikazani u tabeli 6-6.

ELABORAT O IZGRADNJI- MHE REKOVIĆI I

Tabela 6-6: *Troškovi investicionog i tekućeg održavanja MHE "Rekovići I"*

R. br.	Naziv	Tekuće i investiciono održavanje [%]	Ukupno [€]
1.	Betonska brana sa ribljom stazom	0.40	15.290
2.	Mašinska zgrada sa odvodnim kanalom	0.40	4.290
3.	Regulacija rečnog toka u okolini brane	0.60	1.500
4.	Zaštita priobalja	0.60	900
5.	Turbine sa regulatorima	0.80	12.170
6.	Hidromašinska oprema	0.80	10.450
7.	Pomoćni sistemi i ostala hidromašinska oprema	0.50	20
8.	Generatori sa pobudnim sistemima	0.50	6.000
9.	Energetski transformator	0.50	400
10.	Oprema generatorskog napona	0.60	1.830
11.	Srednjenaponska oprema	0.60	1.540
12.	Priključni vod	0.50	900
13.	Elektro-oprema u priključnoj TS	0.70	1.510
Ukupno:			56.800 €

6.3.4. Troškovi materijala, delova i usluga (pogonski troškovi)

Ovi troškovi se odnose na puštanje MHE u rad (puštanje MHE u probni rad ili po obavljenom remontu) i kontrolisanje merne opreme pri puštanju.

Ovi troškovi se obično izračunavaju kao 1% od vrednosti elektro opreme:

$$P_T = T_{eo} \cdot 0,01 = 27.630 \text{ €}$$

6.3.5. Zarade i naknade zaposlenih

Prilikom realizacije MHE "Rekovići I" primenjen je visok stepen automatizacije, odnosno za MHE je predviđeno da radi bez ljudske posade. Međutim i pored visokog stepena automatizacije tokom rada elektrane mora postojati odgovarajuća radna snaga koja će pratiti rad svih elemenata sistema MHE. Navedena radna snaga takođe mora učestvovati i u tekućem održavanju MHE.

Tabela 6-7: *Zarade i naknade zaposlenih u MHE "Rekovići I"*

R. br.	Stepen stručne sprema	Broj radnika	Bruto dohodak [€]	Vreme angažovanja u toku godine [meseci]	Ukupno [€]
1.	Visoka stručna sprema	2	900	6	10.800
2.	Srednja stručna sprema	1	600	12	7.200
3.	Kvalifikovani radnik	1	450	12	5.400
Ukupno:					23.400 €

Prilikom proračuna sredstava koja se moraju izdvojiti za zarade i naknade zaposlenih, pretpostavljeno je da će u MHE "Rekovići I" biti zaposleni 2 radnik sa visokom stručnom spremom, 1 radnik sa srednjom stručnom spremom i 1 kvalifikovani radnik. Sredstva koja se moraju izdvojiti za

ELABORAT O IZGRADNJI- MHE REKOVIĆI I

zarade i naknade zaposlenih u MHE "Rekovići I" na godišnjem nivou su prikazana u tabeli 6-7. U ovoj tabeli su takođe prikazana i vremena agažmana navedenih radnika.

Osim ovih troškova neophodno je izdvojiti i određena novčana sredstva za zakonske obaveze odnosno porez, čija visina iznosi 20% od ukupne bruto plate radnika.

$$Z_0 = T_{bp} \cdot 0,2 = 4.700 \text{ €}$$

Sredstva koja se moraju izdvojiti za zarade i naknade zaposlenih, direktno utiču na cenu proizvedenog kWh iz MHE.

6.3.6. Troškovi osiguranja

Objekte i opremu MHE neophodno je osigurati od loma ili požara. Stopa osiguranja varira zavisno od osiguravajućeg društva. Stope osiguranja prikazane u tabeli 6-8 predstavljaju prosečne stope osiguranja koje važe na teritoriji Republike Srbije.

Tabela 6-8: Troškovi osiguranja MHE "Rekovići I"

R. br.	Naziv	Stopa osiguranja		Ukupno [€]
		Požar [%]	Lom [%]	
1.	Betonska brana sa ribljom stazom	0,00	0,40	15.290
2.	Mašinska zgrada sa odvodnim kanalom	0,20	0,30	5.370
3.	Regulacija rečnog toka u okolini brane	0,00	0,40	1.000
4.	Zaštita priobalja	0,00	0,30	450
5.	Turbine sa regulatorima	0,10	0,20	4.560
6.	Hidromašinska oprema	0,10	0,40	6.530
7.	Pomoćni sistemi i ostala hidromašinska oprema	0,10	0,20	10
8.	Generatori sa pobudnim sistemima	0,50	0,20	8.400
9.	Energetski transformator	0,50	0,20	560
10.	Oprema generatorskog napona	0,30	0,10	1.220
11.	Srednjenaponska oprema	0,40	0,10	1.280
12.	Priključni vod	0,40	0,10	900
13.	Elektro-oprema u priključnoj TS	0,40	0,10	1.080
Ukupno:				46.650 €

6.3.7. Troškovi amortizacije

Troškovi amortizacije su direktno povezani sa tehnološkim radnim vekom objekata i opreme. Tehnološki radni vek u slučaju MHE "Rekovići I" iznosi 45 godina za građevinske objekte i 30 godina za opremu, a za elektro opremu iznosi 35 godina.

Za proračun troškova amortizacije u slučaju MHE "Rekovići I" primenjena je i linearna stopa amortizacije. U tabeli 6-9 prikazani su troškovi amortizacije na godišnjem nivou.

Tabela 6-9: Troškovi amortizacije MHE "Rekovići I" na godišnjem nivou

R. br.	Naziv	Amortizacija [%]	Ukupno [€]
1.	Betonska brana sa ribljom stazom	2.00	76.470
2.	Mašinska zgrada sa odvodnim kanalom	2.00	21.470
3.	Regulacija rečnog toka u okolini brane	2.00	5.000
4.	Zaštita priobalja	2.00	3.000
5.	Turbine sa regulatorima	2.00	30.420
6.	Hidromašinska oprema	2.00	26.120
7.	Pomoćni sistemi i ostala hidromašinska oprema	2.00	80
8.	Generatori sa pobudnim sistemima	4.00	48.000
9.	Energetski transformator	4.00	3.200
10.	Oprema generatorskog napona	4.00	12.200
11.	Srednjenaponska oprema	4.00	10.240
12.	Priključni vod	4.00	7.200
13.	Elektro-oprema u priključnoj TS	4.00	8.600
Ukupno:			252.000 €

6.4. Cena otkupa električne energije, stimulatивne mere i olakšice

6.4.1. Cena otkupa električne energije

Uredbom o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije predviđeno je da garantovana cena otkupa električne energije proizvedene u malim hidroelektranama instalisane snage do 500 kW iznosi 9.7 c€/kWh u 2011. godini.

6.4.2. Stimulativne mere i olakšice

Na teritoriji Republike Srbije do danas, nije uspostavljen mehanizam stimulatивnih mera u vidu tržišta CER/ERU/EUA sertifikata (Certified Emission Reductions/Emission Reduction Unit/ European Union Allowances).

Međutim, važno je napomenuti da je u skladu sa opštim svetskim trendom smanjenja emisije CO₂ i ostalih gasova sa efektom staklene baste (greenhouse gasses), Republika Srbija 2007. godine ratifikovala Kjoto (Kyoto) sporazum. Takođe su trenutno u toku procedure ratifikacije još nekoliko međunarodnih sporazuma kao i procedure izrade zakonskih i podzakonskih akata kojima se reguliše ova oblast. Uzimajući u obzir navedeno realno je očekivati da će se u bliskoj budućnosti u Republici Srbiji uspostaviti prethodno navedeni mehanizam koji će dodatno podstaći proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Potpuna implementacija CDM sporazuma u vidu uspostavljanja CER/ERU/EUA tržišta na teritoriji Republike Srbije očekuje se 2015. godine.

Ovom prilikom, detaljna ekonomsko finasijska analiza biće izvedena za slučaj kada se prihod ostvaruje samo na osnovu prodaje električne energije Nacionalnoj elektroenergetskoj kompaniji Republike Srbije. U slučaju kada se prihod ostvaruje na osnovu prodaje električne energije Nacionalnoj elektroenergetskoj kompaniji Republike Srbije i na osnovu prodaje CER sertifikata biće

dati samo osnovni ekonomski pokazatelji. Dodatni prihod ostvaren na osnovu državnih olakšica za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije nije uključen prilikom ove analize.

Za potrebe ove analize usvojice se konzervativna procena da cena CER sertifikata (po toni CO₂) raste po godišnjoj stopi jednakoj prosečnoj stopi inflacije na nivou EU a da bazna cena početkom 2011. godine iznosi 16,71 €/t CO₂.

6.5. Cena proizvodnje električne energije u MHE "Rekovići I"

Cena proizvodnje električne energije ili jedinična cena proizvedenog kWh iz MHE se izračunava tako što se ukupni troškovi podele sa ukupnom količinom proizvedene električne energije predate Nacionalnoj elektroenergetskoj mreži tokom životnog veka MHE izraženog u godinama. Ukupni troškovi se dobijaju tako što se ukupni investicioni troškovi sabere sa operativnim troškovima i troškovima održavanja sistema tokom životnog veka objekta. U ovom slučaju se za ukupne investicione troškove podrazumeva da je kompletna investicija realizovana tokom prve godine, a da se otplaćuje u vremenskom periodu definisanom kreditnim uslovima i posle završetka izgradnje MHE odnosno uzima se u obzir odgovarajući *grace* period ukoliko postoji. Životni vek MHE teče od trenutka završetka izgradnje MHE.

Ukupna prosečna godišnja proizvodnja MHE je najbitniji faktor koji određuje jediničnu cenu električne energije. Sa druge strane prosečna godišnja proizvodnja električne energije je u direktnoj vezi sa karakteristikama odabrane lokacije prvenstveno u vezi sa hidrologijom date lokacije.

Ostali ulazni podaci korišćeni prilikom proračuna cene proizvodnje električne enrgije su:

- Prosečna godišnja proizvodnja električne energije MHE " Rekovići I" iznosi 28.131.388 kWh;
- Životni vek MHE "Rekovići I" iznosi 30 godina saglasno odgovarajućim tehničkim kriterijumima;
- Varijabilni troškovi iznose ukupno 0,63% od investicionih troškova godišnje kao usrednjena veličina tokom životnog veka MHE;
- Diskontna stopa iznosi 6 % godišnje;
- Ekonomska analiza prezentovana u ovom poglavlju je izrađena po uprošćenoj metodi. Porezi, amortizacija i troškovi osiguranja nisu uzeti u obzir;
- 20% investicije čini sopstveni kapital;

Jedinična cena proizvedenog kWh može se izračunati na osnovu jednačine, 6-1:

$$E_c = \left(I \cdot \frac{N_c \cdot r \cdot (1+r)^{N_c}}{(1+r)^{N_c} - 1} + E_v \cdot N \right) \cdot \frac{100}{100 - P_r} \cdot \frac{1}{A \cdot N} \dots\dots\dots 6-1$$

Gde je:

E_c -Jedinična cena [€/kWh]

I-Investicioni troškovi (12.738.425€)

E_v -Vrijabilni troškovi (0,63%)

A-Ukupna prosečna godišnja proizvodnja električne energije (28.131.388 kWh)

N-Životni vek MHE " Rekovići I" (30 godina)

N_c-Rok otplate kredita (8 godina)

r-Kamatna stopa (5,50%)

P_r -Profit (10,00%)

Na osnovu prethodno navedenih podataka može se izračunati da jedinična cena proizvedenog kWh električne energije iz MHE "Rekovići I" iznosi 2,43 c€/kWh. Bez profita i kamate navedena cena se smanjuje na 1,79 c€/kWh. Ovi podaci pokazuju da je sa profitom i kamatom cena proizvedenog kWh viša za 35,68% nego bez njih.

6.6. Profitabilnost projekta

Profitabilnost projekta prikazana u tabeli 6-10 predstavlja finasijske rezultate projekta u slučaju kada se dobit ostvaruje samo od prodaje električne energije Nacionalnoj elektroenergetskoj mreži. Cena otkupna električne energije definisana je prethodno navedenom uredbom.

Tabela 6-10: Profitabilnost projekta

Ukupna investicija	12.738.425 €
Neto godišnji prihod (godina 2013)	1.618.101€
Prosto vreme povraćaja uloženog kapitala	7 godina i 10 meseci
Vreme povraćaja uloženog kapitala	9 godina i 7 meseca
Neto sadašnja vrednost (posle 30 godina)	18.018.401 €
Koeficijent neto sadašnje vrednosti (posle 30 godina)	1,41
Unutrašnja stopa povraćaja (IRR)	24,29 %

6.7. Finansijski i investicioni plan

Ukupna investicija izgradnje MHE "Rekovići I" iznosi 12.738.425 €. Finansijska struktura projekta je da 20% od totalne investicije je sopstveni kapital, a ostatak investicije se obezbeđuje iz kredita. Tabela 6-11 prikazuje finansijski plan izgradnje MHE "Rekovići I".

Tabela 6-11: Finansijski plan

Izvor finansiranja	Vrednost [€]	Kamatna stopa[%]	Period otplate [god.]
Kredit	10.190.725	5.50	8
Donacija	0	/	/
Sopstveni kapital	2.547.700	/	/
Ukupna investicija	12.738.425	/	/

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

Tabela 6-12: Investicioni plan izgradnje MHE "Rekovići I"

AKTIVNOST	2012				2013				Ukupno [€]
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Planiranje i projektovanje	147.200	184.000	36.800	0	0	0	0	0	368.000
Menadžment projekta	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500	11.500	92.000
Betonska brana sa ribljom stazom	0	0	1.529.400	1.147.050	382.350	382.350	191.175	191.175	3.823.500
Mašinska zgrada sa odvodnim kanalom	0	0	429.310	321.983	214.655	53.664	53.664	0	1.073.275
Regulacija rečnog toka u okolini brane	0	0	50.000	50.000	50.000	50.000	25.000	25.000	250.000
Prethodni radovi	0	0	30.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	150.000
Ostali radovi	0	379.700	474.625	94.925	0	0	0	0	949.250
Turbine sa regulatorima	0	0	1.064.700	0	0	304.200	152.100	0	1.521.000
Hidromašinska oprema	0	0	783.480	130.580	130.580	130.580	130.580	0	1.305.800
Pomoćni sistemi i ostala hidromašinska oprema	0	0	1.600	800	400	400	400	400	4.000
Generatori sa pobudnim sistemima	0	0	840.000	0	0	240.000	120.000	0	1.200.000
Energetski transformator	0	0	64.000	0	8.000	8.000	0	0	80.000
Oprema generatorskog napona	0	0	152.500	30.500	30.500	30.500	30.500	30.500	305.000
Srednjenaponska oprema	0	0	76.800	102.400	25.600	25.600	12.800	12.800	256.000
Priključni vod	0	0	54.000	72.000	18.000	18.000	9.000	9.000	180.000
Elektro oprema u priključnoj TS	0	0	64.500	86.000	21.500	21.500	10.750	10.750	215.000
Ostala elektro-oprema	0	0	15.600	31.200	31.200	31.200	31.200	15.600	156.000
Transport i montaža	0	0	104.460	104.460	52.230	156.690	52.230	52.230	522.300
Nepredviđenosti	35.913	35.913	35.913	35.913	35.913	35.913	35.913	35.913	287.300
Ukupno	194.613	611.113	5.819.188	2.243.310	1.036.428	1.524.096	890.811	418.868	12.738.425

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

AKTIVNOST	GODINA	I												II												III					
	MESEC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
PRETHODNE RADNJE I IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE																															
ISTRAŽNI RADOVI I IZRADA PODLOGA		■	■	■	■	■																									
PROJEKTOVANJE I IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE		■	■	■	■	■	■																								
UGOVARANJE I ORGANIZACIJA IZGRADNJE						■	■	■	■																						
GRAĐEVINSKI I HIDROGRAĐEVINSKI RADOVI																															
PRIPREMA GRADILIŠTA I IZGRADNJA PRISTUPNIH PUTEVA						■	■	■																							
POMOĆNA INFRASTRUKTURA						■	■	■	■	■	■	■																			
ISKOPAVANJE I ZEMLJANI RADOVI							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
BRANA SA RIBLJOM STAZOM								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
MAŠINSKA ZGRADA SA ODVODNIM KANALIMA									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
REGULACIJA REČNOG TOKA								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
BETONSKI RADOVI						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
HIDROMAŠINSKI, MAŠINSKI I ELEKTROTEHNIČKI RADOVI																															
IZRADA HIDROMAŠINSKE I ELEKTROMAŠINSKE OPREME								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
TRANSPORT I MONTAŽA											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
TESTIRANJE I PUŠTANJE U RAD																		■	■	■	■	■	■	■	■						
VISOKONAPONSKA POSTROJENJA									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
PRIKLJUČNI VOD										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
		IZGRADNJA MHE																								KOMERCIJALNI RAD					

Slika 6-1: Gantogram izgradnje MHE "Rekovići I"

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

Investicioni plan projekta prikazan je u tabeli 6-12. U navedenoj tabeli je prikazan vremenski raspored izdvajanja sredstava za izgradnju MHE "Rekovići I". Investicione sume su raspoređene kvartalno, a projektovanje i izgradnja MHE "Rekovići I" traje 24 meseci.

Na slici 6-1 prikazan je gantogram izgradnje MHE "Rekovići I". U tabeli 6-13 prikazan je plan otplate kredita. Iz tabele je vidljivo da grejs period iznosi 2 godine, a da period otplate kredita iznosi 8 godina.

Tabela 6-13: Plan otplate kredita

R. br.	Datum	Rata [€]	Ostatak duga [€]	Kamata [€]	Ukupno [€]
1.	18.01.2012.	0	10.190.725	0	0
2.	18.01.2013.	0	10.190.725	0	0
3.	18.01.2014.	1.273.841	8.916.884	334.908	1.608.749
4.	18.01.2015.	1.273.841	7.643.044	334.908	1.608.749
5.	18.01.2016.	1.273.841	6.369.203	334.908	1.608.749
6.	18.01.2017.	1.273.841	5.095.363	334.908	1.608.749
7.	18.01.2018.	1.273.841	3.821.522	334.908	1.608.749
8.	18.01.2019.	1.273.841	2.547.681	334.908	1.608.749
9.	18.01.2020.	1.273.841	1.273.841	334.908	1.608.749
10.	18.01.2021.	1.273.841	0	334.908	1.608.749

Sopstveni kapital i kredit će biti realizovani u deset tranši kao što je prikazano u Tabeli 6-14:

Tabela 6-14: Plan realizacije sopstvenog kapitala i kredita

Stavka	Datum	Tranša		Ukupno [€]
		Sopstveni kapital [€]	Banka [€]	
Ugovor	18.11.2011.	19.461	77.845	97.306
Komponeneta I	18.02.2012.	19.461	77.845	97.306
Komponeneta II	18.05.2012.	122.223	488.889	611.113
Komponeneta III	18.08.2012.	1.163.844	4.655.343	5.819.188
Komponeneta IV	18.10.2012.	448.665	1.794.645	2.243.310
Komponeneta V	18.12.2012.	207.287	829.141	1.036.428
Komponeneta VI	18.03.2013.	304.821	1.219.275	1.524.096
Komponeneta VII	18.06.2013.	178.163	712.648	890.811
Komponeneta VIII	18.09.2013.	67.019	268.075	335.094
Prijem objekta	18.11.2013.	16.755	67.019	83.774
Ukupno:		2.547.700	10.190.725	12.738.425

6.8. Finansijska projekcija

U Tabeli 6-15, prikazani su finasijski parametri bitni za finasijsku projekciju.

Tabela 6-15: *Finansijski parametri*

R. br.	Naziv:	Vrednost:
1.	Instalisana snaga MHE	7180kW
2.	Prosečno časovno iskorišćenje	3918 h
3.	Prosečna godišnja proizvodnja el. energije	28.131.388 kWh
4.	Jedinična cena el. energije (2011)	0,0785 €/kWh
5.	Neto zarada (2013)	1.618.101€
6.	Varijabilni troškovi	0,63%
7.	Stopa porasta varijabilnih troškova	1,50%
8.	Godišnji varijabilni troškovi (2013)	82,624 €
9.	Ostali godišnji troškovi (2013)	33,636 €
10.	Stopa amortizacije građevinskih objekata	1,70%
11.	Stopa amortizacije hidromašinske i mašinske opreme	3,20%
12.	Stopa amortizacije elektro opreme	1,50%
13.	Diskontna stopa	6,00%
14.	Poreska stopa	10,00%
15.	Naknada za korišćenje vode	2,30%
16.	Ekološka taksa	0,00%
17.	Ukupna investicija	12.738.425€
18.	Učešće sopstvenog kapitala	20,00%
19.	Sopstveni kapital	2.547.700€
20.	Kredit	10.190.725€
21.	Kamatna stopa na godišnjem nivou	5,50%
22.	Grejs period	2 godine
23.	Period otplate kredita	8 godina
24.	Period ukamaćivanja	12 meseci
25.	Ukupan broj rata	8
26.	Vreme izgradnje MHE	24 meseci
27.	Godina početka projekta	2011
28.	Ekonomski vek	30 godina
28.	Period finasijske analize	30 godina

U tabeli 6-16 prikazan je tok novca projekta. Prikazani tok novca se odnosi na period od 2011. do 2041. godine.

ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

Tabela 6-16: Tok novca projekta

Tok novca [1000€]																
Broj godine	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Godina	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Ukupna investicija	12738,425	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kredit	10190,725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sopstveni kapital	2547,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Donacija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rata za glavniciu	0,00	0,00	1.273,84	1.273,84	1.273,84	1.273,84	1.273,84	1.273,84	1.273,84	1.273,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kamata	0,00	0,00	334,91	334,91	334,91	334,91	334,91	334,91	334,91	334,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dobit od prodaje el. energije	0,00	0,00	2.288,53	2.329,72	2.371,66	2.414,35	2.457,81	2.502,05	2.547,08	2.592,93	2.639,60	2.687,12	2.735,48	2.784,72	2.834,85	2.885,87
Dobit od prodaje CER sertifikata	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ukupna bruto dobit	0,00	0,00	2.288,53	2.329,72	2.371,66	2.414,35	2.457,81	2.502,05	2.547,08	2.592,93	2.639,60	2.687,12	2.735,48	2.784,72	2.834,85	2.885,87
Varijabilni troškovi	0,00	0,00	82,62	83,86	85,12	86,40	87,69	89,01	90,34	91,70	93,08	94,47	95,89	97,33	98,79	100,27
Troškovi osiguranja	0,00	0,00	48,06	48,78	49,51	50,26	51,01	51,77	52,55	53,34	54,14	54,95	55,78	56,61	57,46	58,32
Ostali troškovi	0,00	0,00	33,64	34,31	35,00	35,69	36,41	37,14	37,88	38,64	39,41	40,20	41,00	41,82	42,66	43,51
Naknada za koriscenje vode	0,00	0,00	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41
Ekološka taksa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortizacija	0,00	0,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00
Dobit za oporezivanje	0,00	0,00	1.517,89	1.556,45	1.595,71	1.635,68	1.676,37	1.717,81	1.759,99	1.802,94	2.181,57	2.226,08	2.271,41	2.317,55	2.364,53	2.412,36
Porez	0,00	0,00	151,79	155,65	159,57	163,57	167,64	171,78	176,00	180,29	218,16	222,61	227,14	231,76	236,45	241,24
Neto dobit	0,00	0,00	1.618,10	1.652,81	1.688,14	1.724,11	1.760,74	1.798,03	1.835,99	1.874,64	2.215,41	2.255,48	2.296,27	2.337,80	2.380,08	2.423,12
Tok novca (TN)	-2.547,70	0,00	344,26	378,96	414,30	450,27	486,90	524,18	562,15	600,80	2.215,41	2.255,48	2.296,27	2.337,80	2.380,08	2.423,12
Akumulirani TN	-2.547,70	-2.547,70	2.203,44	-1.824,48	-1.410,18	-959,91	-473,01	51,18	613,32	1.214,13	3.429,54	5.685,01	7.981,28	10.319,07	12.699,15	15.122,27
Diskontni faktor	1,000	0,943	0,890	0,840	0,792	0,747	0,705	0,665	0,627	0,592	0,558	0,527	0,497	0,469	0,442	0,417
Sad. Vrednost (SV)	-2.547,70	0,00	306,39	318,19	328,16	336,47	343,24	348,61	352,70	355,61	1.237,07	1.188,16	1.141,17	1.096,05	1.052,71	1.011,09
Akumulirana SV	-2.547,70	-2.547,70	2.241,31	-1.923,12	-1.594,96	-1.258,49	-915,25	-566,64	-213,94	141,68	1.378,75	2.566,91	3.708,08	4.804,13	5.856,84	6.867,93

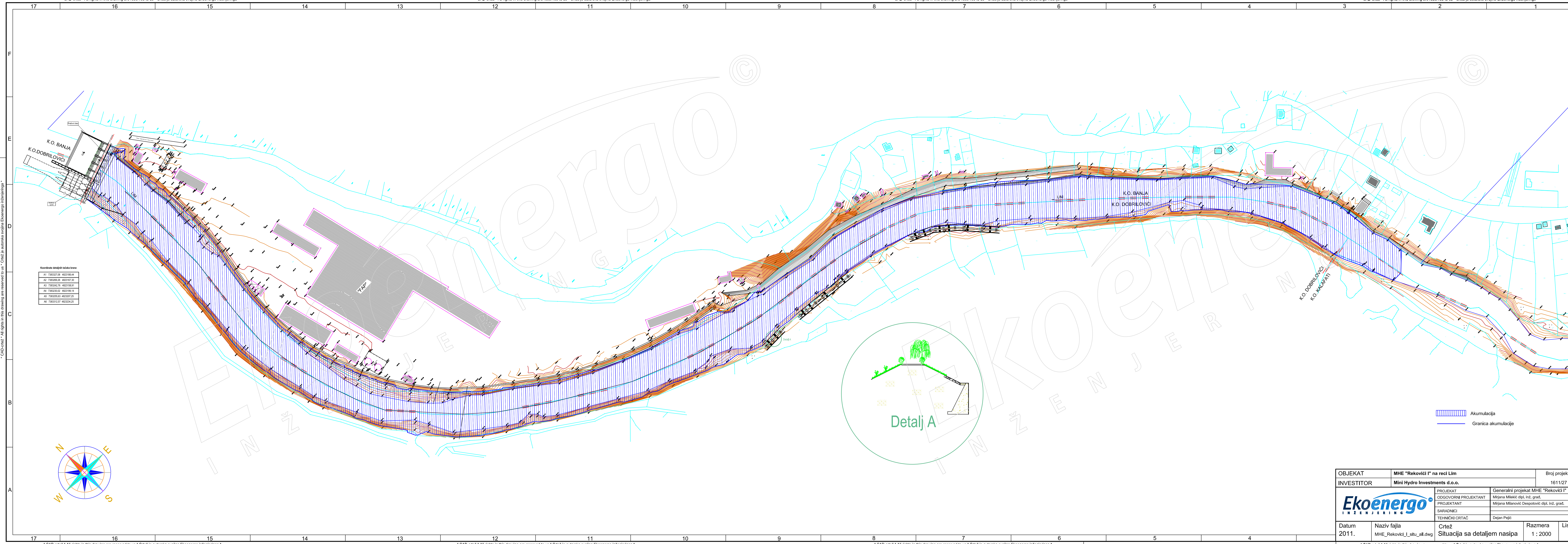
ELABORAT O IZGRADNJI - MHE REKOVIĆI I

Tabela 6-17: Tok novca projekta (nastavak)

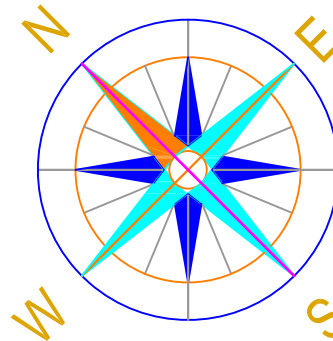
Broj godine	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Godina	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Ukupna investicija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kredit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sopstveni kapital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Donacija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rata za glavniciu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kamata	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dobit od prodaje el. energije	2.937,82	2.990,70	3.044,53	3.099,34	3.155,12	3.211,92	3.269,73	3.328,59	3.388,50	3.449,49	3.511,58	3.574,79	3.639,14	3.704,64	3.771,33
Dobit od prodaje CER sertifikata	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ukupna bruto dobit	2.937,82	2.990,70	3.044,53	3.099,34	3.155,12	3.211,92	3.269,73	3.328,59	3.388,50	3.449,49	3.511,58	3.574,79	3.639,14	3.704,64	3.771,33
Varijabilni troškovi	101,77	103,30	104,85	106,42	108,02	109,64	111,28	112,95	114,65	116,37	118,11	119,88	121,68	123,51	125,36
Troškovi osiguranja	59,20	60,09	60,99	61,90	62,83	63,77	64,73	65,70	66,69	67,69	68,70	69,73	70,78	71,84	72,92
Ostali troškovi	44,38	45,27	46,18	47,10	48,04	49,00	49,98	50,98	52,00	53,04	54,10	55,18	56,29	57,41	58,56
Naknada za koriscenje vode	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41
Ekološka taksa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortizacija	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00	252,00
Dobit za oporezivanje	2.461,06	2.510,64	2.561,11	2.612,50	2.664,82	2.718,09	2.772,33	2.827,54	2.883,76	2.940,99	2.999,26	3.058,58	3.118,98	3.180,47	3.243,08
Porez	246,11	251,06	256,11	261,25	266,48	271,81	277,23	282,75	288,38	294,10	299,93	305,86	311,90	318,05	324,31
Neto dobit	2.466,95	2.511,57	2.557,00	2.603,25	2.650,34	2.698,28	2.747,09	2.796,79	2.847,38	2.898,89	2.951,33	3.004,72	3.059,08	3.114,43	3.170,77
Tok novca (TN)	2.466,95	2.511,57	2.557,00	2.603,25	2.650,34	2.698,28	2.747,09	2.796,79	2.847,38	2.898,89	2.951,33	3.004,72	3.059,08	3.114,43	3.170,77
Akumulirani TN	17.589,23	20.100,80	22.657,80	25.261,05	27.911,39	30.609,68	33.356,77	36.153,56	39.000,94	41.899,83	44.851,16	47.855,88	50.914,97	54.029,39	57.200,16
Diskontni faktor	0,394	0,371	0,350	0,331	0,312	0,294	0,278	0,262	0,247	0,233	0,220	0,207	0,196	0,185	0,174
Sad. Vrednost (SV)	971,11	932,71	895,83	860,41	826,39	793,71	762,33	732,19	703,24	675,44	648,73	623,08	598,45	574,79	552,06
Akumulirana SV	7.839,03	8.771,74	9.667,57	10.527,98	11.354,37	12.148,08	12.910,41	13.642,61	14.345,85	15.021,28	15.670,02	16.293,10	16.891,55	17.466,34	18.018,40


GRAFIČKI PRILOZI





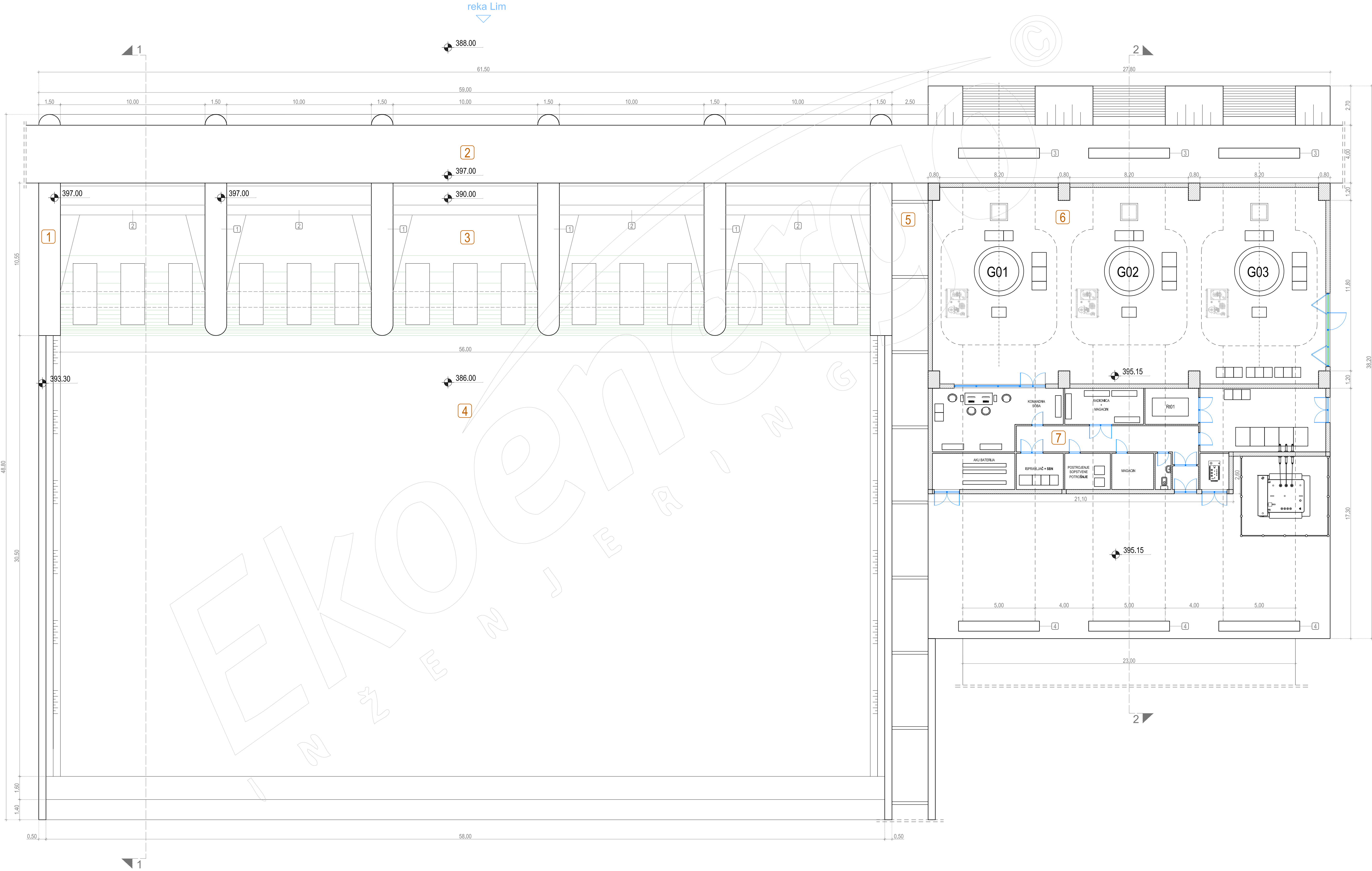
Koordinate detaljnih tačaka brane	
A1	738327.08 4823188.44
A2	7383289.26 4823187.30
A3	7383242.76 4823188.91
A4	7383230.02 4823196.14
A5	7383255.63 4823207.25
A6	7383212.57 4823204.25



OBJEKT		MHE "Rekovići I" na reci Lim		Broj projekta	
INVESTITOR		Mini Hydro Investments d.o.o.		1611/27	
		PROJEKT	Generalni projekat MHE "Rekovići I"		
		ODGOVORNI PROJEKTANT	Mirjana Milekić dipl. inž. grad.		
		PROJEKTANT	Mirjana Milanović Despotović dipl. inž. grad.		
		SARADNICI			
		TEHNIČKI CRTAČ	Dejan Pejić		
Datum	Naziv fajla	Crtež		Razmera	List br.
2011.	MHE_Rekovići_I_situ_all.dwg	Situacija sa detaljem nasipa		1 : 2000	1


MHE "Rekovići I"

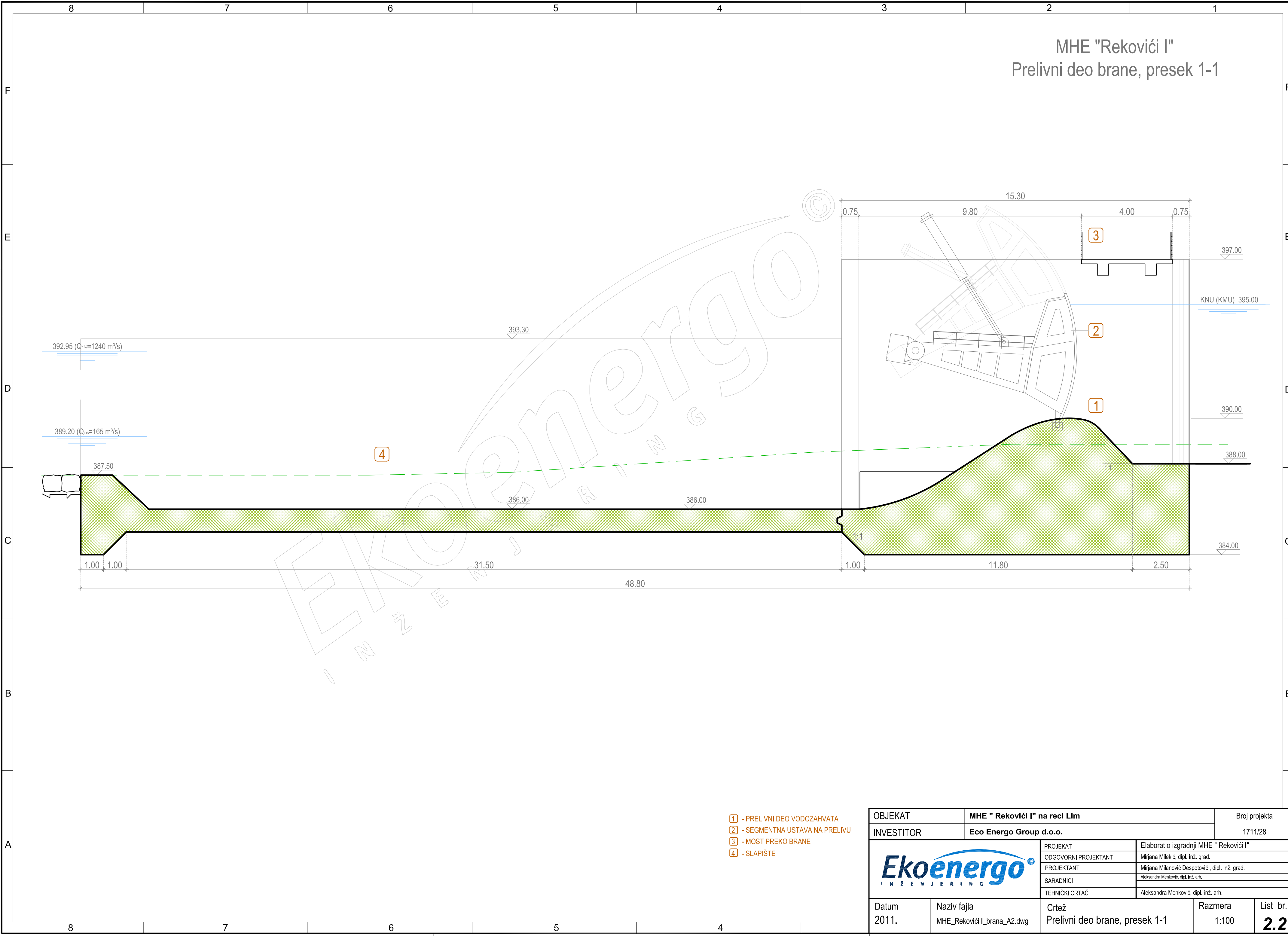
Brana i mašinska zgrada, osnova



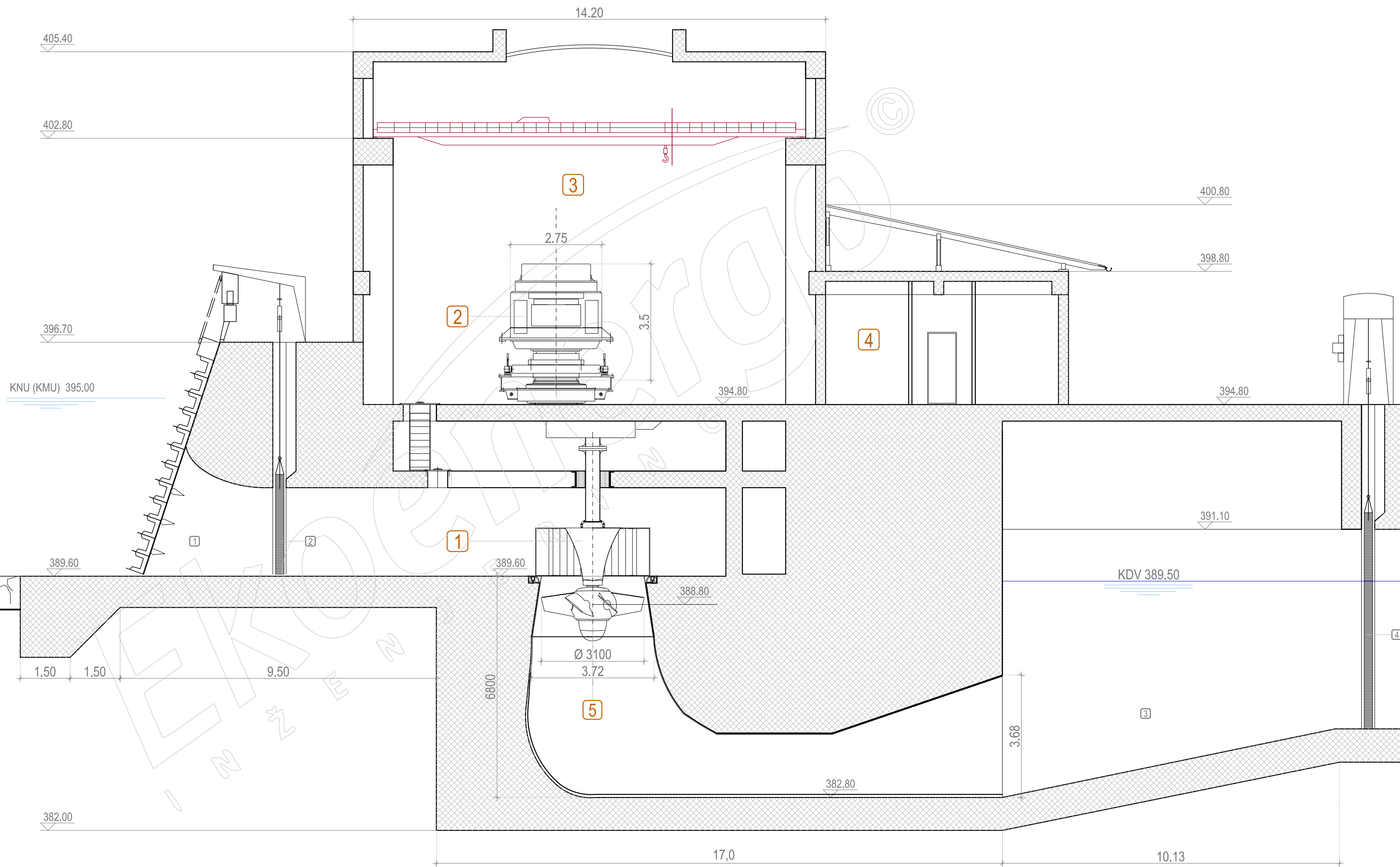
LEGENDA:
1) razdelni zid na prelivu; 2) segmentna ustava na prelivu; 3) tablasti zatvarač na zahvatnom kanalu;
4) tablasti zatvarač na odvodnom kanalu

- 1 - BOČNI ZID VODOZAHVATA
- 2 - MOST PREKO BRANE
- 3 - PRELIVNI DEO VODOZAHVATA
- 4 - SLAPIŠTE
- 5 - RIBLJA STAZA
- 6 - MASIŠKA SALA
- 7 - ANEKS MASIŠKE ZGRADE

OBJEKAT		MHE "Rekovići I" na reci Lim		Broj projekta	
INVESTITOR		Mini Hydro Investments d.o.o.		1711/28	
		PROJEKAT		Elaborat o izgradnji MHE "Rekovići I"	
		ODGOVORNI PROJEKTANT		Mijana Mlekšić, dipl. inž. građ.	
		PROJEKTANT		Mijana Milanović Despotović, dipl. inž. građ.	
		SARADNICI		Aleksandra Menković, dipl. inž. arh.	
		TEHNIČKI CRTAČ		Aleksandra Menković, dipl. inž. arh.	
Datum 2011.	Naziv fajla MHE_Rekovići I_brama_A1.dwg	Crtež Brana i mašinska zgrada, osnova		Razmera 1:125	List br. 2.1




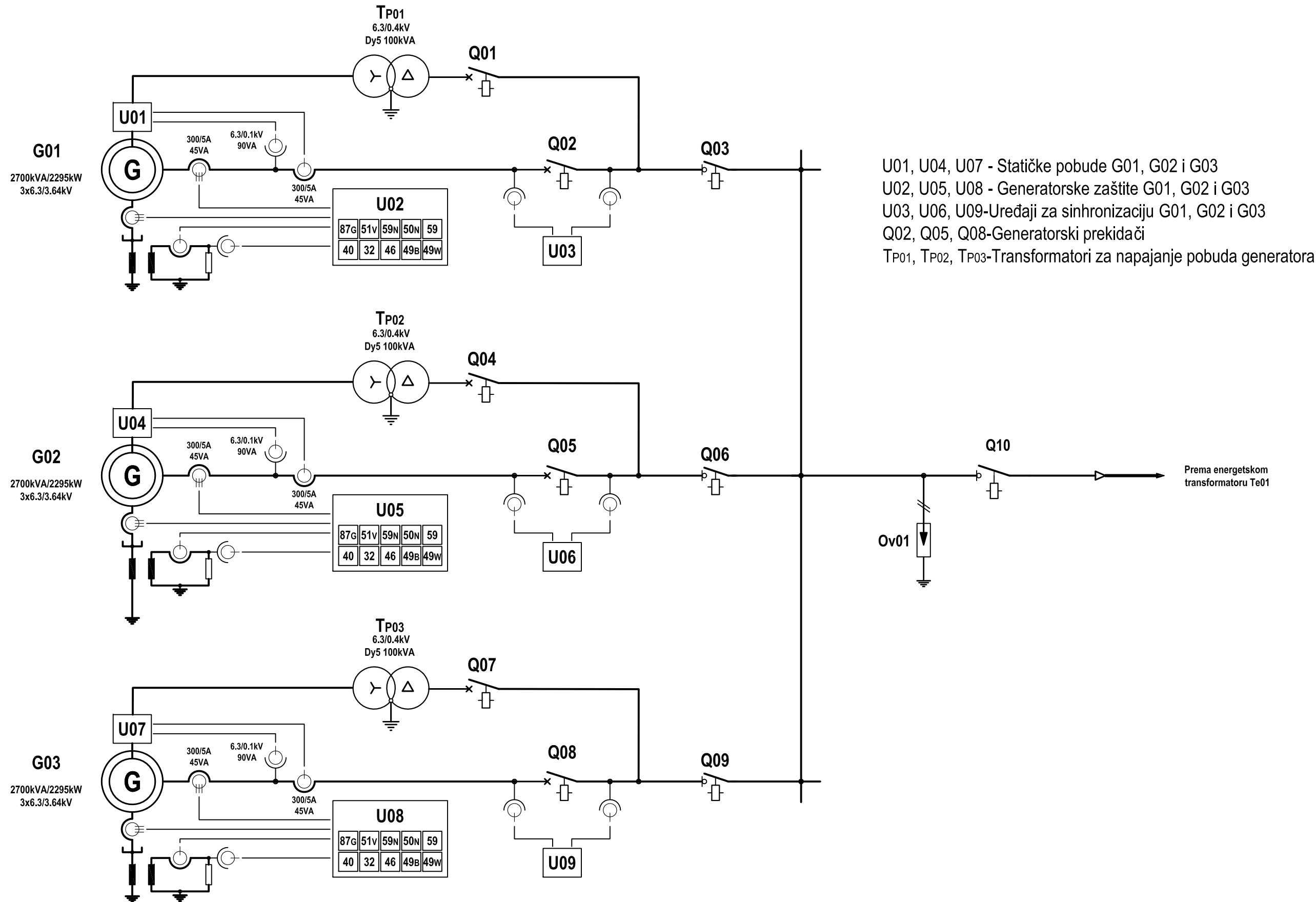
MHE "Rekovići I"
Mašinska zgrada, presek 2-2



LEGENDA:
1) zahvatni kanal; 2) tablasti zatvarač na zahvatnom kanalu; 3) odvodni kanal;
4) tablasti zatvarač na odvodnom kanalu


- 1 - TURBINA
- 2 - GENERATOR
- 3 - MASINSKA SALA
- 4 - ANEKS MAŠINSKE ZGRADE
- 5 - RADNO KOLO TURBINE

OBJEKAT		MHE " Rekovići I" na reci Lim			Broj projekta 1711/28	
INVESTITOR		Eco Energo Group d.o.o.				
		PROJEKAT	Elaborat o izgradnji MHE " Rekovići I"			
		ODGOVORNI PROJEKTANT	Zoran Mojić, dipl. inž. maš.			
		PROJEKTANT	Marina Perašević, dipl. inž. maš.			
		SARADNICI	Aleksandra Menković, dipl. inž. arh.			
		TEHNIČKI CRTAČ	Dejan Pejić			
Datum 2011.	Naziv fajla MHE_Rekovići I_brama_A2.dwg	Crtež Mašinska zgrada, presek 2-2			Razmera 1:100	List br. 2.3

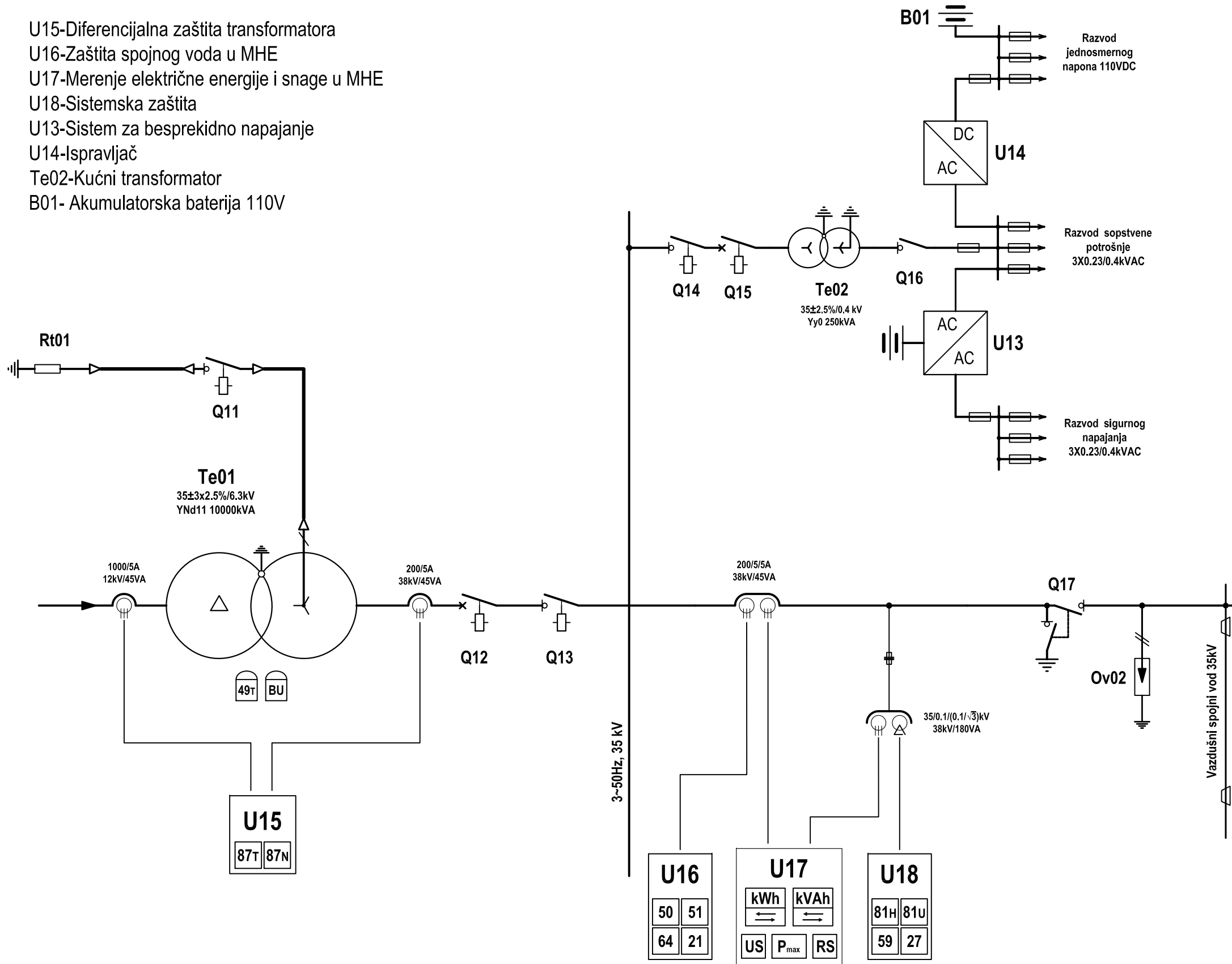


* CAD - crtež * All rights in this drawing are reserved to us * Crtež je autorska svojina Ekoenergo inženjeringa *

* CAD - crtež * All rights in this drawing are reserved to us * Crtež je autorska svojina Ekoenergo inženjeringa *


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		Naziv grupe: Jednopolna šema MHE				Naziv: Jednopolna šema elektrane, generatorski napon			Objekat: MHE "Rekovići I"			Dokument: Elaborat o izgradnji MHE "Rekovići I" - Elektrotehnički deo -			Datum: Format: A3		Gl. i odg. projektant: Projektant saradnik: Revizija:		Crtež: 3 Fajl: JP_MHE Rekovići I.dwg List: 1 od 3	

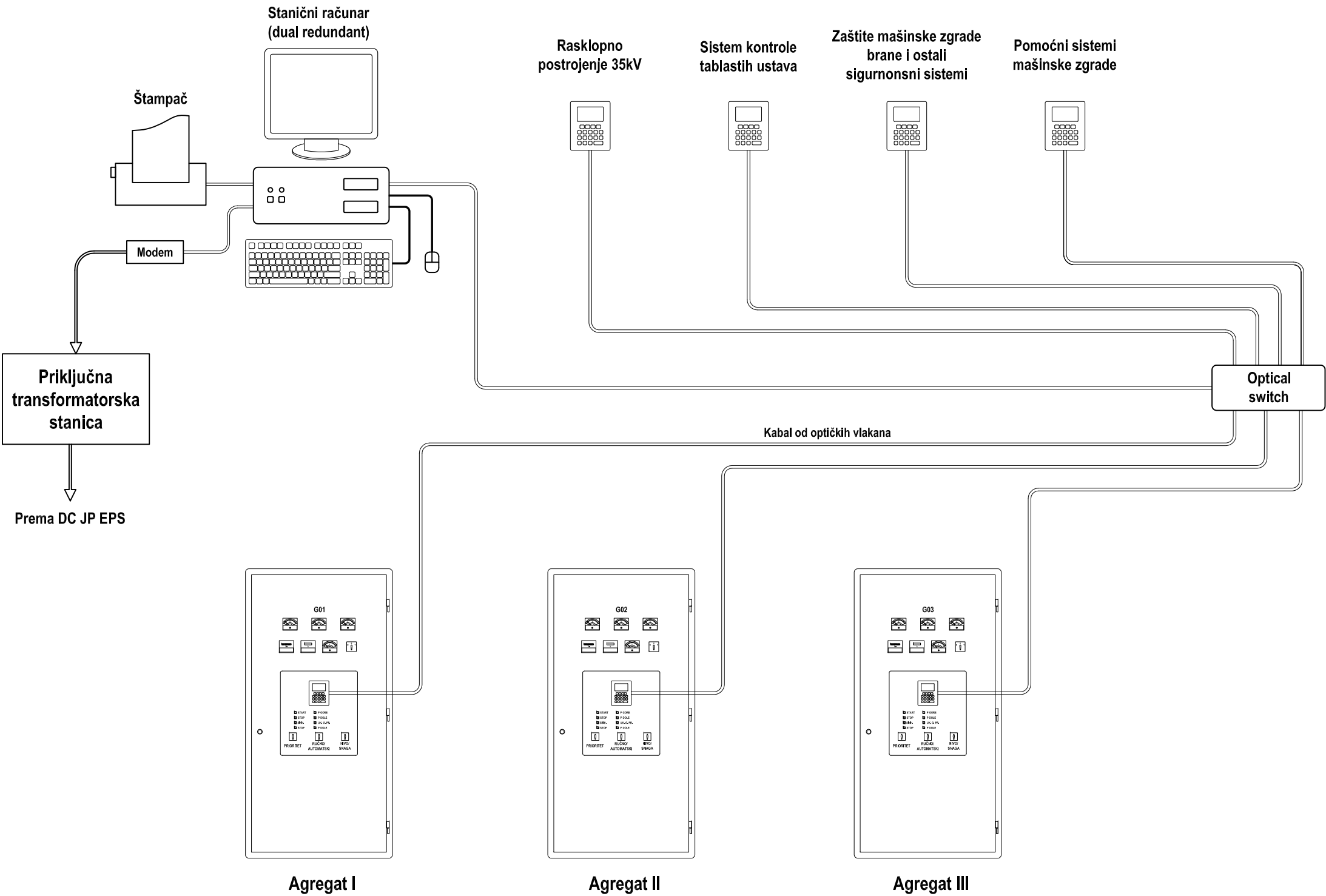
U15-Diferencijalna zaštita transformatora
U16-Zaštita spojnog voda u MHE
U17-Merenje električne energije i snage u MHE
U18-Sistemska zaštita
U13-Sistem za besprekidno napajanje
U14-Ispravljač
Te02-Kućni transformator
B01- Akumulatorska baterija 110V



* CAD - crtež * All rights in this drawing are reserved to us * Crtež je autorska svojina Ekoenergo inženjeringa *

* CAD - crtež * All rights in this drawing are reserved to us * Crtež je autorska svojina Ekoenergo inženjeringa *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
		Naziv grupe: Jednopolna šema MHE				Naziv: Jednopolna šema elektrane, 35 kV napon				Objekat: MHE "Rekovići I"				Dokument: Elaborat o izgradnji MHE "Rekovići I" - Elektrotehnički deo -				Datum:		Gl. i odg. projektant:				Crtež: 3		
																		Format: A3		Projektant saradnik:		Darko Radosavljević				Fajl: JP_MHE Rekovići I.dwg
																				Revizija:						List: 2 od 3



* CAD - crtež * All rights in this drawing are reserved to us * Crtež je autorska svojina Ekoenergo inženjeringa *

* CAD - crtež * All rights in this drawing are reserved to us * Crtež je autorska svojina Ekoenergo inženjeringa *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ekoenergo [®] INŽENJERING					Naziv grupe: Jednopolna šema MHE			Naziv: Blok šema upravljanja			Objekat: MHE "Rekovići I"			Dokument: Elaborat o izgradnji MHE "Rekovići I" - Elektrotehnički deo -			Datum: Gl. i odg. projektant: Crtež: 3		
														Format: A3			Projektant saradnik: Darko Radosavljević		
																	Revizija:		
																	Fajl: JP_MHE Rekovići I.dwg		
																	List: 3 od 3		