

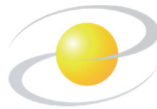


Elektroprivreda Crne Gore A.D. Nikšić

F.C. Distribucija

E L A B O R A T

o uticaju priključenja mHE „Štitarica 1“ i mHE „Štitarica
2“ na elektrodistributivnu mrežu



UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Investitor: _____

Prema Ugovoru br. _____.

DEKAN:

Prof. dr Zoran Veljović

Podgorica, jul 2015

SADRŽAJ

1. OPŠTI PODACI:	3
2. PROJEKTNI ZADATAK ZA IZRADU "ELABORATA O UTICAJU PRIKLJUČENJA MALIH ELEKTRANA ŠTITARICA 1 I ŠTITARICA 2"	4
3. SPISAK PRIMIJEJENIH STANDARDA I PROPISA	6
4. PREGLED DOSTAVLJENIH PODLOGA	8
4.1. Podaci od F.C. Distribucija	8
4.2. Podaci od Investitora	8
5. TEHNIČKI OPIS	10
5.1. Osnovni tehnički podaci o distributivnoj mreži	10
5.1.1. Podaci o elementima elektrodistributivne mreže	10
5.1.2. Energetske karakteristike konzuma elektrodistributivne mreže	11
5.1.3. Analiza karakterističnih radnih režima elektrodistributivne mreže	14
5.2. Osnovni tehnički podaci o elektranama i mjestu priključenja	18
5.2.1. Lokacija	18
5.2.2. Opšte karakteristike elektrana	18
5.2.3. Predložena mjesta priključenja	28
6. PROVJERA TEHNIČKIH ZAHTJEVA ZA PRIKLJUČENJE MALE ELEKTRANE NA DISTRIBUTIVNU MREŽU	31
6.1. Kriterijum odstupanja napona	31
6.2. Kriterijum snage kratkog spoja	38
6.3. Kriterijum flikera	38
6.4. Kriterijum struja viših harmonika	38
6.5. Kriterijum napona viših harmonika	38
6.6. Kriterijum bezbjedne sinhronizacije	39
6.7. Kriterijum injektiranja jednosmjerne struje	39
6.8. Kriterijum reaktivne snage	39
6.9. Gubici u elektrodistributivnoj mreži nakon priključenja elektrana	39
6.10. Uticaj priključenja elektrana na struju jednopolnog kratkog spoja	41
7. PRILOZI	43

1. OPŠTI PODACI:

Investitor: _____

Naručilac: Elektroprivreda Crne Gore A.D. Nikšić, FC. „Distribucija“

Objekat: mHE „Štitarica 1“ i mHE „Štitarica 2“

Obrađivači:

Doc. dr Zoran Miljanić, Elektrotehnički fakultet - Podgorica

Doc. dr Vladan Radulović, Elektrotehnički fakultet - Podgorica

Prof. dr Jadranka Radović, Elektrotehnički fakultet - Podgorica

Datum: 15.07.2015.

2. PROJEKTNI ZADATAK ZA IZRADU "ELABORATA O UTICAJU PRIKLJUČENJA MALIH ELEKTRANA ŠTITARICA 1 I ŠTITARICA 2"

1. Razlozi i cilj

Razlog za izradu Elaborata pod gornjim naslovom jeste izdavanje uslova za priključenje navedenih malih elektrana.

Priključenje velikog broja distribuiranih izvora, za koje su bili objavljani javni pozivi i sklopljeni koncesioni ugovori, je obrađeno u „Studiji o priključivanju i radu distribuiranih izvora energije u elektroenergetskom sistemu Crne Gore“, Elektroinštitut Milan Vidmar, 2012.

U međuvremenu, došlo je do značajnih izmjena, kako zbog dinamike realizacije izgradnje distribuiranih izvora, izmjena u snagama i lokacijama već ugovorenih objekata, pojavljivanja ovih na istim ili bliskim lokacijama, tako i do novih planiranih investicija Operatora distributivne mreže. Imajući u vidu navedeno kao i dosadašnja iskustva i probleme u priključenju distribuiranih izvora električne energije, Elaborat treba detaljno da preispita dosadašnja rešenja za priključenje i identifikuje potencijalne izmene dosadašnjih rešenja.

Pri izradi elaborata potrebno je koristiti „Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema električne energije“ (Službeni list CG, br. 50/2012 od 1.10.2012. godine) u kojima su, između ostalog, definisani: način održavanja i razvoj distributivnog sistema, način planiranja i tehnički uslovi za planiranje, rad i funkcionisanje distributivnog sistema, kao i tehnički uslovi za priključenje na distributivni sistem.

2. Podloge i podaci

Pri izradi elaborata potrebno je koristiti „Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema električne energije“ (Službeni list CG, br. 50/2012 od 1.10.2012. godine) u kojima su, između ostalog, definisani: način održavanja i razvoj distributivnog sistema, način planiranja i tehnički uslovi za planiranje, rad i funkcionisanje distributivnog sistema, kao i tehnički uslovi za priključenje na distributivni sistem.

Kao ulazne podatke koristiti i navedenu „Studiju o priključivanju i radu distribuiranih izvora energije u elektroenergetskom sistemu Crne Gore“.

Operator distributivne mreže će obezbijediti podloge koje uključuju:

- karakteristike lokalne mreže na koju se priključuje mala elektrana;
- jednopolnu šema normalnog uklopnog stanja pripadajuće mreže;
- jednopolne šeme pripadnih transformatorskih stanica sa podacima o elektroenergetskoj opremi, mogućnosti proširenja (izvodna polja, trafo polja);
- parametre vodova (tip, materijal, dužina, presjek);

- procjenu fizičkog i funkcionalnog stanja elemenata transformatorskih stanica i vodova;
- energetske podatke o pripadajućem konzumnom području;
- podatke o transformatoru SN/NN kojim se mala elektrana priključuje na NN mrežu;
- planirane investicije na područjima planiranih elektrana koje mogu imati uticaj na način priključenja.

3. Analize priključenja malih elektrana na distributivni sistem

Nakon sprovedenih analiza potrebno je dati mišljenje o adekvatnosti priključenja malih elektrana na distributivni sistem sa predlogom optimalnog načina priključenja.

Obrađivač će između ostalog uraditi:

- procjenu uticaja na rad distributivnog sistema;
- tačku priključenja;
- opis potrebne rekonstrukcije i dogradnje postojeće mreže u cilju stvaranja zadovoljavajućih uslova priključenja i sigurnog plasmata snage malih elektrana;
- tehničke zahtjeve za izbor priključnog voda i postrojenja preko kojeg se male elektrane priključuju na distributivni sistem;
- tehničke zahtjeve za izbor, način djelovanja i opsege podešavanja zaštitnih uređaja male elektrane i priključnog voda;
- tehničke zahtjeve za mjerenje primljene/predane električne energije;
- uslove za priključenje male elektrane;
- način priključenja male elektrane na distributivni sistem;
- zahtjeve za režime rada elektrana.
- mjesto i uslove sinhronizacije generatora male elektrane na mrežu.

3. SPISAK PRIMIJENJENIH STANDARDA I PROPISA

- Tehnička preporuka za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori, Ministarstvo ekonomije, 2012
- Studija o priključivanju i radu distribuiranih izvora energije u elektroenergetskom sistemu Crne Gore, EIMV, 2012
- Tehničke preporuke EPCG A.D. Nikšić – FC Distribucija
- Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema električne energije ("Sl. list CG" 50/2012)
- Pravila mjerenja električne energije u distributivnom sistemu („Sl. List CG“ 20/12)
- Zakon o uređenju prostora i izgradnji objekata („Sl. list CG“, br. 33/14)
- Zakon o energetici ("Sl. list RCG" br. 28/10).
- Zakon o eksploataciji ("Sl. list RCG" br.55/2000).
- Opšti uslovi za isporuku električne energije ("Sl. list RCG" br. 1/90)
- Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V ("Sl. list SFRJ" 4/74).
- Propisi o tehničkim merama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja i vodova ("Sl. list SRJ" br.41/93)
- Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona do 1 kV do 400 kV, ("Sl. list SFRJ" br. 65/88),
- Pravilnik o izmenama pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV (Sl. list SRJ br. 18/92).
- Pravilnik o opštim merama zaštite na radu od opasnog dejstva električne struje u objektima namenjenim za rad, radnim prostorijama i na gradilištima, ("Sl. list SRS" br.21/89. god.)
- Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju niskonaponskih nadzemnih vodova ("Sl. list. SFRJ" br.6/92. god.)
- Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju srednjenaponskih nadzemnih vodova samonosećim kablovskim snopom".("Sl. list SRJ" br. 20/92).
- Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica, ("Sl. list SFRJ" br. 13/78),
- Pravilnik o izmenama i dopunama pravilnika o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica, ("Sl. list SRJ" br. 37/95),

- Pravilnik o tehničkim merama za zaštitu elektroenergetskih postrojenja od prenapona ("Sl. list SFRJ" br.7/71, 44/76),
- Pravilnik o tehničkim merama za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja ("Sl. list SRJ" br.11/96),
- Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu elektroenergetskih postrojenja i uređaja od požara ("Sl. list SFRJ" br. 74/90).
- Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona ("Sl. List SFRJ" br. 53/88 i 54/88).
- Pravilnik o izmenama i dopunama pravilnika o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona ("Sl. list SRJ" br. 28/95).
- Pravilnik o tehničkim normativima za uzemljenja elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V ("Sl. list SRJ" br. 61/95).

4. PREGLED DOSTAVLJENIH PODLOGA

4.1. PODACI OD F.C. DISTRIBUCIJA

U cilju modelovanja mreže i konzuma, kao i provjere karakteristika postojeće opreme u elektrodistributivnoj mreži ED Mojkovac na koju može imati uticaj priključenje mHE Štitarica 1 i Štitarica 2, Elektroprivreda Crne Gore – FC Distribucija obezbijedila je sljedeću dokumentacionu i informacionu osnovu:

- Konfiguracija elektrodistributivne mreže napajane iz TS 110/35 kV Mojkovac i TS 35/10 kV Mojkovac;
- Konfiguracija i parametri 10 kV izvoda Jezero (dužine, presjeci i tip vodova);
- Osnovni parametri TS 35/10 kV i TS 10/0,4 kV;
- Karakteristike konzuma napajanog iz TS 110/35 kV Mojkovac:
 - Satno mjerenje aktivne i reaktivne snage konzuma za 2012., 2013., i 2014. (mjereno u TS 110/35 kV Mojkovac),
 - Godišnja potrošnja energije na nivou TS 10/0,4 kV napajane putem 10 kV izvoda Jezero
 - Vršna snaga TS 35/10 kV Mojkovac za 2014. godinu
- Režim rada TS 110/35 kV Mojkovac tokom godine (normalni pogon);
- Plan razvoja 10 kV mreže koja se napaja iz TS 35/10 kV Mojkovac;
- Osnovni parametri TS 110/35 kV Mojkovac;
- Snaga kratkog spoja na 110 kV sabirnicama TS 110/35 kV Mojkovac.

4.2. PODACI OD INVESTITORA

Radi pripreme analiza koje prate priključenje distribuiranih izvora na mrežu, Investitor je dostavio sljedeće podloge¹:

- Pregledna karta sa kotama gornje i donje vode za mHE Štitarica 1;

¹ Nijesu dostavljene standardne podloge za izradu Elaborata koje proističu iz idejnog rješenja ili projekta:

- Broj, tip i karakteristike generatora,
- Transformacija (broj, tip i karakteristike transformatora),
- Sopstvena potrošnja,
- Sistem upravljanja, nadzora i zaštite,
- Način sinhronizacije,
- Karakteristike turbinskog regulatora,
- Karakteristike regulatora pobude,
- Jednopolna šema postrojenja,
- Tehničke karakteristike elemenata postrojenja i
- Planirana proizvodnja električne energije na mjesečnom nivou.

- Pregledna karta sa kotama gornje i donje vode za mHE Štitarica 2;
- Osnovni parametri mHE Štitarica 1:
 - Instalirana snaga,
 - Planirana proizvodnja električne energije na godišnjem nivou;
- Osnovni parametri mHE Štitarica 2:
 - Instalirana snaga,
 - Planirana proizvodnja električne energije na godišnjem nivou.

NAPOMENA: *Kako veći dio parametara neophodnih za preciznu procjenu uticaja predmetnih elektrana na mrežu nije raspoloživ, to bilo kakvo odstupanje parametara elektrana od standardnih vrijednosti koje će biti korišćene u ovom Elaboratu zahtjeva ažuriranje analiza sprovedenih u Elaboratu, odnosno, kao direktnu posljedicu toga, izdavanje novih uslova za priključenje.*

5. TEHNIČKI OPIS

5.1. OSNOVNI TEHNIČKI PODACI O DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

5.1.1. Podaci o elementima elektrodistributivne mreže

Uzimajući u obzir planiranu instalisanu snagu i lokaciju predmetnih elektrana, kao mjesto za priključenje elektrana nameće se srednjenaponska elektrodistributivna mreža koja se napaja iz TS 110/35 kV Mojkovac i TS 35/10 kV Mojkovac. Ovaj Elaborat obuhvata analizu efekata koje na elektrodistributivnu mrežu ima priključenje predmetnih malih elektrana.

TS 110/35 kV Mojkovac napaja potrošačke konzume na teritoriji Mojkovca i Kolašina. Kolašin se napaja posredstvom 110 kV vazdušnog voda koji radi pod naponom 35 kV, a koji povezuje TS 110/35 kV Mojkovac i TS 35/10 kV Drijenak. S druge strane, konzum Mojkovca, napaja se posredstvom TS 35/10 kV Mojkovac koja se nalazi u neposrednoj blizini TS 110/35 kV Mojkovac. TS 110/35 kV Mojkovac je opremljena sa jednim tronamotajnim regulacionim transformatorom instalisane snage 20 MVA (tercijer je otvoren). TS 110/35 kV Mojkovac je na 110 kV strani radijalno povezana sa TS 110/35 kV Bijelo Polje, a kako se nalazi u sklopu TS 220/110/35 kV Mojkovac, to je preko 220 kV T-spoja povezana i sa TS 220/110/35 kV Podgorica 1 i TS 400/220/110 kV Pljevlja 2. Usljed toga, napojna tačka 110 kV je nešto jača nego što je to slučaj u ostalim 110 kV napojnim na sjeveru Crne Gore, što se prenosi i na niže naponske nivoe. Transformator 110/35 kV radi sa izolovanom neutralnom tačkom na 35 kV strani. Mojkovac ne raspolaže 35 kV mrežom, već se čitav konzum napaja posredstvom 10 kV izvoda napojenih iz TS 35/10 kV Mojkovac. Međutim, kako je ranije navedeno, jedan izvod 35 kV (a projektovan je kao 110 kV vod) izlazi iz TS 110/35 kV Mojkovac, ali on služi za napajanje konzuma Kolašina, pa stoga nije od interesa za analizu uticaja na mrežu predmetnih elektrana.

Jedina TS 35/10 kV opremljena je sa 2 transformatora instalisanih snaga po 4 MVA. Ukupna dužina 10 kV mreže koja se napaja iz pomenute TS je 103,8 km u okviru koje dominira presjek 35 mm² (približno 79 % od ukupne dužine 10 kV mreže) i to se ističe vazdušni vod tip Al-Fe (Tabela 5.1). Dakle, mreža je dominantno vazdušna sa učešćem od približno 80 % u ukupnoj dužini mreže.

Tabela 5.1 Dužina 35 kV mreže po presjeku i tipu voda napajana iz TS 110/35 kV Mojkovac

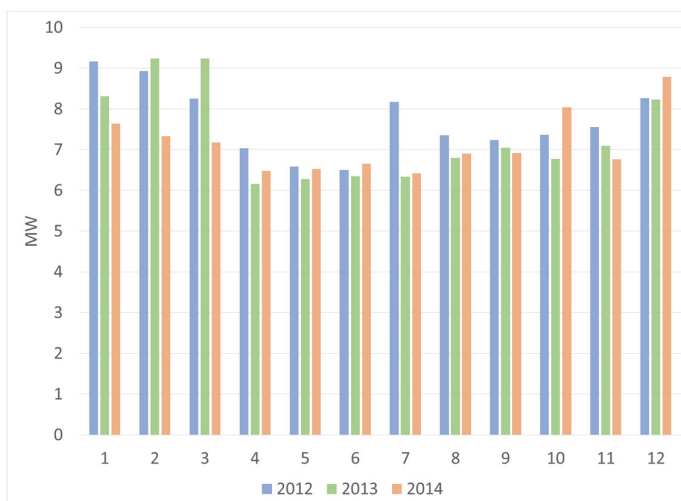
Al 3x150 [km]	Al 3x120 [km]	Al 3x50 [km]	Al 3x35 [km]	Kablovski [km]	Vazdušni [km]	Ukupno [km]
3,02	3,85	3,62	81,61	22,08	81,72	103,8
Cu 3x150 [km]	Cu 3x120 [km]	Cu 3x95 [km]	Cu 3x70 [km]			
1,06	1,44	6,13	3,07			

Dio 10 kV mreže koji je zbog svoje trase od posebnog interesa za priključenje predmetnih elektrana je 10 kV izvod Jezero. Ukupna dužina ovog z voda sa svim otcjepima je približno 18,8 km u okviru koje sa 78 % učešća dominiraju vazdušni

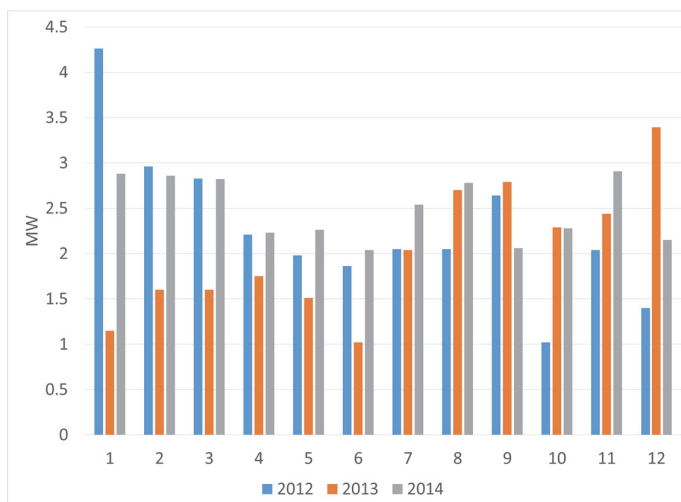
vodovi presjeka 35 mm² (najčešće Al-Fe sa manjim udjelom SKS). Preostali dio mreže čine kablovski vodovi velikih presjeka (95 – 150 mm²). Izvod radi u radijalnom pogonu sa mogućnošću rezerviranja preko 2 otcjepa izvoda koji su isključeni u normalnom pogonu. Na pomenuti izvod priključeno je 14 TS 10/0,4 kV ukupne instalisane snage 3,94 MVA, sa transformatorima sprege Dy5 i Yz5 i naponom kratkog spoja $u_k = 2,9 - 4,2 \%$ (najčešće 3,9%).

5.1.2. Energetske karakteristike konzuma elektrodistributivne mreže

Pored mrežnih karakteristika, za opis različitih režima rada mreže napajane iz TS 110/35 kV Mojkovac, od posebnog značaja su i energetske karakteristike konzuma. Naime, kako se male elektrane priključuju na srednjenaponsku (SN) mrežu, to je od posebnog značaja napajanje i potrošnja energije prenešene putem SN mreže. Mjerni podaci o vršnom opterećenju mjereni u TS 110/35 kV Mojkovac dobijeni od FC Distribucija za period 2012-2014 godina ukazuju na prisustvo sezonske varijacije potrošnje konzuma koje se posebno ističe u razlici vršnog opterećenja u zimskim u odnosu na ljetnje mjesece (Slika 5.1), dok minimalno opterećenje značajno varira (Slika 5.2). Razlog varijacije u zabilježenom minimalnom opterećenju su povremeni prekidi napajanja koji uslovljavaju manju zabilježenu minimalnu snagu (snaga se mjeri na 15 min i/ili 1 h). Eliminacijom mjerenja minimalne snage izmjerene u satu u kom je dolazilo do ispada, dolazi se do opsega promjene minimalne snage tokom godine od 1 do 3 MW (uz izuzetak minimuma izmjerenog u januaru 2012. godine). Posmatrajući mjerenja tokom 2014. godine, minimalno opterećenje varira u opsegu od 2 do 3 MW. Uzimajući u obzir da vršno opterećenje u 2014. godini varira u opsegu od 6 do 9 MW, može se zaključiti da oba karakteristična opterećenja variraju u sličnom opsegu tokom godine u odnosu na odgovarajuću maksimalnu vrijednost tokom godine. Potrebno je naglasiti da je maksimalno opterećenje karakteristično za zimske mjesece (decembar), a minimalno opterećenje za ljetne mjesece (jun).

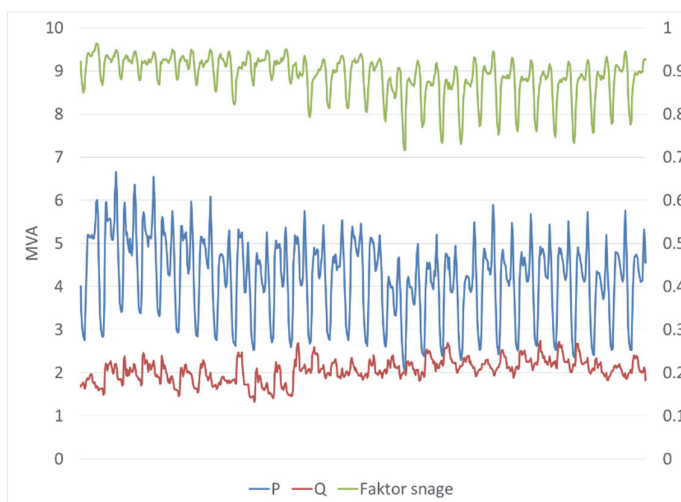


Slika 5.1 Vršno opterećenje TS 110/35 kV Mojkovac po mjesecu za period 2012-2014



Slika 5.2 Minimalno opterećenje TS 110/35 kV Mojkovac po mjesecu za period 2012-2014

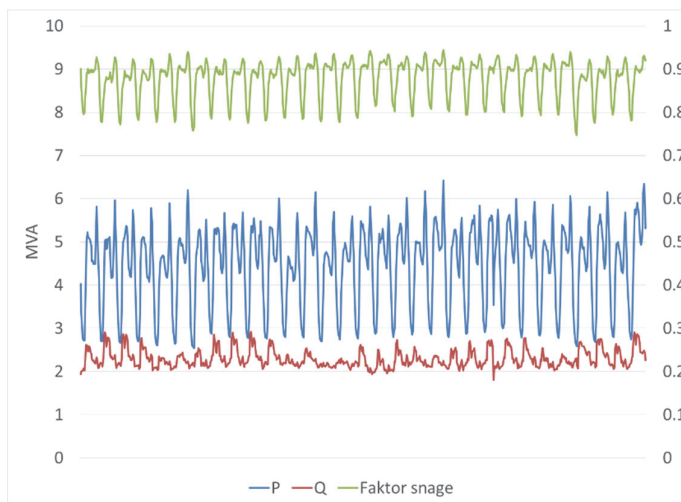
Iako je uočljiva razlika nivoa aktivnog opterećenja u zimskom i ljetnom periodu, reaktivna snaga im se bitno ne razlikuje. Za nijansu je niže reaktivno opterećenje u zimskim mjesecima u odnosu na ljetni period. Kao posljedica prethodno navedenom, ljetne mjesece karakteriše veći opseg promjene faktora snage (Slika 5.3, Slika 5.4 i Slika 5.5), koji u ljetnim mjesecima dostiže i vrijednosti od približno 0.7 u noćnom periodu. Slijedi da se može javiti potreba za regulacijom napona na nivou napojne TS usljed nepovoljnih naponskih prilika.



Slika 5.3 Mjesečni dijagram opterećenja za konzum TS 110/35 kV Mojkovac – jun 2014

Izraženi rastući trend vršnog opterećenja u mjesečnom dijagramu opterećenja za decembar 2014. u manjoj ili većoj mjeri je karakteristika zabilježena u 2012. i 2013. godini (Slika 5.5). Sa dijagrama opterećenja za zimske i ljetne mjesece uočljiva je određena razlika u konzumu u zavisnosti od doba godine što ukazuje na to da se električna energija koristi za toplotne potrebe. Takođe, odnos između vršne i minimalne snage u toku jednog dana može se uzeti da je praktično konstantan, iako je blago izraženiji tokom ljetnih mjeseci. Srednja vrijednost ovog odnosa je približno

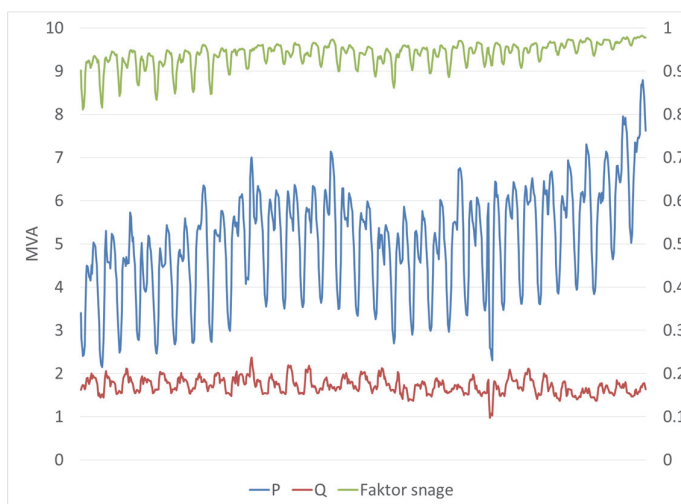
2. Ovo je od značaja za regulaciju napona tokom dana za cijelu godinu. Naime, cilj regulacije napona je održavanje naponskog profila u propisanim granicama u svim tačkama mreže, a time i u najudaljenijim.



Slika 5.4 Mjesečni dijagram opterećenja za konzum TS 110/35 kV Mojkovac – jul 2014

Povećani naponi mogu predstavljati problem u doba niskih opterećenja (noćni period, a posebno tokom ljetnih mjeseci), pa se u cilju osiguravanja ostanka napona u propisanim granicama moraju sprovoditi mjere regulacije napona kroz koordinaciju raspoloživih regulacionih resursa. U prvom redu misli se na regulaciju napona pomoću regulacionih transformatora u TS 110/35 kV Mojkovac i TS 35/10 kV Mojkovac, a onda i kod ostalih regulacionih transformatora u mreži i samih malih elektrana koje su posebno korisne zbog mogućnosti aktivne regulacije napona.

Vrijednosti napona niže u odnosu na nazivnu vrijednost napona mreže mogu biti prisutne u doba vršnog opterećenja, a ovdje su posebno ugroženi potrošači koji se napajaju sa TS 10/0,4 kV Štitarica 1 i Štitarica 2 usljed svoje pozicije u 10 kV mreži.



Slika 5.5 Mjesečni dijagram opterećenja za konzum TS 110/35 kV Mojkovac – decembar 2014

S tim u vezi, u poglavlju koje slijedi posebna pažnja biće posvećena karakterističnim režimima rada predmetne elektrodistributivne mreže, a u cilju analize naponskih prilika prije priključenja elektrana.

5.1.3. Analiza karakterističnih radnih režima elektrodistributivne mreže

Uzimajući u obzir opisane karakteristike 10 kV mreže i konzuma, moguće je formirati model mreže (Slika 5.6) za potrebe analize uticaja novih elektrana čije je priključenje predmet ovog Elaborata. S obzirom na to da se uklopno stanje 10 kV mreže ne mijenja, posmatraće se dva režima rada mreže odabrana u zavisnosti od nivoa opterećenja:

- Režim maksimalnog opterećenja (u analizama usvojena je maksimalna zabilježena vrijednost vršnog opterećenja u periodu 2012-2014. godina mjerena u TS 110/35 kV Mojkovac, tj. 9,23 MW i njemu odgovarajući faktor snage od 0,96², odnosno 5 MW kao vršno opterećenje TS 35/10 kV Mojkovac) i
- Režim minimalnog opterećenja (u analizama usvojena je minimalna zabilježena vrijednost minimalnog opterećenja u periodu 2012-2014. godina mjerena u TS 110/35 kV Mojkovac, tj. 2,04 MW i njemu odgovarajući faktor snage od 0,72)³.

Kako se tokom godine opterećenje konzuma mijenja iz ranije navedenog razloga vezanog za način obezbjeđivanja potreba za toplotnom energijom potrošača, to se za posljedicu ima nešto veća varijacija faktora snage tokom dana u ljetnim mjesecima nego je to slučaj za zimske mjesece. S tim u vezi, može se javiti potreba za sezonskim podešavanjem regulatora na regulacionim transformatorima. Problem može da predstavlja pojava niskog opterećenja zimi, jer u kombinaciji sa vršnim godišnjim opterećenjem može da limitira mogućnosti postizanja povoljnih naponskih prilika jedinstvenim podešavanjem regulatora. Razlog je visoka vrijednost napona u periodu niskog opterećenja, a niskog napona u periodu vršnog devnog opterećenja. Potrebno je naglasiti da i u tom kritičnom slučaju, napon u niskonaponskoj mreži nije van propisanog opsega. Takođe, lokalne probleme sa naponskim prilikama moguće je riješiti djelovanjem na regulatore transformatora 10/0,4 kV koji su njima opremljeni. Intenzitet vršnog opterećenja u odnosu na instalisane mrežne kapacitete nije problem (transformatori su više nego dovoljnog kapaciteta, a i vodovi pri vršnom opterećenju rade sa ispod 30 % od nazivne struje). Niži naponi pri vršnom opterećenju uzrokovani su izraženim dužinama vodova.

Za potrebe analize pretpostavljeno je nulti položaj regulatora napona u TS 110/35 kV Mojkovac. Razlog je potreba povoljnih naponskih prilika u 35 kV mreži ED Kolašin,

² Pretpostavljeno je da razlika između vršnih snaga mjerenih na nivou TS 110/35 kV Mojkovac i TS 35/10 kV Mojkovac odgovara vršnom opterećenju konzuma ED Kolašin.

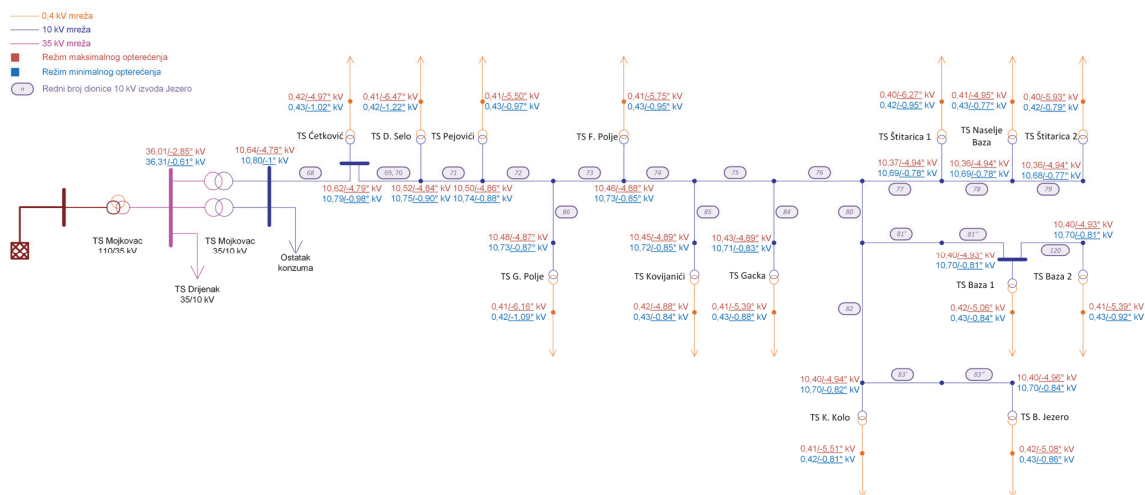
³ Minimalno opterećenje na nivou TS 10/0,4 kV nije bilo na raspolaganju, pa kao zamjena korišćen raspoloživi podatak o srednjoj godišnjoj snazi. Minimalno opterećenje na nivou TS 110/35 kV Mojkovac je raspodijeljeno na TS 35/10 kV Mojkovac i konzum ED Kolašin u istom odnosu kao i za vršnu snagu.

jer zbog niskog opterećenja pomenute TS, naponske prilike na 35 kV sabirnicama su uvijek iznad 35 kV. Takođe, mreža 110 kV se posmatra kao kruta mreža sa stabilnim naponom. Parametri mreže dati su u tabeli koja slijedi (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 Parametri elemenata mreže

Dvonamotajni transformatori												
	U _{n1}	U _{n2}	S _{n1}		u _{k12}		p _{Cu12}		P _{Fe}		j _o	
	[kV]	[kV]	[kVA]		[%]		[%]	[kW]		[%]		
mHE „Štitarica 1“	0,4	10	630		3,9		1,3		1,3		1,3	
mHE „Štitarica 2“	0,4	10	800		6		1,3		1,7		1,1	
TS Mojkovac	35	10,5	4000		5,87		0,7		4,52		0,56	
MBTS Četković	0,4	10	630		3,9		1,3		1,3		1,3	
PTS D. Selo	0,4	10	250		3,9		1,7		0,65		1,8	
STS Pejovići	0,4	10	100		3,9		2,2		0,32		2,2	
STS F. Polje	0,4	10	100		3,9		2,2		0,32		2,2	
STS Štitarica i	0,4	10	100		3,9		2,2		0,32		2,2	
STS Naselje Baza	0,4	10	100		3,9		2,2		0,32		2,2	
STS Štitarica II	0,4	10	50		3,9		2,7		0,19		3,5	
MBTS Baza I	0,4	10	630		3,9		1,3		1,3		1,3	
STS K. Kolo	0,4	10	50		3,9		2,7		0,19		3,5	
MBTS B. Jezero	0,4	10	160		3,9		1,9		0,46		2	
BTS Gacka	0,4	10	100		3,9		2,2		0,32		2,2	
MBTS Kovijanići	0,4	10	250		3,9		1,7		0,65		1,8	
STS Gornje Polje	0,4	10	160		3,9		1,9		0,46		2	
MBTS Baza II	0,4	10	630		3,9		1,3		1,3		1,3	
Tronamotajni transformatori												
	U _{n1}	U _{n2}	U _{n3}	S _{n1}	S _{n2}	S _{n3}	u _{k12}	u _{k13}	u _{k23}	p _{Cu12}	P _{Fe}	j _o
	[kV]	[kV]	[kV]	[MVA]	[MVA]	[MVA]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kW]	[%]
TS 110/35 kV Mojkovac	110	36,75	10,5	20	20	6	10,64	8,9	5,3	0,57	43,26	-
Vodovi												
Broj dionice	U _n	Presjek	Tip		R		X		C		L	
	[kV]	[mm ²]	Nadz./Kabl.		[Ω/km]		[Ω/km]		[nF/km]		[km]	
68	10	95	PP41		0,194		0,102		837 (C ₀ =502)		0,556	
69	10	150	XHP 48 A		0,211		0,114		374		0,135	
70	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		1,044	
71	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,357	
72	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,132	
73	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,64	
74	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,09	
75	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,384	
76	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,807	
77	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		2,382	
78	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		1,102	
79	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		1,525	
80	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,21	
81	10	35+150	Al-Fe + XHP 48 A		0,211		0,114		374		0,06 + 0,165	
82	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,91	
83	10	35 + 120	Al-Fe + XHP 49 A		0,256		0,118		345		0,65 + 2,8	
84	10	35	XHE 48/0 A		0,872		0,143		9,4		1,478	
85	10	95	PP41		0,194		0,102		837 (C ₀ =502)		0,05	
86	10	35	Al-Fe		0,886		0,388		9,4		0,642	
120	10	95	PP41		0,194		0,102		837 (C ₀ =502)		0,035	
Generatori												

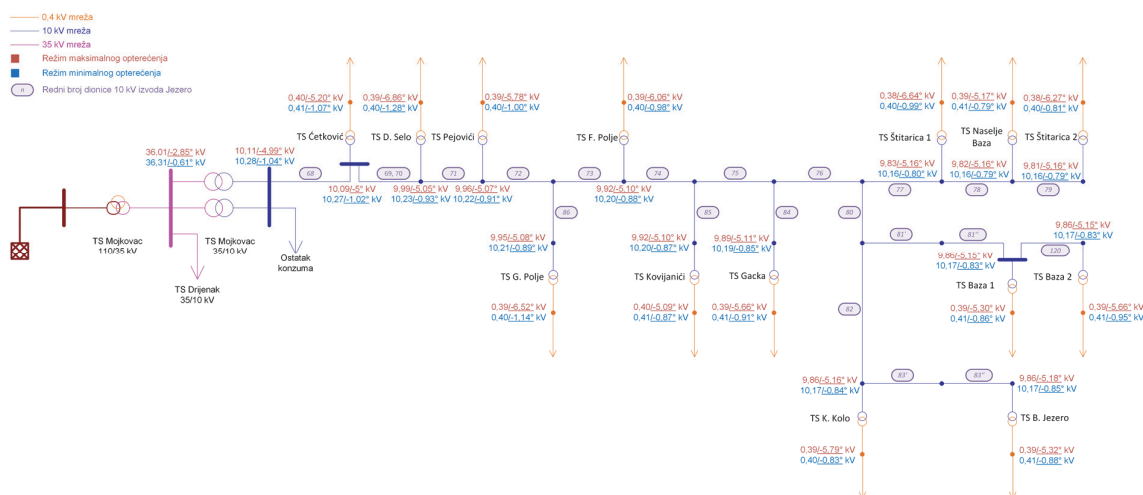
Problem prekoračenja naponskih ograničenja u režimu minimalnog opterećenja bi mogao biti riješen regulacionim transformatorima u TS 35/10 kV, međutim, to bi za posljedicu imalo snižavanje napona u istim čvorovima u režimu vršnog opterećenja. Uzimajući u obzir opseg promjene opterećenja tokom dana, potrebu za višim naponom na 35 kV sabirnicama TS 110/35 kV Mojkovac zbog specifičnog načina napajanja konzuma Kolašina, to se kao osnovno rješenje problema nameće regulacija napona u TS 35/10 kV Mojkovac i TS 10/0,4 kV koje imaju mogućnost regulacije napona. Ovakav vid regulacije napona nije povoljan jer se ne vrši pod opterećenjem, što može predstavljati problem kod velike varijacije opterećenja tokom dana. Ukoliko se za posmatranu mrežu odabere $+2 \times 2,5$ % podešavanje regulatora transformatora u TS 35/10 kV Mojkovac, dobijaju se zadovoljavajuće naponske prilike u čvorovima 10 kV izvoda Jezero za oba karakteristična režima rada (Slika 5.7).



16 / 45

Ukoliko bi se obezbijedili uslovi za aktivnu regulaciju napona u TS 110/35 kV Mojkovac, naponske prilike pri minimalnom i maksimalnom opterećenju bi se mogle dodatno optimizovati. Trenutno to nije slučaj, pa je predloženo rješenje i pozicija regulatora (+2×2,5 %) najbolji način za rješavanje problema održavanja napona u 10 kV mreži u propisanim granicama.

Kada je opterećenje vodova u pitanju, najopterećenije dionice 10 kV izvoda Jezero su početne dvije dionice (68, 69+70) sa blagim isticanjem dionice 70 koja je vazdušni vod. Opterećenje pomenute dionice u režimu maksimalnog opterećenja mreže iznosi približno 35 % od nazivnog opterećenja voda. Ostatak izvoda je opterećen ispod 25 % od svog nazivnog opterećenja, pri čemu je više od 50 % dionica opterećeno ispod 5 % svog nazivnog opterećenja. Pad napona na izvodu Jezero, od napojne tačke do najudaljenije tačke izvoda (10 kV sabirnice TS 10/0,4 kV Štitarica 2) iznosi 3 %.



Slika 5.7 Naponske prilike 10 kV izvoda Jezero nakon prepodešavanja regulacionih transformatora u TS 35/10 kV Mojkovac (regulacioni otcjep na položaju +2×2,5 %)

S obzirom da se u drugom analiziranom slučaju (Slika 5.7) imaju prihvatljive naponske prilike u pogledu ograničenja napona definisanim u okviru dokumenta Pravila o radu distributivne mreže, to će se upravo to uklopno stanje mreže za dva pomenuta režima rada (maksimalno i minimalno opterećenje) koristiti kao polazna osnova za procjenu uticaja priključenja novih elektrana na srednjenaponsku mrežu napajanu iz TS 35/10 kV Mojkovac.

Uzimajući u obzir trenutnu popunjenost raspoloživih mrežnih kapaciteta u srednjenaponskoj mreži, kao i planiranu instalisanu snagu predmetnih malih elektrana, odnosno činjenicu da nije za očekivati značajniji rast potražnje od strane potrošača, može se zaključiti da priključenje predmetnih elektrana na postojeću srednjenaponsku mrežu neće usloviti prekoračenje njenih kapaciteta. Prethodna konstatacija će biti dokazana u okviru poglavlja koja slijede.

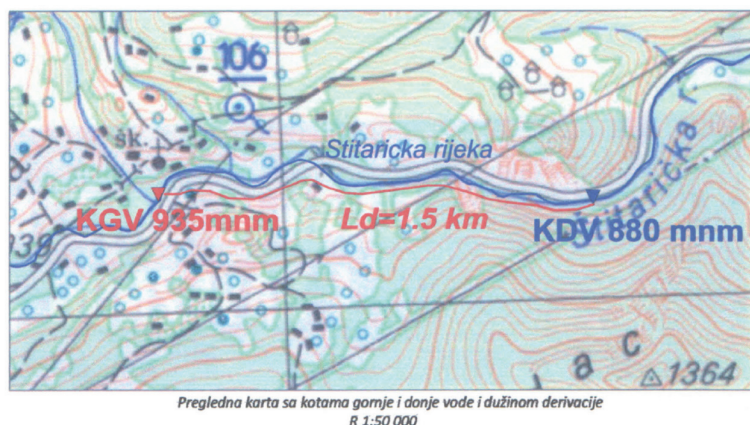
Potrebno je naglasiti da je neophodno vršiti koordinaciju priključenja svih malih elektrana koje gravitiraju predmetnom području, odnosno mreži. Prilikom izrade ovog Elaborata nijesu bile na raspolaganju informacije o izdatim uslovima za priključenje

drugih elektrana čije priključenje može imati uticaj na priključenje elektrana koje se ovdje analizira. Usljed toga, sve analize sprovedene su za mrežu koja je ranije prikazana (Slika 5.7).

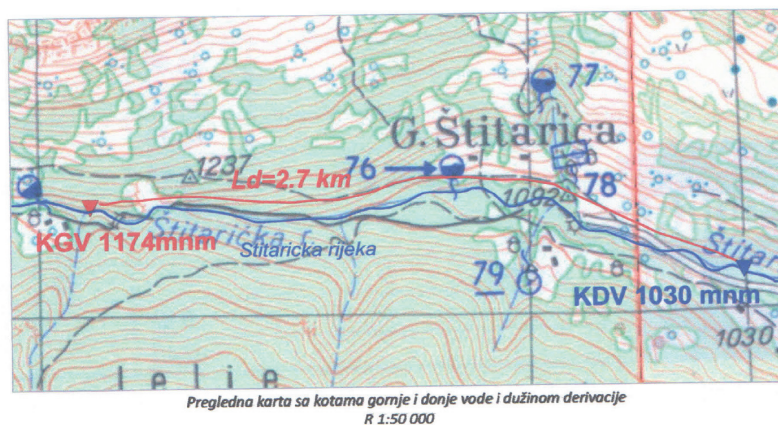
5.2. OSNOVNI TEHNIČKI PODACI O ELEKTRANAMA I MJESTU PRIKLJUČENJA

5.2.1. Lokacija

Male hidroelektrane čije je priključenje predmet ovog Elaborata će koristiti hidropotencijal rijeke Štitarice na teritoriji opštine Mojkovac. U pitanju su derivacione hidroelektrane. Slika 5.8 ilustruje kote gornje i donje vode sa dužinom derivacije predmetnih malih elektrana.



a) mHE Štitarica 1



b) mHE Štitarica 2

Slika 5.8 Planirane lokacije mHE Štitarica 1 i Štitarica 2

5.2.2. Opšte karakteristike elektrana

Opšte elektrotehničke karakteristike elektrana grupisane su prema funkcionalnim cjelinama na: generator, transformacija, VN postrojenje, sopstvena potrošnja i upravljanje, nadzor i zaštita. Jednopolne šeme za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 dati su u prilogu.

5.2.2.1. Generator

Generatori u svim elektranama koje su predmet ovog Elaborata su trofazni sinhroni generatori sa izolovanom neutralnom tačkom. Svaka od elektrana planirana je sa po jednim generatorom (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 Tehnički podaci o generatorima

	mHE Štitarica 1	mHE Štitarica 2
Prividna snaga S_{ng} (kVA)	670	457
Aktivna snaga P_{ng} (kW)	603	411
Naznačeni napon U_{ng} (kV)	0,4	0,4
Naznačena struja I_{ng} (A)	967	659
Polazna struja I_p (A)	-	-
Faktor snage generatora ($\cos \varphi$)	0,9	0,9
Nazivna frekvencija (Hz)	50	50
Nazivna brzina obrtanja (o/min) ⁴		
Brzina obrtanja pri pobjegu (o/min)	$2n_n$	$2n_n$
Vrsta rotora	istaknuti polovi	istaknuti polovi
Tip pobude	<i>brushless</i>	<i>brushless</i>
Tip hlađenja	IC01	IC01
Nivo zaštite	IP23	IP23
Klasa izolacije	F	F
Klasa pregrijavanja	B	B
Regulacija napona	automatska	automatska
Stepen iskorišćenja	0.96	0.96
Dozvoljeno preopterećenje	10% u trajanju od 1h	10% u trajanju od 1h
Temperatura ambijenta (°C)	40	40
Motorni zalet:	Nije predviđen	Nije predviđen

Sinhronizacija kod navedenih mHE je planirana na generatorskom prekidaču.

5.2.2.2. Transformacija

Uzimajući u obzir predložena mjesta priključenja, tj. 10 kV mrežu, to je u svim predmetnim mHE odabrana transformacija na naponski nivo 10 kV. Svaka od elektrana opremljena je sa po jednim transformatorom snage (Tabela 5.4) za potrebe predaje proizvodnje elektrodistributivnoj mreži. Transformatori treba da imaju mogućnost regulacije kako bi se u kombinaciji sa podešavanjem pripadajućih automatskih regulatora napona generatora, postigla optimalna koordinacija napona sa elektrodistributivnom mrežom, a u cilju pouzdanog i kvalitetnog snabdijevanja potrošača električnom energijom i sigurnog plasmana proizvodnje električne energije iz mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 u mrežu. U zavisnosti od dobavljača transformatora, snage i ostali parametri transformatora mogu varirati u odnosu na predložene standardne vrijednosti. Predloženi su uljni transformatori⁵, ali s aspekta uticaja na

⁴ Nije dostavljeno u sklopu podloga za izradu Elaborata.

⁵ Idejno rješenje i/ili idejni projekat predmetnih elektrana, kao ni neka druga forma informacije o postrojenju nijesu dostavljeni kao podloge za ovaj Elaborat.

elektrodistributivnu mrežu, zadovoljavajuće performanse mogu imati i suvi transformatori.

Tabela 5.4 Tehnički podaci o transformatorima

	mHE Štitarica 1	mHE Štitarica 2
Prividna snaga S_{ng} (kVA)	800	630
Naznačeni napon primara U_{n1} (kV)	0,4	0,4
Nivo izolacije primara (kV)	1	1
Naznačeni napon sekundara U_{n2} (kV)	10	10
Nivo izolacije sekundara (kV)	12	12
Frekvencija (Hz)	50	50
Regulacija napona (SN)	$U_n \pm 2 \times 2.5\% U_n$	$U_n \pm 2 \times 2.5\% U_n$
Napon kratkog spoja (%)	6	3,9
Gubici u bakru (%)	1,3	1,3
Struja praznog hoda (%)	1,1	1,3
Gubici u gvožđu (kW)	1,7	1,3
Hlađenje	ONAN	ONAN
Sprega	YNd5	YNd5
Temperatura ambijenta (°C)	40	40
Instalacija	Spoljašnja	Spoljašnja

Transformatori rade sa izolovanom tačkom na 10 kV strani. Potrebe sopstvene potrošnje zadovoljavaju se preuzimanjem energije sa sabirnica generatora.

5.2.2.3. 10 kV postrojenje

Kao što je ranije naglašeno, jednopolne šeme postrojenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 sa osnovnim karakteristikama elemenata date su u prilogu. Broj ćelija 10 kV postrojenja za navedene elektrane prvenstveno zavisi od načina priključenja i predloženog mjesta mjerenja proizvodnje električne energije koja se predaje mreži. Uzimajući to u obzir odabran je sljedeći broj i vrsta ćelija za pomenute elektrane:

- mHE Štitarica 1 – 4 35 kV ćelije
 - 1 trafo ćelija
 - 2 vodne ćelije
 - 1 mjerna ćelija
- mHE Štitarica 2 – 4 35 kV ćelije
 - 1 trafo ćelija
 - 2 vodne ćelije
 - 1 mjerna ćelija.

Postrojenje 10 kV kod svih elektrana je metalom oklopljeno, vazduhom izolovano postrojenje. Osnovne tehničke karakteristike postrojenja su:

- Naznačeni napon: 10 kV
- Najviši pogonski napon: 12 kV

- | | |
|---|---------|
| • Naznačena frekvencija: | 50 Hz |
| • Podnosivi napon pogonske frekvencije 50Hz, 1min.: | 28 kV |
| • Podnosivi udarni napon 1.2/50μs: | 75 kV |
| • Naznačena podnosiva struja kratkog spoja: | 20 kA |
| • Naznačena trajna struja sabirnica: | 1250 A. |

Kada je u pitanju rasklopna oprema 10 kV postrojenja predmetnih mHE, svaka vodna i trafo ćelija biće opremljena vakuumskim ili SF6 prekidačima sa motornim pogonom i tropozicionim rastavljačima na ručni pogon. U postrojenju su planirane i uzdužne i poprečne blokade koje će onemogućiti pogrešne manipulacije. Ćelije su za potrebe funkcija zaštite, mjerenja i upravljanja opremljene i sa mjernim transformatorima i kapacitivnim indikatorima napona (jednopolna šema iz priloga).

5.2.2.4. Sopstvena potrošnja

Za potrebe napajanja turbinske, generatorske i opreme razvodnih postrojenja, kao i za ostale potrebe za električnom energijom (rasvjeta, video nadzor i za potrebe održavanja) planiran je sistem napajanja sopstvene potrošnje. Sopstvena potrošnja dijeli se na AC i DC sopstvenu potrošnju (jednopolne šeme, prilog). Naizmjenični napon obezbjeđuje se sa sabirnica generatora. DC napon za potrebe DC sopstvene potrošnje se u normalnom pogonu dobija putem ispravljača. U slučaju nestanka napona na sabirnicama generatora (ispad generatora i mreže), DC napajanje obezbjeđuje se putem instaliranog baterijskog sistema.

DC sopstvenu potrošnju čine svi uređaji koji zahtijevaju DC napajanje (uključujući potrebe za napajanjem upravljačkih i signalnih strujnih krugova). U okviru njih su i uređaji koji ne smiju ostati bez napajanja bez obzira na havarije u mreži ili elektrani (rasklopna oprema i zaštitni uređaji). Dakle, DC sopstvena potrošnja predstavlja istovremeno i sigurnosno napajanje. Baterije se dimenzionišu za autonomiju od 5 h rada (70 Ah).

5.2.2.5. Upravljanje

Predviđena su dva nivoa upravljanja lokalno i daljinski. Lokalno upravljanje vrši se sa glavnog upravljačkog ormana elektrane, tj. ormana generatora i ormana ćelija 10 kV postrojenja. Daljinsko upravljanje vrši se putem SCADA aplikacije koja bi bila instalirana u udaljenom centru upravljanja.

Glavni upravljački uređaji su PLC uređaji za upravljanje turbinskom opremom (u prvom redu turbinskim regulatorom), uređaj za regulaciju pobude generatora, uređaj za sinhronizaciju i mikroprocesorski upravljačko zaštitni uređaji (instalirani u ormanima sa rasklopnom opremom).

Upravljačke akcije koje su predviđene:

- Komutacija rasklopne opreme (planska manuelna ili automatska usljed djelovanja zaštita),

- Startovanje rada elektrane,
- Automatska sinhronizacija,
- Isključivanje elektrane sa mreže,
- Brzo (prinudno) isključenje elektrane sa mreže,
- Regulacija nivoa vode,
- Regulacija protoka (upravljanje mlaznicama),
- Upravljanje zatvaračima,
- SCADA sistem – sistem za upravljanje mjernom i kontrolnom opremom u elektrani baziran na telemetriji koju preuzima od PLC uređaja, uz mogućnost snimanja režimskih parametara radi sprovođenja analiza u cilju tehnički i ekonomski optimalnog rada elektrane.

Za potrebe naponsko-reaktivne regulacije svakog generatora biće ugrađen automatski regulator napona.

S druge strane, za potrebe regulacije aktivne snage u elektranama biće ugrađen odgovarajući turbinski regulator. Njegov osnovni zadatak je automatska primarna regulacija frekvencije, ali i naknadna ručna ili automatska sekundarna regulacija kako bi se eliminisala statička greška u primarnoj regulaciji. Potrebno je naglasiti da, prema Tehničkoj preporuci za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori, primarni turbinski regulator mora biti blokiran (P-f regulacija) tokom rada male elektrane paralelno sa elektrodistributivnom mrežom.

Postoji nekoliko standardnih režima rada elektrane koji se mogu izdvojiti s aspekta upravljačkih akcija koje se preduzimaju:

- Automatski start – Prije nego pokrene procedure za startovanje, upravljački sistem provjerava da li su se stekli uslovi za bezbjedno priključenje na mrežu (prisustvo mrežnog napona, odsustvo kvarova i upozorenja na svim elementima opreme elektrane kao i mreže); U slučaju sticanja navedenih uslova dolazi do postepenog puštanja vode u turbinu uz kontrolu pritiska. Turbina se ubrzava do željene brzine tj. sinhronne brzine generatora kada, uz pomoć sistema za sinhronizaciju, dolazi do uklapanja elektrane u paralelan rad sa mrežom.
- Automatski stop – Postoje tri različite vrste ovakvog zaustavljanja rada elektrane:
 - Sporo zaustavljanje – usljed mehaničkog kvara, povišene temperature ili aktiviranja komande stop na upravljačkom ormanu generatora;
 - Brzo zaustavljanje – električni kvar u mreži ili elektrani, ali i usljed aktiviranja komande za brzo zaustavljanje;
 - Normalno zaustavljanje – usljed smanjenja protoka ispod minimalne isplative granice.

- Ručno upravljanje elektranom – elektrana je prvenstveno planirana da radi u automatskom modu rada, ali postoji i mogućnost ručnog upravljanja.

5.2.2.6. Mjerenje

Mjerni sistem se prema namjeni može podijeliti u dvije cjeline. Prva, koja se tiče nadzora svih parametara bitnih za definisanje režima rada i performansi elektrane, i druga koja se prije svega odnosi na obračun električne energije odnosno njeno mjerenje za potrebe kupoprodaje. U skladu sa potrebama, dio ili sve informacije nadzornog sistema mogu biti proslijeđene Operatoru distributivnog sistema (ODS).

Za ODS su posebno od interesa oni parametri koji su od značaja za procjenu performansi rada elektrane, odnosno njenog uticaja na mrežu. S tim u vezi, u elektrani se ugrađuju mjerni uređaji koji prate:

- Statuse rasklopne opreme,
- Statuse regulacione opreme,
- Opterećenja elektroopreme (generatori, transformatori, sabirnice, vodna polja, sopstvena potrošnja),
- Napone sabirnica i
- Faktor snage.

Prdviđena je i mogućnost alarmiranja u slučaju prekoračenja bilo kog parametra od interesa ili reagovanja zaštitnih uređaja. Monitoring navedenih parametara vrši se putem LCD ekrana na ormanima generatora, ćelija sa rasklopnom opremom i ormara sopstvene potrošnje. Pomenuti LCD ekrani su najčešće dio mikroprocesorskih upravljačko zaštitnih uređaja koji imaju mogućnost monitoringa parametara od interesa za njihov rad (napon, struja, aktivna i reaktivna snaga i statusi rasklopne opreme i alarmi).

Za potrebe monitoringa elektroenergetskih parametara ugrađuju se strujni i naponski mjerni transformatori (jednopolne šeme iz priloga) čija klasa tačnosti je uslovljena namjenom. Naime, za pogonska mjerenja klasa tačnosti 1 ili bolja je definisana standardima i preporukama (IEC 60044), dok je za obračunska mjerenja definisana klasa tačnosti od 0,5 ili bolja. Snaga mjernih jezgara transformatora zavisi od opterećenja uređaja koji se na njih priključuju. Potrebno je naglasiti da je za ispunjenje definisane klase tačnosti neophodno da opterećenje sekundara strujnih mjernih transformatora bude u opsegu od 25 % - 100 % nazivne snage mjernog jezgra strujnog transformatora (IEC 60044-1).

Mjerna grupa za obračun proizvedene (predate) energije definiše se u skladu sa Pravilima mjerenja električne energije u distributivnom sistemu („Sl. List CG“ 20/12). S tim u vezi, obračun proizvedene (predate) energije će se obavljati preko mjerne grupe koja se sastoji od sljedećeg:

- Odgovarajući strujni i naponski transformatori ugrađeni u mjernoj ćeliji 10 kV postrojenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2:

- mHE Štitarica 1:
 - Strujni transformator sa mjernim jezgrom klase tačnosti 0,5, $F_s = 5$ i prenosnim odnosom 40/5 A i snagom 5 VA,
 - Naponski mjerni transformatori sa mjernim jezgrom klase tačnosti 0,5, prenosnog odnosa $\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}}$ i snage 20 VA;
- mHE Štitarica 2:
 - Strujni transformator sa mjernim jezgrom klase tačnosti 0,5, $F_s = 5$ i prenosnim odnosom 25/5 A i snagom 5 VA,
 - Naponski mjerni transformatori sa mjernim jezgrom klase tačnosti 0,5, prenosnog odnosa $\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}}$ i snage 20 VA;
- Višefunkcionalno elektronsko brojilo električne energije sa mjerenjem snage, energije (aktivne i reaktivne) u dva smjera sa integrisanim uklopnim satom;
- Registrator maksimalne snage i
- Brojilo radnih sati.

Osnovne tehničke karakteristike višefunkcionalnog elektronskog brojila su:

- Merenje aktivne i reaktivne energije u dva smjera, maksimalne aktivne srednje 15-minutne snage u dva smjera (A+, A -, R+, R -, P+, P-, Q+, Q-)
 - Brojila mjere, registruju i prikazuju, prema zahtjevima određenim tarifnim sistemom, maksimalnu aktivnu srednju snagu u okvirima klase tačnosti u oba smjera i u obje tarife,
 - Brojila mjere, registruju i prikazuju aktivnu energiju u okvirima klase tačnosti u oba smjera i u obje tarife,
 - Brojila mere, registruju i prikazuju reaktivnu energiju u sva četiri kvadranta, u okvirima klase tačnosti u oba smjera i u obje tarife;
- Mjerene i registrovane veličine prikazuju se ciklično, na displeju, u formi OBIS kodova, sa adekvatnim brojem cijelih i decimalnih mjesta;
- Ostala mjerenja i njihovo čuvanje:
 - Brojila mjere i prikazuju struje po svakoj fazi, bez obaveze da to bude u klasi tačnosti,
 - Brojilo ima prikaz prisustva faznog napona na priključenim provodnicima,
 - Brojilo omogućava registrovanje profila opterećenja u intervalima od 15 min. za period do 60 dana za aktivnu i za reaktivnu 15-minutnu srednju snagu,

- Aktivna energija, reaktivna energija, maksimalna aktivna srednja 15-minutna snaga, u oba smjera, čuvaju se u periodu ne kraćem od 12 obračunskih perioda, po pravilu 12 mjeseci,
- Kada započne novi ciklus snimanja, mora biti obezbijeđen prostor za novi memorijski blok tako da se briše prvi-najstariji u nizu registara;
- Upravljanje tarifama:
 - Broj tarifa je podesiv u skladu sa važećim tarifnim sistemom,
 - Tarifni registri obračunskih veličina su posebni, bez međusobnog uticaja,
 - Upravljanje tarifnim registrima realizuje se pomoću uređaja integrisanog u brojilo,
 - Brojilo ima kontinuirani prikaz trenutno aktivnog tarifnog registra, bez obzira koji je način njegovog prikaza;
- Brojilo mora da ima minimalno četiri impulsna izlaza od koja su dva optička (preko LED diode), a ostali električni;
- Komunikacione karakteristike:
 - Lokalna komunikacija vrši se preko optičkog (IR) i električnog (RS485) interfejsa. Protokol za lokalnu komunikaciju definiše Operator Distributivnog Sistema;
 - Eksterna komunikacija je opcionalna i izvodi se pomoću odgovarajućih komunikacionih modula interno ili eksterno. Protokol za eksternu komunikaciju definiše Operator Distributivnog Sistema;
 - Brojilo mora biti pripremljeno za daljinsko očitavanje. Način komunikacije definiše Operator Distributivnog Sistema;
- Brojila imaju funkciju evidentiranja i pamćenja narušavanja integriteta merenja (otvaranje poklopca priključnice, promjene u napajanju, izmjenu parametara i sl.);
- Zaptivenost kućišta izvodi se prema IEC 529, IP52;
- Naznačeni napon kod indirektnog merenja: 3x100/58 V;
- Naznačena maksimalna struja za indirektno merenje: 5(6) A⁶;
- Klasa tačnosti za mjerenje aktivne energije 0,5
- Klasa tačnosti za mjerenje reaktivne energije 3;
- Klasa tačnosti za mjerenje aktivne snage 0,5.

⁶ Tehnička preporuka za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori (2012) i Pravila mjerenja električne energije u distributivnom sistemu („Sl. List CG“ br. 20/12) ističu da struja sekundara strujnih mjernih transformatora za obračunsko mjerenje iznosi 5 A.

Uzimajući u obzir mjesta priključenja predložena u okviru poglavlja 5.2.3, lokacije mjernih mjesta za obračunska mjerenja su:

- mHE Štitarica 1 – u okviru mjerne 10 kV ćelije i
- mHE Štitarica 2 – u okviru mjerne 10 kV ćelije.

5.2.2.7. Zaštita

Pri projektovanju zaštitnog sistema elektrane, kao i pripadajućeg priključnog voda, uzeto je u obzir da elektrana ne treba da, ni u jednom režimu rada, utiče nepovoljno na ED mrežu. Prije svega, potrebno je obezbijediti da elektrana radi u paralelnom pogonu sa ED mrežom uz onemogućen ostrvski rad. To se postiže ugradnjom zaštite koja osigurava uslove paralelnog rada. Takođe, potrebno je osigurati ED mrežu od mogućih kvarova u elektrani, kao i samu elektranu od štetnih uticaja u mreži. To se postiže ugradnjom odgovarajućih zaštita turbine, generatora, transformatora, voda i zaštite pomoćnih strujnih krugova. Sve zaštite projektovane su u skladu sa IEC standardima, tehničkim preporukama i pozitivnom praksom.

U slučaju poremećaja u ED mreži ili elektrani, predviđeno je da zaštita reaguje tako da automatski isključi elektranu sa mreže i na taj način prekine njen paralelni rad sa mrežom. Nakon toga vrši se i havarijsko zaustavljanje generatora uz njegovo brzo razbuđivanje. Uzimajući u obzir predloženi način priključenja, to znači da se djelovanjem zaštite isključuje prekidač u 10 kV transformatorskom polju SN postrojenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2.

Za potrebe realizovanja gore navedenih principa koriste se multifunkcionalni, programabilni mikroprocesorski zaštitno-upravljački uređaji koji se montiraju u niskonaponskim odjeljcima ormana sa rasklopnom opremom. Podešavanje zaštita vrši se lokalno na samim uređajima posredstvom servisnog interfejsa kojim su opremljeni ili putem daljinske komunikacije ostvarene optičkim kablom. Pregled svih planiranih zaštita (generatora, transformatora, sistema DC napajanja i priključnog voda) dat je u prilogu (jednopolne šeme elektrana). Zaštitne funkcije mikroprocesorskih zaštitno-upravljačkih uređaja koje su od interesa za ODS u pogledu ograničavanja nepovoljnog uticaja na mrežu u režimu kvara, slijede.

Zaštita turbine i generatora:

- | | |
|--|-------|
| • Nadnaponska zaštita | 59 |
| • Podnaponska zaštita | 27 |
| • Frekventna zaštita | 810/U |
| • Sinhronoskop | 25 |
| • Sistemska zaštita: | |
| ○ Nadfrekventna zaštita (najmanjeg opsega podešavanja [49 Hz – 52 Hz] i vremenskog zatezanja 0,2 s – 3 s). Frekventni relej treba da ima i funkciju praćenja brzine promene frekvencije u intervalu od 10 mHz, | |

- Podfrekventna zaštita (najmanjeg opsega podešavanja [51 Hz – 48 Hz] i vremenskog zatezanja 0,2 s – 3 s); Frekventni relej treba da ima i funkciju praćenja brzine promene frekvencije u intervalu od 10 mHz,
- Prenaponska zaštita generatora (najmanjeg opsega podešavanja [0,9U_n – 1,2U_n] i vremenskog zatezanja 0,2 s – 3 s),
- Podnaponska zaštita generatora (najmanjeg opsega podešavanja [1,0U_n – 0,7U_n] i vremenskog zatezanja 0,2 s – 3 s).

Preporučeno podešavanje dvostepene sistemske zaštite dato je u tabeli koja slijedi.

Generatorske zaštite deluju na isključenje generatorskih prekidača, razbuđivanje generatora i njihovo zaustavljanje. Turbinske zaštite će biti izvedene u okviru sistema turbinske regulacije.

Zaštita priključnog voda (vodova)

• Prekostrujna zaštita sa vremenski nezavisnom kar.	50
• Prekostrujna zaštita sa inverznom kar. reagovanja	51
• Usmjerena zemljospojna zaštita	67N
• Nadnaponska zaštita	59
• Podnaponska zaštita	27
• Zaštita od nesimetričnog opterećenja	46
• Termička zaštita od preopterećenja	49.

Kada je u pitanju vremensko stepenovanje navedenih zaštita, ono će biti usklađeno sa postojećom zaštitom u mreži i kretaće se u opsegu 0.2 - 3 sekunde. Sva mjerenja za potrebe funkcionisanja zaštitnih uređaja uzimaju se sa zaštitnih jezgara odgovarajućih mjernih strujnih i naponskih transformatora (jednopolne šeme iz priloga).

Planirani mikroprocesorski zaštitni uređaji moraju i da:

- budu neosetljivi na prelazne režime;
- imaju visok nivo samodijagnostike, ali kvar u zaštitnom uređaju ne smije da izazove prorađu zaštite;
- imaju ugrađenu funkciju registrovanja i pamćenja najmanje tri događaja (kvara);
- 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).

Tabela 5.5 Tipično podešavanje dvostepene sistemske zaštite

	Vremensko zatezanje	Proradna vrijednost
Nadnaponska zaštita I stepen	1,5 s	$U_{pr} \geq 1,11U_n$
Nadnaponska zaštita II stepen	0,2 s	$U_{pr} > [1,11U_n - 1,15U_n]$
Podnaponska zaštita I stepen	1,5 s	$U_{pr} \leq 0,85U_n$
Podnaponska zaštita II stepen	0,2 s	$U_{pr} < [0,7U_n - 0,85U_n]$
Nadfrekventna zaštita	0,2 s	$f_{pr} \geq 51 \text{ Hz}$
Podfrekventna zaštita	0,2 s	$f_{pr} \leq 48 \text{ Hz}$

U prostorijama u kojima se nalaze uređaji zaštite, temperatura ne smije da bude manja od -5°C i veća od $+55^{\circ}\text{C}$ mora da se spriječi kondenzacija vlage (IEC 57).

Važno je istaći da je Investitor u obavezi da, nakon izgradnje, dostavi elaborat o podešenju relejne zaštite koji mora uskladiti sa ODS.

5.2.2.8. Planirana proizvodnja električne energije

Očekivana godišnja proizvodnja električne energije za elektrane je 1,673 GWh i 1,144 GWh za mHE Štitarica 1 i mHE Štitarica 2, respektivno. Planirana proizvodnja električne energije iz pomenutih elektrana na mjesečnom nivou nije bila na raspolaganju u okviru dostavljenih podloga.

Za očekivati je da predmetne elektrane veći dio svoje proizvodnje ostvaruju u dijelu godine od marta do juna, dok bi tokom ljeta radile sa niskim kapacitetom. Ovo je od posebnog interesa zbog specifične sezone karakteristike potrošačkog konzuma kojem gravitiraju predmetne elektrane. Koincidiranje rada elektrana sa maksimalnim kapacitetom i niskog opterećenja mreže može dovesti do nedozvoljenog povećanja napona u mreži što je potrebno preduprijediti koordinacijom napona utičući na regulacione kapacitete samih elektrana i mreže.

5.2.3. Predložena mjesta priključenja

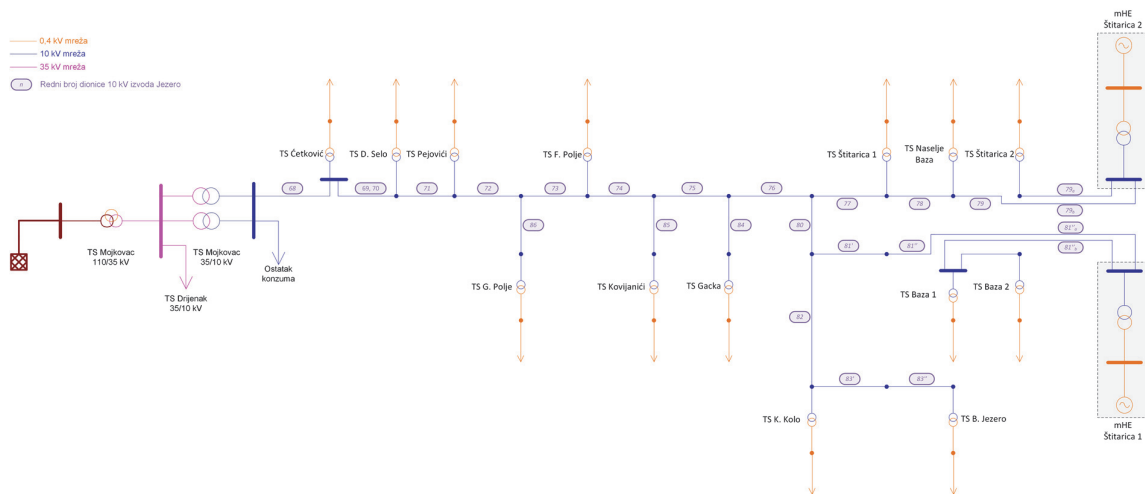
Uzimajući u obzir geografsku lokaciju mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 u odnosu na raspoloživu infrastrukturu elektrodistributivne mreže, kao i planiranu instalisanu snagu, kao ekonomski najpogodnija opcija za mjesto priključenja ističe se priključenje na 10 kV izvod Jezero putem „ulaz-izlaz“ priključka. Naime, mHE Štitarica 1 nalazi se u blizini otcjepa (udaljenost od približno 400 m) pomenutog 10 kV izvoda koji napaja TS 10/0,4 kV Baza 1 i 2, a za mHE Štitarica 2 najbliža tačka elektrodistributivne mreže je TS 10/0,4 kV Štitarica 2 (na rastojanju od približno 900 m).

Najbliža 35 kV tačka elektrodistributivne mreže je TS 35/10 kV Mojkovac koja se nalazi u centru Mojkovca, odnosno na početku 10 kV izvoda Jezero, a njihovo rastojanje prateći trasu pomenutog izvoda iznosi približno 10 km. Izgradnja mrežne

infrastrukture za potrebe realizacije 35 kV priključka bi, uzimajući u obzir planiranu godišnju proizvodnju predmetnih elektrana, bila finansijski neizvodljiva. Priključenje na niski napon nije prihvatljivo iz tehničkih razloga, pa se kao jedino rješenje nameće priključenje elektrana na postojeću 10 kV mrežu.

S obzirom na to da se radi o priključenju tipa „ulaz-izlaz“ na otcjepe 10 kV izvoda Jezero, to je neophodno izvršiti određene izmjene na postojećoj trasi izvoda, kao i njeno produžavanje. Naime, za predmetne elektrane priključak se realizuje na sljedeći način:

- mHE Štitarica 1 – priključuje se (Slika 5.9) prema principu „ulaz-izlaz“ na dionicu označenu sa 81” (Slika 5.6) tako što se postojeći kabal XHE 49 A $3 \times 150 \text{ mm}^2$ u blizini TS Baza 1 prekine i produži do mašinske zgrade kablom istog tipa i presjeka i priključi na 2 vodne ćelije 10 kV postrojenja mHE Štitarica. Ukupna dužina novog kabla (2 izvoda) bila bi približno 800 m,
- mHE Štitarica 2 - priključuje se (Slika 5.9) prema principu „ulaz-izlaz“ na dionicu označenu sa 79 (Slika 5.6) tako što se prekine vazdušni vod Al-Fe $3 \times 35 \text{ mm}^2$ neposredno prije TS Štitarica 2 i produži se postojeća trasa vazdušnog voda 10 kV sa dvosistemskim stubovima sve do lokacije mašinske zgrade mHE Štitarica 2 gdje bi se oba sistema vodova priključila na vodne ćelije 10 kV postrojenja elektrane. Dakle, jedna vodna ćelija bi služila za prihvatanje vazdušnog voda od TS 10/0,4 kV Naselje Baza, a druga za napajanje TS 10/0,4 kV Štitarica 2. Dakle, priključak bi bio realizovan vazdušnim vodom istog presjeka kao što je i postojeća mreža, tj. Al-Fe $3 \times 35 \text{ mm}^2$ uz dogradnju postojeće trase voda. Ukupna dužina nove trase je približno 900 m.



Slika 5.9 Način priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2

Uzimajući u obzir prethodno navedeno, kao i stanje elektrodistributivne mreže na teritoriji kojoj gravitiraju mHE Štitarica 1 i Štitarica 2, kao i propisane tehničke kriterijume uticaja priključenja elektrana na mrežu i ekonomske kriterijume u pogledu izvodljivosti priključka, došlo se do zaključka da je optimalan način priključenja za

predmetne elektrane, priključenje na 10 kV mrežu. Analize po kriterijumima propisanim Tehničkim preporukama date su u sljedećem poglavlju.

Uzimajući u obzir predloženi način priključenja predmetnih elektrana, obračunsko mjerenje biće smješteno u mjernim ćelijama 10 kV postrojenja predmetnih elektrana. Pomenute mjerne ćelije će sadržati mjernu garnituru sa karakteristikama opisanim u okviru poglavlja 5.2.2.6.

Ovdje je potrebno naglasiti da je kablovski tip priključka elektrane mHE Štitarica 2 odabran usljed isključivog prisustva kablovskih dionica 10 kV izvoda Jezero u blizini lokacije elektrane. Kablovski priključak na 10 kV naponu će usloviti povećanje struje zemljospoja u 10 kV mreži koja radi sa izolovanom neutralnom tačkom. Uzimajući u obzir postojeći nivo struje zemljospoja koji je nizak usljed prisustva dominantno vazdušne 10 kV mreže, struja zemljospoja nakon predloženog načina priključenja će se povećati za približno 2 A u najnepovoljnijem slučaju. Ukupna struja zemljospoja izvoda Jezero biće približno 10 A nakon priključenja predmetnih elektrana (detaljan proračun je dat u poglavlju 6.10). S obzirom da podlogama nijesu obuhvaćeni ostali 10 kV izvodi napojeni iz TS Mojkovac 35/10 kV, to nije bilo moguće proračunati ukupnu struju zemljospoja na nivou cjelokupne 10 kV mreže.

6. PROVJERA TEHNIČKIH ZAHTJEVA ZA PRIKLJUČENJE MALE ELEKTRANE NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

6.1. KRITERIJUM ODSTUPANJA NAPONA

Dozvoljeno odstupanje (promjena) napona može se procijeniti pomoću relacije:

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

gdje je:

S_{ngm} – naznačena prividna snaga generatorske jedinice koja će biti priključena na distributivnu mrežu,

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

Za naponske nivoe 10, 20 i 35 kV i priključak sinhronih generatora $k_{i,max}=1$.

Najveće dozvoljeno odstupanje napona na mestu priključenja na elektrodistributivnu mrežu srednjeg napona, u odnosu na vrednosti nazivnog napona, u prelaznom režimu, pri uključenju ili isključenju generatora iznosi 2 % (Tehnička preporuka za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori). U cilju provjere ovog kriterijuma, posmatraće se naponske prilike u postojećoj mreži 10 kV napajanoj iz TS 35/10 kV Mojkovac prije i poslije priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 za režim minimalnog i maksimalnog opterećenja.

Slika 6.1 predstavlja snage trolnog kratkog spoja u 10 kV mreži prije i poslije priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2. Od interesa za provjeru gornje relacije (Tabela 6.1) su snage kratkog spoja na mjestima priključenja novih elektrana.

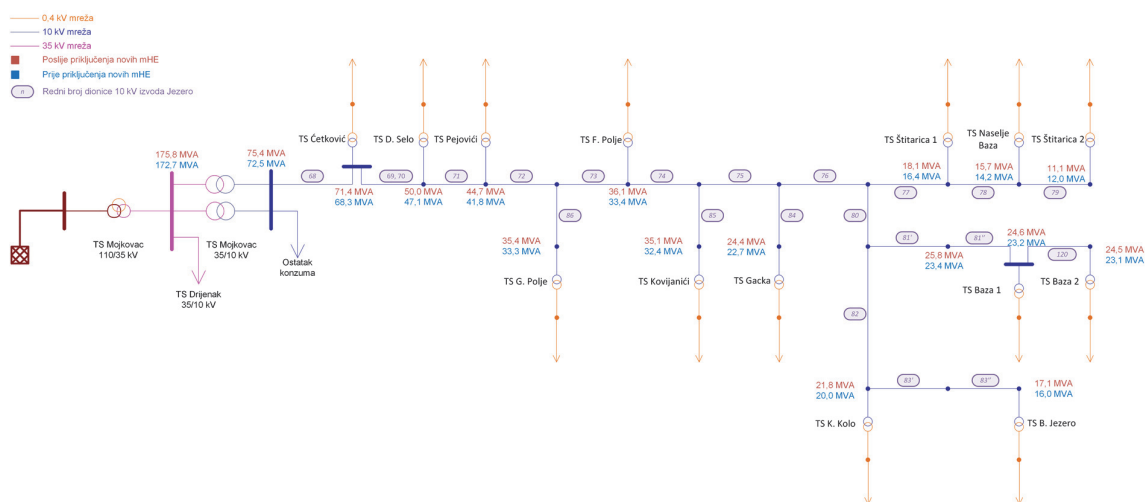
Tabela 6.1 Rezultati primjene relacije za proračun dozvoljenog odstupanja napona u prelaznim režimima za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2

	S_{ng} [MVA]	S_{ks} [MVA]	Δu_m [%]	$\Delta u_{m(dozv.)}$ [%]
mHE Štitarica 1	0,67	23,2	2,9	2
mHE Štitarica 2	0,45	12	3,8	2

Iz prethodne tabele može se uočiti da se nakon primjene relacije za proračun maksimalnog odstupanja napona u prelaznim režimima dolazi do zaključka da elektrane izazivaju nedozvoljeno povećanje napona u prelaznim režimima, tj. proračunate promjene napona su iznad propisanih 2 %. Ovdje je potrebno naglasiti da se relacijom obje elektrane tretiraju nezavisno što je nepovoljniji slučaj. Kada su

obje elektrane na mreži, naponi su stabilniji pa su i promjene napona usljed prelaznih režima rada manje izražene od onog što se može zaključiti iz rezultata primjene relacije iz Tehničkih preporuka.

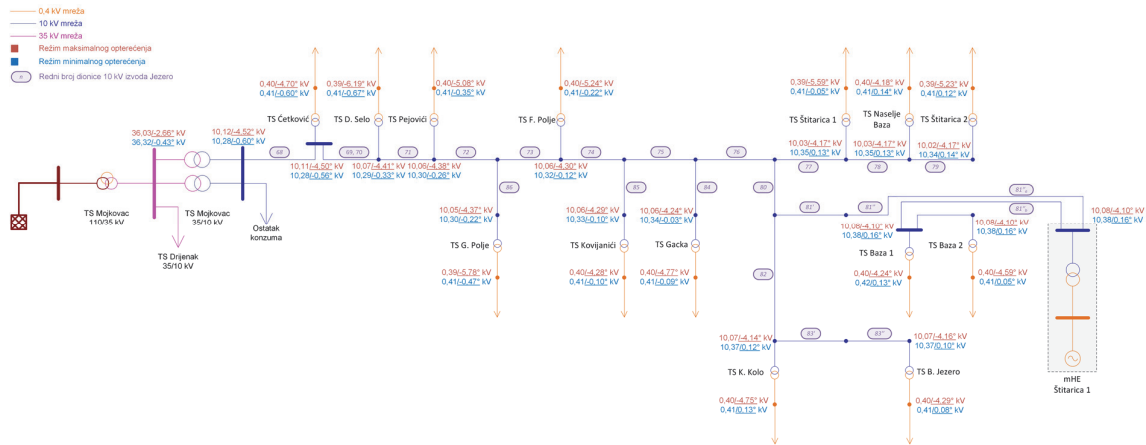
Posmatrajući proračunatu snagu kratkog spoja na mjestu priključenja (23,2 MVA i 12 MVA), kao i relaciju za dozvoljeno odstupanje napona u prelaznim režimima, može se doći do vrijednosti graničnih snaga pri kojoj će odstupanje napona biti na granici dozvoljenih vrijednosti, tj. 2 %. Pomenute snage iznose 464 kVA i 240 kVA za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2, respektivno. Potrebno je naglasiti da navedena relacija daje grublja ograničenja nego je to slučaj sa proračunima naponskih prilika putem studijskih analiza mreže, pa će radi veće pouzdanosti proračuna to ovdje biti i urađeno.



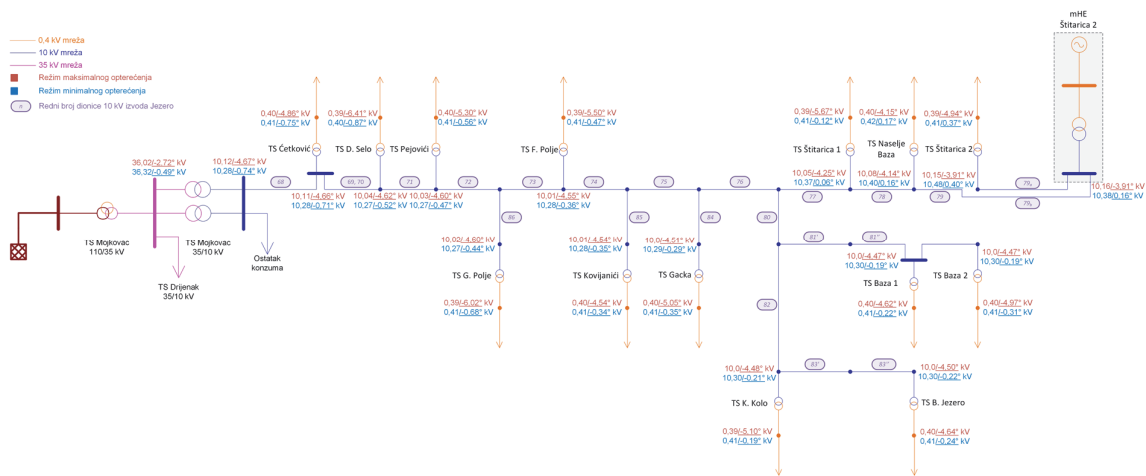
Slika 6.1 Snage kratkog spoja (3KS) prije i poslije priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2

Slika 6.2 predstavlja rezultate proračuna naponskih prilika 10 kV izvoda Jezero napajanog iz TS 35/10 kV Mojkovac nakon priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 za slučaj maksimalnog i minimalnog opterećenja konzuma. Potrebno je naglasiti da je angažovanje postojećih elektrana pretpostavljeno sa nazivnom aktivnom snagom i jediničnim faktorom snage. Priključenje predmetnih elektrana posmatrano je odvojeno (bez uticaja druge elektrane) kako bi se dobili rezultati za nepovoljniji slučaj u pogledu odstupanja napona tokom prelaznih režima rada. Analiziran je i zajednički uticaj obje elektrane na naponske prilike u mreži (Slika 6.4) i može se zaključiti da će nakon priključenja elektrana, naponske prilike u mreži biti u okviru propisanih granica na svim naponskim nivoima, a biće povoljnije nego je to slučaj prije priključenja.

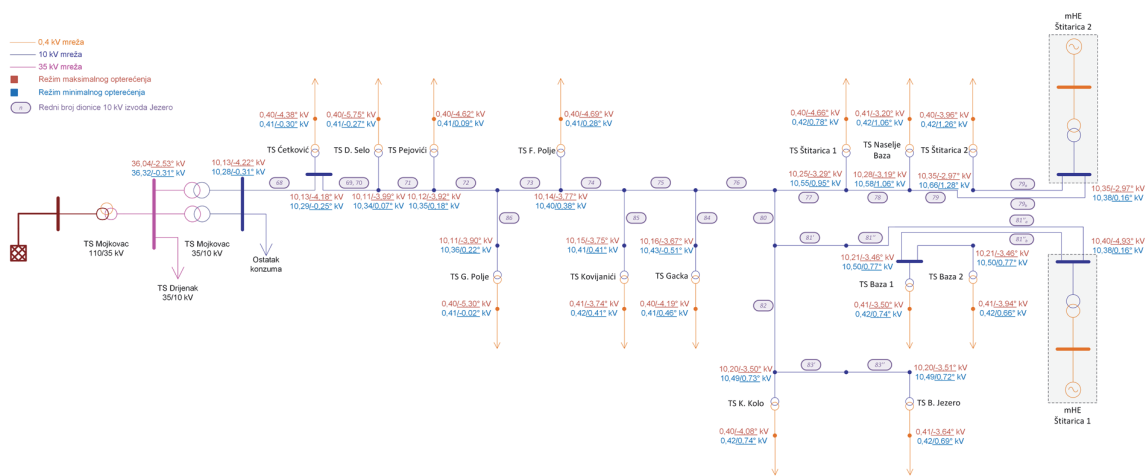
Detaljni rezultati odstupanja napona u karakterističnim čvorovima 10 kV izvoda Jezero (Slika 6.2, Slika 6.3) za slučaj maksimalne proizvodnje elektrana (angažovana instalisana aktivna snaga) i sve karakteristične faktore snage ($\cos\varphi=1$ i granične faktore snage 0,9 ind i 0,9 cap) u karakterističnim režimima opterećenja mreže dati su u tabelama koje slijede (Tabela 6.2, Tabela 6.4).



Slika 6.2 Naponske prilike u mreži nakon priključenja mHE Štitarica 1 za minimalno i maksimalno opterećenje konzuma



Slika 6.3 Naponske prilike u mreži nakon priključenja mHE Štitarica 2 za minimalno i maksimalno opterećenje konzuma



Slika 6.4 Naponske prilike u mreži nakon priključenja novih elektrana za minimalno i maksimalno opterećenje konzuma

Generalni zaključak koji se može donijeti za uticaj priključenja obje elektrane na naponske prilike je da će nezavisno od režima rada mreže i elektrana doći do povećanja napona u čvorovima posmatranog 10 kV izvoda (uz izuzetak jednog čvora na početku izvoda kod koga je zabilježen blagi pad napona u odnosu na situaciju prije priključenja, a pri kapacitivnom režimu rada elektrana).

Kada je u pitanju priključenje mHE Štitarica 1, iz predstavljenih rezultata (Slika 6.2, Tabela 6.2) da je odstupanje napona pri jediničnom faktoru snage i minimalnom opterećenju konzuma neznatno iznad dozvoljene granice (2,03). U slučaju iste angažovane aktivne snage ali u kapacitivnom režimu rada elektrane (granični faktor snage 0,9) nema nedozvoljenog odstupanja napona, tj. odstupanja napona u svim čvorovima su ispod propisanih 2 %. Za rad sa graničnim induktivnim faktorom snage, dozvoljeno odstupanje napona prekoračeno je u više čvorova, ali kako je moguće upravljati faktorom snage sa kojim radi generator, to bi se mogao blokirati rad u induktivnom režimu rada ukoliko je aktivna snaga maksimalna. Situacija je slična i za režim maksimalnog opterećenja iako je nešto veći broj čvorova sa većim odstupanjem napona od dozvoljenog pri analiziranim faktorima snage generatora.

Tabela 6.2 Odstupanje napona u odnosu na naponske prilike 10 kV izvoda Jezero prije priključenja mHE Štitarica 1 (za karakteristične režime rada mreže i elektrane)

Čvorovi 10 kV mreže	Minimalno opterećenje konzuma [%]			Maksimalno opterećenje konzuma [%]		
	Faktor snage					
	1	0,9 ind	0,9 cap	1	0,9 ind	0,9 cap
TS Četković	0,15	0,56	-0,28	0,22	0,64	-0,23
TS Naselje Baza	1,86	2,63	1,02	2,09	2,90	1,18
TS Štitarica 2	1,86	2,63	1,02	2,08	2,90	1,18
TS G. Polje	0,90	1,47	0,29	1,04	1,64	0,38
TS Kovijanići	1,27	1,90	0,57	1,42	2,11	0,68
TS Gacka	1,45	2,13	0,72	1,64	2,37	0,84
TS Baza 1	2,03	2,84	1,16	2,23	3,10	1,29
TS Baza 2	2,03	2,84	1,15	2,23	3,09	1,29
TS K. Kolo	1,96	2,74	1,11	2,17	3,01	1,26
TS B. Jezero	1,97	2,75	1,11	2,17	3,01	1,26
TS D. Selo	0,67	1,17	0,11	0,77	1,31	0,18
TS Pejovići	0,83	1,39	0,23	0,96	1,55	0,33
TS F. Polje	1,23	1,85	0,54	1,37	2,05	0,65
TS Štitarica 1	1,86	2,63	1,02	2,08	2,90	1,18

Važno je istaći da pri maksimalnom opterećenju mreže i graničnom kapacitivnom faktoru snage generatora mHE Štitarica 1 ne dolazi do nedozvoljenog odstupanja napona u prelaznim režimima rada elektrane.

Maksimalna aktivna snaga koju elektrana može angažovati pri jediničnom faktoru snage, a da ne dođe do prekoračenja dozvoljenog odstupanja u čvorovima posmatranog 10 kV izvoda pri prelaznim režimima rada je nešto niža od instalisane

aktivne snage (603 kW) i iznosi 535 kW. Međutim, kao što je ranije dokazano, kapacitivni režim rada generatora djeluje povoljno po naponske prilike, a omogućava angažovanje maksimalne aktivne snage, pa je od interesa odrediti koji je to maksimalni kapacitivni faktor snage pri kome će odstupanja napona u svim čvorovima posmatranog 10 kV izvoda biti ispod propisane granice, a da je angažovana aktivna snaga maksimalna. Pokazuje se da se pri angažovanoj maksimalnoj aktivnoj snazi (instalirana snaga od 603 kW) i faktoru snage od 0,99 kapacitivno, u svim čvorovima posmatranog izvoda imaju dozvoljena odstupanja napona u prelaznim režimima rada (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 Odstupanje napona u odnosu na naponske prilike 10 kV izvoda Jezero prije priključenja mHE Štitarica 1 (za karakteristične režime rada mreže i faktor snage generatora 0,99 cap)

Čvorovi 10 kV mreže	Minimalno opterećenje konzuma [%]	Maksimalno opterećenje konzuma [%]
	Faktor snage 0,99 cap	
TS Četković	0,03	0,09
TS Naselje Baza	1,61	1,82
TS Štitarica 2	1,62	1,82
TS G. Polje	0,73	0,85
TS Kovijanići	1,06	1,21
TS Gacka	1,24	1,40
TS Baza 1	1,78	1,97
TS Baza 2	1,78	1,97
TS K. Kolo	1,72	1,91
TS B. Jezero	1,72	1,91
TS D. Selo	0,51	0,60
TS Pejovići	0,67	0,78
TS F. Polje	1,03	1,17
TS Štitarica 1	1,62	1,82

Dakle, kako je faktor snage 0,99 u okviru propisanih granica, a uz to je i blizak jediničnom faktoru snage, a i činjenica da su odstupanja napona u mreži za takav režim rada generatora mHE Štitarica 1 u okviru propisanih granica, zaključuje se da je **Kriterijum odstupanja napona zadovoljen** za angažovanu snagu od 603 kW i faktor snage od 0,99 kapacitivno za **mHE Štitarica 1**.

Kada je u pitanju priključenje mHE Štitarica 2, iz predstavljenih rezultata (Slika 6.3, Tabela 6.4) za sve režime rada mreže i elektrane, uočava se nedozvoljeno odstupanje napona u čvoru gdje je priključena TS 10/0,4 kV Štitarica 2. Druga dva čvora u kojima je zabilježeno nedozvoljeno odstupanje napona pri prelaznim režimima rada su TS 10/0,4 kV Štitarica 1 i TS 10/0,4 kV Naselje Baza (ne i pri graničnom kapacitivnom faktoru snage). Kod svih preostalih čvorova u mreži nema nedozvoljenog odstupanja napona usljed priključenja elektrane bez obzira na režim rada elektrane ili konzuma. Čvorovi koji se ističu po odstupanju su inače čvorovi na otcjepu 10 kV izvoda Jezero u čijoj se neposrednoj blizini priključuje predmetna

elektrana, a za koje su karakteristični najniži naponi u odnosu na napone u ostalim čvorovima izvoda. Priključenjem elektrane poboljšavaju se naponske prilike u pomenutim čvorovima, i bliže su nazivnoj vrijednosti napona mreže.

Tabela 6.4 Odstupanje napona u odnosu na naponske prilike 10 kV izvoda Jezero prije priključenja mHE Štitarica 2 (za karakteristične režime rada mreže i elektrane)

Čvorovi 10 kV mreže	Minimalno opterećenje konzuma [%]			Maksimalno opterećenje konzuma [%]		
	Faktor snage					
	1	0,9 ind	0,9 cap	1	0,9 ind	0,9 cap
TS Četković	0,10	0,37	-0,19	0,15	0,44	-0,16
TS Naselje Baza	2,40	3,17	1,57	2,65	3,47	1,75
TS Štitarica 2	3,17	4,11	2,17	3,42	4,42	2,33
TS G. Polje	0,61	1,00	0,20	0,70	1,12	0,26
TS Kovijanići	0,84	1,28	0,37	0,97	1,43	0,45
TS Gacka	0,97	1,44	0,47	1,11	1,61	0,57
TS Baza 1	1,25	1,77	0,68	1,40	1,97	0,79
TS Baza 2	1,24	1,77	0,68	1,40	1,97	0,79
TS K. Kolo	1,25	1,77	0,68	1,40	1,96	0,78
TS B. Jezero	1,25	1,78	0,68	1,40	1,96	0,78
TS D. Selo	0,44	0,79	0,07	0,52	0,89	0,12
TS Pejovići	0,56	0,94	0,16	0,65	1,05	0,22
TS F. Polje	0,82	1,26	0,35	0,93	1,39	0,43
TS Štitarica 1	2,04	2,73	1,29	2,25	2,99	1,44

Kao i u slučaju mHE Štitarica 1, uočava se da povoljniji uticaj na mrežu u pogledu odstupanja napona u prelaznim režimima rada ima kapacitivni faktor snage. Prethodno potvrđuju niža odstupanja napona za oba analizirana nivoa opterećenja konzuma. Takođe, može se uočiti posebno negativan uticaj induktivnog režima rada generatora u pogledu odstupanja napona u čvorovima. Potrebno je naglasiti da je za sve analizirane faktore snage uzeto u obzir da elektrana radi sa maksimalnom proizvodnjom (najnepovoljniji slučaj).

Faktor snage generatora moguće je ograničiti u onom opsegu koji odgovara sigurnom i kvalitetnom snabdijevanju potrošača, kao i sigurnom plasmanu maksimalne raspoložive proizvodnje. Međutim, usljed karakteristika mreže u blizini lokacije same elektrane, nije moguće osigurati siguran plasman instalisane proizvodnje mHE Štitarica 2, a da su pritom zadovoljeni tehnički kriterijumi odstupanja napona i dozvoljenog opsega promjene faktora snage, odnosno injektiranja/apsorpcije reaktivne snage. S tim u vezi, neophodno je odrediti maksimalnu aktivnu snagu koju je moguće angažovati a da pomenuti tehnički kriterijumi budu zadovoljeni.

Maksimalna aktivna snaga koju elektrana može angažovati pri jediničnom faktoru snage, a da ne dođe do prekoračenja dozvoljenog odstupanja u čvorovima posmatranog 10 kV izvoda pri prelaznim režimima rada iznosi 240 kW. Međutim, kao

što je ranije dokazano, kapacitivni režim rada generatora djeluje povoljno po naponske prilike. S tim u vezi, moguće je odrediti kolika je maksimalna aktivna snaga koju je moguće angažovati pri kapacitivnom faktoru snage a da ne dođe do nedozvoljenog odstupanja napona u prelaznim režimima rada (Tabela 6.5).

Tabela 6.5 Odstupanje napona u odnosu na naponske prilike 10 kV izvoda Jezero prije priključenja mHE Štitarica 2 (za karakteristične režime rada mreže i odabrane faktore snage generatora)

Čvorovi 10 kV mreže	Minimalno opterećenje konzuma [%]			Maksimalno opterećenje konzuma [%]		
	Faktor snage					
	1 (P _g =240 kW)	0,95 cap (P _g =300 kW)	0,9 cap (P _g =350 kW)	1 (P _g =240 kW)	0,95 cap (P _g =300 kW)	0,9 cap (P _g =350 kW)
TS Četković	0,06	-0,07	-0,16	0,09	-0,04	-0,11
TS Naselje Baza	1,42	1,36	1,35	1,57	1,52	1,30
TS Štitarica 2	1,86	1,83	1,85	2,00	1,97	1,71
TS G. Polje	0,36	0,24	0,17	0,42	0,30	0,20
TS Kovijanići	0,50	0,39	0,32	0,57	0,46	0,34
TS Gacka	0,58	0,47	0,41	0,66	0,56	0,43
TS Baza 1	0,74	0,64	0,59	0,83	0,74	0,60
TS Baza 2	0,74	0,64	0,58	0,83	0,74	0,60
TS K. Kolo	0,74	0,64	0,59	0,83	0,73	0,59
TS B. Jezero	0,75	0,65	0,59	0,83	0,73	0,59
TS D. Selo	0,26	0,15	0,06	0,31	0,19	0,10
TS Pejovići	0,33	0,22	0,14	0,39	0,27	0,17
TS F. Polje	0,49	0,38	0,31	0,55	0,44	0,33
TS Štitarica 1	1,21	1,13	1,11	1,33	1,27	1,08

U prethodnoj tabeli dati su rezultati proračuna odstupanja napona u karakterističnim čvorovima 10 kV izvoda Jezero za različite angažovane aktivne snage i faktore snage. Iz predstavljenih rezultata može se zaljučiti, da je u slučaju kapacitivnog faktora snage moguće angažovati veću aktivnu snagu elektrane, a da odstupanja napona u čvorovima mreže u prelaznim režimima budu u dozvoljenim granicama. S tim u vezi, uočava se da je sa faktorom snage od 0,9 moguće angažovati maksimalno 350 kW aktivne snage a da odstupanje napona bude u dozvoljenim granicama. Daljim povećavanjem faktora snage, smanjuje se maksimalna aktivna snaga koju je moguće angažovati uz dozvoljena odstupanja napona, pa je pri faktoru snage od 0,95 ta snaga 300 kW, a pri jediničnom faktoru snage iznosi ranije istaknutih 240 kW.

Dakle, uzimajući u obzir predstavljene rezultate proračuna i Tehničku preporuku za priključenje distribuiranih izvora energije u Crnoj Gori koja definiše dozvoljeni faktor snage od 0,9, može se zaključiti da **mHE Štitarica 1 zadovoljava Kriterijum odstupanja napona pri angažovanoj aktivnoj snazi od 350 kW i faktoru snage 0,9 kapacitivno.**

Potrebno je naglasiti da bez obzira na režim rada predmetnih elektrana (maksimalna angažovana snaga) i nivo opterećenja, naponi na NN sabirnicama TS 10/0,4 kV neće biti van propisanog opsega (Slika 6.4).

6.2. KRITERIJUM SNAGE KRATKOG SPOJA

Kriterijum snage kratkog spoja provjerava se za elektrane veće instalisane snage od 1 MVA. Toj grupi ne pripadaju mHE Štitarica 1 i Štitarica 2. **Stoga Kriterijum snage kratkog spoja nije mjerodavan za procjenu uticaja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 na elektrodistributivnu mrežu.**

6.3. KRITERIJUM FLIKERA

Ukoliko sinhroni generator u ME pokreću vodene turbine, koeficijent flikera (koji označava osobinu ME da generiše flikere) je manji od 20, pa se smatra da je uticaj takve ME na generisanje flikera zanemarljiv (Tehnička preporuka za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori).

Kako je ovo slučaj za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2, zaključuje se da je Kriterijum flikera zadovoljen.

6.4. KRITERIJUM STRUJA VIŠIH HARMONIKA

Ukoliko sinhroni generator u ME pokreću vodene turbine, uticaj ME na generisanje struja viših harmonika je zanemarljiv (Tehnička preporuka za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori).

Kako je ovo slučaj za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 zaključuje se da neće biti negativnog uticaja na mrežu usljed struja viših harmonika izazvanih radom ovih ME, čime je Kriterijum struja viših harmonika zadovoljen.

6.5. KRITERIJUM NAPONA VIŠIH HARMONIKA

Ukoliko sinhroni generator u ME pokreću vodene turbine, uticaj ME na generisanje viših harmonika napona je zanemarljiv (Tehnička preporuka za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori).

Kako je ovo slučaj za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 zaključuje se da neće biti negativnog uticaja na mrežu u pogledu generisanja viših harmonika napona izazvanih radom ove ME, čime je Kriterijum viših harmonika napona zadovoljen.

6.6. KRITERIJUM BEZBJEDNE SINHRONIZACIJE

Sinhronizacija se vrši na generatorskom prekidaču uz pomoć sinhronoskopa koji za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 zadovoljavaju propisane uslove (Tehnička preporuka za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori):

- Maksimalna razlika frekvencije - $\Delta f = 0.1 \text{ Hz}$
- Maksimalna razlika napona - $\Delta U = 3\%$
- Maksimalna razlika faznog ugla - $\Delta \varphi = 10^\circ$.

6.7. KRITERIJUM INJEKTIRANJA JEDNOSMJERNE STRUJE

Kriterijum injektiranja jednosmjerne struje provjerava se samo u slučaju priključenja ME na distributivnu mrežu preko invertora. Kako to nije slučaj za mHE Štitarica 1 i Štitarica 2, to se ovaj kriterijum ne provjerava.

6.8. KRITERIJUM REAKTIVNE SNAGE

ME koja se priključuje na SN mrežu mora da s aspekta dozvoljene reaktivne snage zadovoljava relaciju $Q_{ng} \geq 0.5 \cdot P_{ng}$, odnosno da ima faktor snage jednak 0,9, što je u slučaju analiziranih ME ispunjeno.

Elektrane koje su predmet ovog Elaborata opremaju se sa po jednim sinhronim generatorom. Faktor snage generatora moguće je limitirati na željenu vrijednost na automatskom regulatoru napona, kao i na samom mjestu preuzimanja energije. Potrebno je naglasiti da u slučaju automatske regulacije napona na sabirnicama generatora (bez aktiviranog limitera faktora snage i uz referentnu vrijednost regulatora podešenu na nominalnu vrijednost napona), faktor snage generatora mHE Štitarica 1 varira od 0,9 cap do 0,99 cap u posmatranim režimima minimalnog i maksimalnog opterećenja sa maksimalnom angažovanom aktivnom snagom, dok je za mHE Štitarica 2 približno 0,9 u oba režima (limitiran je) sa predloženom maksimalnom angažovanom aktivnom snagom. U dijelu godine sa nižom proizvodnjom su faktori snage bliži jediničnom za obje elektrane. Dakle, faktor snage je u propisanom opsegu za obje elektrane, odakle se može zaključiti da je **Kriterijum reaktivne snage zadovoljen**.

6.9. GUBICI U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ MREŽI NAKON PRIKLJUČENJA ELEKTRANA

Jedan važan aspekt priključenja novih elektrana koji se ne tretira posebno kao dio tehničkih zahtjeva u okviru dokumenta Tehničke preporuke za priključenje distribuiranih izvora u Crnoj Gori je uticaj na gubitke snage i energije u mreži. Naime, priključenjem novih izvora za očekivati je smanjenje gubitaka energije i snage jer je lokacija distribuiranih izvora između potrošača i napojne tačke elektrodistributivne mreže. Time je proizvodnja približena potrošnji što za posljedicu ima niže gubitke u

mreži usljed paralelnog rada distribuiranog izvora i mreže. Kada su u pitanju mHE Štitarica 1 i mHE Štitarica 2, priključuju se između napojne TS 35/10 kV Mojkovac i krajnje TS 10/0,4 kV B. Jezero, pa će imati pozitivan uticaj na gubitke. Taj uticaj će biti prisutan iako se priključuju praktično na kraj dva otcjepa 10 kV izvoda Jezero.

U cilju dokazivanja ovog aspekta uticaja priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 na elektrodistributivnu mrežu, izvršen je proračun tokova snaga za najnepovoljniji slučaj u pogledu nivoa gubitaka u mreži, tj. za slučaj maksimalnog opterećenja konzuma i maksimalne dozvoljene proizvodnje elektrane (prema ranije predloženim maksimalnim snagama koje zadovoljavaju tehničke kriterijume) koje su predmet analiza obuhvaćenih ovim Elaboratom.

Kao što je i ranije naglašeno, 10 kV mreža 10 kV izvoda Jezero je podopterećena i u režimu maksimalnog konzuma, pa se dodatno rasterećuje nakon priključenja elektrana. Maksimalno opterećene su početne dionice izvoda i to sa približno jednom trećinom nazivnog opterećenja. Nakon priključenja elektrana, pomenute dionice se rasterećuju do ispod 10 % nazivnog opterećenja. S druge strane, opterećenje preostalih dionica u mreži, koje je bilo većinom do 5 % nazivnog opterećenja, se blago povećalo, pa su najopterećenije dionice iz središnjeg dijela izvoda Jezero sa maksimalnim opterećenjem od 15 % od nazivnog opterećenja. Ovo za posljedicu ima smanjenje gubitaka u 10 kV mreži, kao i povećanje napona u čvorovima izvoda nakon priključenja predmetnih elektrana.

Uzimajući prethodno u obzir, napravljena je komparacija gubitaka u posmatranom 10 izvodu kV prije i poslije priključenja predmetnih elektrana (Tabela 6.6). Uzimajući prethodno u obzir, napravljena je komparacija gubitaka u izvodu prije i poslije priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2.

Tabela 6.6 Poređenje gubitaka snage i energije u 10 kV izvodu Jezero prije i poslije priključenja mHE

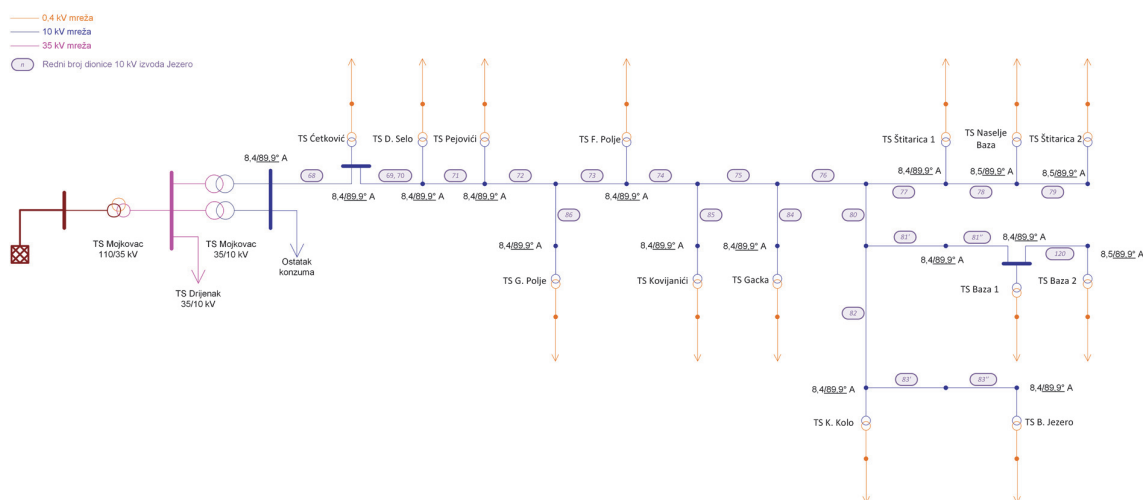
	Prije priključenja		Poslije priključenja	
	ΔP [MW]	ΔW [kWh]	ΔP [MW]	ΔW [kWh]
10 kV izvod Konjuhe	0,076	190909	0,071	177561

Iz prethodne tabele može se uočiti da priključenje mHE Štitarica 1 i Štitarica 2 utiču na blago smanjenje gubitaka energije i snage u 10 kV izvodu Jezero koji se napaja iz TS 35/10 kV Mojkovac. Nakon priključenja elektrana, za očekivati je smanjenje gubitaka u pomenutom izvodu za približno 7 % u odnosu na gubitke prije priključenja predmetne elektrane.

Dakle, uzimajući u obzir nivo gubitka u posmatranom dijelu elektrodistributivne mreže, prije i poslije priključenja mHE Štitarica 1 i Štitarica 2, može se zaključiti da njen uticaj nije nepovoljan po elektrodistributivnu mrežu kojom upravlja Operator distributivnog sistema.

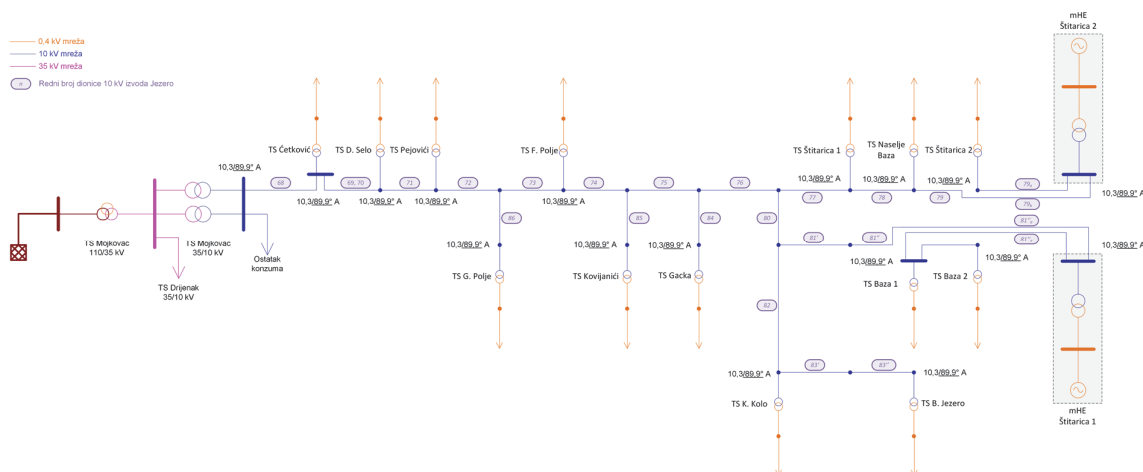
6.10. UTICAJ PRIKLJUČENJA ELEKTRANA NA STRUJU JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA

Uzimajući u obzir da 10 kV mreža napajana iz TS 35/10 kV Mojkovac radi u režimu izolovane neutralne tačke, neophodno je provjeriti uticaj predloženog kablovskog priključka mHE Štitarica 1 na struju zemljospoja. Kako postojeću 10 kV mrežu čine dominantno vazdušni vodovi, to postoji određen prostor za korišćenje kablova, a da ne dođe do narušavanja uslova definisanih za režim izolovane neutralne tačke 10 kV mreže. U tom cilju, posmatraju se vrijednosti struje zemljospoja u 10 kV mreži prije (Slika 6.5) i poslije (Slika 6.6) priključenja novih elektrana.



Slika 6.5 Struje zemljospoja na mjestu kvara prije priključenja elektrana

Kada je situacija prije priključenja elektrana u pitanju, uočava se da je vrijednost struje zemljospoja, bez obzira na mjesto kvara, približno 8,5 A, što je značajno ispod vrijednosti od 20 A koja se uzima kao granična za eventualnu promjenu načina uzemljenja neutralne tačke (Tehničke preporuke za uzemljenje neutralne tačke). Ovdje je potrebno naglasiti da je prema informacijama ODS, ukupna struja zemljospoja 10 kV mreže Mojkovca 16 A.



Slika 6.6 Struje zemljospoja na mjestu kvara nakon priključenja elektrana

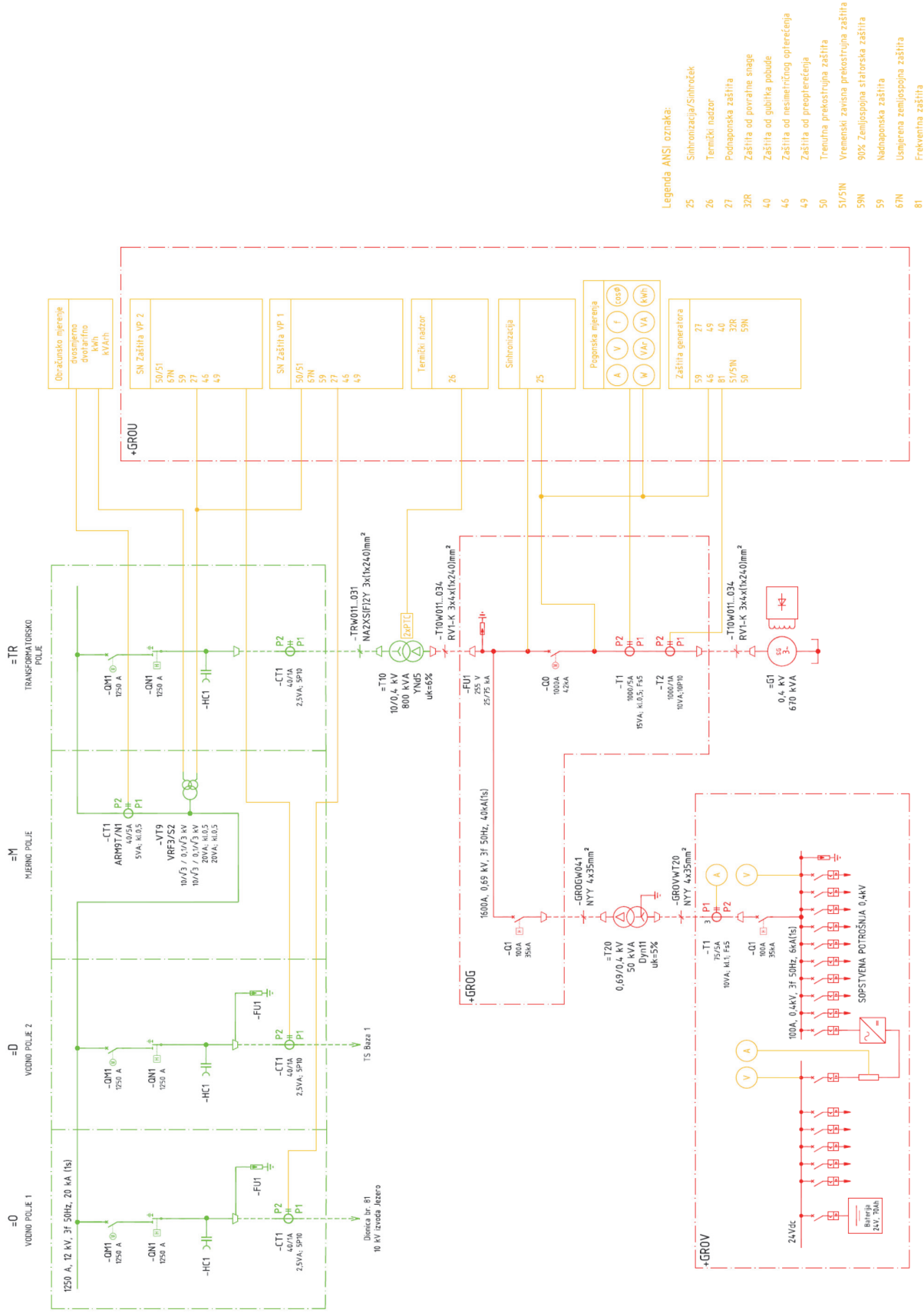
Predloženim načinom priključenja elektrana, tj. produžavanjem postojećeg kabla za realizaciju „ulaz-izlaz“ priključka mHE Štitarica 1, utiče se na povećanje struje zemljospoja 10 kV izvoda Jezero na nivo od najviše 10,3 A (Slika 6.6). Doprinos vazdušnog priključka mHE Štitarica 2 je neznatan za potrebe ove analize.

Uzimajući u obzir prethodno pomenutu vrijednost ukupne struje zemljospoja 10 kV mreže Mojkovca, zaključuje se da će nakon predloženog načina priključenja predmetnih elektrana doći do povećanja ukupne struje zemljospoja na vrijednost od približno 18 A što je ispod pomenute propisane granice, pa ne postoji potreba za promjenom načina uzemljenja neutralne tačke 10 kV mreže, tj. prelazak na uzemljenje neutralne tačke preko niskoomske impedanse koja ograničava struju jednopolnog kratkog spoja.

7. PRILOZI

- Jednopolna šema mHE Štitarica 1
- Jednopolna šema mHE Štitarica 2

Jednopolna šema mHE Štitarica 1



Jednopolna šema mHE Štitarica 2

