

Integracija postrojenja na morske valove na Jadranskim otocima u okviru WECANet projekta

Prpić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:492481>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-02**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I

INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

SVEUČILIŠNI STUDIJ

**Integracija postrojenja na morske valove na
jadranskim otocima u okviru WECANet projekta**

Diplomski rad

LUKA PRPIĆ

Osijek, 2021. godina

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 13.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Ime i prezime studenta:	Luka Prpić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-1259, 06.10.2019.
OIB studenta:	02912259671
Mentor:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Sumentor:	Matej Žnidarec
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Prof.dr.sc. Marinko Stojkov
Član Povjerenstva 1:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Član Povjerenstva 2:	Izv. prof. dr. sc. Danijel Topić
Naslov diplomskog rada:	Integracija postrojenja na morske valove na Jadranskim otocima u okviru WECANet projekta
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	U diplomskom radu u teorijskom dijelu dati pregled mogućih tehnologija primjenjenih za integraciju na Jadranskim otocima kao i očekivanu proizvodnju električne energije za različite lokacije. Na primjeru distributivne mreže i potrošnje jednog Jadranskog otoka odrediti utjecaj integracije postrojenja na morske valove na strujno-naponske prilike u mreži i izvršiti odabir optimalnog rješenja na temelju tehno-ekonomske analize za odabrane slučajeve. Proračun će se vršiti u programu DigSilent. Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ing.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	13.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 18.09.2021.

Ime i prezime studenta:

Luka Prpić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1259, 06.10.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Integracija postrojenja na morske valove na Jadranskim otocima u okviru WECANet projekta**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Damir Šljivac

i sumentora Matej Žnidarec

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada	1
2. ELEKTRANE NA MORSKE VALOVE	2
2.1. Razlozi za korištenje obnovljivih izvora električne energije	2
2.2. Nekonvencionalne (male) hidroelektrane	2
2.3. Tehnologije pretvorbe energije valova-postrojenja na morske valove	8
2.3.1. Tehnologije postrojenja na morske valove (pretvarača) na obali	9
2.3.2. Tehnologije postrojenja na morske valove (pretvarača) u blizini obale	10
2.3.3. Tehnologije postrojenja na morske valove (pretvarača) na pučini	12
2.4. Načini priključenja postrojenja na morske valove na mrežu	13
3. UTJECAJ INTEGRACIJE POSTROJENJA NA MORSKE VALOVE NA ELEKTROENERGETSKI SUSTAV	16
3.1. Utjecaj integracije postrojenja na naponske prilike u mreži	16
3.2. Utjecaj integracije postrojenja na morske valove na tokove snaga u mreži	20
3.3. Utjecaj integracije postrojenja na promjenu struje i struje kratkoga spoja u mreži ...	20
3.4. Utjecaj integracije postrojenja na gubitke u mreži	23
3.5. Utjecaj integracije postrojenja na kvalitetu električne energije	23
4. POSTROJENJE NA MORSKE VALOVE NA OTOKU VISU	25
4.1. Modeliranje elektroenergetske mreže otoka Visa	26
4.2. Simulacija u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja	35
4.2.1. Mreža otoka Visa bez integrirane fotonaponske elektrane i bez postrojenja na morske valove	36
4.2.2. Mreža otoka Visa s integriranom fotonaponskom elektranom	38
4.2.3. Mreža s integriranom fotonaponskom elektranom i postrojenjem na morske valove	41
4.2.4. Mreža u slučaju kvara pojedinog dijela mreže	45
4.2.5. Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske razine	49
4.2.6. Korištenje baterije na lokaciji 1	52
4.3. Simulacija u slučaju minimalnog zimskog opterećenja	55
4.3.1. Mreža otoka Visa bez integrirane fotonaponske elektrane i bez postrojenja na morske valove	55
4.3.2. Mreža otoka Visa s integriranom fotonaponskom elektranom	58
4.3.3. Mreža s integriranom fotonaponskom elektranom i postrojenjem na morske valove	60
4.3.4. Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske razine	64

4.3.5.	Mreža u slučaju kvara pojedinog dijela mreže.....	66
4.3.6.	Korištenje baterije na lokaciji 1 prilikom integriranja postrojenja na morske valove 68	
ZAKLJUČAK.....		71
LITERATURA		72
SAŽETAK.....		76
ABSTRACT		77
ŽIVOTOPIS.....		78

1. UVOD

Svrha ovog diplomskog rada je prikazati različite utjecaje integracije postrojenja na morske valove tj. distribuirane proizvodnje na postojeću elektroenergetsku mrežu i utjecaj na promjene karakterističnih električnih veličina. U teorijskom dijelu rada opisane su posljedice koje se mogu pojaviti nakon integracije distribuirane proizvodnje te načini kako na njih utjecati kako bi se povećala razina integracije te kako bi promatrane električne veličine bile u dopuštenom rasponu vrijednosti kako ne bi došlo do kvarova ili preopterećenja pojedinih elemenata u mreži. U teorijskom dijelu rada također su opisane i različite tehnologije postrojenja na morske valova koje se koriste ili će se tek koristiti u budućnosti proizvodnju električne energije. Praktični dio rada temelji se na simulaciji na stvarnoj mreži otoka Visa koja je morala biti reducirana zbog ograničenosti licence programa "Digsilent PowerFactory". U radu su prikazane simulacije za dva karakteristična slučaja: slučaj maksimalnog opterećenja (ljetni dan) i slučaj minimalnog opterećenja (zimski dan). U radu su prikazane vrijednosti grafički i tablično.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Zadatak diplomskog rada je prikazati različite tehnologije pretvorbe energije valova u električnu energiju na Jadranskim otocima. U teorijskom dijelu rada potrebno je objasniti kako integracija postrojenja na morske valove može utjecati na postojeću elektroenergetsku mrežu na strujno-naponske prilike u mreži. U praktičnom dijelu rada potrebno je izvršiti simulaciju na stvarnoj mreži otoka Visa u programu "DigSilent" te analizirati dobivene rezultate.[1]

2. ELEKTRANE NA MORSKE VALOVE

2.1. Razlozi za korištenje obnovljivih izvora električne energije

Postoji više razloga zašto je ideja korištenja obnovljivih izvora električne energije sve zastupljenija. Jedan od glavnih razloga je utjecaj na okoliš, a podrazumijeva smanjenu emisiju štetnih plinova i smanjenje globalnog zatopljenja. Osim utjecaja na okoliš, tehnologije proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije su sve pristupačnije, gledano s financijske strane (ulaganja) i učinkovitije tj. veća je mogućnost proizvodnje električne energije. U obnovljive izvore električne energije ubrajamo energiju Sunčevog zračenja, energiju dobivenu od vjetra, energiju iz biomase/bioplina, geotermalnu energiju i energiju dobivenu iz energije vode. Uz brojne prednosti obnovljivih izvora električne energije kao što su obnovljivost, besplatni su kao izvor i posjeduju veliki potencijal te nemaju štetno djelovanje na okoliš postoje i nedostaci takvih izvora energije. Kao glavni nedostaci ističu se neravnomjerna raspodjela obnovljivih izvora električne energije, mala površinska gustoća snage te moguće osciliranje u proizvodnji zbog čega je potrebno imati rezervnu proizvodnju, niska učinkovitost proizvodnje i još uvijek financijski skup način dobivanja energije. Ukoliko se usporede prednosti i nedostaci obnovljivih izvora energije može se reći da će u budućnosti biti neophodno korištenje obnovljivih izvora energije. S obnovljivim izvorima energije može se utjecati na smanjenje globalnog zatopljenja a time i na poboljšanje zdravlja ljudi zbog smanjenja emisije CO₂. Korištenje obnovljivih izvora energije omogućuje i ekonomski razvoj te energetske neovisnost. [2]

2.2. Nekonvencionalne (male) hidroelektrane

U radu će se govoriti o postrojenjima na morske valove odnosno postrojenjima koja energiju valova pretvaraju u električnu energiju. Uz postrojenja na morske valove u koriste se i postrojenja koja za proizvodnju električne energije koriste plimu i oseku te postrojenja koja koriste morske struje.

Plima i oseka nastaju zbog djelovanja Mjeseca i Zemlje odnosno gravitacijske sile koja djeluje na vodu te zbog centrifugalnih sila koje nastaju zbog rotacije Zemlje oko svoje osi i oko Sunca. [3] Moguća izvedba postrojenja koje pretvara energiju vode nastalu zbog plime i oseke u električnu energiju je postrojenje s jednostrukim iskorištenjem. Princip rada takvih postrojenja se temelji na "skladištenju" vode u spremnik tijekom plime te ispuštanjem vode iz spremnika

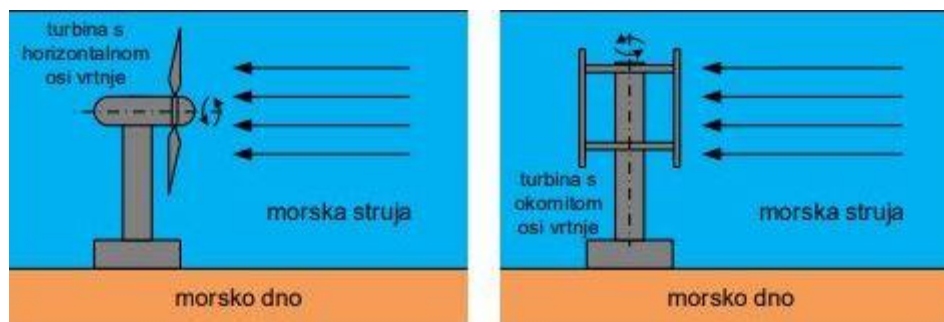
tijekom oseke. Kada dolazi oseka, voda prolazi kroz turbine te se energija vode pretvara u električnu energiju. [2]

Tablica 2.1. Najveće razlike razine vode za vrijeme plime i oseke [4]

Položaj	Država	Razlika plime i oseke [m]
"Bay of Fundy"	Kanada	16.2
"Severn Estuary"	Engleska	14.5
"Port of Ganville"	Francuska	14.7
"La Rance"	Francuska	13.5
"Puerto Rio Gallegos"	Argentina	13.3
"Bay of Mezen"	Rusija	10
"Penzhinskaya Guba"	Rusija	13.4

U praktičnom dijelu diplomskog rada govorit će se o mogućnosti instalacije postrojenja u Jadranskom moru. Iz tablice 2.1. vidljivo je kako razlika razine mora za vrijeme plime i oseke može doseći i 16.2 m. Postrojenja koja koriste plimu i oseku za proizvodnju električne energije moraju biti izgrađena na mjestima gdje je ta razlika barem 7m. [2] Kada je riječ o Jadranskom moru treba naglasiti kako morske mijene tj. plima i oseka nisu jednake za cijelo Jadransko more u svim godišnjim dobima. Ponekad su karakteristične izmjene plime i oseke jednom dnevno a ponekad je moguća i izmjena plime i oseke dva puta na dan. Mjerenjima i analiziranjem morskih mijena u Jadranskom moru izračunate su srednje vrijednosti razlika plime i oseke, a iznose oko 20-ak centimetara u Dubrovniku, u Splitu i Zadru te 47 cm u Rovinju.[5] Usporedbom podataka s Jadranskog mora i podataka koji su prikazani u tablici 2.1. vidljivo je kako je razlika razine mora za vrijeme plime i oseke znatno manja nego razlika razine mora za vrijeme plime i oseke u drugim morima a najveća iznosi oko 50cm što nije dovoljno za gradnju postrojenja koje iskorištava plimu i oseku.

Uz postrojenja koje energiju vode kroz plimu i oseku pretvaraju u električnu energiju postoje i postrojenja koje energiju morskih struja pretvaraju u električnu energiju. Takva postrojenja podsjećaju na vjetroelektrane postavljene na dnu mora. Postoje turbine s horizontalnom osi vrtnje i vertikalnom osi vrtnje. [2]



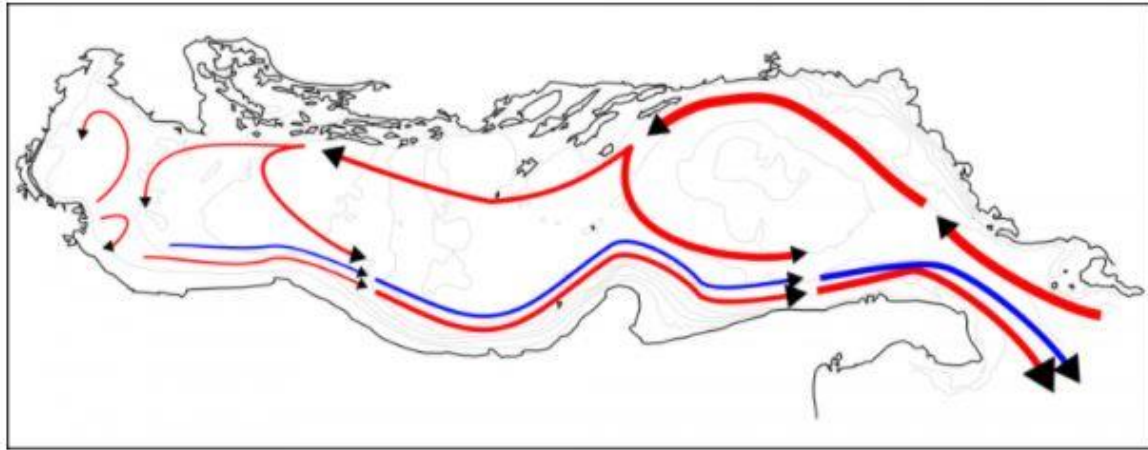
Slika 2.1. Tipovi turbina za iskorištavanje morskih struja [2]

Morske struje mogu nastati zbog zagrijavanja oceana/mora od Sunca, vjetra ili slanoće vode.

Tablica 2.2. Odnos brzine morskih struja i gustoće snage morskih struja [6]

Brzina morskih struja [m/s]	Gustoća snage [kW/m ²]	Brzina morskih struja [m/s]	Gustoća snage [kW/m ²]
0.5	64	4	32800
1	513	4.5	46702
1.5	1730	5	64063
2	4100	5.5	85267
2.5	8008	6	110700
3	13836	6.5	140745
3.5	21973	7	175788

Tijekom ljetnih mjeseci morske struje u Jadranskom moru su manjih brzina dok za vrijeme zimskih mjeseci kada su prisutni vjetrovi većih brzina, morske struje mogu poprimiti veću vrijednost. Slika 2.2. predstavlja morske struje u Jadranskom moru, a razlikuju se površinske i dubinske struje.[7]



Slika 2.2. Morske struje u Jadranskom moru (plavom bojom označene dubinske struje, a crvenom bojom označene površinske struje) [7]

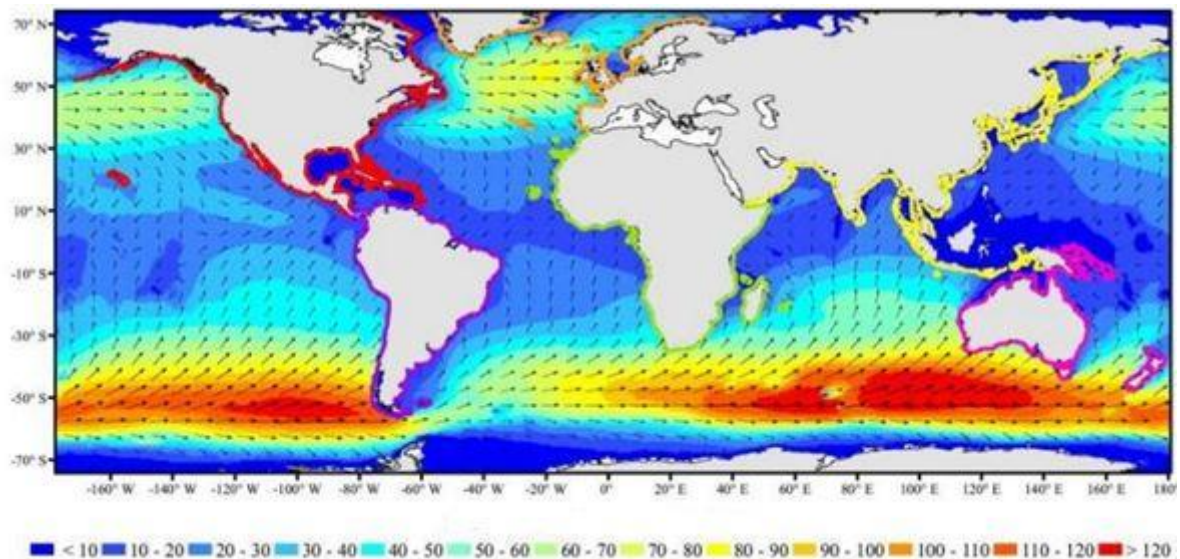
Uz spomenute tehnologije pretvorbe energije vode u električnu energiju postoje i postrojenja koja energiju morskih valova pretvaraju u električnu energiju. Za razliku od postrojenja koja zahtijevaju velike razlike u razini mora prilikom plime i oseke kao i postrojenja koja zahtijevaju morske struje, postrojenja na morske valove imaju veliki potencijal na područjima na kojima je snaga valova velika i na područjima kao što je Jadransko more gdje je snaga valova manja. Voda u morima i oceanima je zasigurno jedan od najperspektivnijih obnovljivih izvora električne energije u budućnosti jer je za takve izvore električne energije karakteristična velika gustoća snage. [8]

Tablica 2.3. prikazuje gustoću snage valova za određena područja, a na slici 2.3. može se vidjeti kako su na području Europe valovi manje gustoće snage nego primjerice u Aziji ali se i takvi valovi mogu koristiti za proizvodnju električne energije.

Tablica 2.3. Gustoća snage valova [8]

Područje promatranja valova	Gustoća snage valova [kW/m]
Italija	1.7 - 4.3
Litva	< 2.4
Švedska	2.1 – 5.3
Crveno More	< 3
Meditersko more, Malta	< 6.5
Maldivi	8.46 – 12.75
Kaspijsko jezero	5 - 14
Kina	6 - 16

Crvenom bojom na slici 2.3. označena su područja koja posjeduju najveći potencijal za pretvorbu energije valova u električnu energiju te na takvim područjima gustoća snage valova prelazi 120 kW/m. Područja označena plavom bojom su područja na kojima su valovi manje gustoće snage ali su i dalje dovoljni za proizvodnju električne energije.



Slika 2.3. Gustoća snage valova - godišnji prosjek [8]

Gustoća snage vala označava se slovom P a može se izračunati izrazom [8] :

$$P = \frac{\rho \cdot g}{64 \cdot \pi} H_S^2 \cdot T_e \quad (2-1)$$

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad (2-2)$$

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (2-3)$$

$$m_n = \int_0^\infty S(\omega) \cdot \omega^n d\omega \quad (2-4)$$

Iz formule (2-1) može se zaključiti kako je gustoća snage koja se izražava u kW/m proporcionalna kvadratu visine vala H_s i vremenu trajanja perioda vala T_e kao i gustoći vode ρ i jakosti gravitacijske sile g . $S(\omega)$ se određuje prema formuli (2-5), a predstavlja spektar snage valova dok varijabla m_n predstavlja jedan trenutak u tom spektru. [8]

$$S(\omega) = 0.8626 \cdot \frac{5}{16} \cdot \frac{H_s^2 \cdot \omega^4}{\omega^5} \cdot \exp \left[-\frac{5}{4} \cdot \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right)^4 \right] \cdot 1.78^p \quad (2-5)$$

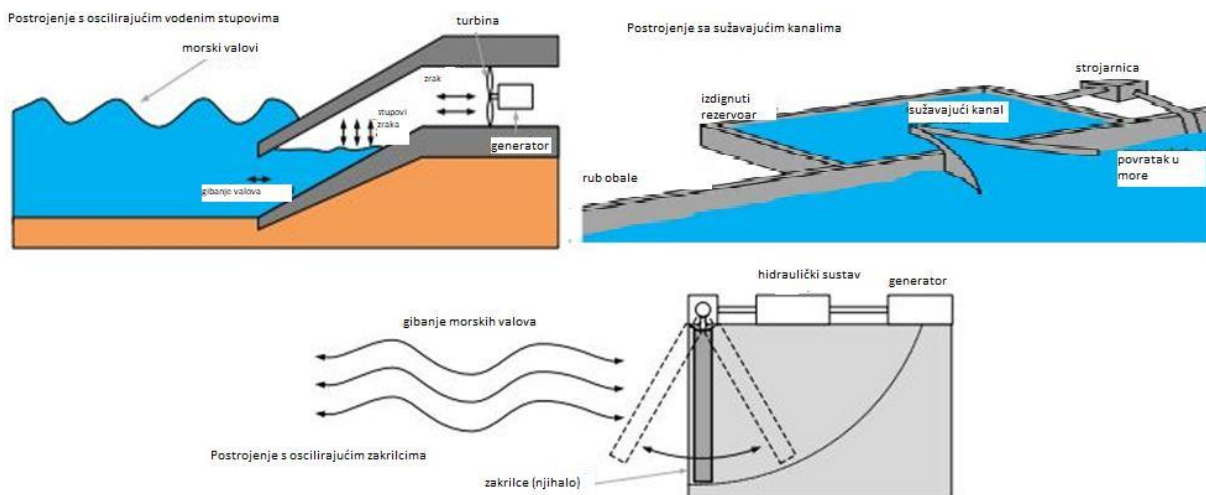
Parametar p određujemo prema formuli (2-6), a parametar ω_m prema formuli (2-7) dok frekvencija σ iznosi 0.06 ako je $\omega < \omega_m$ odnosno frekvencija iznosi 0.08 ako je $\omega > \omega_m$. [8]

$$p = \exp \left[\frac{(\omega - \omega_m)^2}{2 \cdot \sigma^2 \cdot \omega_m^2} \right] \quad (2-6)$$

$$\omega_m = 0.52 + \frac{1.4}{H_s + 0.7} \quad (2-7)$$

Postrojenja koja koriste morske valove za proizvodnju električne energije a nalaze se u priobalnom ili obalnom području tj. blizu kopna mogu se podijeliti na slijedeće tri vrste:

- „Postrojenja s oscilirajućim vodenim stupovima“
- „Postrojenja sa sužavajućim kanalima“
- „Postrojenja sa oscilirajućim zakrilcima“ [2]



Slika 2.4. Postrojenje s oscilirajućim vodenim stupovima (gore lijevo), postrojenje sa sužavajućim kanalima (gore desno) i postrojenje s oscilirajućim zakrilcima (dolje) [2]

Kada je riječ o postrojenjima s oscilirajućim vodenim stupovima može se reći kako se turbina (koja je pogonsko sredstvo generatora) pokreće zbog strujanja zraka koje nastaje kao posljedica gibanja valova (podizanje i spuštanje razine vode). Za razliku od postrojenja sa sužavajućim kanalom koje podsjećaju na akumulacijske hidroelektrane jer vodu skladište u rezervoaru te električnu energiju dobivaju prolaskom vode kroz strojarnicu, postrojenja s oscilirajućim krilcima za dobivanje električne energije koriste upravo gibanje zakrilaca. Gibanje valova uzrokuje gibanje zakrilaca koje pomoću hidrauličkog sustava pokreću generator. [2]

2.3. Tehnologije pretvorbe energije valova-postrojenja na morske valove

Kako bi se energija gibanja valova pretvorila u električnu energiju potrebna su posebna postrojenja tj. pretvarači energije valova. Osim što se razlikuju prema načinu na koji pretvaraju energiju valova u električnu energiju, materijala od kojih su građeni, utjecaja na okoliš, učinkovitosti pretvorbe energije i drugih karakteristika, pretvarači se razlikuju i prema lokaciji na kojoj su instalirani pa tako razlikujemo postrojenja na pučini, postrojenja u blizini obale i postrojenja na obali. Prema [9] većina pretvarača točnije 64% pretvarača je predviđeno za rad na pučini tj. za lokacije udaljenije od obale. Za razliku od postrojenja na obali koja kako sam naziv kaže nalaze se na obali, postrojenja na pučini su postrojenja koja su udaljena barem 5km od obale, dok su priobalna postrojenja u rasponu udaljenosti do 5km od obale. [10]

Postrojenja na morske valove se također međusobno razlikuju i prema dubini na kojoj su instalirani, ali i prema duljini na kojoj se "istežu" (produljuju) uslijed pretvaranja energije gibanja valova te prema načinu na koji su vezani za morsko dno. Jedna od najbitnijih razlika pojedinih postrojenja je način na koji pojedino postrojenje pretvara energiju valova u električnu energiju te koje mehanizme pri toj pretvorbi koristi i kolika je učinkovitost takve pretvorbe. [10]

Unatoč stalnom razvijanju tehnologija postoje izazovi s kojima se inženjeri susreću prilikom planiranja izgradnje i puštanja u pogon postrojenja na morske valove. Postoje i problemi s učinkovitosti pretvorbe energije valova u električnu energiju što se odražava i na financijska ulaganja i cijenu električne energije. Problem postrojenjima na morske valove mogu zadavati i vremenski uvjeti kao i slanoća mora koja s vremenom može oštetiti postrojenje. Uz navedene probleme postoje i problemi koji su vezani za većinu postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije a neki od njih su: nemogućnost konstante proizvodnje (npr. ukoliko se smanji razina valova), mogući negativni utjecaji na mrežu (objašnjeno u poglavlju 3.). [9] Instaliranjem

postrojenja na morske valove može se naštetiti vizualnom izgledu mora ili obale na mjestu gdje se postrojenje nalazi, kao što se može utjecati i na brodove koji plove. Bitan je i utjecaj na životinjski i biljni svijet u moru koji može biti narušen prilikom izgradnje takvog postrojenja. [10] Dakako, tehnologija pretvorbe energije valova u električnu energiju konstantno se razvija jer postoje i brojne pozitivne strane koje za sobom povlači takav način korištenja energije valova. Osim već spomenutih prednosti korištenja obnovljivih izvora energije (poglavlje 1.) ovakav način pretvorbe energije u električnu energiju omogućuje energetska neovisnost i ekonomski razvoj [11], a kako će se u praktičnom dijelu rada govoriti o Otoku Visu koji je dosta udaljen od obale takav način dobivanja električne energije uz korištenje fotonaponskih sustava i baterija za pohranu energije može omogućiti ugodniji i kvalitetniji život na otoku.

2.3.1. Tehnologije postrojenja na morske valove (pretvarača) na obali

Postoje brojne izvedbe pretvarača (postrojenja) koja se mogu instalirati na obali Jadranskog mora a jedno od njih je i postrojenje "Limpet" . Takvo postrojenje postoji u Škotskoj i radi na način da iskorištava promjene u visini stupca vode odnosno osciliranje mora. Morski valovi uzrokuju strujanje zraka, strujanje zraka pokreće turbinu koja služi kao pogonski uređaj generatora koji energiju proizvedenu od strane valova pretvara u električnu. Postrojenje se nalazi na obali pa samim time ima velik utjecaj na okoliš obale jer zauzima određeni prostor uz more, ali prednost takvoga postrojenja je što može biti implementirano u već postojeće konstrukcije koje služe za obranu od valova pa se tako mogu smanjiti i troškovi instalacije i smanjiti utjecaj na okoliš i zauzimanje dodatnog prostora. "Limpet" se nalazi uz obalu pa je bitno što su neki od glavnih dijelova kao što su turbina i generator smješteni na obali tj. ne nalaze se u moru pa i u slučaju kvara lakše je pristupiti određenim dijelovima kako bi se pokušali popraviti. Uz postrojenje "Limpet" moguće je energiju valova pretvarati u električnu energiju putem SSG postrojenja ("Seawave Slot-Cone Generator") koje bi se sastojalo od više razina spremišta vode i posebne višestupanjske turbine koja bi iskorištavala energiju valova. Kao i u slučaju postrojenja "Limpet" i "SSG" postrojenje bi utjecalo na krajolik, ali prednost "SSG" postrojenja je što bi osim na obali, ovakav princip rada bio moguće ostvariti i dalje od obale. [12]



Slika 2.5. Limpet, Wavegen, Škotska (lijevo) i SSG, Norveška (desno) [13,14]

2.3.2. Tehnologije postrojenja na morske valove (pretvarača) u blizini obale

Kada je riječ o postrojenjima u blizini obale vidljive su razlike u tehnologiji rada i razlike u izvedbi pojedinih postrojenja. Postrojenja u blizini obale također kao i postrojenja na obali mogu koristiti promjenu razine stupca vode, a jedan od primjera takvoga postrojenja je "Oceanlix". Rad takvog postrojenja se temelji na tome da se turbina pokreće zbog strujanja vjetra koje je uzrokovano morskim valovima. Prednosti takvoga postrojenja su: manji utjecaj na okoliš nego postrojenja uz obalu i manji utjecaj na vizualni izgled krajolika, lako održavanje jer se svi glavni dijelovi postrojenja nalaze iznad razine mora. Probleme u izvedbi ovakvoga postrojenja može uzrokovati parabolični zid kojemu je glavna zadaća valove usmjeravati u jednu točku kako bi se povećala mogućnost pretvorbe energije valova u električnu energiju. [12]

Osim iskorištavanja promjene razine stupca vode postrojenja u blizini obale mogu raditi na temelju diferencijalnog pritiska a jedno takvo postrojenje je postrojenje "CETO III". Jedna od glavnih komponenti takvoga postrojenja je pumpa u kojoj se nalazi zrak te kako se valovi gibaju zrak se dolazi do stlačivanja ili ekspanzije zraka koji regulira potrošnju generatora. Glavne prednosti spomenutoga postrojenja jesu: malen utjecaj na okoliš i gotovo nikakav utjecaj na vizualni izgled krajolika, lako održavanje i jednostavna izvedba tj. jednostavna izgradnja postrojenja. [12]

Postrojenja u blizini obale također mogu biti plutajući objekti i iskorištavati energiju valova. Plutajuća postrojenja mogu biti samostalna u smislu da se cijelo postrojenje sastoji od jedne cjeline, ali mogu se sastojati od više povezanih cjelina kao što je postrojenje "WaveStar". Spomenuto postrojenje za dobivanje električne energije koristi hidrauličku pumpu i hidraulički

motor koji je spojen s akumulatorom. Takvo postrojenje nema prevelik utjecaj na okoliš, a izvedba i održavanje postrojenja nije prezahtjevna. [12]

Uz navedena postrojenja u blizini obale postoje i postrojenja kao što je "WavePlane" tj. postrojenja koja plutaju na površini mora ali su privezani za morsko dno. Takvo postrojenje sadrži nekoliko spremnika vode te nailazeći valovi pune spremnike. Voda se iz najvišljeg spremnika spušta prema nižem i na kraju dolazi do turbine. Postrojenje karakterizira malen utjecaj na okoliš, ali kako je postrojenje usidreno za morsko dno, takvo postrojenje može utjecati na navigaciju i plovidbu brodova. [12]

Uz nabrojana postrojenja u blizini obale moguća je i instalacija postrojenja kao što je "Oyster" koje se giba u smjeru gibanja valova. Postrojenje je zapravo učvršćeno za morsko dno, ali dio postrojenja koji se giba u smjeru valova izvire i na površinu mora. Takvo postrojenje koristi se blizu obale što smanjuje troškove prilikom njegovog instaliranja, ali postrojenje je manje učinkovitosti jer valovi gube na snazi u plićim vodama. Problem kod spomenutog postrojenja može nastati ukoliko se dogodi kvar pumpe zbog toga što se pumpa nalazi na nepristupačnom mjestu, ali generator i oprema koja se nalazi uz generator se nalazi na obali što je pozitivna stvar. [12]



Slika 2.6. "Oceanlix" (gore lijevo), "WavePlane " (dolje) i "Oyster" (gore desno) [15,16,17]

2.3.3. Tehnologije postrojenja na morske valove (pretvarača) na pučini

Kao i postrojenja uz obalu ili u blizini pučine tako se i postrojenja na pučini razlikuju prema načinu na koji energiju valova pretvaraju u električnu energiju. Postrojenja na pučini također mogu iskorištavati promjenu razine stupca vode, a najbolji primjer je postrojenje "OE Bouy". [12.] Svoj rad takvo postrojenje temelji na strujanju zraka (koji nastaje zbog gibanja valova) koji pokreće turbinu. [18] "OE Buoy-a" je postrojenje koje ima malen utjecaj na okoliš, a najbitniji dijelovi postrojenja se ne nalaze u vodi što olakšava pristup. [12]

Postrojenja na pučini mogu svoj rad temeljiti na diferencijalnom pritisku pa tako postoji postrojenje "Archimedes Wave Swing" koje se sastoji od dva cilindra. Jedan cilindar je nepomičan dok se drugi može gibati. U cilindru koji se može gibati nalazi se zrak koji se podliježe kompresiji ili ekspanziji kako val prolazi kroz postrojenje. Postrojenje je dosta veliko pa dosta i utječe na okoliš i vizualni izgled krajolika, a ni sama izvedba nije jednostavna kao ni transport postrojenja do lokacije na kojoj se želi instalirati. [12]

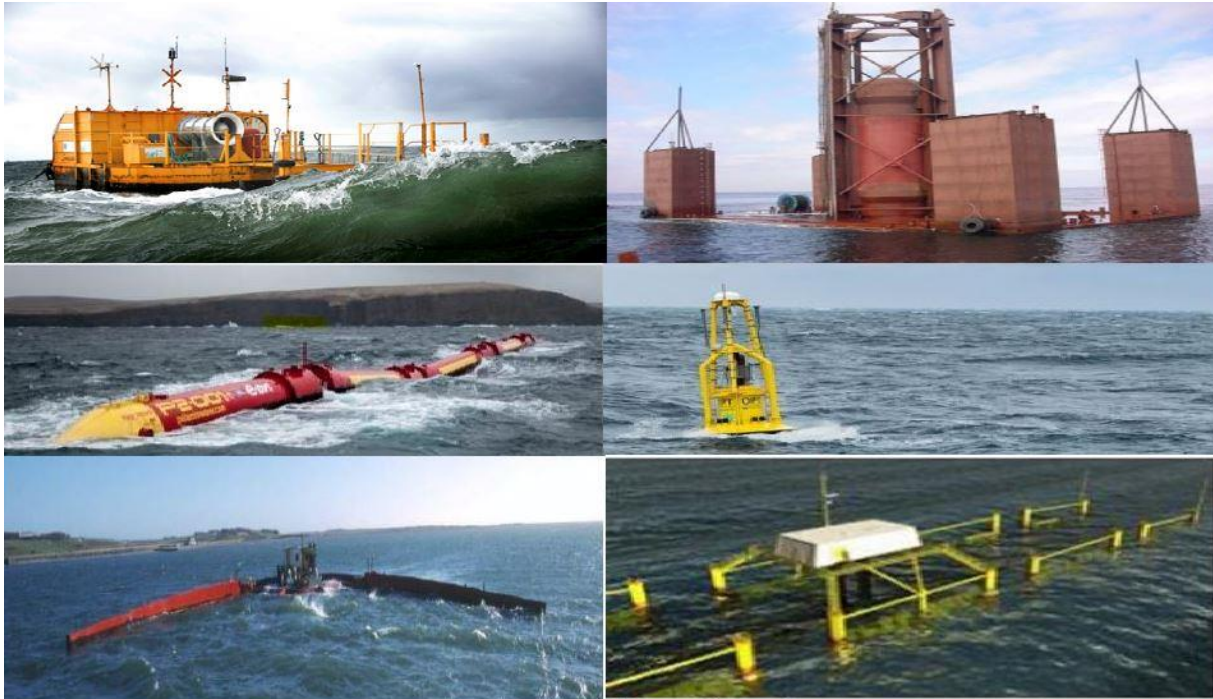
Primjer plutajućeg postrojenja na pučini koje se sastoji od više povezanih struktura je postrojenje "Pelamis". Spomenuto postrojenje iskorištava energiju gibanja valova tako da se postrojenje pomiče kako se valovi gibaju tj. paralelno sa gibanjem valova. [9] Za pretvorbu energije valova koristi se hidraulički sustav (hidrauličke pumpe) koji za dobivanje električne energije koristi ulje pod visokim tlakom. Iako se postrojenje sastoji od više struktura, strukture se mogu međusobno povezati te se na mrežu zapravo spajaju preko jednog voda te zapravo rade kao jedno postrojenje. Utjecaj "Pelamisa" na okoliš i vizualni izgled krajolika je vrlo malo, a prednost je i što je uslijed kvara moguće lako zamijeniti ili popraviti opremu. [12]

Za razliku od postrojenja "Pelamis" postoje i postrojenja koje su izvedene kao jedna cjelina tj. sastoje se od jedne strukture kao što je postrojenje "Power Buoy". Postrojenje se nalazi na površini mora i giba se vertikalno s obzirom na površinu mora uslijed gibanja valova. Spomenuto postrojenje ima malen utjecaj na vizualni izgled okoliša, ali zahtijeva postavljanje u dubokim morima. [9]

Postrojenje "Wave Dragon" pomoću opreme za prelijevanje vode pretvara energiju valova u električnu energiju. [9] Zauzima velik prostor te samim time ima veliki utjecaj na vizualni izgled krajolika, a sastoji se od spremnika vode i dva "kraka" koja služe za usmjeravanje valova. Usmjereni valovi se usmjeravaju prema spremniku vode te se voda koristi za pokretanje

Kaplanove turbine. Zbog veličine postrojenja nije moguće lako transportirati postrojenje na željenu lokaciju.[12]

Uz spomenuta postrojenja i načine iskorištavanja energije valova na pučini također je moguća instalacija postrojenja koje će iskorištavati energiju valova ispod površine mora, a primjer takvog postrojenja je "Langlee Wave Power". Postrojenje je dosta veliko ali ne narušava vizualni pogled jer iskorištava energiju valova ispod razine mora. [12]



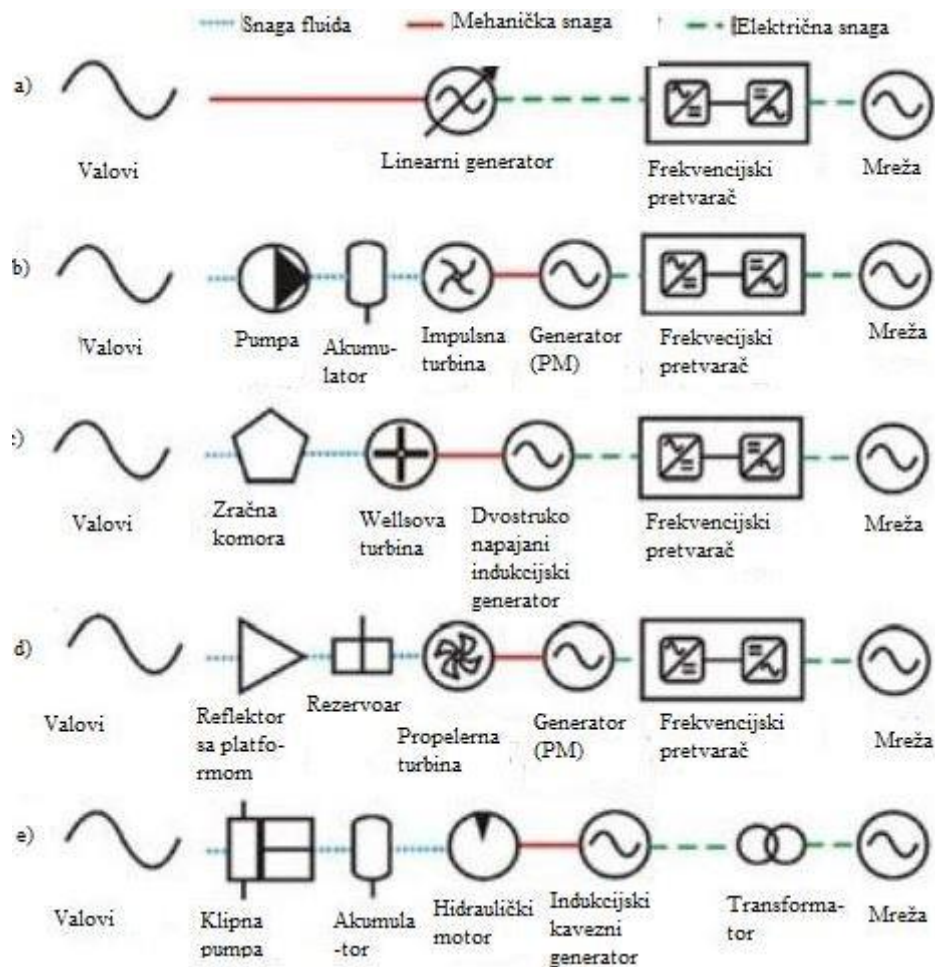
Slika 2.7. Postrojenja na pučini [9, 12, 18, 19]

Na slici 2.7. prikazana su postrojenja na pučini: "OE Buoy" (gore lijevo), "Archimedes Wave Swing" (gore desno), "Pelamis" (sredina lijevo), "Power Buoy" (sredina desno), "Wave Dragon" (dolje lijevo) i "Langlee Wave Power" (dolje desno)

2.4. Načini priključenja postrojenja na morske valove na mrežu

Postoji nekoliko načina kako se elektrane na obnovljive izvore električne energije mogu priključiti tj. spojiti na već postojeću električnu mrežu pa se tako razlikuju: "izravan priključak" na mrežu, "neizravan priključak" koji se izvodi pomoću energetske pretvarača (potpuno ili djelomično neizravan) i "modularni priključak" na mrežu. Postrojenja na morske valove su zapravo pretvarači energije valove i čest je slučaj da se na mrežu spajaju uz pomoć frekvencijskog pretvarača. Uloga frekvencijskog pretvarača, ali i druge elektronske opreme

(pretvarači, izmjenjivači...) koja se koristi pri spajanju elektrane na mrežu je držati u granicama električne veličine kao što su napon, frekvencija i snaga kako bi se zadovoljili kriteriji povezivanja postrojenja na mrežu. [2,20]

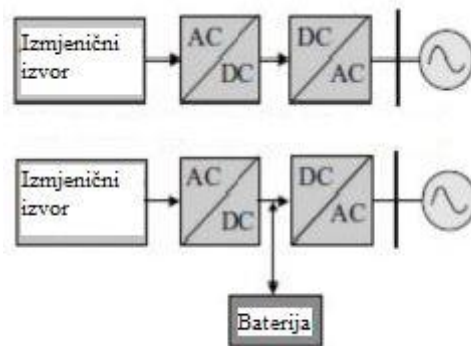


Slika 2.8. Tehnologije priključaka postrojenja na morske valove na postojeću elektroenergetsku mrežu [2]

Na slici 2.8. vidljive su različite izvedbe priključenja postrojenja na morske valove na postojeću elektroenergetsku mrežu. Na shemama su vidljivi različiti elementi tj. oprema koja se koristi prilikom priključenja postrojenja na morske valove na mrežu. Koriste se i različite izvedbe generatora. Razlikuju se i turbine koje se mogu koristiti (Wellsova, impulsna i propelerna), a biraju se prema snazi valova tj. brzini okretanja koja je potrebna kako bi mogli "pogoniti" generator. Također moguće je korištenje i akumulatora i rezervoara vode.

Bitno je naglasiti kako se za priključenje postrojenja na morske valove na već postojeću mrežu koristi ili frekvencijski pretvarač (u većini slučajeva) ili transformator. Njihova uloga je osigurati što veću učinkovitost proizvodnje električne energije i kontrola te proizvodnje kako bi se postigli zahtjevi mreže. [20]

Frekvencijski pretvarači koriste istosmjernu vezu za priključak na mrežu, a razlikuju se sustavi s pohranom energije i sustavi bez mogućnosti pohrane energije. Najčešće se kao sustav za pohranu energije koriste baterije.



Slika 2.9. Frekvencijski pretvarač bez pohrane energije (gore) i frekvencijski pretvarač sa pohranom energije (dolje) [20]

Na slici 2.9. može se vidjeti kako se spremnik energije tj. baterija nalazi na DC (istosmjernoj) strani.

3. UTJECAJ INTEGRACIJE POSTROJENJA NA MORSKE VALOVE NA ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

Iako je korištenje obnovljivih izvora električne energije od velike važnosti potrebno je naglasiti kako prilikom integracije postrojenja na obnovljive izvore energije može doći do poremećaja u elektroenergetskom sustavu te može doći do potrebe za dodatnim financijskim ulaganjima. Moguće posljedice integracije postrojenja na morske valove su:

- naponske promjene na elementima mreže
- mreža više nije pasivna već postaje aktivna
- dolazi do promjene strujnih prilika u mreži
- promjena kvalitete električne energije [8]

3.1. Utjecaj integracije postrojenja na naponske prilike u mreži

Zbog nabrojanih posljedica koje se mogu dogoditi prilikom integracije postrojenja na morske valove dolazi se do ograničenja u maksimalnoj snazi postrojenja koja se može integrirati odnosno dolazi se do ograničenja maksimalnog dopuštenog broja distribuiranih izvora, odnosno postrojenja na morske valove. Razina integracije postrojenja na obnovljive izvore može biti ograničena zbog promjena naponskih razina na elementima mreže odnosno prevelikog povećanja napona. Pojava povećanja napona ovisi o snazi distribuiranog generatora odnosno o snazi distribuiranog izvora ali i o njegovoj lokaciji. Porast napona može se prikazati formulom [8]:

$$\Delta u_{gen} = \begin{cases} L \cdot \frac{R \cdot P_{gen}}{U_{nom}^2}, & L \leq L_{gen} \\ L_{gen} \cdot \frac{R \cdot P_{gen}}{U_{nom}^2}, & L \geq L_{gen} \end{cases} \quad (3-1)$$

Prema formuli vidimo kako postoje dva slučaja porasta napona, odnosno prvi slučaj kada je udaljenost generatora veća od udaljenosti na vodu (eng. "feeder") i slučaj kada je udaljenost generatora manja. Porast napona ovisi i o snazi generatora P_{gen} , otporu generatora R kao i o nazivnom naponu U_{nom} . [8]

Potrebno je istaknuti kako je maksimalno dozvoljeni porast napona ovisan o vrsti mreže i o trenutnom iznosu napona u toj mreži. Svaka država ima svoja pravila koja opisuju i ograničavaju dozvoljene vrijednosti napona s obzirom na naponsku razinu.

Tablica 3.1. Dopuštena odstupanja napona prema mrežnim pravilima u Republici Hrvatskoj [20]

	Nazivni napon [kV]	Dopušteno postotno odstupanje [%]	Dopušten naponski raspon [kV]
Prijenos (viši napon)	400	-10/+5	360 – 420
	220	+/-10	198 – 242
	110	+/-10	99 – 121
Distribucija (srednji napon)	35	+/-10	31,50 – 38,50
	20	+/-10	18 – 22
	10	+/-10	9 - 11
	0.4	+/-10	0,36 – 0,44

U tablici 3.1. dani su podaci za sustav prijenosa i sustav distribucije električne energije, a razlika ta dva sustava je u naponskim razinama. Za sve naponske razine i distribucijskog sustava i prijenosnog sustava dopušteno je odstupanje napona +/- 10% osim u slučaju kada je nazivni napon 400 kV te je tada dopušteno odstupanje -10% i +5% nazivne vrijednosti napona.

Iako je napon često ograničavajući faktor za razinu integracije postrojenja na obnovljive izvore električne energije postoje metode kojima se može utjecati na napon kako bi se povećala mogućnost razine integracije. Neke od metoda su [20]:

- Regulacija/mijenjanje prijenosnog omjera transformatora
- nadogradnja mreže
- upravljanje snagom
- korištenje većeg broja metoda zajedno
- novije metode kao što su korištenje baterija za pohranu električne energije i korištenje sustava za upravljanje potrošnjom

Svaka od nabrojanih metoda ima utjecaj na povećanje razine integracije ali ponekad neku od tehnologija nije moguće ostvariti zbog postojeće infrastrukture ili zbog dodatnih financijskih ulaganja.

Transformator se sastoji od visokonaponske i niskonaponske strane, a promjenom prijenosnog omjera transformatora (prijenosni omjer je odnos napona ili broja namota između visokonaponske i niskonaponske strane) može se utjecati na regulaciju napona u mreži. Takav oblik regulacije napona u mreži se koristi u velikom broju slučajeva, a izvodi se na način da se postavlja preklopka na visokonaponsku ili niskonaponsku stranu. Preklopka se najčešće postavlja na visokonaponsku stranu jer je za visokonaponsku stranu transformatora karakteristična manja struja nego na niskonaponskoj strani. Preklopkom se zapravo određuje broj zavoja visokonaponske ili niskonaponske strane transformatora, a ukoliko se broj zavoja na visokonaponskoj strani poveća to će rezultirati smanjivanjem vrijednosti napona na niskonaponskoj strani i obrnuto. [20]

Osim regulacije napona u mreži pomoću prijenosnog omjera transformatora, napon u mreži može se regulirati tako da se izgrade novi vodovi i postave novi transformatori pa bih se samim time povećala i razina integracije, ali to zahtijeva dodatna financijska ulaganja. [20] Kada je riječ o rekonfiguracijama u mreži postoje dvije vrste rekonfiguracije mreže, a razlikuju se po vremenu u kojemu trebaju biti izvršene [21]:

- „statička rekonfiguracija“
- „dinamička rekonfiguracija“

Obje rekonfiguracije omogućavaju povećanje broja integriranih generatora tj. postrojenja u mrežu bez potrebe za dodatnim ulaganjima u mrežu kako bi mreža postala jača. [21]

Regulacijom distribuirane proizvodnje iz distribuiranog generatora također se može utjecati na razinu napona u mreži, a podrazumijeva regulaciju radne (djelatne) i reaktivne (jalove) snage generatora. Neki od načina za regulaciju djelatne snage generatora su:

- Težiti da faktora snage generatora bude blizu vrijednosti jedan kako bi se povećala učinkovitost proizvodnje,
- gašenje proizvodnje ili postavljanje ograničenja kojima će se odrediti maksimalna proizvodnja generatora,
- proizvodnja iz generatora se može držati na konstantnoj vrijednosti,

- proizvodnju generatora regulirati na način koji će dovesti do uravnoteženja energije u sustavu.

Osim regulacije djelatne snage generatora potrebno je regulirati i reaktivnu snagu generatora. Ukoliko je slučaj da na nekom mjestu u mreži dolazi do pojave prevelikog napona moguće rješenje je smanjiti jalovu snagu generatora. [20]

Korištenje više metoda zajedno kao što su npr. metoda upravljanja reaktivnom snagom generatora uz metodu upravljanja prijenosnim omjerom transformatora omogućava stabilan sustav. Metoda regulacije napona pomoću spremnika energije i sustava za upravljanja potrošnjom su neophodne ukoliko se želi povećati razina integracije. [20]

Problem porasta napona i preopterećenja u mreži nije vezan samo za broj distribuiranih generatora odnosno nije vezan sam za iznos integrirane snage u mreži već i za distribuciju generatora u tri faze odnosno koliko je generatora spojeno na koju fazu. Kako bi lakše opisali utjecaj po fazama uveden je "distribucijski faktor" koji se koristi u određenim niskonaponskim mrežama, a određuje se pomoću formule (3-2). [22]

$$f_d = \frac{n_a}{n_{tot}} + a \cdot \frac{n_b}{n_{tot}} + a^2 \cdot \frac{n_c}{n_{tot}} \quad (3-2)$$

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad (3-3)$$

Oznake n_a , n_b i n_c označavaju broj distribuiranih generatora po pojedinoj fazi, a n_{tot} je ukupni broj distribuiranih generatora u sve tri faze. Distribucijski faktor f_d poprima vrijednost 0 ukoliko je na svaku fazu priključeno jednako distribuiranih generatora. Ukoliko je na dvije od tri faze spojen jednak broj distribuiranih generatora, a na treću fazu nema spojenih generatora iznos distribucijskog faktora će biti 0.5. Ako su svi generatori spojeni na jednu fazu distribucijski faktor će poprimiti vrijednost 1. Što je distribucijski faktor veći veća je i mogućnost prenapona. [21,22]

Kada je riječ o problemima koji mogu nastati uslijed integracije postrojenja na obnovljive izvore električne energije promjena napona je svakako jedan, ako ne i najveći problem posebice u ruralnim područjima gdje je često elektroenergetska mreža slaba. Opskrbljivači električnom energijom odnosno mrežni operateri imaju za zadaću održavati sve karakteristične veličine pa tako i napon u zadanim granicama unutar cijeloga sustava. Pomoću spomenutih metoda za upravljanje naponom moguće je smanjiti dodatne troškove za poboljšanja (rekonfiguraciju) u

mreži uslijed integracije postrojenja na obnovljive izvore energije te je moguće povećati razinu integracije. [23]

3.2. Utjecaj integracije postrojenja na morske valove na tokove snaga u mreži

Integracijom postrojenja na obnovljive izvore električne energije dolazi do promjene toka snage tj. toka energije pa tako postojeća mreža postaje aktivna. Aktivna mreža je pojam koji označava kako umjesto da se energija prenosi samo od izvora prema trošilu, energija se može prenositi i u suprotnom smjeru odnosno u smjeru od trošila prema izvoru. Osim što može doći do promjene toka odnosno smjera snage, može doći i do promjene iznosa toka snage pa tako može doći do povećanja odnosno smanjenja toka snage u nekom dijelu mreže. Do povećanja toka snage u pojedinim dijelovima mreže može doći ako se proizvodnja električne energije sve više povećava dok potrošnja ostaje konstantna ili se smanjuje, a do smanjenja iznosa toka snage može doći ukoliko je distribuirani izvor blizu potrošača. Može se zaključiti kako je tok snage zapravo određen trenutnom potrošnjom i trenutnom proizvodnjom odnosno njihovom razlikom. „Maksimalna proizvodnja iz distribuiranih izvora koja neće rezultirati neprihvatljivim preopterećenjem (uzlaznim tokom snaga kroz izvod) mora biti manja od zbroja snage minimalne potrošnje i maksimalno dozvoljene snage (toka snage kroz izvode).“ [20]

3.3. Utjecaj integracije postrojenja na promjenu struje i struje kratkoga spoja u mreži

Zbog sve veće potražnje električne energije vidljiv je i rast integracije distribuiranih generatora na obnovljive izvore električne energije te zbog rasta broja integriranih generatora događaju se određene promjene u mreži kao što su promjene po iznosu struje i promjena iznosa struje kratkoga spoja. Kada se planira izgradnja mreže ili dijela mreže, svu opremu tj. elemente mreže koji će se koristiti u toj mreži se dimenzionira na način da budu izdržljiviji i snažniji od najgorih slučajeva koji se mogu dogoditi u mreži a dobiveni su računski ili simulacijom. Elektroenergetska mreža se osim transformatora i generatora sastoji i od vodova i zaštite, ali i drugih elemenata. Prilikom odabira odgovarajućeg voda ili zaštite mora se voditi računa o tome da ne budu termički preopterećeni kada se mreža pusti u pogon. Treba naglasiti kako u stvarnim uvjetima termička naprezanja opreme u mreži nisu vezana samo za iznos struje tj. iznos snage koja se prenosi već na termička naprezanja imaju velik utjecaj i okolinski uvjeti kao što su: vjetar, kiša, snijeg, temperatura zraka i drugi. Ukoliko je riječ o vodovima ili kabelima može se

reći kako je čest slučaj da je dopuštena opteretivost pojedinog voda ili kabela dosta veća nego što će zapravo biti opterećeni kada se puste u pogon, a razlog tomu je smanjenje gubitaka energije i smanjivanje broja propada napona. Veći presjek kabela i vodova je skuplji od manjih presjeka, ali se smanjuju gubici energije prilikom prijenosa pa je to pozitivan utjecaj gledano s energetske i financijske strane. Osim vodova i kabela u mreži postoje i transformatori koji često mogu biti ograničavajući faktor za daljnju integraciju distribuiranih izvora električne energije zbog njihovog termičkog naprezanja. Problem koji se može javiti kod transformatora je i taj što postoji dvosmjerni tok snage pa su mogući slučajevi uzlaznog toka snage tj. slučaja kada bi se snaga prenosila u suprotnom smjeru. Kako bi se ograničila strujna opterećenja tj. kako ne bi došlo do preopterećenja pojedinih komponenti u mreži te kako bi se povećala razina integracije distribuiranih izvora postoje metode kojima se može utjecati na strujna opterećenja pa tako postoje: [20]

- „Povećanje sposobnosti opterećenja vodova, dinamička sposobnost opterećenja i izgradnja novih veza,
- Dinamička uzdužna i poprečna kompenzacija,
- Sustavi za upravljanje energijom,
- Upravljanje potražnjom i skladištenje energije,
- Prespajanje i napredna zaštita .” [20]

Izgradnja novih dijelova mreže ili zamjena postojećih vodova novim vodovima koji su većeg presjeka je zasigurno dobra metoda za povećanje razine integracije ali podrazumijeva velika dodatna financijska ulaganja. Metoda koja podrazumijeva dinamička opterećenja vodova je zapravo metoda kojom se prate trenutni vremenski uvjeti u nekom trenutku te se tako mijenja maksimalno moguće opterećenje vodova. [20] Metodom za dinamičko opterećenje analizira se temperatura vodiča koji se nalazi na promatranom vodu i u stvarnom vremenu prati temperaturne promjene u okolini. [24]

Kako bi se smanjila strujna opterećenja, a samim time omogućila veća razina integracije moguće je korištenje metode za regulaciju tokova snaga odnosno dinamičkom i poprečnom kompenzacijom. Izvođenje poprečne kompenzacije izvodi se pomoću transformatora i takvom metodom smanjuju se problemi u sustavu prilikom oscilatorne proizvodnje iz distribuiranih generatora, a oscilatorna proizvodnja je moguća jer se radi o proizvodnji iz obnovljivih izvora energije. Kada je riječ o uzdužnoj kompenzaciji bitna je uloga FACTS („Flexible Alternating

Current Transmission System”) uređaja. Uloga takvih uređaja je da promjenom uzdužne impedancije utječu na mogućnost većeg opterećenja vodova. [20]

Sustav za upravljanje energijom zahtijeva ugradnju tj. korištenje informacijsko-komunikacijske tehnologije u mreži kako bi se mogla ostvariti komunikacija između proizvođača električne energije (distribuiranih generatora) i uređaja u kojima i se električna energija skladištila tj. uređaji koji bi pohranili električnu energiju. [20] Ideja sustava za upravljanje energijom je prikupljati informacije o proizvodnji i potrošnji električne energije u stvarnom vremenu te omogućiti krajnjim korisnicima kupovanje ili prodavanje električne energije po prihvatljivim cijenama. Zadaća sustava je nadzirati rad mreže na način da se prate karakteristični parametri mreže i na osnovu prikupljenih podataka reagirati kako bi se stanje u mreži poboljšalo, a takav način rada je poznat kao SCADA („Supervisory Control And Data Acquisition”) sustav. Korištenje sustava za upravljanje energijom jedan je od temelja za razvoj naprednih mreža zbog toga što omogućava tok energije u mreži u više smjerova tj. iz mnogo distribuiranih izvora te prikazuje cijene električne energije u stvarnom vremenu tako što prati trenutnu potrošnju i proizvodnju. [25]

Osim sustava za upravljanje električnom energijom budućnost razvoja naprednih mreža ovisi i o sustavima za skladištenje energije kao i mogućnosti upravljanja potrošnjom. Ukoliko dolazi do preopterećenja u mreži može se smanjiti razlika između potrošnje i proizvodnje na način da se poveća potrošnja ili smanji proizvodnja ili pohranom električne energije. [20] Ideja upravljanja potrošnjom podrazumijeva pristanak potrošača na uvjet da operater elektroenergetskog sustava upravlja njegovom potrošnjom, odnosno da operater može pokrenuti ili prekinuti napajanje pojedinih procesa kod potrošača koji nisu neodgodivi. Upravljanje potrošnjom može biti izvedeno i na način da sam potrošač regulira svoju potrošnju tj. da koristi električnu energiju kada je potražnja manja ili kada energije ima više u sustavu, a tada je i cijena električne energije manja. [26] Upravljanje potrošnjom utječe i na smanjenje računa za potrošenu električnu energiju. Osim upravljanja potrošnjom preopterećenja se mogu smanjiti i skladištenjem električne energije (spremnici) gdje bitnu ulogu ima zaštita koja mora reagirati kada će se spremnici električne energije “puniti”, a kada ne. [20]

Integracija postrojenja na obnovljive izvore energije može imati utjecaj i na struje kratkog spoja na način da struja kratkog spoja na pojedinom mjestu u mreži može promijeniti svoj iznos ili smjer u kojemu će teći struja kvara pa upravo promjena struje kratkog spoja može predstavljati problem zbog kojega nije moguće daljnja integracija na mrežu. Zbog promjene struje kratkog

spoja nužno je provjeriti vrijednosti na koje su postavljeni odnosno parametri na koju je postavljena zaštita u mreži kako bi reagirala kada je to potrebno.[20]

3.4. Utjecaj integracije postrojenja na gubitke u mreži

Prilikom prijenosa energije u mreži dolazi do gubitaka što za posljedicu ima financijske gubitke, ali i potrebu za većom proizvodnjom energije koja bi trebala pokriti potražnju i stvorene gubitke prilikom prijenosa. Prema [27], postavljanje distribuiranih generatora određene nazivne snage na pravu lokaciju u mreži može utjecati na 86% gubitaka djelatne snage. Jedna od prednosti korištenja distribuirane proizvodnje je ta što se može proizvoditi i djelatna i reaktivna snaga te se na taj način može utjecati na stabilnost unutar mreže. Ideja za smanjivanje gubitaka u mreži je postaviti distribuirani izvor na mjesto u mreži blizu potrošača i probati održavati proizvodnju jednaku potrošnji. [20] Iako se može utjecati na smanjenje gubitaka, integracijom postrojenja na obnovljive izvore energije može se utjecati i na porast gubitaka u mreži. Promjena iznosa gubitaka u mreži može se prikazati formulom (3-4). [8]

$$\Delta E_{loss} = \sum_{s=1}^N \int_0^T G_s(t) \cdot [2L_s(t) - G_s(t)] dt \quad (3-4)$$

Slovo s kod varijabli G_s i L_s predstavlja izvod "s" dok broj N označava broj izvoda, a G i L predstavljaju potrošnju i proizvodnju električne energije na tom izvodu. Kada je izraz (3-4) veći od nula dolazi do smanjivanja gubitaka energije, a ukoliko je izraz manji od nula dolazi do povećanja gubitaka energije uslijed proizvodnje iz distribuiranih generatora. [8] Gubici djelatne P_{gi} i jalove Q_{gi} snage prikazani su formulom (3-5) i (3-6). R_i i X_i predstavljaju radni i reaktivni otpor dok I_i predstavlja struju. [20]

$$P_{gi} = 3 \cdot |I_i|^2 \cdot R_i \quad (3-5)$$

$$Q_{gi} = 3 \cdot |I_i|^2 \cdot X_i \quad (3-6)$$

3.5. Utjecaj integracije postrojenja na kvalitetu električne energije

Električna energija može se opisati s četiri fizikalne veličine: amplituda, frekvencija, valni oblik i simetrija napona te pomoću tih veličina se određuje kvaliteta električne energije. Republika Hrvatska kao članica Europske unije prihvaća Normu EN 50160 koja objašnjava ograničenja opskrbnog napona za niskonaponske i srednjenaponske mreže. [28]

Tablica 3.2. Norma EN 50160 [28]

EN 50160			
POKAZATELJ	ODGOVARAJUĆA MJERNA JEDINICA	Obilježja niskog napona	Obilježja srednjeg napona
Promjene napona	V	$\pm 10\% U_n$ za 95 % tjedna	$\pm 10\% U_n$ za 95 % tjedna
		+10/-15 % U_n za 5 % tjedna	
Kratki prekidi	Broj	< 3 min. – nekoliko desetaka do stotina godišnje	
Dugi prekidi	Broj	≥ 3 min. – < 10 – 50 godišnje	
Propadi	Broj	nekoliko desetaka do tisuću godišnje	
THD napona	% U_n	< 8 % U_n	
Treperenje	P_{lt}	$P_{lt} \leq 1$, za 95 % tjedna	
Nesimetrija	% U_n	< 2 % U_n	
Frekvencija	Hz	$\pm 1\% U_n$ za 99,5 % godine	
		+ 4/-6 % U_n za 100 % vremena	

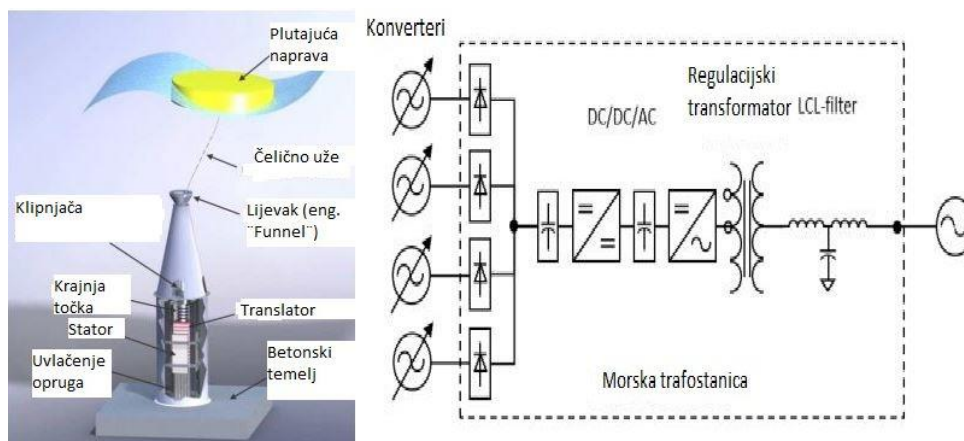
4. POSTROJENJE NA MORSKE VALOVE NA OTOKU VISU

U Diplomskom radu analizirat će se integracija postrojenja na morske valove na otoku Visu. Postrojenje koje će se integrirati i čiji će se utjecaj na ostatak mreže promatrati razvijeno je na Sveučilištu Uppsala ("Uppsala University") u Švedskoj.

Spomenuto postrojenje izvedeno je na način da se pomični dio postrojenja koji se naziva "plovak" nalazi na površini vode, dok se linearni generator s permanentnim magnetom koji pretvara energiju valova u električnu energiju nalazi ispod "plovka" na dnu mora. Generator i plovak povezani su čeličnim užetom. Pretvorba energije valova u električnu energiju odvija se na način da prilikom gibanja valova dolazi do pomicanja plovka te dolazi do gibanja "translator-a" koji se nalazi u generatoru. Prilikom gibanja "plovka" i "translator-a" dolazi do promjene magnetskog toka po iznosu i smjeru te se u statoru generatora inducira elektromagnetsko polje. Promjenjivi magnetski tok može se prikazati formulom: [8,29]

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \sin \cdot (k \cdot x + \theta) \quad (4-1)$$

Prema formuli (4-1) vidljivo je kako je magnetski tok sinusnog oblika u kojemu varijabla "k" predstavlja broj morskih valova, " Φ_0 " predstavlja amplitudu funkcije, varijabla "x" predstavlja udaljenost "translator-a", a " θ " predstavlja fazu. [29]



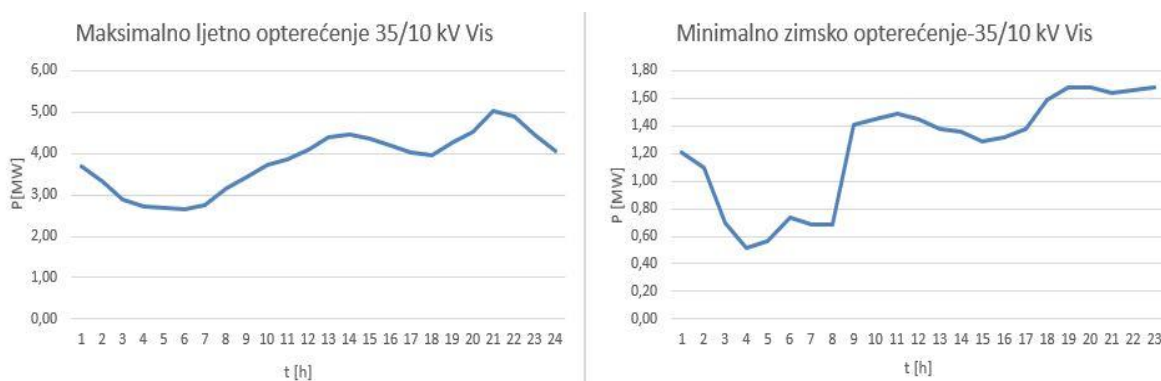
Slika 4.1. "Uppsala University" model (lijevo) i shematski prikaz povezivanja više konvertera (desno) [8]

Ukoliko je za željenu snagu koja se želi dobiti potrebno više pretvarača, oni se spajaju kao na slici 4.1., a izmjenične veličine struje i napona se prvo pretvaraju u istosmjernu pa zatim ponovno u izmjeničnu veličinu kako vi se povećala kvaliteta električne energije. [8]

4.1. Modeliranje elektroenergetske mreže otoka Visa

Mreža otoka Visa modelirana je prema stvarnim podacima i shemama dobivenima od HEP-a.

Otok Vis napaja se iz transformatorske stanice "35/10 kV Vis". Spomenuta transformatorska stanica kao i dio mreže koji se nalazi na visokonaponskoj strani transformatorske stanice nadomještena je "krutom mrežom". S niskonaponske strane transformatorske stanice (10 kV) izvode se tri vodna polja: "Vinarija", "Komiža" i "Podstražje". Transformatorske stanice su međusobno povezane sa različitim vodovima i kabelima izvedenih od različitih materijala, različitih izolacija, različitih presjeka kao i različitih duljina. Uz transformatorske stanice u mreži se nalazi i fotonaponska elektrana snage 2 MW i statički generator kojim je modelirano postrojenje na morske valove, a u jednom slučaju je dodana i baterija. U diplomskom radu promatrat će se utjecaj integracije postrojenja na morske valove na cjelokupnu mrežu za dva karakteristična slučaja: maksimalno ljetno i minimalno zimsko opterećenje.



Slika 4.2. Maksimalno ljetno opterećenje transformatorske stanice "35/10 kV Vis" (lijevo) i minimalno zimsko opterećenje transformatorske stanice "35/10 kV Vis" (desno); [izvor HEP]

Iz krivulja na slici 4.2. može se vidjeti kako je potražnja za električnom energijom najmanja u ranim jutarnjim satima (3:00-5:00h), a maksimalna u večernjim satima (19:00-21:00h). Kada je riječ o maksimalnom ljetnom opterećenju (promatrano datuma 6.8.2012.) najveća izmjerena vrijednost iznosi 5,04 MW u 20:00h dok minimalna vrijednost iznosi 2,66 MW u 5:00h, a prosječna vrijednost kroz 24h iznosi 3,818 MW. U slučaju minimalnog zimskog opterećenja (promatrano datuma 21.11.2013.) najveća vrijednost iznosi 1,68 MW u 19:00h, minimalna vrijednost je 0,51 MW u 3:00h dok je prosječna vrijednost 1,192 MW.

Poznavanjem iznosa električne struje može se izračunati prividna snaga cjelokupnog vodnog polja (S_{izvod}) pomoću formule:

$$S_{izvod} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (4-2)$$

Za napon U se uzima vrijednost 10.000V jer se proračun vrši na toj naponskoj razini, a struja I se očitava iz grafa. Kada nam je poznata snaga vodnog polja pomoću formule (4-3) može se izračunati opterećenje pojedine transformatorske stanice u tom vodnom polju (S_{teret}). [izvor HEP]

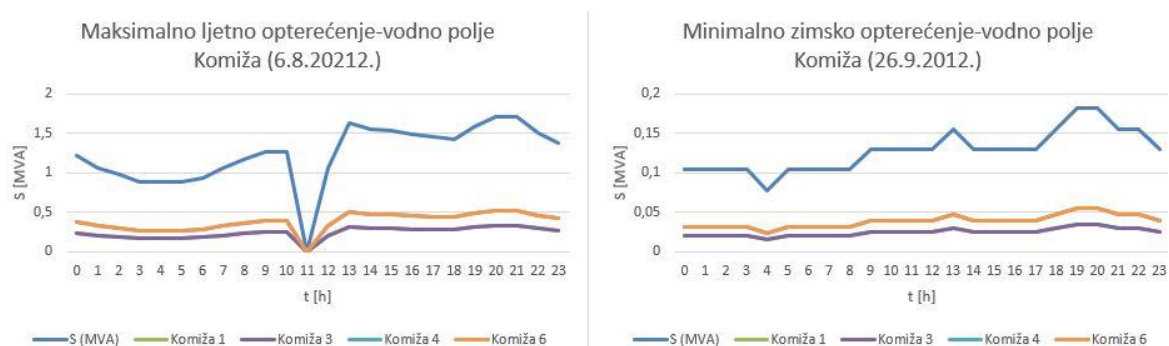
$$S_{teret,i} = S_{izvod} \cdot \frac{S_{n,i}}{\sum_{i=1}^n S_{n,i}} \cdot f_g \quad (4-3)$$

- $S_{n,i}$ je oznaka za nazivnu snagu transformatora na kojemu se računa opterećenje
- f_g predstavlja faktor gubitaka (u proračunima Diplomskog rada uzimala se vrijednost 1)

Krivulje maksimalnog ljetnog i minimalnog zimskog opterećenja za vodno polje "Komiža" prikazano je na slici 4.3., a u tablici 4.1. prikazane su nazivne snage pojedinih transformatorskih stanica u vodnom polju "Komiža".

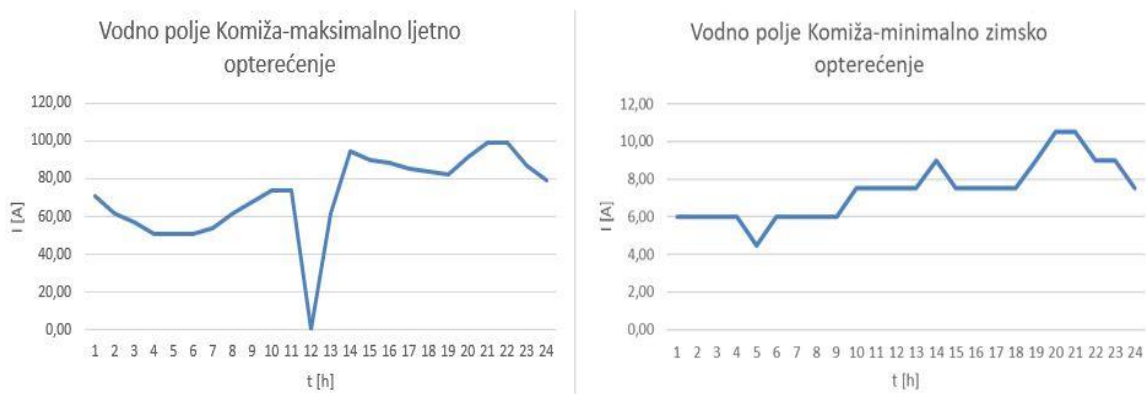
Tablica 4.1. Snage trafostanica vodnog polja "Komiža" [izvor HEP]

Transformatorska stanica	Snaga S[MVA]
Komiža 1	0,4
Komiža 3	0,4
Komiža 4	0,63
Komiža 6	0,63



Slika 4.3. Maksimalno ljetno (lijevo) i minimalno zimsko (desno) opterećenje - vodno polje "Komiža"

Krivulja S (MVA) na slici 4.3.. predstavlja ukupno opterećenje tj. zbroj opterećenja pojedinih transformatorskih stanica koje pripadaju vodnom polju "Komiža". Dolazi do preklapanja pojedinih krivulja zbog jednakog iznosa snage transformatora. Maksimalni vrijednost opterećenja u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja iznosi 1,714 MVA u vremenu 20:00-21:00h dok minimalna vrijednost opterećenja iznosi 0 MVA u 11:00h što bi se moglo pripisati određenom kvaru u mreži ili popravku nekih od elemenata mreže. Prosječna vrijednost opterećenja u slučaju maksimalnog opterećenja iznosi 1,237 MVA. Kada je riječ u slučaju minimalnog zimskog opterećenja, maksimalna vrijednost opterećenja iznosila je 0,18 MVA u 19:00-20:00h dok je minimalna vrijednost opterećenja iznosila 0,08 MVA u 4:00h. Prosječna vrijednost opterećenja u slučaju minimalnog opterećenja iznosi 0,128 MVA.



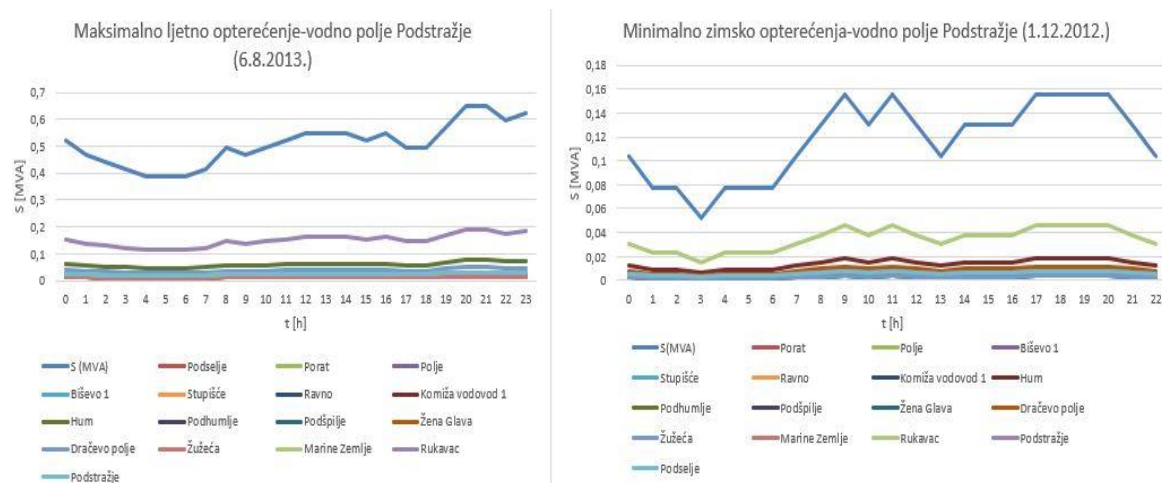
Slika 4.4. Ukupna struja vodnog polja "Komiža" za slučaj maksimalnog ljetnog opterećenja (lijevi graf) i za slučaj minimalnog zimskog opterećenja (desni graf) ; [izvor HEP]

Analizom grafova na slici 4.4. može se očitati kako je za vrijeme maksimalnog ljetnog opterećenja maksimalna vrijednost struje iznosila 99,00A u 21:00h dok je minimalna vrijednost struje iznosila 0,00A u 11:00h. Za slučaj minimalnog zimskog opterećenja maksimalna vrijednost struje iznosila je 10,5A u 19:00h i 20:00h dok je minimalna vrijednost struje iznosila 4,5A u 4:00h. Prosječne vrijednosti struje za slučaj maksimalnog opterećenja iznosila je 71,43A odnosno 7,37A za slučaj minimalnog opterećenja.

Krivulje maksimalnog ljetnog i minimalnog zimskog opterećenja za vodno polje "Podstražje" prikazan su slikom 4.5., a u tablici 4.2. prikazane su nazivne snage pojedinih transformatorskih stanica u vodnom polju "Podstražje".

Tablica 4.2. Snage transformatorskih stanica vodnog polja "Podstražje" [izvor HEP]

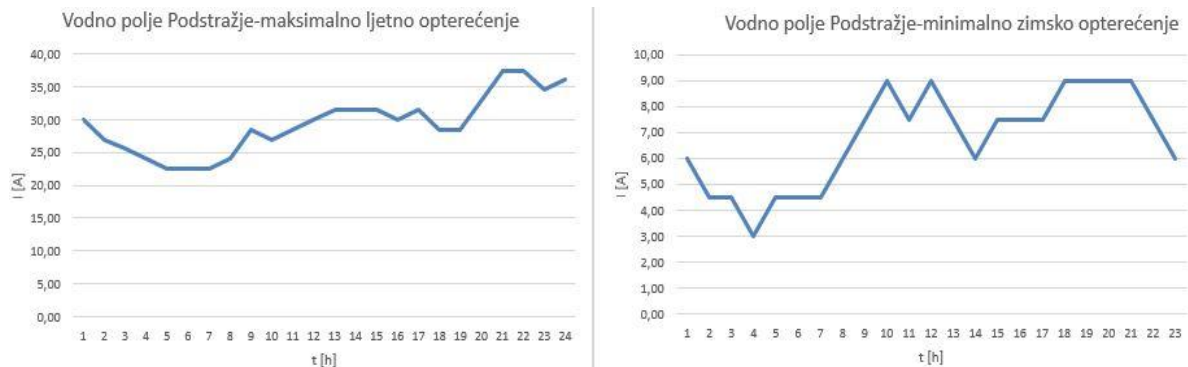
Transformatorska stanica	Snaga S [MVA]	Transformatorska stanica	Snaga S [MVA]
Podselje	0,1	Podhumlje	0,1
Porat	0,1	Podšpilje	0,05
Polje	0,05	Žena glava	0,05
Biševo 1	0,1	Dračevo polje	0,16
Stupišće	0,1	Žužeca	0,05
Ravno	0,1	Marine zemlje	0,1
Komiža vodovod 1	0,1	Rukavac	0,63
Hum	0,25	Podstražje	0,1



Slika 4.5. Maksimalno ljetno (desno) i minimalno zimsko (lijevo) opterećenje-vodno polje "Podstražje"

Maksimalni vrijednost opterećenja u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja iznosi 0,65 MVA u vremenu 20:00-21:00h dok minimalna vrijednost opterećenja iznosi 0,38 MVA u 4:00-5:00h. Prosječna vrijednost opterećenja u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja iznosi 0,529 MVA. Kada je riječ u slučaju minimalnog zimskog opterećenja, maksimalna vrijednost opterećenja iznosila je 0,155 MVA u 9:00h i 11:00 i 17:00-20:00h dok je minimalna vrijednost

opterećenja iznosila 0,05 MVA u 3:00h. Prosječna vrijednost opterećenja u slučaju minimalnog zimskog opterećenja iznosi 0,117 MVA.



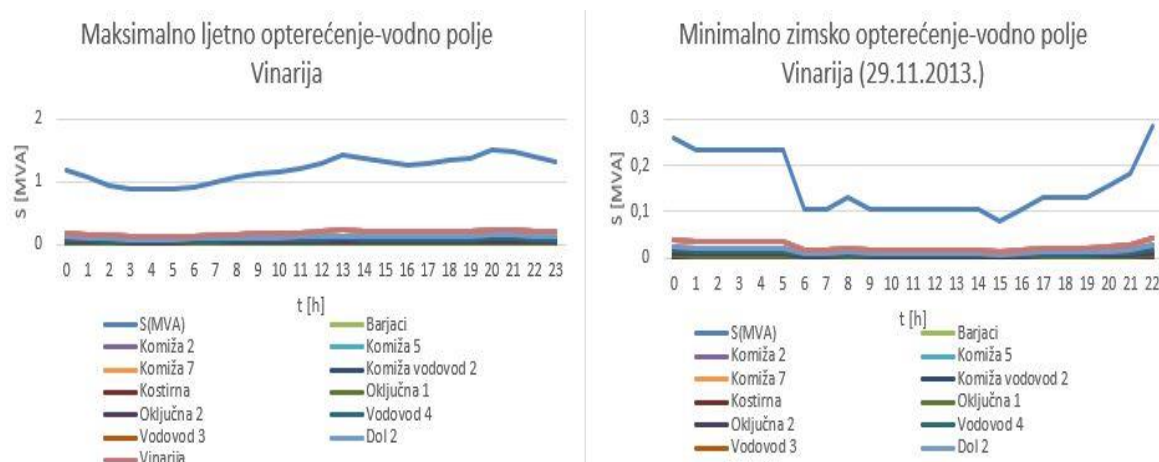
Slika 4.6. Ukupna struja vodnog polja "Podstražje" za slučaj maksimalnog ljetnog opterećenja (lijevi graf) i za slučaj minimalnog zimskog opterećenja (desni graf) ; [izvor HEP]

Analizom grafova na slici 4.6. vidljivo je kako je za vrijeme maksimalnog ljetnog opterećenja maksimalna vrijednost struje iznosila 37,50A u 20:00h i 21:00h dok je minimalna vrijednost struje iznosila 22,5A u 11:00h. Prosječna vrijednost struje za slučaj maksimalnog ljetnog opterećenja iznosila je 29,3A. Za slučaj minimalnog zimskog opterećenja maksimalna vrijednost struje iznosila je 9A u 9:00h, 11:00h i u periodu 17:00h-20:00h dok je minimalna vrijednost struje iznosila 3,0 A u 3:00h. Prosječna vrijednost struje u slučaju minimalnog zimskog opterećenja iznosila je 6,78A.

Krivulje maksimalnog ljetnog i minimalnog zimskog opterećenja za vodno polje "Vinarija" prikazano je slikom 4.7., a u tablici 4.3. prikazane su nazivne snage pojedine trafostanice u vodnom polju "Vinarija".

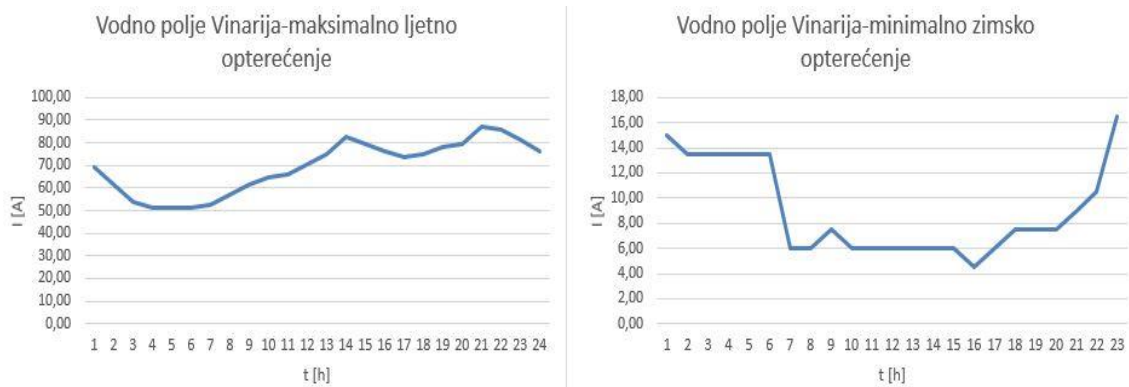
Tablica 4.3. Snage transformatorskih stanica vodnog polja "Vinarija" [izvor HEP]

Transformatorska stanica	Snaga transformatora [MVA]	Transformatorska stanica	Snaga transformatora [MVA]
Barjaci	0,1	Oključna 1	0,05
Komiža 2	0,4	Oključna 2	0,1
Komiža 5	0,4	Vodovod 4	0,16
Komiža 7	0,4	Vodovod 3	0,25
Komiža vodovod 2	0,01	Dol 2	0,25
Kostirna	0,03	Vinarija	0,4



Slika 4.7. Maksimalno ljetno (lijevo) i minimalno zimsko (desno) opterećenje-vodno polje "Vinarija"

Maksimalni vrijednost opterećenja u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja iznosi 1,5 MVA u vremenu 20:00h dok minimalna vrijednost opterećenja iznosi 0,88 MVA u 3:00-5:00h. Prosječna vrijednost opterećenja u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja iznosi 1,25 MVA. Kada je riječ u slučaju minimalnog zimskog opterećenja, maksimalna vrijednost opterećenja iznosila je 0,285 MVA u 22:00h i dok je minimalna vrijednost opterećenja iznosila 0,07 MVA u 15:00h. Prosječna vrijednost opterećenja u slučaju minimalnog zimskog opterećenja iznosi 0,156 MVA.



Slika 4.8. Ukupna struja vodnog polja "Vinarija" za slučaj maksimalnog ljetnog opterećenja (lijevi graf) i za slučaj minimalnog zimskog opterećenja (desni graf) ; [izvor HEP]

Analizom grafova na slici 4.8. vidljivo je kako je za vrijeme maksimalnog ljetnog opterećenja maksimalna vrijednost struje iznosila 87,00A u 20:00h dok je minimalna vrijednost struje iznosila 51,00A u razdoblju 3:00h-5:00h. Prosječna vrijednost struje za slučaj maksimalnog ljetnog opterećenja iznosila je 69,12A. Za slučaj minimalnog zimskog opterećenja maksimalna vrijednost struje iznosila je 16,5A u 22:00h dok je minimalna vrijednost struje iznosila 4,5 A u 15:00h. Prosječna vrijednost struje u slučaju minimalnog opterećenja iznosila je 8,62A.

Grafovi na slikama 4.3., 4.5. i 4.7. prikazuju krivulje opterećenja za svaku pojedinu transformatorsku trafostanicu u određenom vodnom polju. Koliko je opterećenje pojedine transformatorske stanice u određenom trenutku bilo je potrebno izračunati. Pomoću krivulja na slikama 4.4., 6.6. i 4.8. može se vidjeti vrijednost struje za pojedini period.

Zbog ograničenja programa "DigSilent Power factory" mrežu otoka Visa bilo je potrebno reducirati odnosno smanjiti broj sabirnica kako bih se mogla izvesti simulacija. Reduciranje mreže se izvelo na način da su se određene transformatorske stanice te njihova opterećenja zbrajale u jednu transformatorsku stanicu s jednim opterećenjem. Zbrajanjem opterećenja bilo je potrebno povećati i snagu pripadnog transformatora. Mreža se reducirala i tako što su određeni vodovi spojeni u jedan vod, a duljine pojedinih vodova su se zbrajale.

Transformatorske stanice i njihova pripadna opterećenja koje su bile podvrgnute redukciji su:

- Transformatorske stanice "Porat", "Polje", "Biševo 1" i "Stupišće" su spojene u jednu, s jednim opterećenjem koje je jednako zbroju opterećenja trafostanica
- Transformatorske stanice "Podhumlje", "Ravno" i "Komiža vodovod" su spojene u jednu, s jednim opterećenjem koje je jednako zbroju opterećenja trafostanica

- Transformatorske stanice "Podšpilje" i "Dračevo polje" su spojene u jednu, s jednim opterećenjem koje je jednako zbroju opterećenja trafostanica
- Transformatorske stanice "Rukavac" i "Marine zemlje" su spojene u jednu, s jednim opterećenjem koje je jednako zbroju opterećenja trafostanica
- Transformatorske stanice "Komiža 3", "Komiža 4", "Komiža 6" i "Komiža 1" su spojene u jednu, s jednim opterećenjem koje je jednako zbroju opterećenja trafostanica

U mreži otoka Visa postoji i fotonaponska elektrana čija se izlazna snaga računala prema formuli (4-4): [30]

$$P_{PV,t} = P_{array,STC} \cdot \frac{G_t}{G_{STC}} \cdot \frac{\eta_{inv}}{100} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{mod,t} - t_{STC})\right) \quad (4-4)$$

- $P_{PV,t}$ je izmjenična snaga fotonaponske elektrane u [kW] tj. stvarna snaga, dok je $P_{array,STC}$ [kW] nazivna snaga tj. instalirana snaga elektrane
- G_t predstavlja izmjerenu vrijednost jakosti sunčevog zračenja [W/m^2] dok se za G_{STC} [W/m^2] uzima vrijednost 1000
- η_{inv} predstavlja učinkovitost izmjenjivača (u ovom slučaju 98%)
- γ [%/°C] je temperaturni koeficijent
- $t_{mod,t}$ [°C] je izračunata vrijednost temperature prema formuli (4-5) [30] dok je t_{STC} [°C] temperatura od 25 °C

$$t_{mod,t} = t_{amb,t} + \frac{NOCT-20}{800} \cdot G_t \quad (4-5)$$

- $t_{amb,t}$ [°C] je temperatura okoliša
- $NOCT$ [°C] je nazivna temperatura ćelije [30]

Statički generator kojim je modelirano postrojenje na morske valove daje izlaznu snagu koja je dobivena mjerenjima, a prilikom simulacije spomenuti generator se postavljao na dva mjesta koja su dosta udaljeni od krute mreže (Transformatorska stanica "Porat-Polje-Biševo 1-Stupišće" kao i Transformatorska stanica "Podhumlje-Ravno-Komiža vodovod").

Prilikom modeliranja krute mreže bilo je potrebno napraviti proračun kako bi se izračunala impedancija voda kojom je kruta mreža spojena na ostatak mreže (10 kV). Uz pretpostavljeni omjer $\frac{R}{X} = 0.1$ odnosno $\frac{X}{R} = 10$ te pomoću formule (4-6) moguće je izračunati realni (R) i imaginarni (X) dio impedancije voda te tako modelirati vod. Prilikom simulacije snagu

trofaznog kratkog spoja $S_{k3,mr}$ (u MVA) se mijenjala podešavanjem većeg ili manjeg broja vodova od krute mreže do ostatka mreže ili mijenjanjem otpora voda.

$$Z_{mr} = \sqrt{R_{mr}^2 + X_{mr}^2} \quad (4-6)$$

Z_{mr} , R_{mr} i X_{mr} predstavljaju impedanciju odnosno radni i imaginarni otpor izražen u Ω/km .

Iz formule (4-7) uz poznatu impedanciju i napon ($U_b = 10\text{kV}$) lako se može odrediti snaga trofaznog kratkog spoja.

$$Z_{mr} = \frac{U_b^2}{S_{k3,mr}} \quad (4-7)$$

Korištene vrijednosti u diplomskom radu prikazane su u tablici 4.4.

Iz tablice se može vidjeti kako manja impedancija mreže podrazumijeva veću snagu kratkog spoja mreže.

Tablica 4.4. Iznosi impedancije za odgovarajuće snage trofaznog kratkog spoja

$S_{k3,mr}$ [MVA]	R [Ω]	X [Ω]	Z [Ω]
10	0,995	9,95	10
20	0,497	4,975	5
Referentna vrijednost mreže, 35	0,284	2,843	2,857
40	0,2487	2,487	2,5
60	0,124	1,2435	1,249

U programu "Digsilet" provedena je "timesweep" analiza kojom su dobivane krivulje napona, radne, jalove i prividne snage u ovisnosti u o vremenu za slučaj minimalnog zimskog i maksimalnog ljetnog opterećenja. Simulacija se vršila s vremenskim korakom od 10 minuta. Opterećenja pojedinih transformatorskih stanica u vodnim poljima zadana su u MVA s vremenskim razmakom od 1h. Krivulja distribuirane proizvodnje fotonaponske elektrane

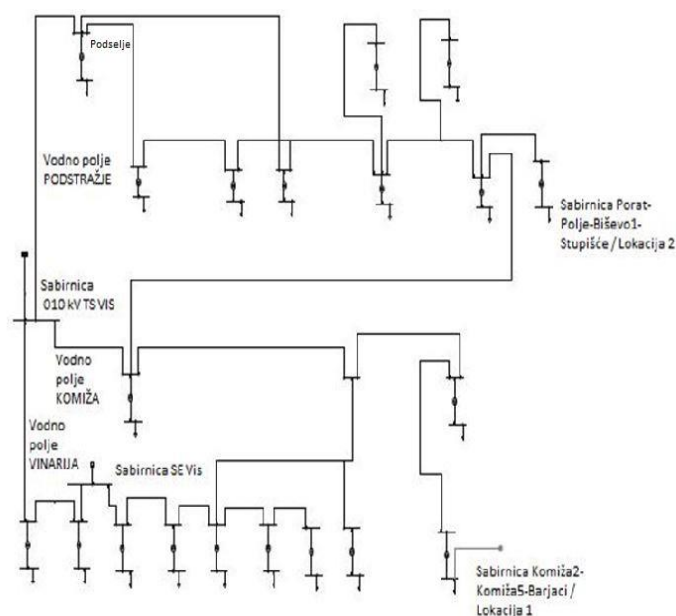
zadavala se u kW s vremenskim razmakom od 10 minuta dok se u model "static generator" koji predstavlja postrojenje na morske valove unosila krivulja radne snage u vremenskom razmaku od 1 minute.

Krivulje napona i snaga pratile su se na vodnim poljima : "Komiža", "Podstražje" i "Vinarija" kao i na sabirnicama "Porat-Polje-Biševo1-Stupišće", "010 kV TS Vis", "SE Vis" i "Komiža2-Komiža5-Barjaci".

4.2. Simulacija u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja

U slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja u ovome Diplomskom radu promatrali su se slučajevi:

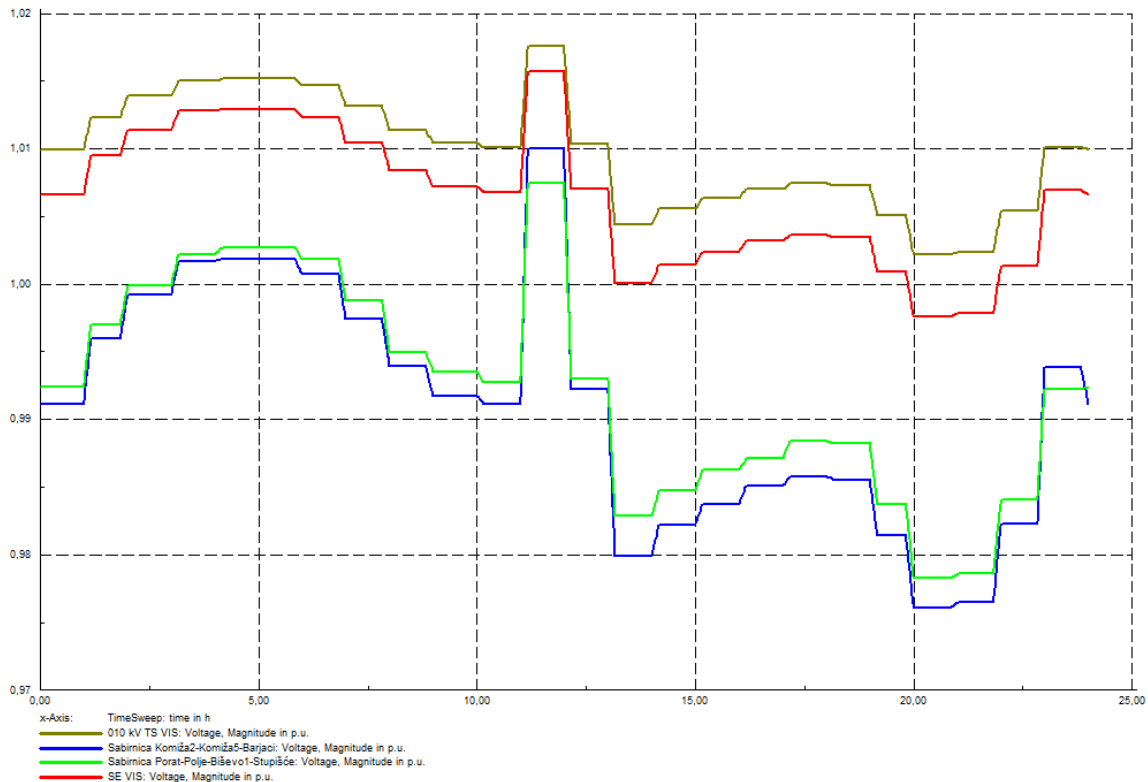
- Mreža bez integrirane fotonaponske elektrane kao i bez postrojenja na morske valove
- Mreža a integriranom fotonaponskom elektranom
- Mreža s integriranom fotonaponskom elektranom i postrojenjem na morske valove (postrojenje a morske valove se postavljalo na dvije karakteristične lokacije u mreži)
- Mreža u slučaju kvara pojedinog dijela mreže
- Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske razine
- Korištenje baterije uz postrojenja na morske valove.



Slika 4.9. Jednopolna shema korištena za simulaciju [izvor: HEP]

4.2.1. Mreža otoka Visa bez integrirane fotonaponske elektrane i bez postrojenja na morske valove

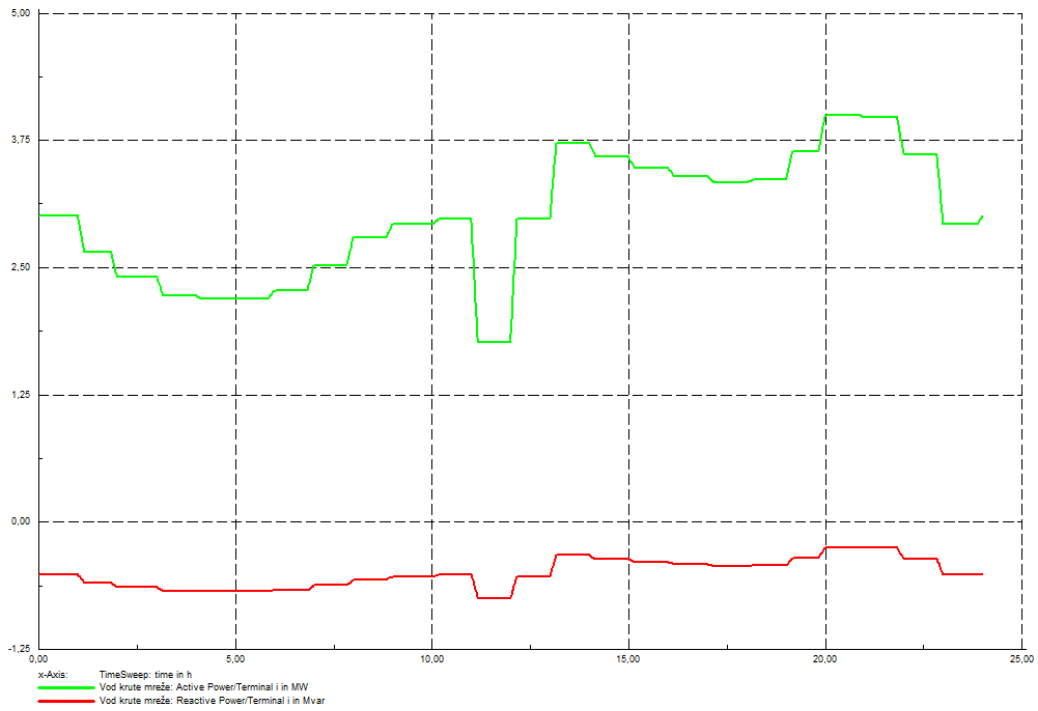
U slučaju kada nema integriranih postrojenja tj. kada je mreža pasivna iz grafova na slici 4.10. i 4.11. može se zaključiti kako mreža radi bez poteškoća. Nema pojave prevelikog napona u mreži niti dolazi do preopterećenja vodova. Vidljivo je kako je mreža kapacitivnog karaktera što za posljedicu daje nešto veći napon na sabirnicama.



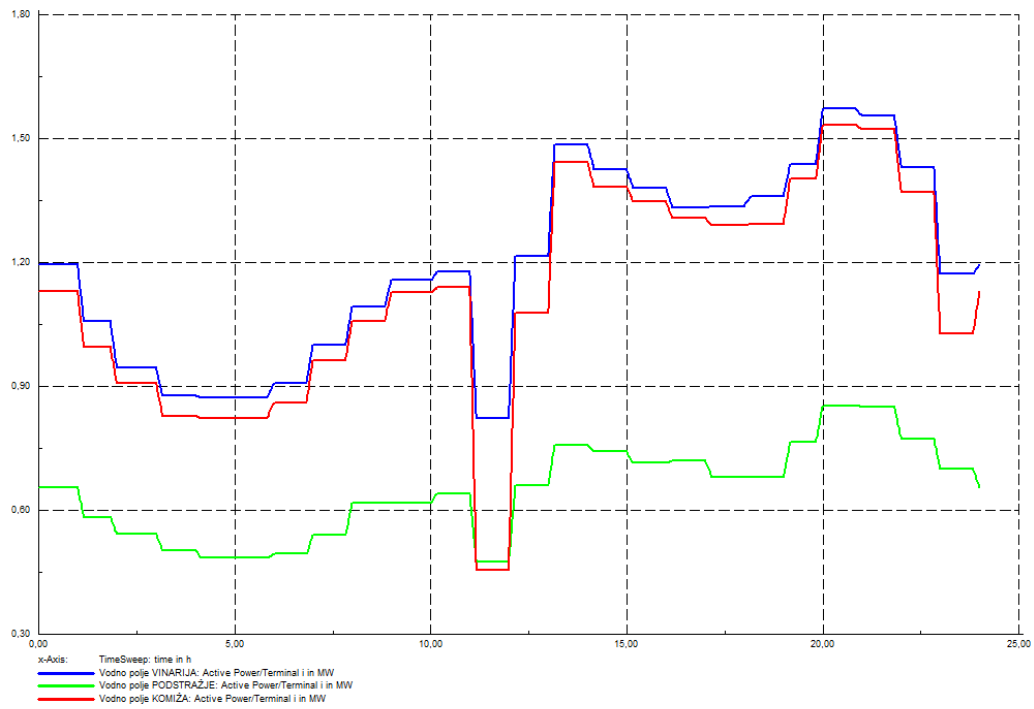
Slika 4.10. Naponi na sabirnicama (zeleno: sabirnica "Porat-Polje-Biševo1-Stupišće", plavo: sabirnica "Komiža2-Komiža5-Barjaci", crveno "SE Vis" i smeđe sabirnica "010 kV TS Vis")

Napon se promatrao na sabirnicama na kojima se kasnije integriralo postrojenje na morske valove jer su udaljeniji od krute mreže, na sabirnici SE Vis na kojoj će kasnije u radu biti integrirana FN elektrana i na sabirnici 010 kV TS Vis na koju je spojena kruta mreža. Napon se kretao u granici ispod 1.02 p.u..

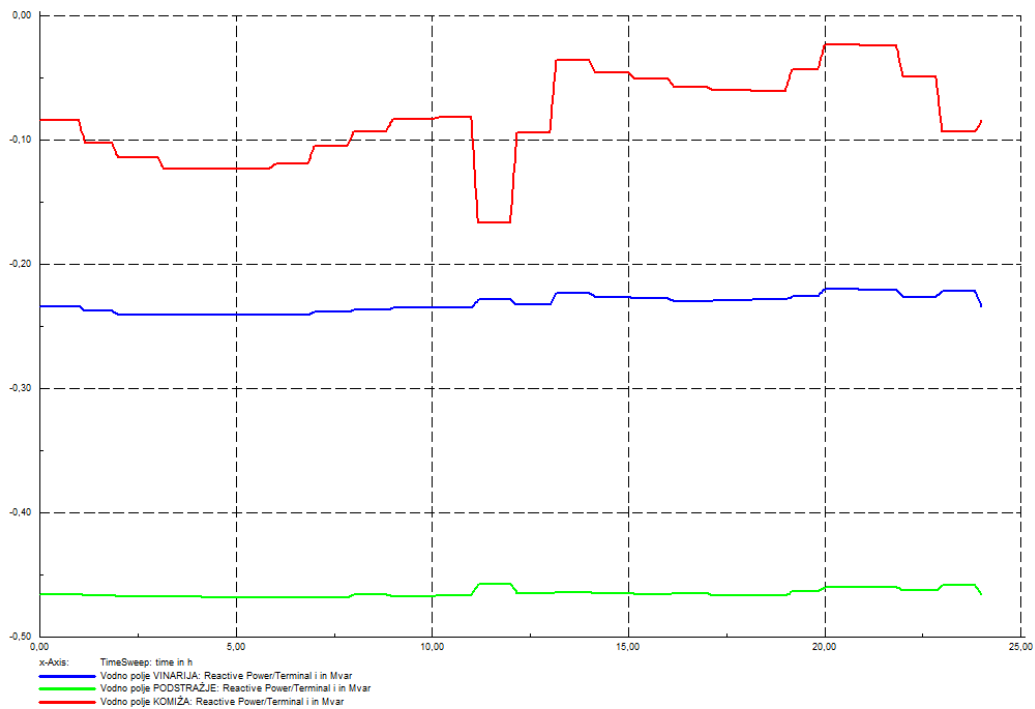
Ukupno opterećenje iznosilo je 72,6 MWh, dok su gubici iznosili 1,827 MWh. Na slici 4.11. vidljivo je kako je maksimalna radna snaga koja dolazi iz krute mreže i prikazana je zelenom krivuljom nešto veća od 3,75 MW. Crvena krivulja predstavlja prenošenje jalove snage iz krute mreže u ostatak mreže.



Slika 4.11. Radna snaga (zelena krivulja) i jalova snaga (crvena krivulja) na vodu krute mreže



Slika 4.12. Opterećenje vodnih polja - Radna snaga (zeleno "Podstražje", crveno "Komiža" i plavo "Vinarija")



Slika 4.13. Opterećenje vodnih polja – jalova snaga (zeleno "Podstražje", crveno "Komiža" i plavo "Vinarija")

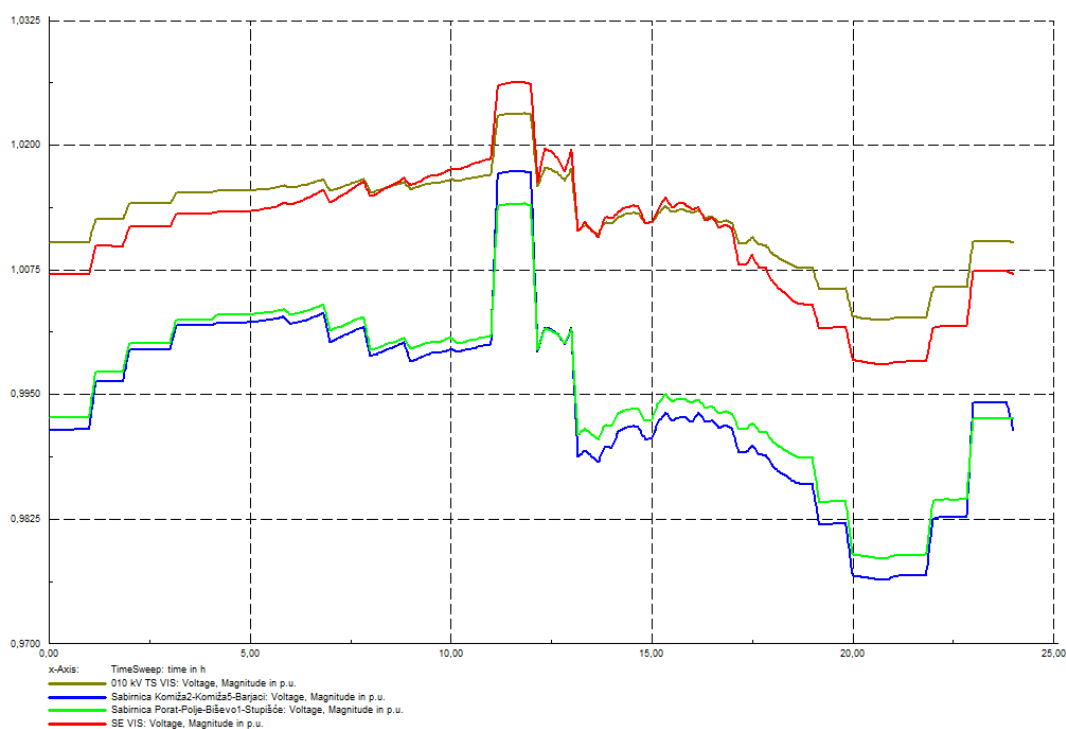
Na slici 4.12. može se vidjeti kako se najveća radna snaga prenosi vodnim poljem "Vinarija", a najmanja vodnim poljem "Podstražje". Na slici 4.13. može se uočiti kako se najveća jalova snaga prenosi vodom vodnog polja "Komiža", a najmanja jalova snaga se prenosi na vodu vodnog polja "Podstražje". Opterećenje vodnih polja zapravo govori o opterećenju izvoda pojedinog dijela mreže tj. veće opterećenje vodova znači i veću potražnju tj. potrošnju.

4.2.2. Mreža otoka Visa s integriranom fotonaponskom elektranom

U slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja izlazna karakteristika snage fotonaponske elektrane se proračunala za jedan sunčani dan jer je i maksimalno opterećenje slučaj u ljetu. Na slici 4.15. i 4.16. mogu se vidjeti naponske razine i razmjena energije sa krutom mrežom. Također, u slučaju integrirane fotonaponske elektrane ne dolazi do pojave prevelikih napona kao i u slučaju bez integrirane FN elektrane.



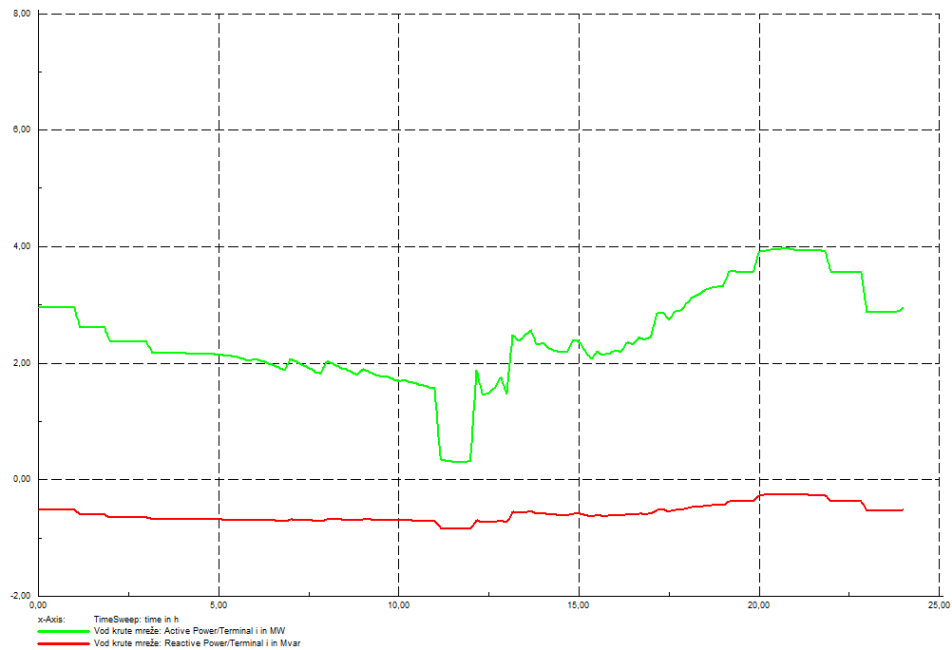
Slika 4.14. FN karakteristika za ljetni dan



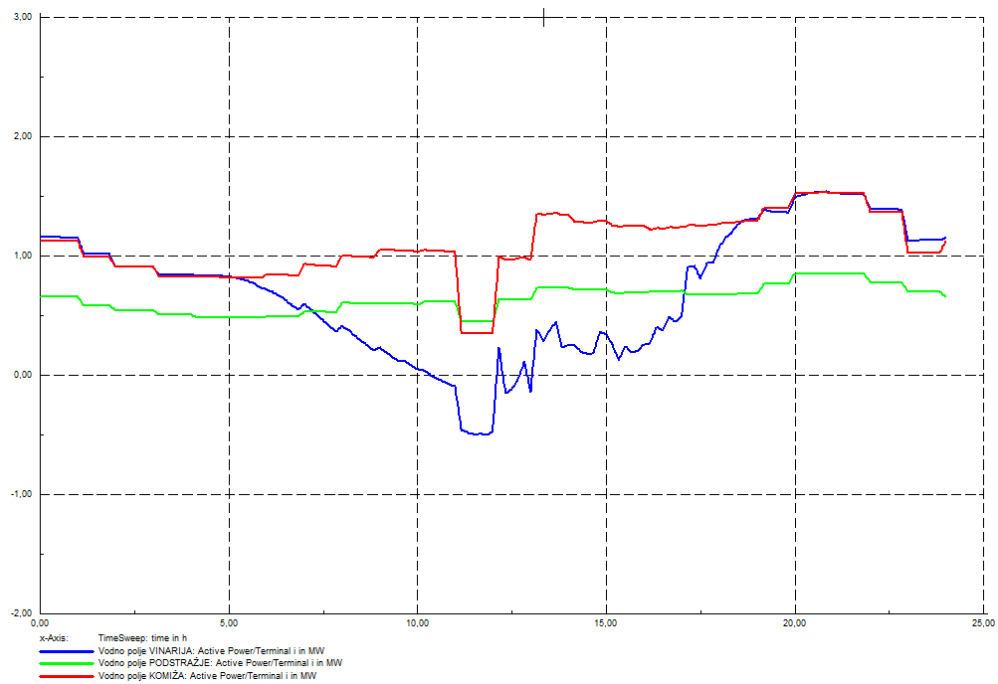
Slika 4.15. Naponi na sabirnicama nakon integriranja FN elektrane

Na slici 4.15. crvena krivulja predstavlja sabirnicu "SE VIS", smeđa krivulja sabirnicu "010 kV VIS", plava krivulja sabirnicu "Komiža2-Komiža5-Barjaci" i zelena krivulja sabirnicu "Porat-Polje-Biševo-Stupišće". Najveća vrijednost napona mjenog na četiri sabirnice sa slike 4.15. pojavila se upravo na sabirnici gdje je integrirana FN elektrana i to u razdoblju oko 12h kada je jakost sunčevog zračenja maksimalno pa ne čudi što je i napon na toj sabirnici u tom trenutku

najveći. Usporedbom radne snage koja dolazi iz krute mreže na slici 4.16. sa radnom snagom kada nema integrirane FN elektrane na slici 4.11. može se zaključiti kako se potreba za energijom iz mreže smanjila jer postoji distribuirana proizvodnja.



Slika 4.16. Radna snaga (zelena krivulja) i jalova snaga(crvena krivulja) na vodu krute mreže kada je priključena FN elektrana



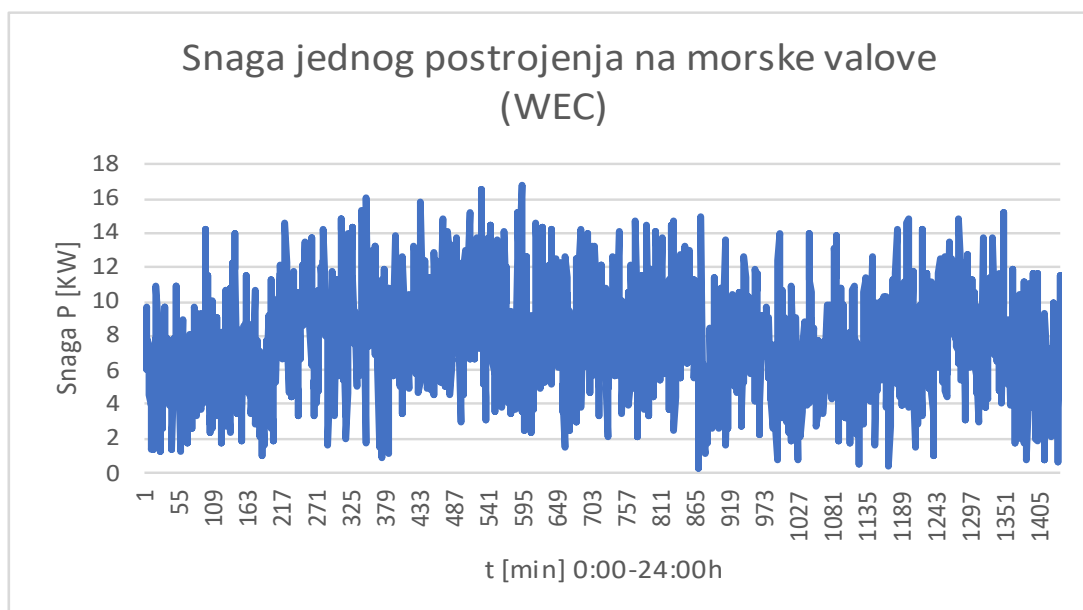
Slika 4.17. Opterećenje vodnih polja – Radna snaga (zeleno "Podstražje", crveno "Komiža" i plavo "Vinarija")

Snaga koja se prenosi vodom vodnog polja Vinarije poprima i negativnu vrijednost u razdoblju kada je proizvodnja FN elektrane najveća odnosno u razdoblju oko 12:00h. Negativna vrijednost znači kako se energija prenosi u suprotnom smjeru.

Ukupno opterećenje je ostalo 70,160 MWh dok su se gubici smanjili u odnosu na prethodni slučaj kada nema FN elektrane na 1,591 MWh. Manja potreba za energijom iz mreže i smanjivanje gubitaka može se objasniti kao posljedica distribuirane proizvodnje iz fotonaponske elektrane koja je iznosila 13,139 MWh.

4.2.3. Mreža s integriranom fotonaponskom elektranom i postrojenjem na morske valove

Kada je riječ o mreži s instaliranom elektranom i postrojenjem na morske valove razlikuju se 2 slučaja tj. dvije lokacije na kojima se integriralo postrojenje na morske valove. Lokacija 1 označavat će sabirnicu "Porat"- "Polje"- "Biševo 1"- "Stupišće", a lokacija 2 sabirnicu "Podhumlje"- "Ravno"- "Komiža vodovod".



Slika 4.18. Profil snage jednog postrojenja na morske valove

U tablici 4.5. prikazana su opterećenja, distribuirana proizvodnja i gubici za različite slučajeve integracije postrojenja na morske valove za lokaciju 1 a u tablici 4.6. za lokaciju 2.

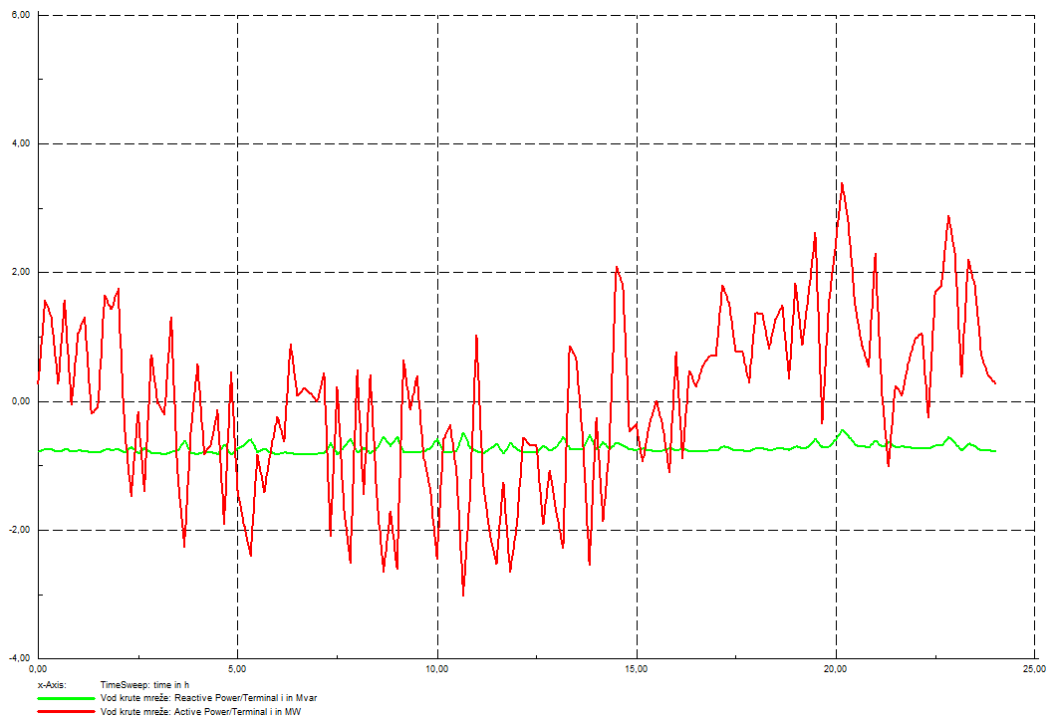
Tablica 4.5. Tokovi snaga nakon integriranja postrojenja na morske valove na: "Lokacija 1"

Broj postrojenja:	1	50	330	Pasivna mreža	Pasivna mreža+FN elektrana
Iz krute mreže [MWh]	58,816	49,736	-0,075	72,436	59,059
Ukupno opterećenje [MWh]	70,610	70,610	71,610	70,610	72,610
Gubici [MWh]	1,524	1,137	0,825	1,827	1,591
Distribuirana proizvodnja [MWh]	13,316	21,983	71,705	0	13,139

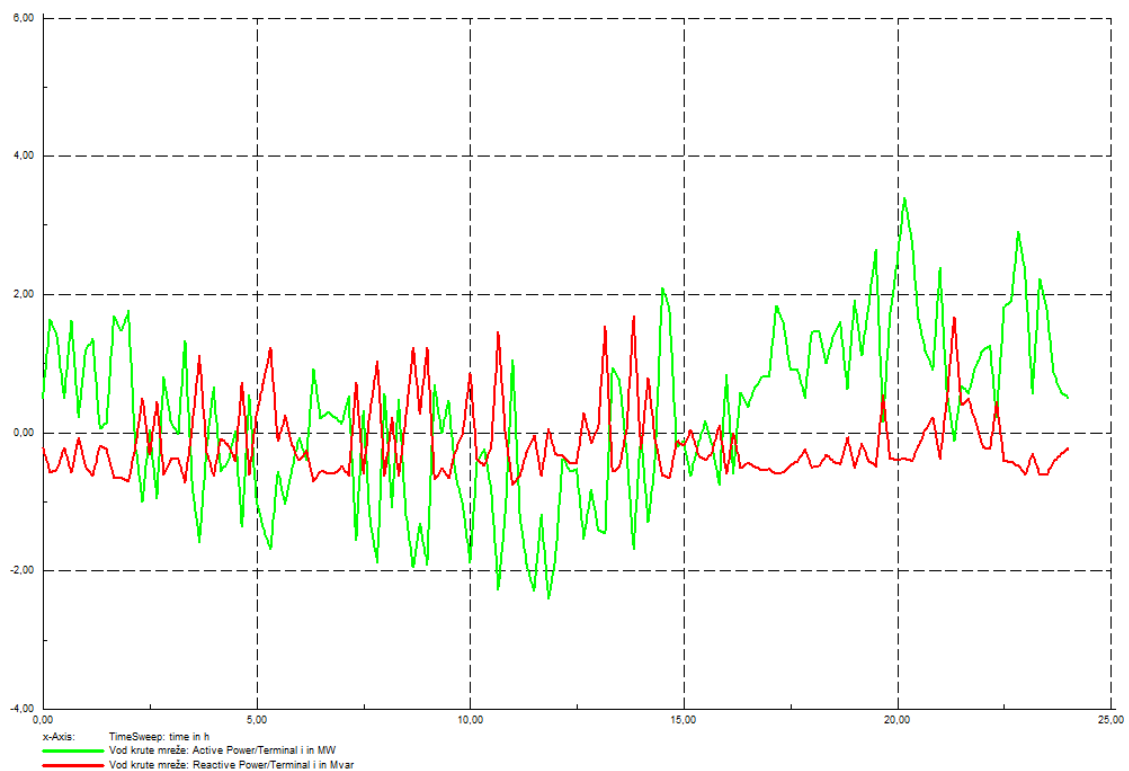
Tablica 4.6. Tokovi snaga nakon integriranja postrojenja na morske valove na: "Lokacija 2"

Broj postrojenja:	1	50	330	Pasivna mreža	Pasivna mreža+FN elektrana
Iz krute mreže [MWh]	58,874	49,964	5,453	72,436	59,059
Ukupno opterećenje [MWh]	70,610	70,610	70,610	70,610	72,610
Gubici [MWh]	1,582	1,338	6,351	1,827	1,591
Distribuirana proizvodnja [MWh]	13,316	21,983	71,507	0	13,139

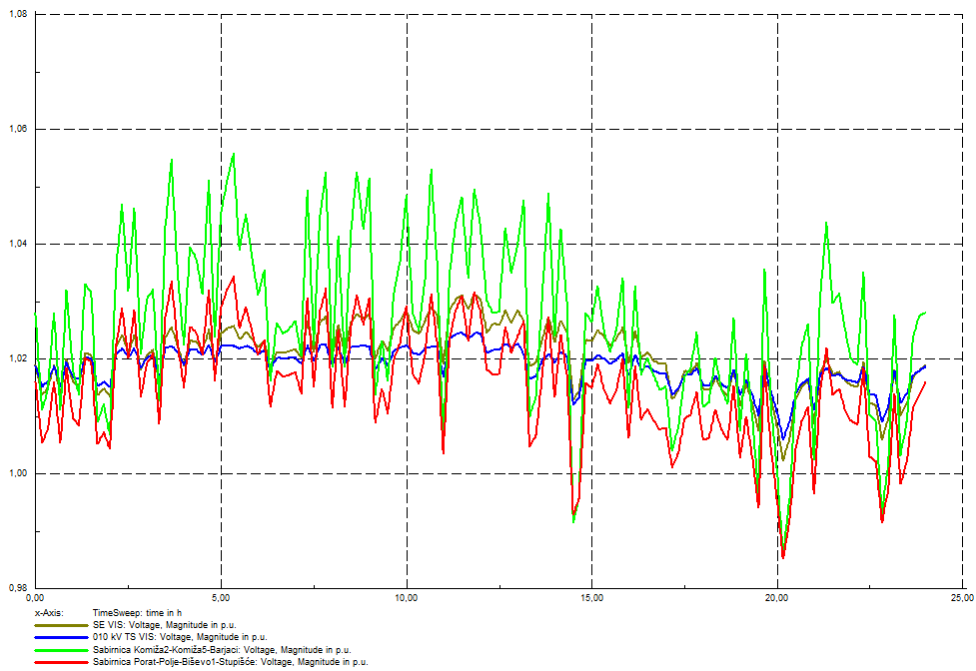
Iz tablice 4.5. vidljivo je kako je potrebno 330 postrojenja na morske valove kako bi se pokrila cjelokupno opterećenje s gubicima za vrijeme maksimalnog opterećenja. Kada bi se pokušalo integrirati 330 postrojenja na lokaciji 1 bilo bi potrebno povećati broj transformatora kako ne bi dolazilo do preopterećenja. Povećavanjem broja integriranog postrojenja smanjuju se gubici u mreži. Za lokaciju 2 se dobivaju nešto drugačiji iznosi energije i 330 generatora na toj lokaciji ne bi bilo dovoljno da se podmiri cjelokupna potražnja. Na mjestu lokacije 2 transformator je dosta slabiji pa je uslijed integriranja 330 generatora još više preopterećen nego li je to transformator na lokaciji 1.



Slika 4.19. Radna (crvena krivulja) i jalova (zelena krivulja) snaga na vodu krute mreže uslijed integriranja 330 postrojenja na morske valove na lokaciji 1

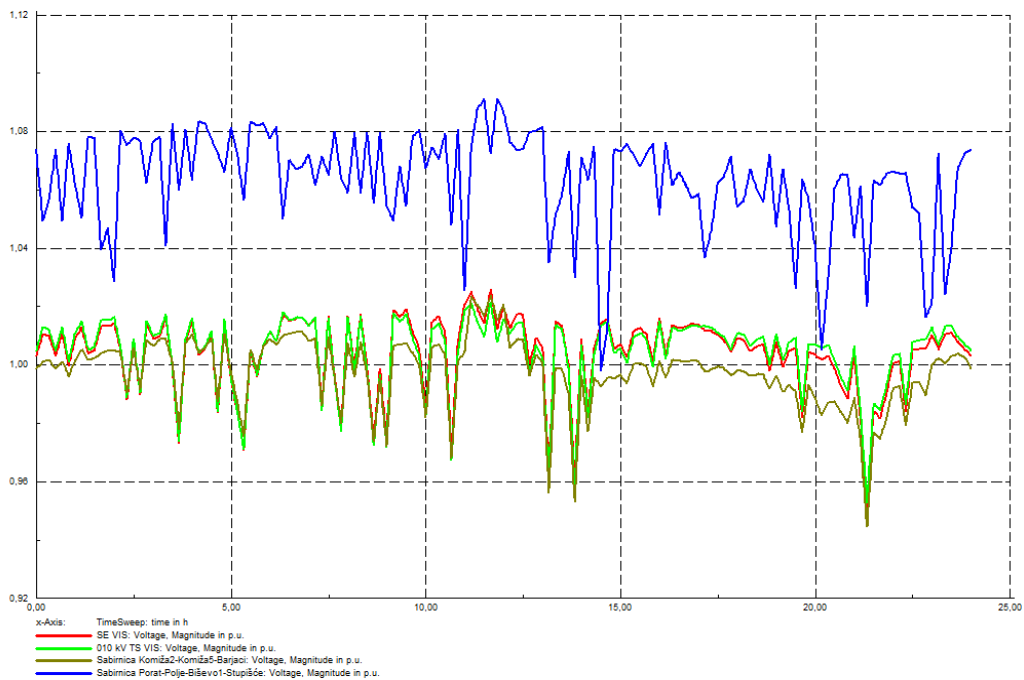


Slika 4.20. Radna (zelena krivulja) i jalova (crvena krivulja) snaga na vodu krute mreže uslijed integriranja 330 postrojenja na morske valove na lokaciji 2



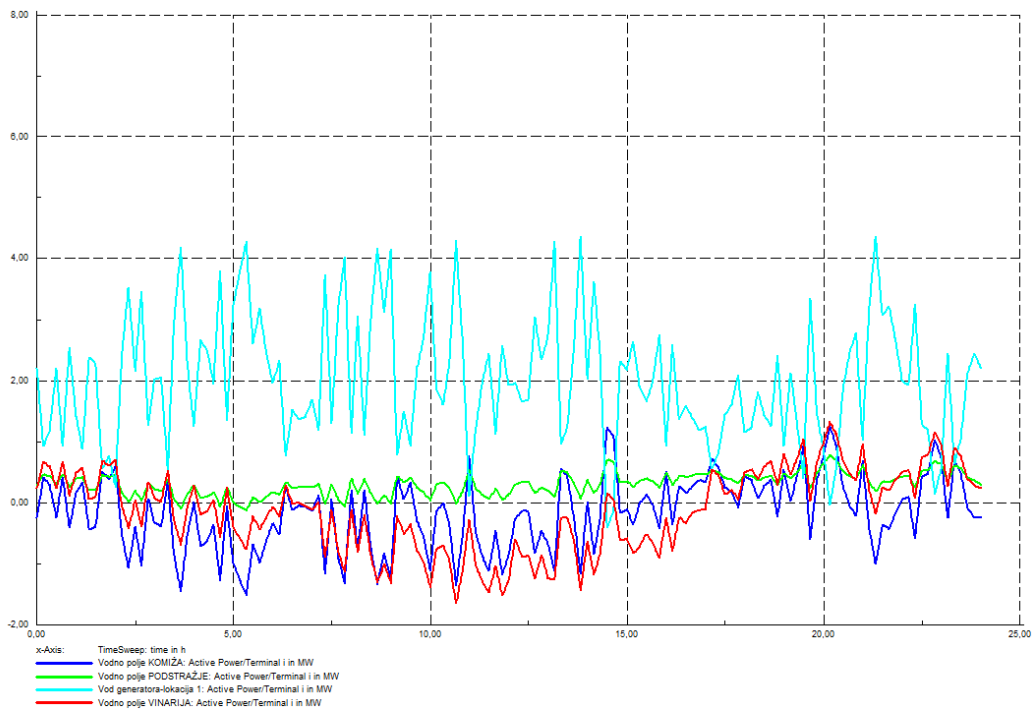
Slika 4.21. Napon na sabirnicama nakon integriranja 330 postrojenja na morske valove na lokaciji 1

Na slici 4.21. smeđa krivulja predstavlja sabirnicu "SE VIS", plava krivulja sabirnicu "010 kV VIS", zelena krivulja predstavlja sabirnicu "Komiza2-Komiza5-Barjaci" i crvena krivulja sabirnicu "Porat-Polje-Biševo-Stupišće".



Slika 4.22. Napon na sabirnicama nakon integriranja 330 postrojenja na morske valove na lokaciji 2

Na slici 4.22. crvena krivulja predstavlja sabirnicu "SE VIS", zelena krivulja sabirnicu "010 kV VIS", smeđa krivulja sabirnicu "Komiža2-Komiža5-Barjaci" i plava krivulja sabirnicu "Porat-Polje-Biševo-Stupišće"



Slika 4.23. Opterećenje vodova - Radna snaga nakon integriranja 330 postrojenja na morske valove na lokaciji 1

Na slici 4.23. plava krivulja predstavlja vodno polje "Komiža", zelena krivulja vodno polje "Podstražje", svijetlo plava krivulja "Vod generatora lokacija 1" i crvena krivulja vodno polje "Vinarija")

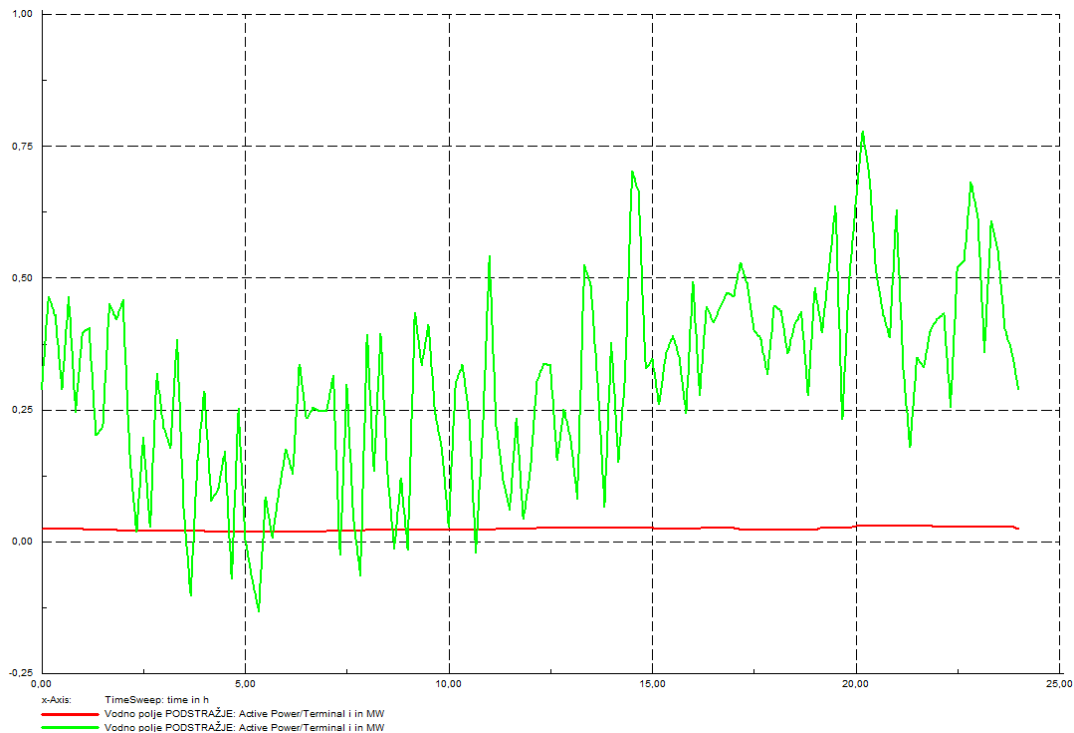
Najveći napon prilikom integriranja 330 postrojenja na morske valove na lokaciji 1 pristuan je na sabirnici na kojoj su integrirana , postrojenja. Najveći napon kada se 330 postrojenja integrira na lokaciji 2 pojavljuje se na sabirnici na kojoj su se postrojenja integrirala. Najopterećeniji vod je vod kojim je povezan statički generator koji predstavlja postrojenja na morske valove s ostatkom mreže što je i logično jer se putem tog voda u mrežu injektira radna snaga.

4.2.4. Mreža u slučaju kvara pojedinog dijela mreže

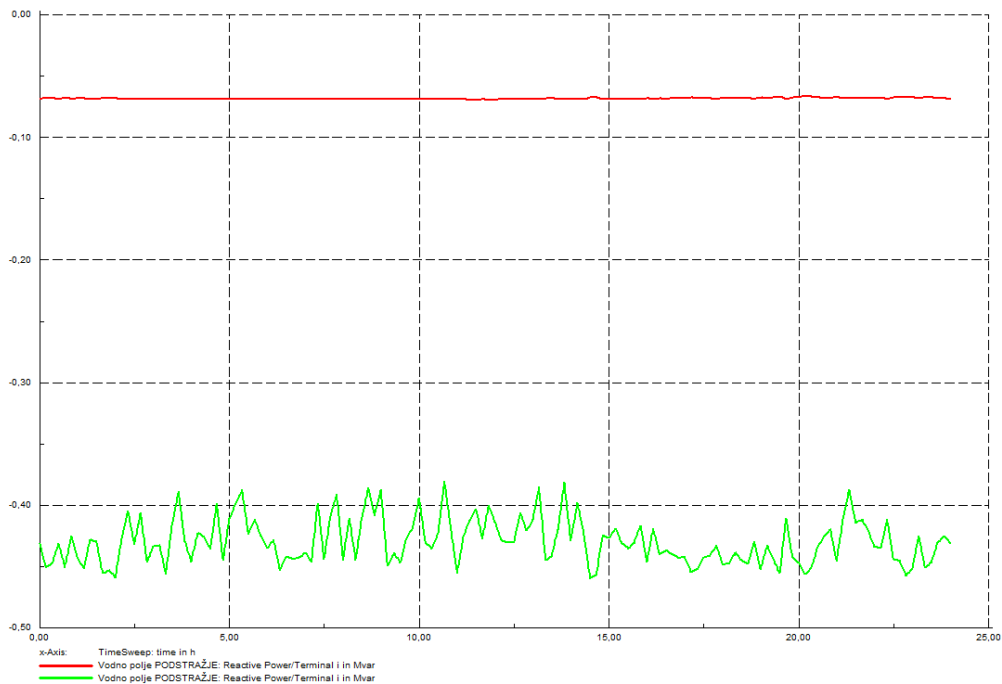
Kvar se simulirao nakon trafostanice "Podsclje" pa je tako samo spomenuta trafostanica u vodnom polju "Podstražje" napaja direktno sa sabirnice 010 kV TS Vis dok su ostale

trafostanice napajane okolnim putem preko vodnog polja Komiža. Kvar se simulirao u slučaju kada je priključena i FN elektrana i 330 postrojenja na morske valove na lokaciji 1. Nakon kvara vidljivo je kako se povećava opterećenje vodova u vodnom polju "Komiža" i "Vinarija" dok se opterećenje u vodnom polju "Podstražje" smanjuje jer se preko njega napaja samo trafostanica "Podselje".

U slučaju kvara gubici su iznosili 1,293 MWh, a iz mreže se uzelo 0,392 MWh energije.

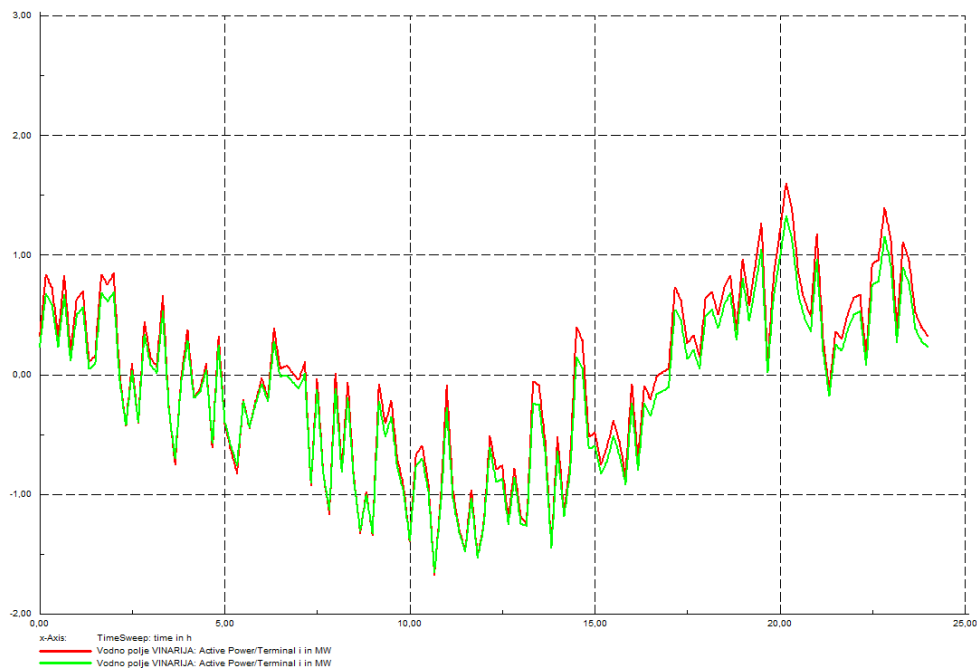


Slika 4.24. Vodno polje "Podstražje" - radna snaga- prije kvara (zelena krivulja) i nakon kvara (crvena krivulja)

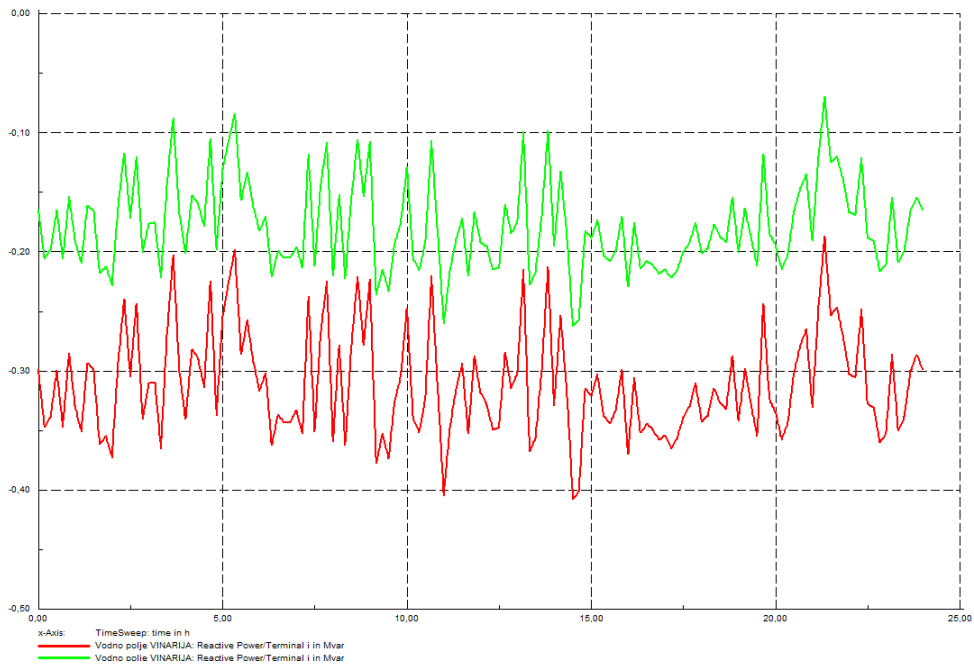


Slika 4.25. Vodno polje "Podstražje" - jalova snaga- prije kvara (zeleni krivulja) i nakon kvara (crveni krivulja)

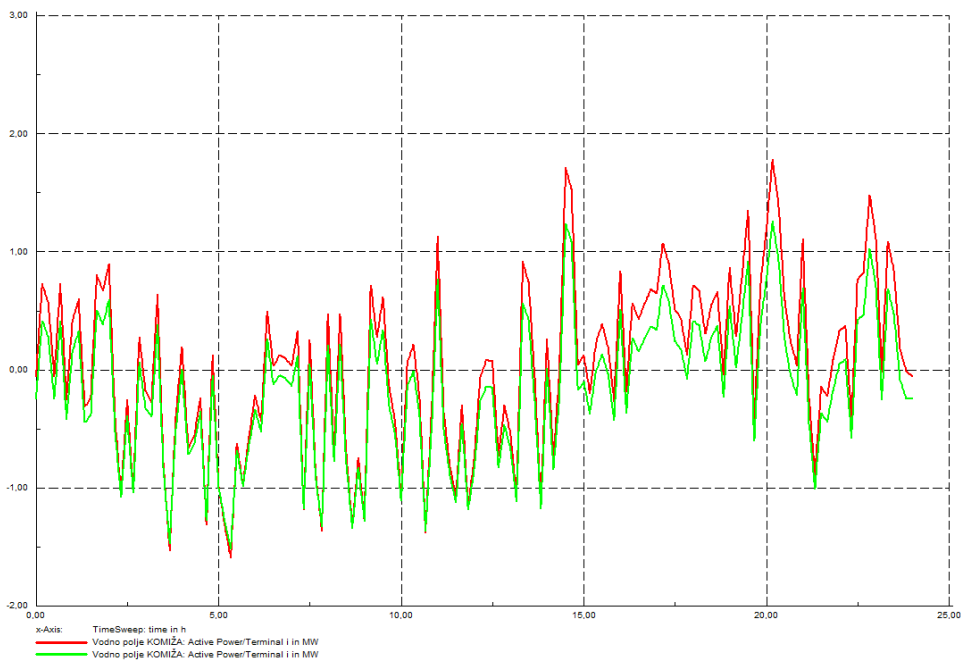
Pogledom na opterećenje voda vodnog polja "Podstražje" vidljivo je kako se nakon kvara iznos radne i jalove snage smanjio nego u slučaju prije kvara zbog toga što se tim vodom nakon kvara napaja samo jedno opterećenje tj. jedna transformatorska stanica.



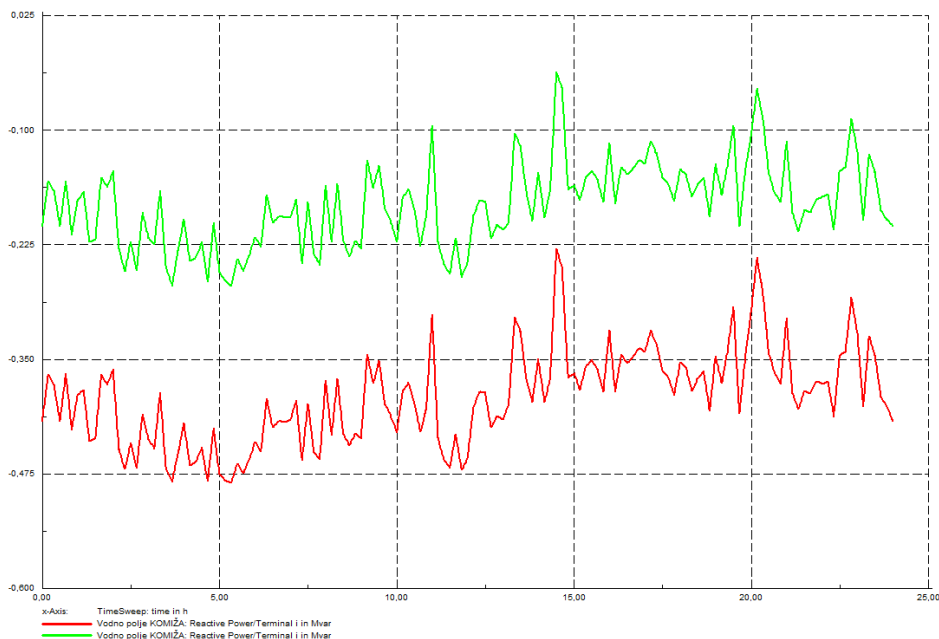
Slika 4.26. Vodno polje "Vinarija" - radna snaga- prije kvara (zeleni krivulja) i nakon kvara (crveni krivulja)



Slika 4.27. Vodno polje "Vinarija" - jalova snaga- prije kvara (zelena krivulja) i nakon kvara (crvena krivulja)



Slika 4.28. Vodno polje "Komiža" - radna snaga- prije kvara (zelena krivulja) i nakon kvara (crvena krivulja)



Slika 4.29. Vodno polje "Komiža" - jalova snaga- prije kvara (zelena krivulja) i nakon kvara (crvena krivulja)

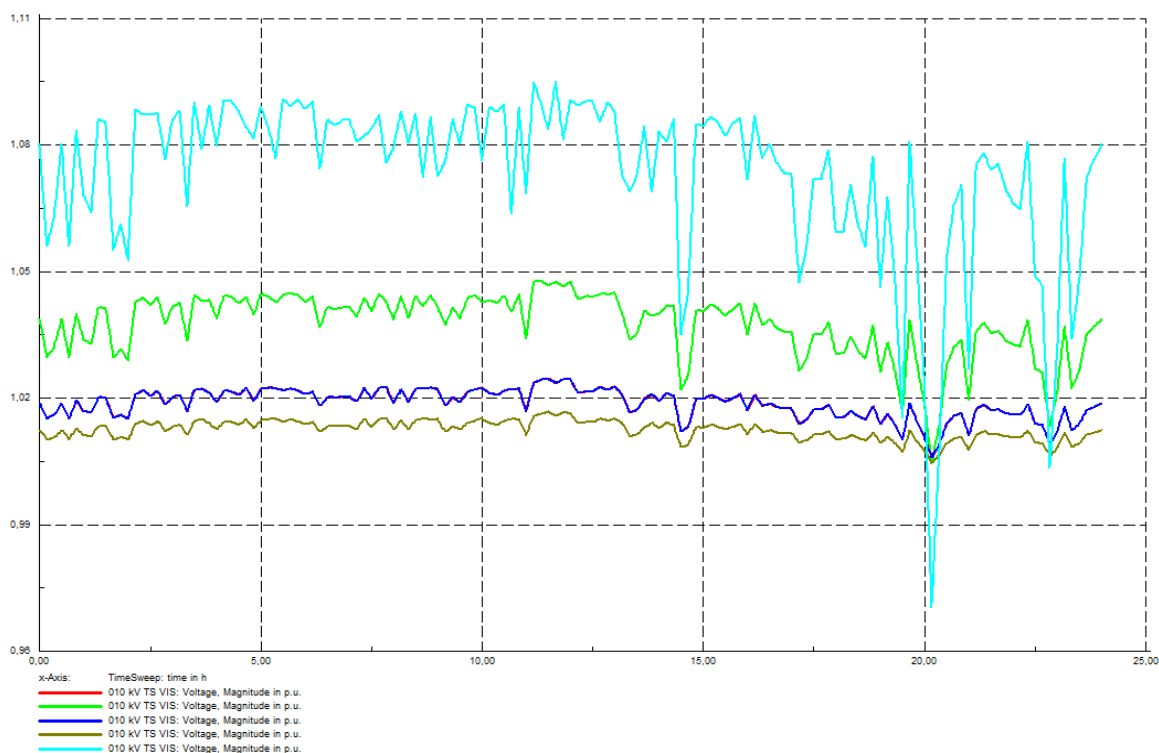
Vodovima vodnog polja "Komiža" i "Vinarija" nakon kvara prenosi se više radne i jalove energije kako bi nadomjestili onu energiju koja dolazi vodnim poljem "Podstražje" kada nema kvara.

4.2.5. Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske razine

Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske prilike simuliralo se na način da su integrirani i FN elektrana i maksimalan broj postrojenja na morske valove na lokaciji 1. Kada je mreža jačine 10 MVA dolazi do pojave prevelikih napona. Povećanjem snage kratkog spoja mreže vidljivo je kako se gubici prijenosa energije smanjuju.

Tablica 4.7. Iznosi tokova snaga

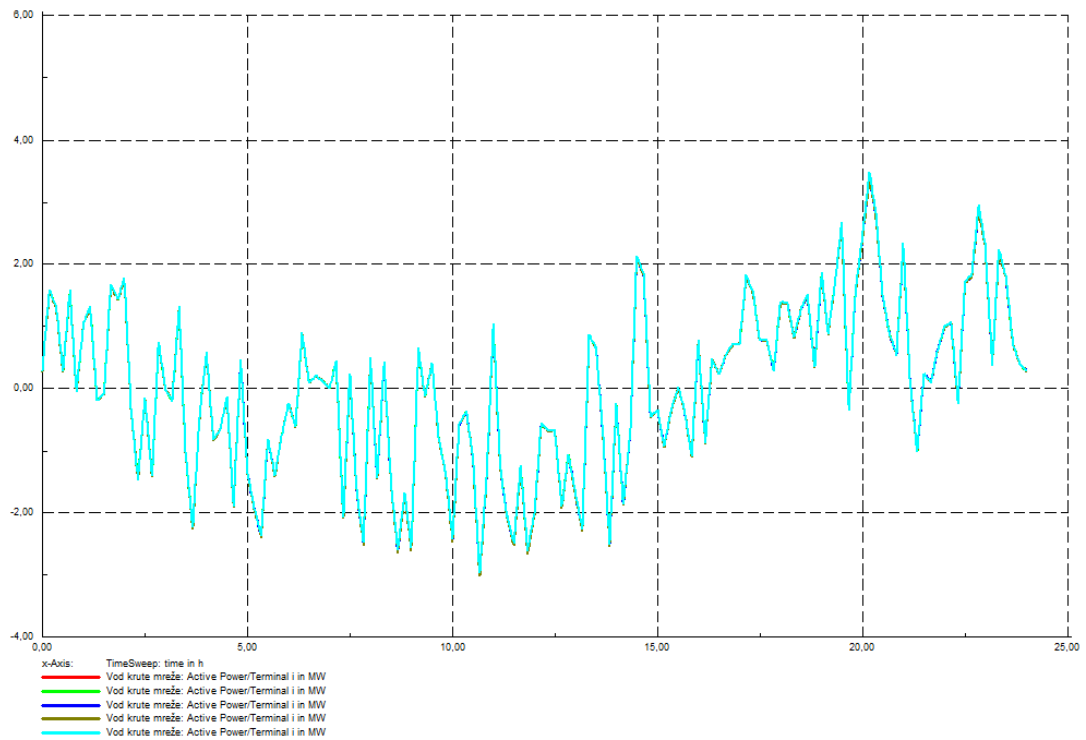
Snaga krute mreže	10	20	35	40	60
Iz krute mreže [MWh]	0,287	0,047	-0,075	-0,075	-0,115
Ukupno opterećenje [MWh]	70,611	70,610	71,610	71,610	71,610
Gubici [MWh]	1,185	0,946	0,825	0,825	0,785
Distribuirana proizvodnja [MWh]	70,508	70,507	70,508	70,508	70,508



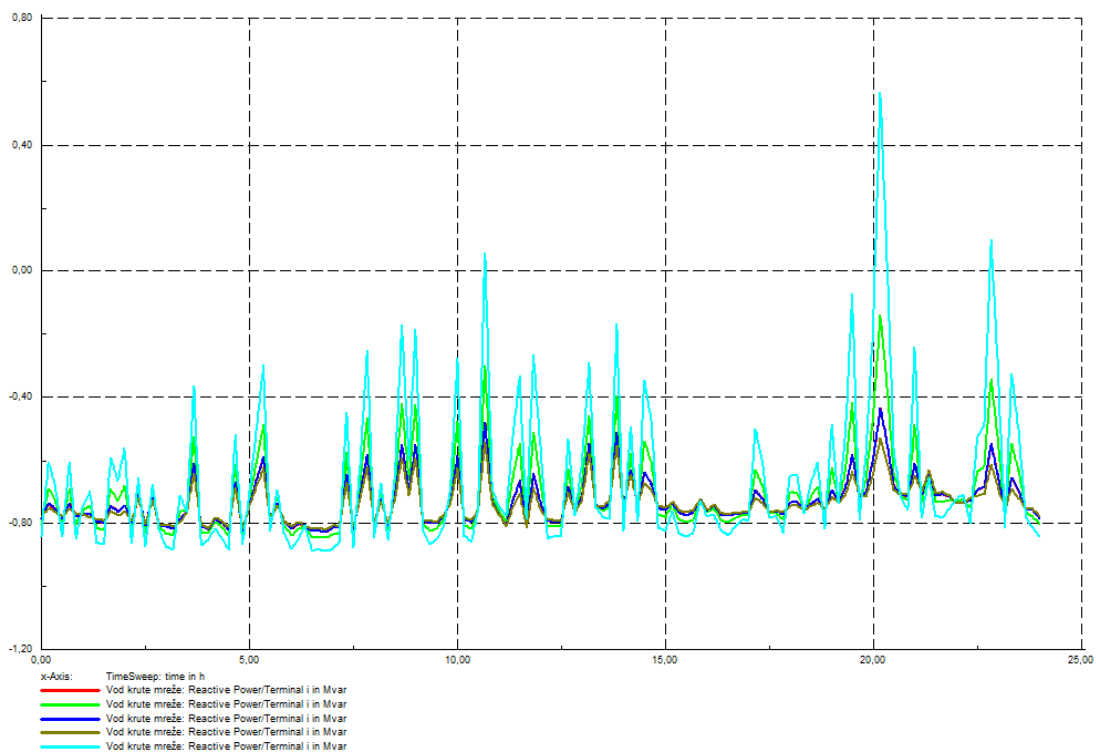
Slika 4.30. Utjecaj snage trofaznog kratkog spoja na naponske prilike – promatrana sabirnica “010 kV TS VIS”

Veća snaga kratkog spoja mreže znači kako je napon stabilniji. Na slici 4.30. prikazana je promjena naponske razine na sabirnici 010 kV TS VIS kada se na lokaciji 1 priključuje postrojenje na morske valove. Zelena krivulja označava razinu napona kada je snaga kratkog spoja 20 MVA, crvena krivulja kada je snaga kratkog spoja 35MVA, tamno plava krivulja kada je snaga kratkog spoja 40 MVA, smeđa krivulja kada je snaga kratkog spoja 60 MVA i svijetlo plava boja kada je snaga kratkog spoja 10 MVA. Što je snaga kratkog spoja mreže veća napon je stabilniji na promatranoj sabirnici u mreži.

Na slici 4.31. je kako gotovo da nema promjene radne snage iz krute mreže s promjenom snage kratkog spoja mreže u promatranom rasponu snaga.



Slika 4.31. Radna snaga iz krute mreže za različite snage kratkog spoja mreže



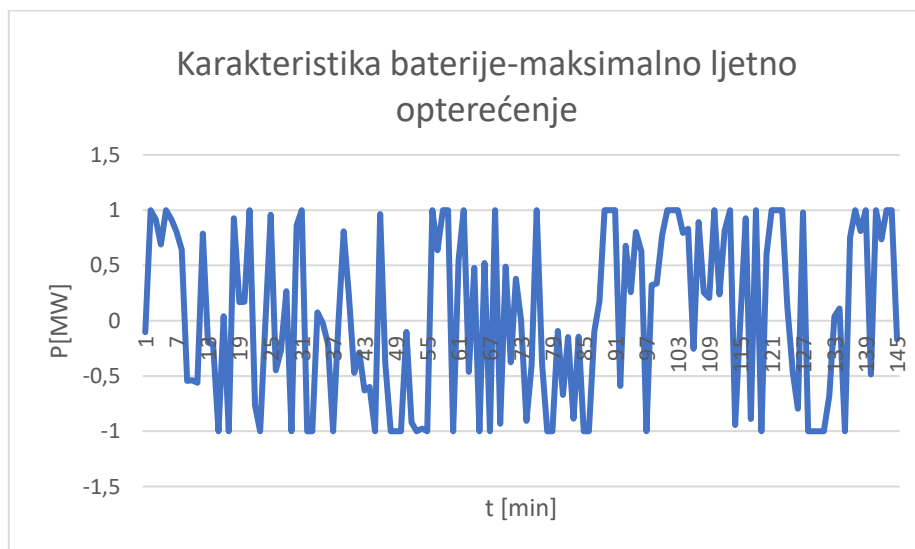
Slika 4.32. Jalova snaga iz krute mreže za različite snage kratkog spoja mreže

Na slici 4.32. svijetlo plava krivulja predstavlja jalovu snagu iz krute mreže kada je snaga trofaznog kratkog spoja mreže 10 MVA, zelena krivulja predstavlja jalovu snagu iz krute mreže

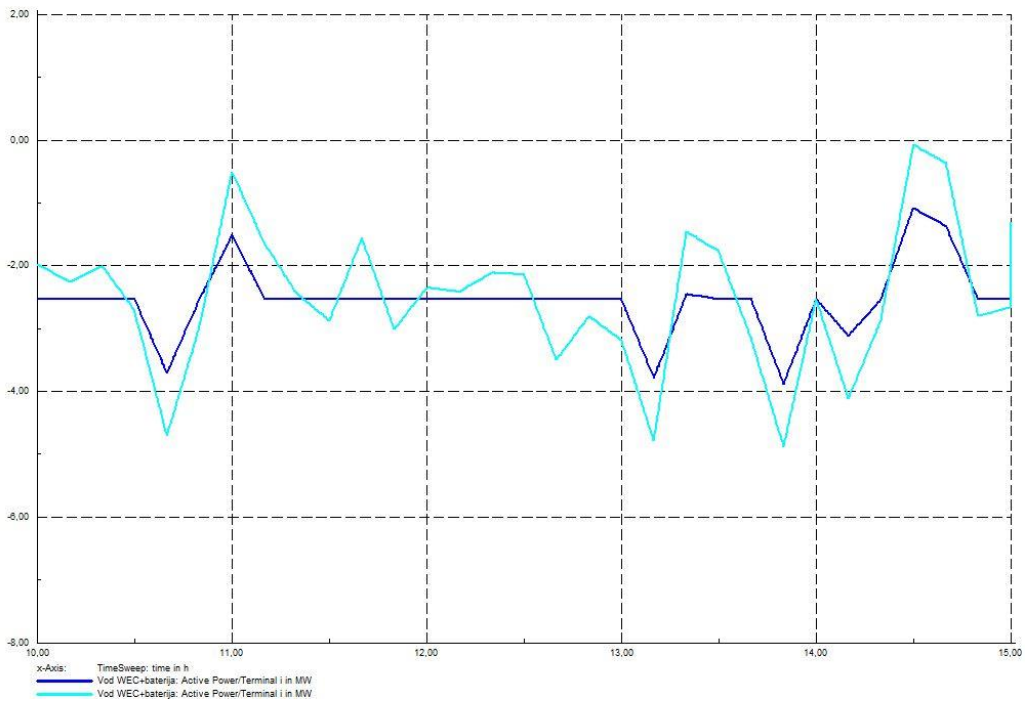
kada je snaga trofaznog kratkog spoja mreže 20 MVA, crvena krivulja predstavlja jalovu snagu iz krute mreže kada je snaga trofaznog kratkog spoja mreže 35 MVA, tamno plava krivulja predstavlja jalovu snagu iz krute mreže kada je snaga trofaznog kratkog spoja mreže 40 MVA, smeđa krivulja predstavlja jalovu snagu iz krute mreže kada je snaga trofaznog kratkog spoja mreže 60 MVA. Najveći iznosi jalove snage koja dolazi iz krute mreže događaju se kada je snaga trofaznog kratkog spoja mreže najmanja tj. 10 MVA.

4.2.6. Korištenje baterije na lokaciji 1

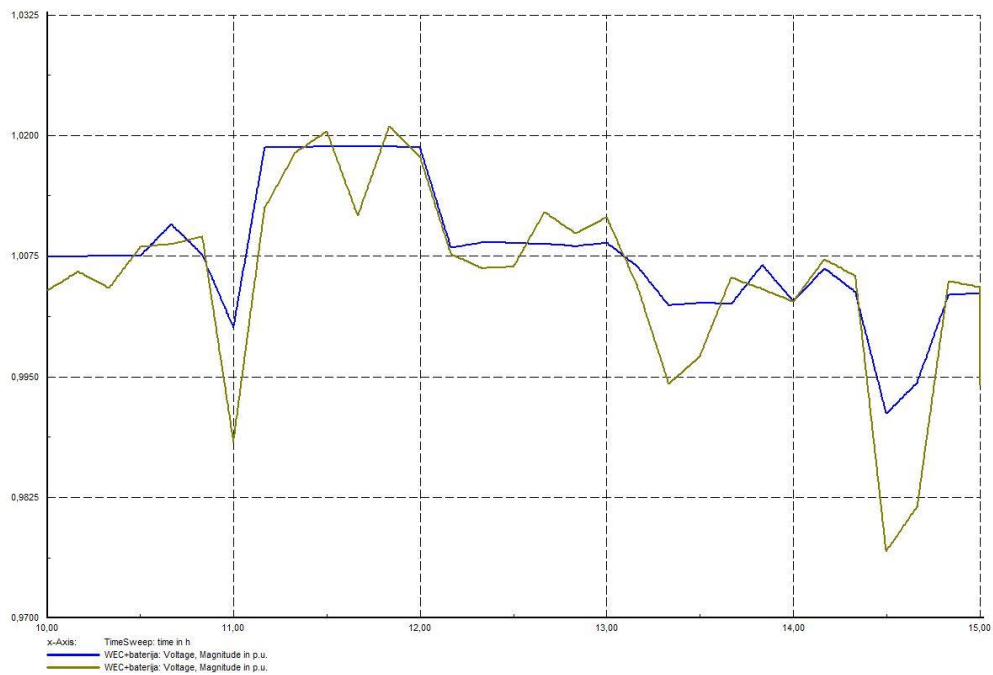
U ovom slučaju simulacija se vršila na način da je bilo integrirano 330 postrojenja na morske valove. Baterija se modelirala modelom "battery storage". Baterija i postrojenja na morske valove priključeni su na posebnu sabirnicu koja je udaljena 1m od sabirnice "Komiža2-Komiža5-Barjaci" (lokacija1). Sabirnice su međusobno spojene vodom (naziv voda "Vod WEC+baterija") duljine 1m koji nema impedanciju. Vod je bio potreban kako bi se pomoću snage koja se na njemu prenosi mogla dobiti karakteristika baterije. Kao i u slučaju minimalnog zimskog opterećenja tako i u ovom slučaju (maksimalno ljetno opterećenje) karakteristika baterija dobila se na način da se izračunala srednja vrijednost snage koja se prenosila na vodu, a trenutne vrijednosti snage koje su se prenosile tim vodom u nekom trenutku su se uspoređivale sa srednjom vrijednosti snage. Ukoliko je razlika trenutne vrijednosti snage i srednje vrijednosti snage veća od nula baterija se puni te ukoliko je razlika manja od nula baterija se prazni. Bitno je naglasiti kako je baterijski spremnik ograničen na snagu od 1 MW. Idealno bi bilo koristiti baterijski spremnik što veće snage ali zbog financijskih razloga to nije moguće. Zbog ograničenja programa simulacija se odvijala samo za nekoliko sati u danu.



Slika 4.33. Karakteristika baterije za 24h-maksimalno ljetno opterećenje

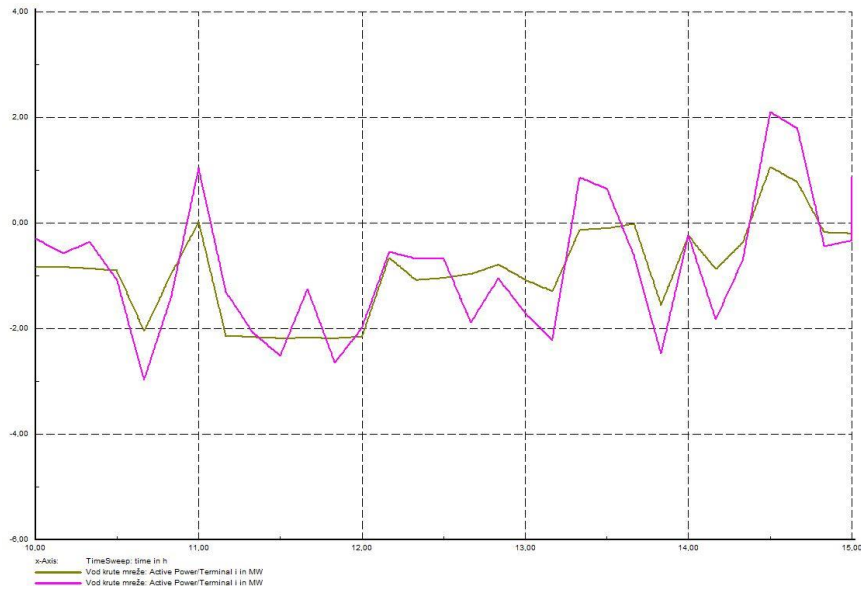


Slika 4.34. Tok radne snage na vodu postrojenja i baterije (tamno plava krivulja predstavlja simulaciju s priključenom baterijom, a svijetlo plava krivulja simulaciju bez baterije)

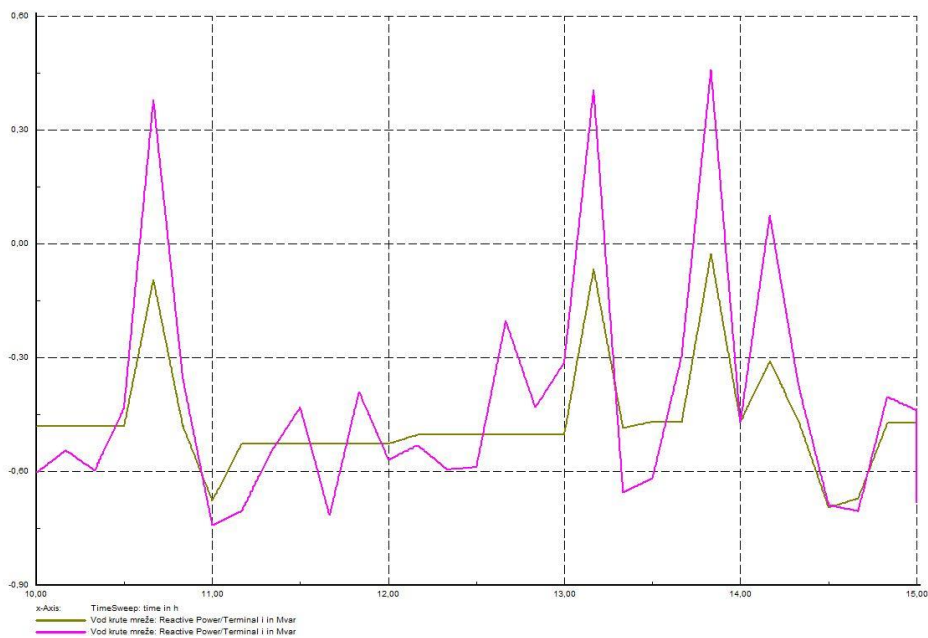


Slika 4.35. Napon na sabirnici postrojenja i baterije (plava krivulja predstavlja napon u slučaju kada je priključena baterija, a smeđa krivulja napon u slučaju bez baterije)

Simulacija se promatrala u razdoblju od 10:00-15:00h a u tom periodu distribuirana proizvodnja je iznosila 19.941 MWh dok su gubici iznosili 0.282 MWh. Korištenjem baterije snaga na vodu (prikazano na slici 4.34.) poprima manje vrijednosti i manje su oscilacije između maksimalne i minimalne vrijednosti jednako kao i u slučaju napona (slika 4.35.)



Slika 4.36. Radna snaga na vodu krute mreže (smeđa krivulja predstavlja snagu nakon priključenja baterije, a roza krivulja snagu bez baterije)



Slika 4.37. Jalova snaga na vodu krute mreže (smeđa krivulja predstavlja snagu s

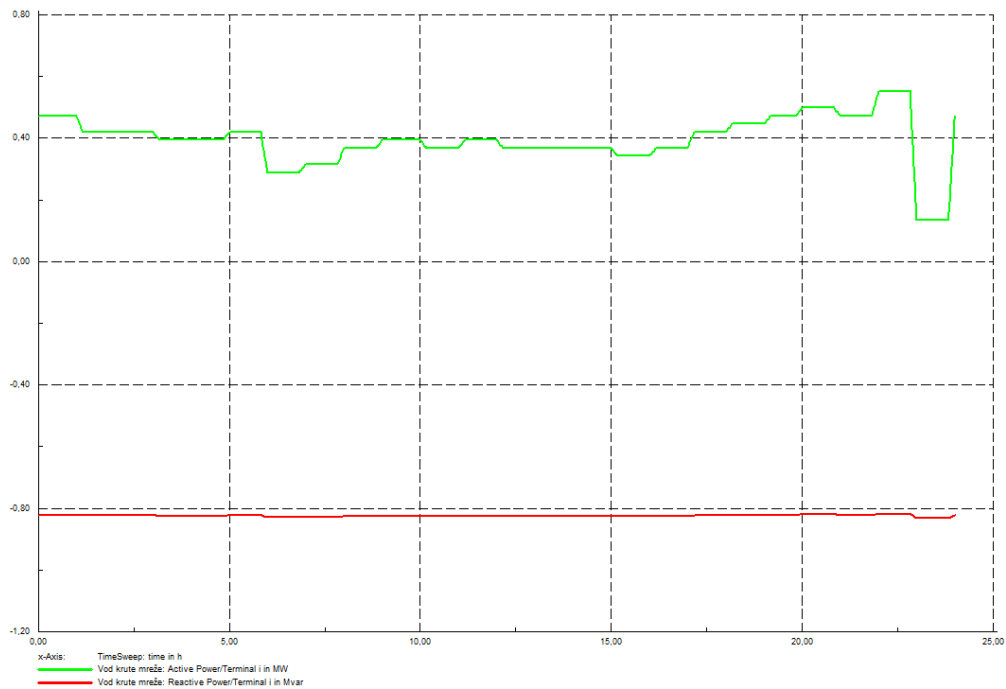
4.3. Simulacija u slučaju minimalnog zimskog opterećenja

U slučaju minimalnog zimskog opterećenja u Diplomskom radu promatrali su se slučajevi:

- Mreža bez integrirane fotonaponske elektrane kao i bez postrojenja na morske valove
- Mreža a integriranom fotonaponskom elektranom
- Mreža s integriranom fotonaponskom elektranom i postrojenjem na morske valove (postrojenje na morske valove se postavljalo na dvije karakteristične lokacije u mreži)
- Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske razine.
- Mreža u slučaju kvara pojedinog dijela mreže
- Mreža s baterijom

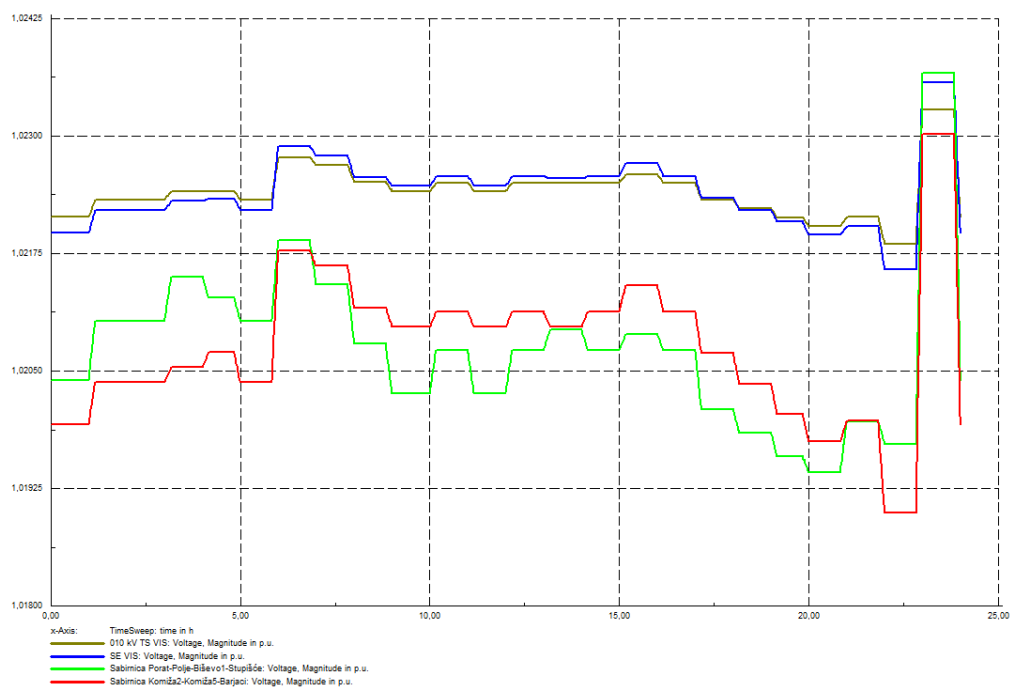
4.3.1. Mreža otoka Visa bez integrirane fotonaponske elektrane i bez postrojenja na morske valove

Usporedbom slučaja bez integrirane fotonaponske elektrane i bez postrojenja na morske valove za slučaj minimalnog zimskog i maksimalnog ljetnog opterećenja vidljivo je kako je potrebna snaga iz krute mreže oko četiri puta manja u slučaju minimalnog zimskog opterećenja. Ukupno opterećenje za navedeni slučaj iznosi 9,528 MWh dok su gubici 0,102 MWh. Kada se usporede grafovi minimalnog zimskog i maksimalnog ljetnog opterećenja za slučaj kada nema distribuirane proizvodnje može se zaključiti kako je tok radne snage daleko manji po iznosu, a također je vidljivo da je mreža postala još više kapacitivna u odnosu na slučaj maksimalnog ljetnog opterećenja.



Slika 4.38. Radna snaga (zelena krivulja) i jalova snaga (crvena krivulja) na vodu krute mreže

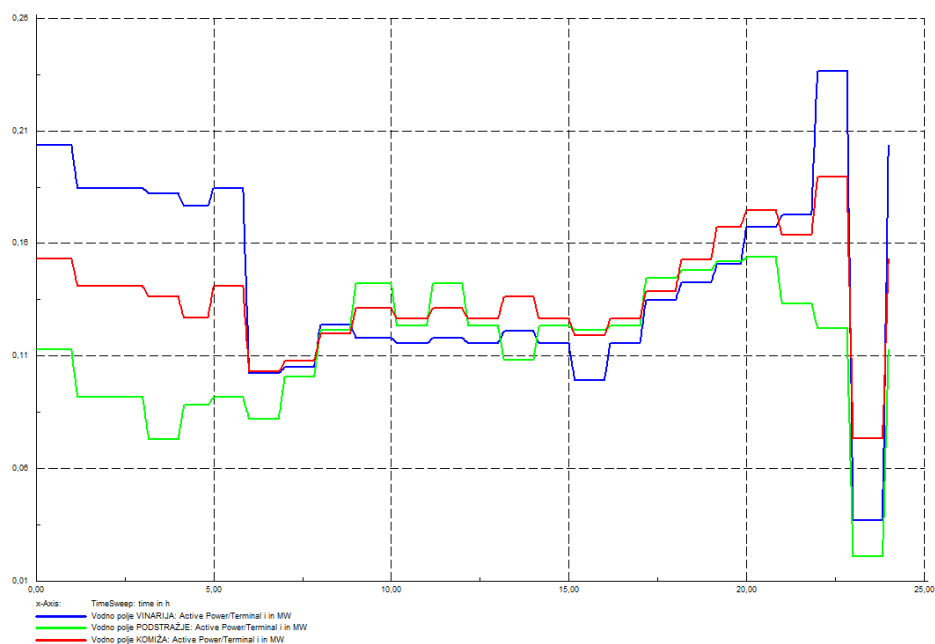
Pogledom na graf na slici 4.38. vidljivo je kako se iz mreže uzima negativna jalova snaga što znači da je mreža kapacitivna zbog čega dolazi do pojave većih napona na sabirnicama u normalnom radu mreže.



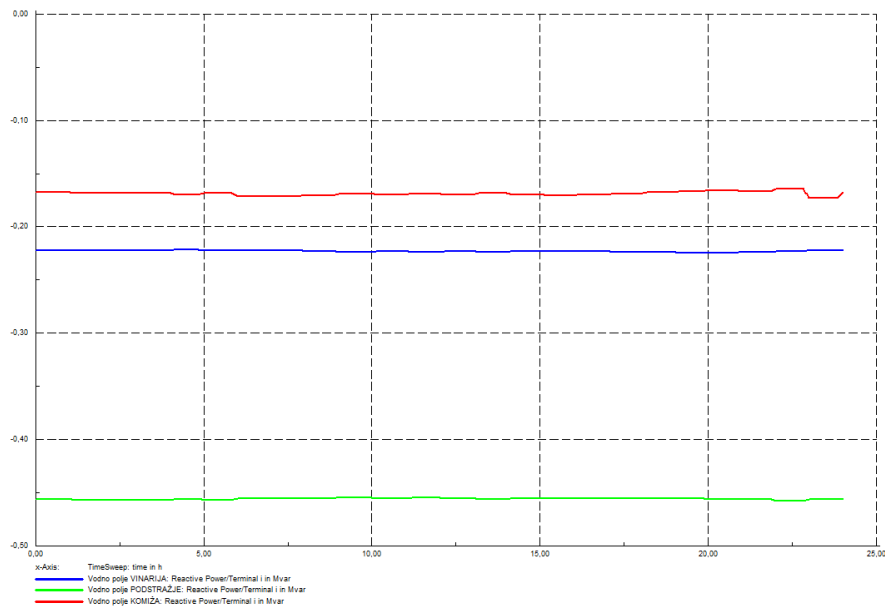
Slika 4.39. Naponi na sabirnicama

Na slici 4.39. zelena krivulja predstavlja sabirnicu "Porat-Polje-Biševo1-Stupišće", crvena krivulja sabirnicu "Komiža2-Komiža5-Barjaci", plava krivulja sabirnicu "SE Vis" i smeđa krivulja sabirnicu "010 kV TS Vis". Pogledom na graf na slici 4.34. vidljivo je kako su naponi u velikom vremenskom razdoblju preko 1 p.u., a razlog tomu je premalo cjelokupno opterećenje mreže zbog čega je mreža kapacitivnog karaktera što rezultira povećanju napona na sabirnicama.

Na grafovima na slikama 4.40. i 4.41. najveće vrijednosti radna snage izmjerene su na vodu vodnog polja "Vinarija", a najmanje na vodu vodnog polja "Podstražje" jednako kao i u slučaju maksimalnog opterećenja. Također najveća jalova snaga prenosi se vodom vodnog polja "Komiža", a najmanja na vodu vodnog polja "Podstražje" jednako kao i u slučaju maksimalnog opterećenja.



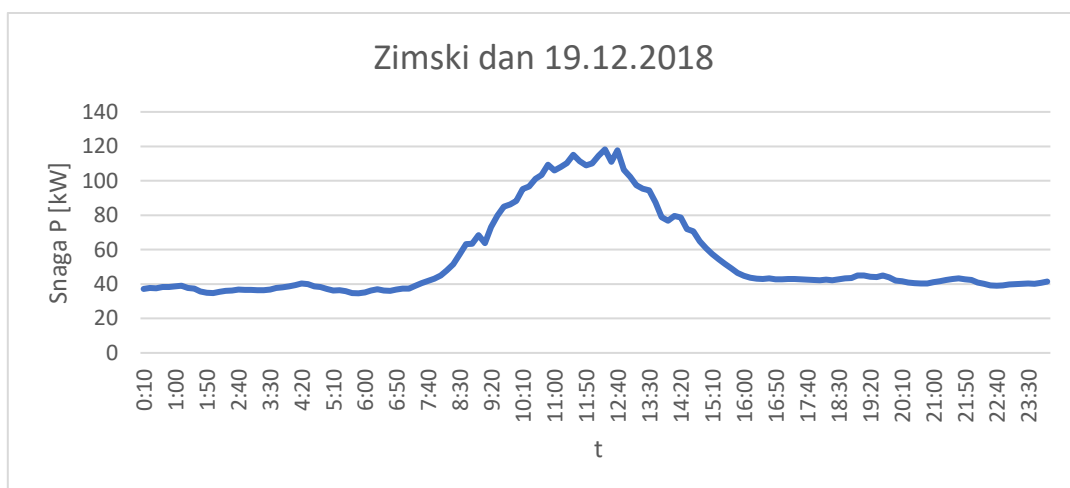
Slika 4.40. Opterećenje vodnih polja – radna snaga(zeleno "Podstražje", crveno "Komiža" i plavo "Vinarija")



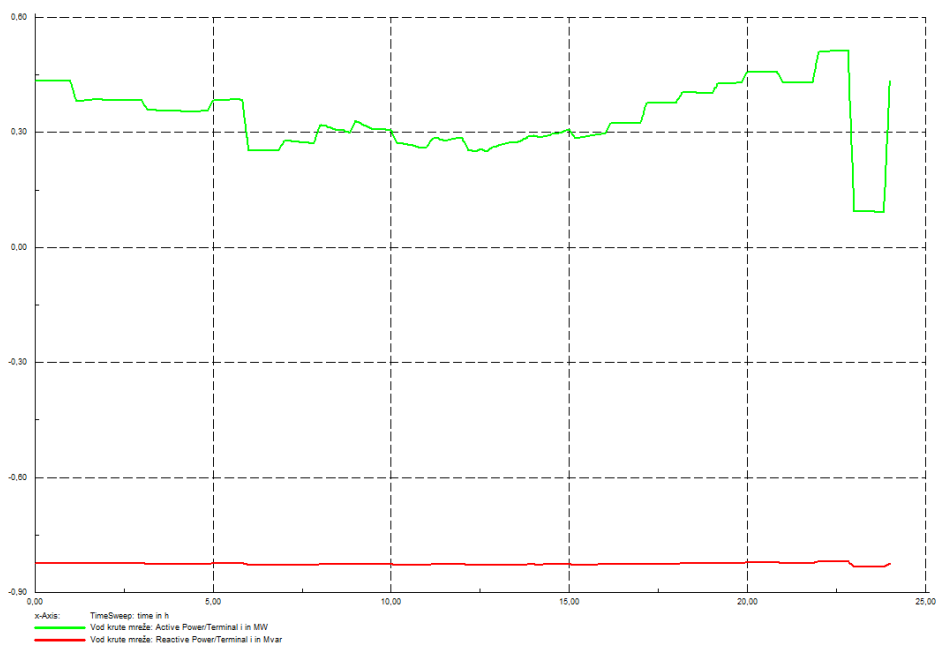
Slika 4.41. Opterećenje vodnih polja – radna snaga(zeleno "Podstražje", crveno "Komiža" i plavo "Vinarija")

4.3.2. Mreža otoka Visa s integriranom fotonaponskom elektranom

Prilikom modeliranja FN elektrane potrebno je bilo izračunati izlaznu snagu elektrane s obzirom na jakost zračenja tijekom zime tj. kada je i opterećenje na otoku Visu minimalno. Ukupna proizvedena energija fotonaponske elektrane u ovom slučaju je manja nego što je bilo u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja koji se odvija za jedan ljetni dan, a najveća proizvodnja FN elektrane je također oko 12:00h.

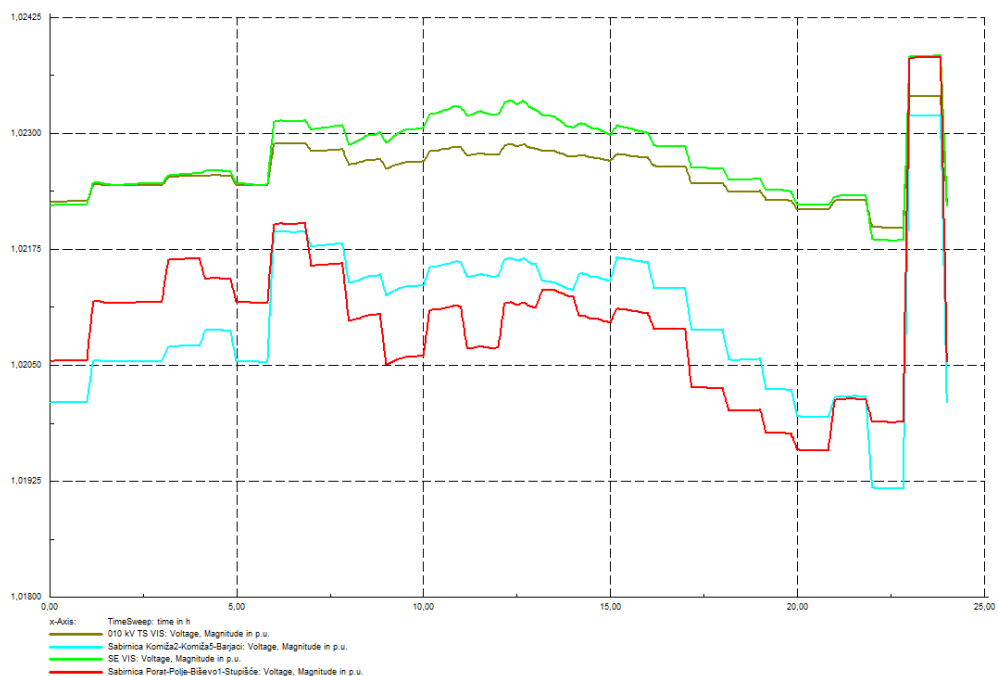


Slika 4.42. FN karakteristika za zimski dan



Slika 4.43. Radna snaga (crvena krivulja) i jalova snaga(zelena krivulja) na vodu krute mreže kada je priključena FN elektrana

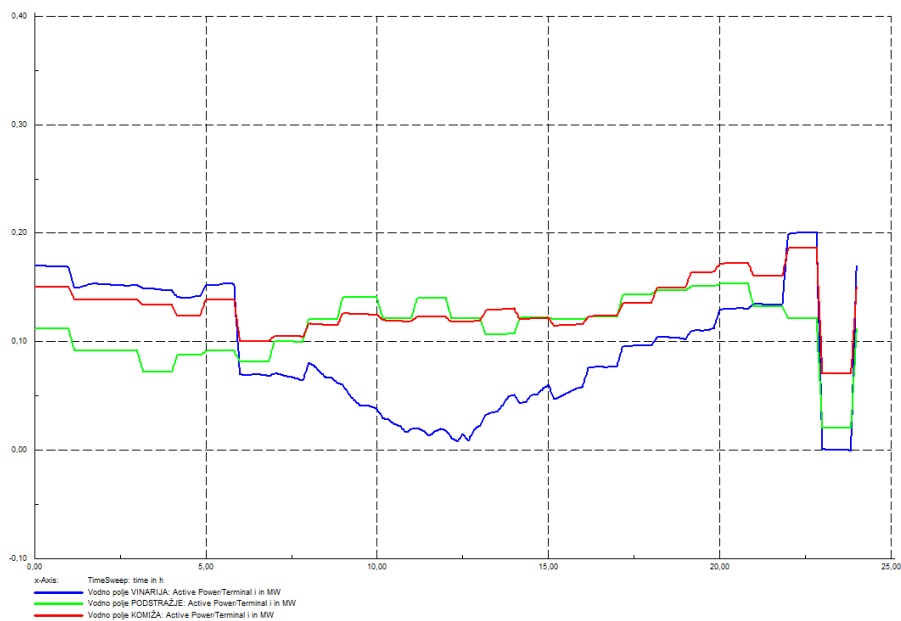
Ukupno opterećenje mreže iznosilo je 9,427 MWh dok su gubici iznosili 0,099 MWh. Fotonaponska elektrana je proizvela 1,322MWh.



Slika 4.44. Naponi na sabirnicama

Na slici 4.44. crvena krivulja predstavlja sabirnicu "Porat-Polje-Biševo1-Stupišće", plava krivulja "Komiža2-Komiža5-Barjaci", zelena krivulja "SE Vis" i smeđa krivulja "010 kV TS Vis" kada je priključena FN elektrana.

Naponi u slučaju priključenja FN elektrane iznose nešto više od 1 p.u., ali su u zadovoljavajućim granicama odnosno u granicama $\pm 10\%$ nazivnog napona. Proizvodnja iz FN elektrane niska pa je snaga koja se uzima iz krute mreže gotovo jednaka onoj snazi kada nema FN elektrane za slučaj minimalnog opterećenja.



Slika 4.45. Opterećenje vodnih polja – radna snaga- kada je priključena FN elektrana

Za razliku od slučaja kada je opterećenje maksimalno, u slučaju kada je opterećenje minimalno vod vodnog polja Vinarija ne prenosi negativnu snagu što je posljedica hladnijeg vremena tj. manjka sunčevog zračenja pa je samim time i proizvodnja električne energije iz FN elektrane manja.

4.3.3. Mreža s integriranom fotonaponskom elektranom i postrojenjem na morske valove

Karakteristika postrojenja na morske valove za slučaj minimalnog opterećenja jednaka je onoj karakteristici postrojenja na morske valove u slučaju maksimalnog opterećenja.

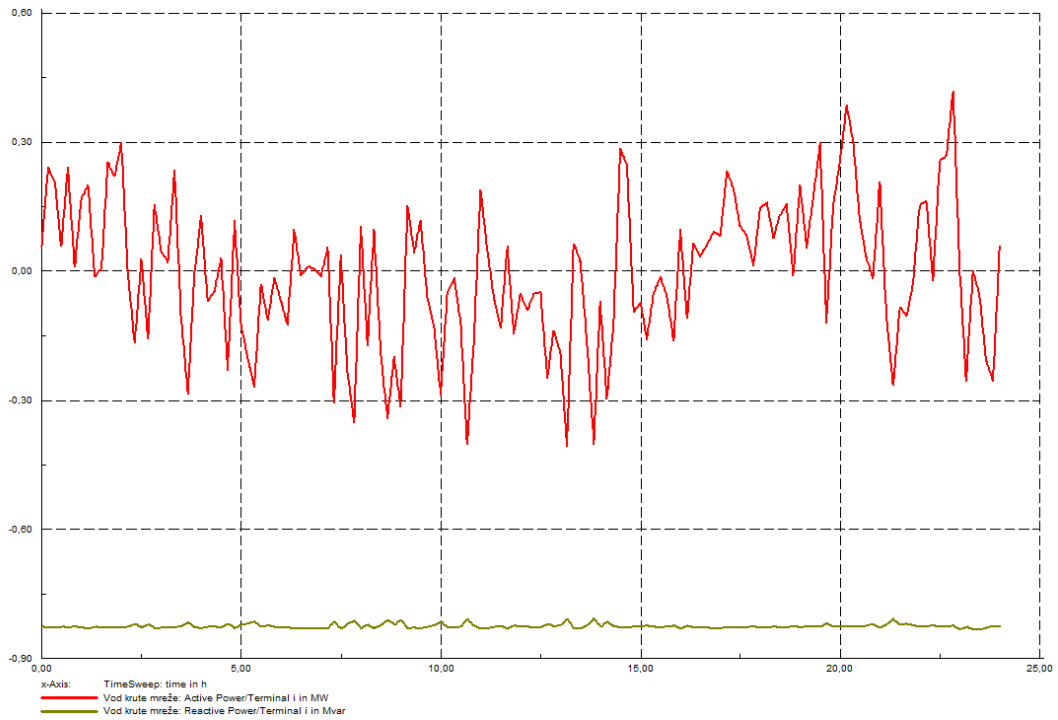
Tablica 4.8. Tokovi snaga nakon integriranja postrojenja na morske valove na: "Lokacija 1"

Broj postrojenja:	1	20	47	Pasivna mreža	Pasivna mreža+FN elektrana
Iz krute mreže [MWh]	8,025	4,653	-0,110	9,528	8,203
Ukupno opterećenje [MWh]	9,427	9,427	9,427	9,427	9,427
Gubici [MWh]	0,097	0,085	0,098	0,102	0,099
Distribuirana proizvodnja [MWh]	1,499	4,859	9,635	0	1,322

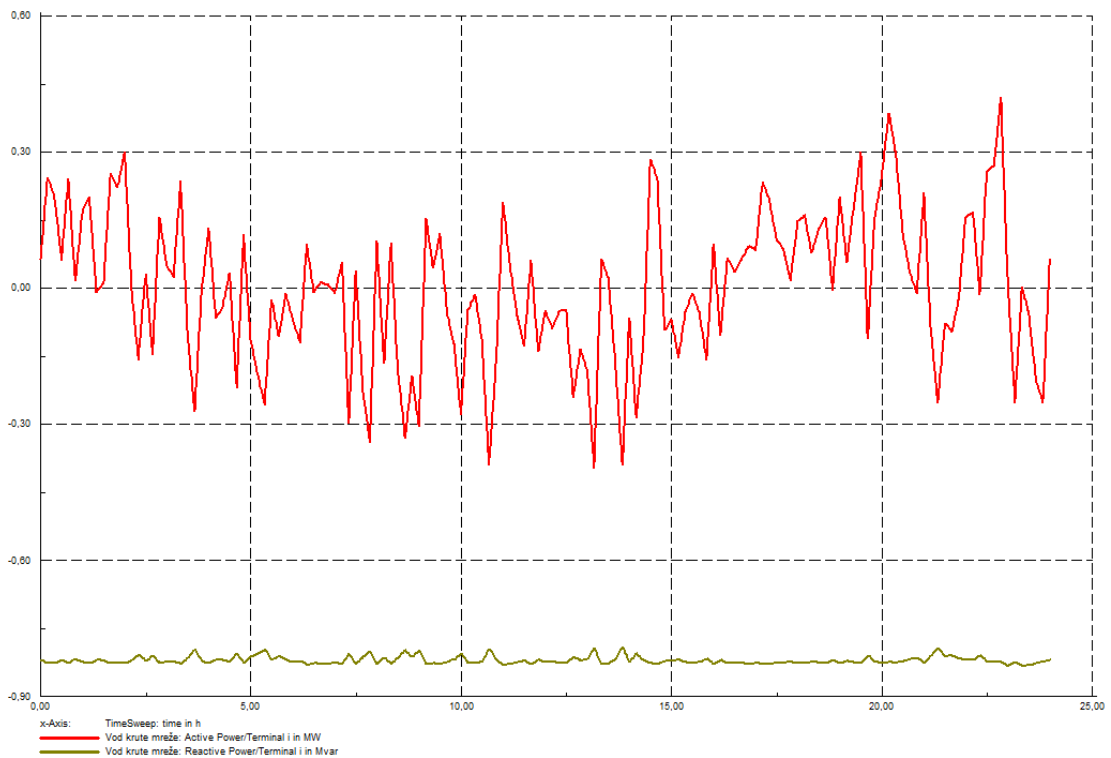
Tablica 4.9. Tokovi snaga nakon integriranja postrojenja na morske valove na: "Lokacija 2"

Broj postrojenja:	1	20	47	Pasivna mreža	Pasivna mreža+FN elektrana
Iz krute mreže [MWh]	8,025	4,670	-0,13	9,528	8,203
Ukupno opterećenje [MWh]	9,427	9,427	9,427	9,427	9,427
Gubici [MWh]	0,097	0,102	0,196	0,102	0,099
Distribuirana proizvodnja [MWh]	1,499	4,859	9,635	0	1,322

Potrebno je integrirati 47 postrojenja na morske valove na lokaciji 1 kako bi se ukupna količina električne energije za taj period podmirila iz postrojenja na morske valove. Ukoliko bi se integrirao toliki broj postrojenja potrebno je staviti jače transformatore ili više transformatora da kako bi radili u paralelnom načinu rada i potrebno je promijeniti ili pojačati prijenosnu moć vodova. Za lokaciju 2 potrebno je pojačati više elemenata mreže kako ne bi dolazilo do preopterećenje u usporedbi s lokacijom 1.

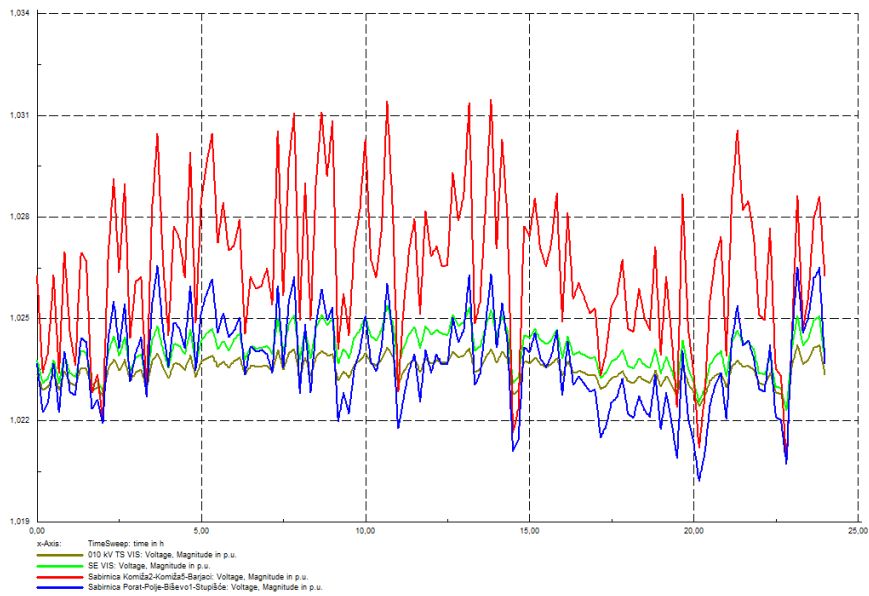


Slika 4.46. Radna (crvena krivulja) i jalova (smeđa krivulja) snaga na vodu krute mreže uslijed integriranja 47 postrojenja na morske valove na lokaciji 1



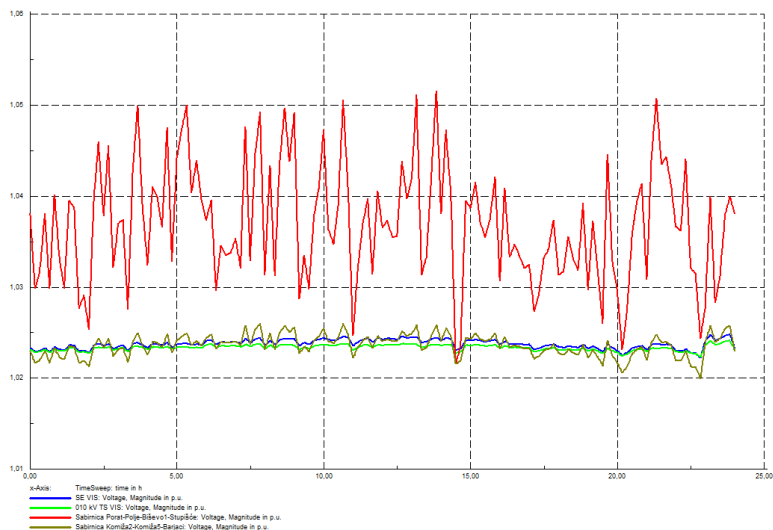
Slika 4.47. Radna (crvena krivulja) i jalova (smeđa krivulja) snaga na vodu krute mreže uslijed integriranja 47 postrojenja na morske valove na lokaciji 2

Pogledom na grafove na slikama 4.46. i 4.47. može se vidjeti kako su krivulje toka radne i jalove snage na vodu krute mreže gotovo jednake u slučaju kada se 47 postrojenja na morske valove integrira na različitim lokacijama.



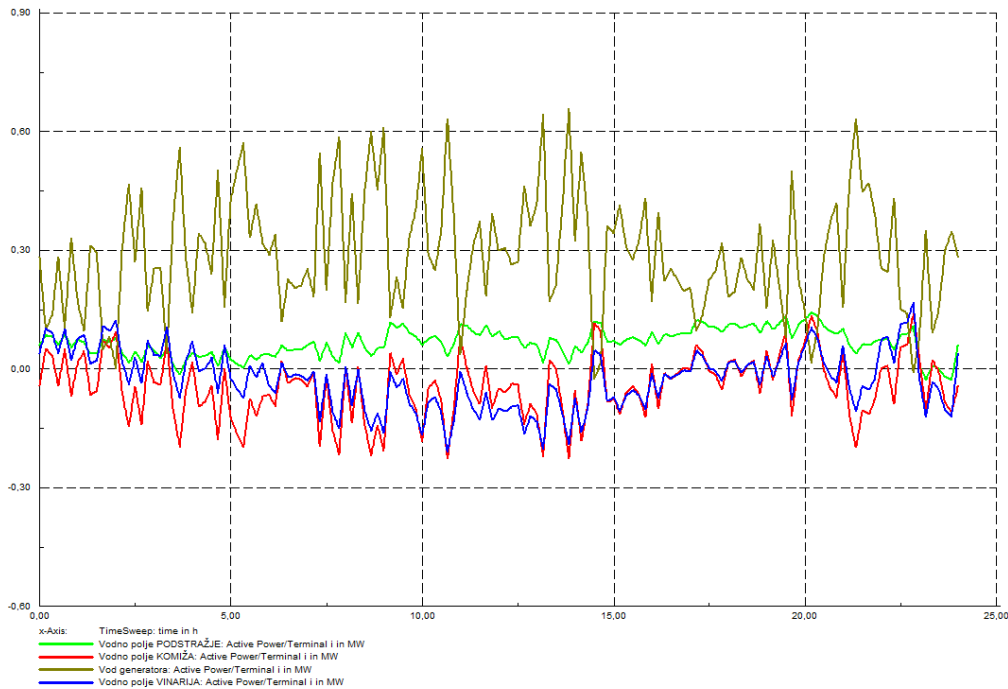
Slika 4.48. Naponi na sabirnicama nakon integriranja 47 postrojenja na morske valove na lokaciji 1

Na slici 4.48. smeđa krivulja predstavlja sabirnicu "010 kV TS VIS", zelena krivulja sabirnicu "SE VIS", crvena krivulja sabirnicu "Komiža2-Komiža5-Barjaci" i plava krivulja sabirnicu "Porat-Polje-Biševo1-Stupišće".



Slika 4.49. Naponi na sabirnicama nakon integriranja 47 postrojenja na morske valove na lokaciji 2

Na slici 4.49. zelena krivulja predstavlja sabirnicu "010 kV TS VIS", plava krivulja sabirnicu "SE VIS", smeđa krivulja sabirnicu "Komiža2-Komiža5-Barjaci" i crvena krivulja sabirnicu "Porat-Polje-Biševo1-Stupišće".



Slika 4.50. Opterećenja vodova nakon integriranja 47 postrojenja na morske valove na lokaciji 1

Na slici 4.50. zelena krivulja predstavlja opterećenje voda vodnog polje "Podstražje", crvena krivulja opterećenje voda vodnog polja "Komiža" smeđa krivulja opterećenje voda generatora (mjesto gdje su integrirana postrojenja na morske valove na "lokacija 1") i plava krivulja opterećenje voda vodnog polja "Vinarija"

Najveći naponi se pojavljuju na sabirnicama na kojima su integrirana postrojenja jednako kao i u slučaju maksimalnog opterećenja.

Iako je mreža reducirana pojavljuju se problemi sa preopterećenjima transformatora pa bi prilikom integracije tolikog broja postrojenja trebalo pripaziti na pojačavanje mreže.

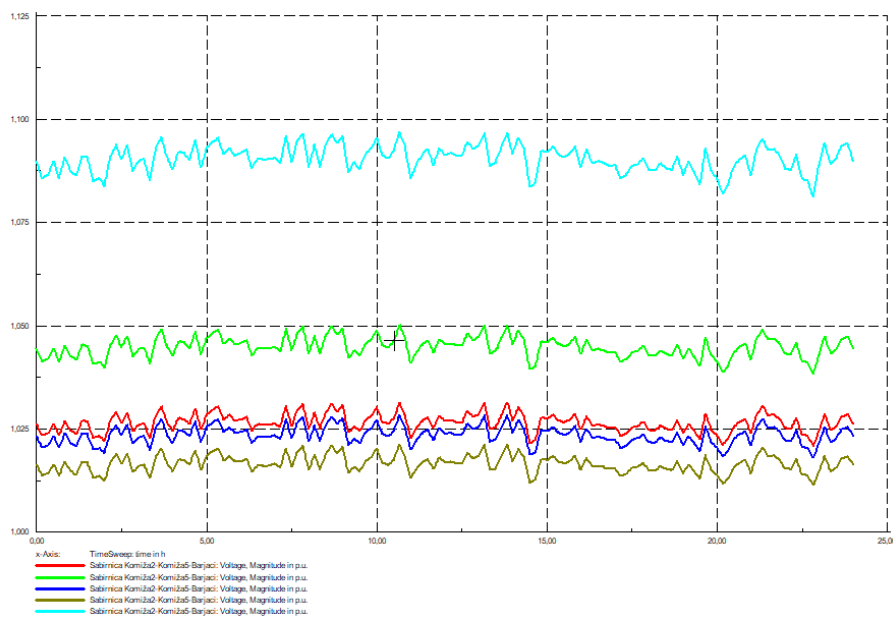
4.3.4. Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske razine

Utjecaj snage kratkog spoja mreže na naponske razine i razinu integracije simuliran je na isti način kao i kod maksimalnog opterećenja, na način da se mijenja snaga krute mreže pomoću

dodavanja vodova u paralelu i mijenjanjem otpora voda uz integrirano 47 postrojenja na morske valove i integriranu FN elektranu.

Tablica 4.10. Tokovi energije za slučaj minimalnog opterećenja (radi i FN elektranu i maksimalan broj postrojenja na morske valove)

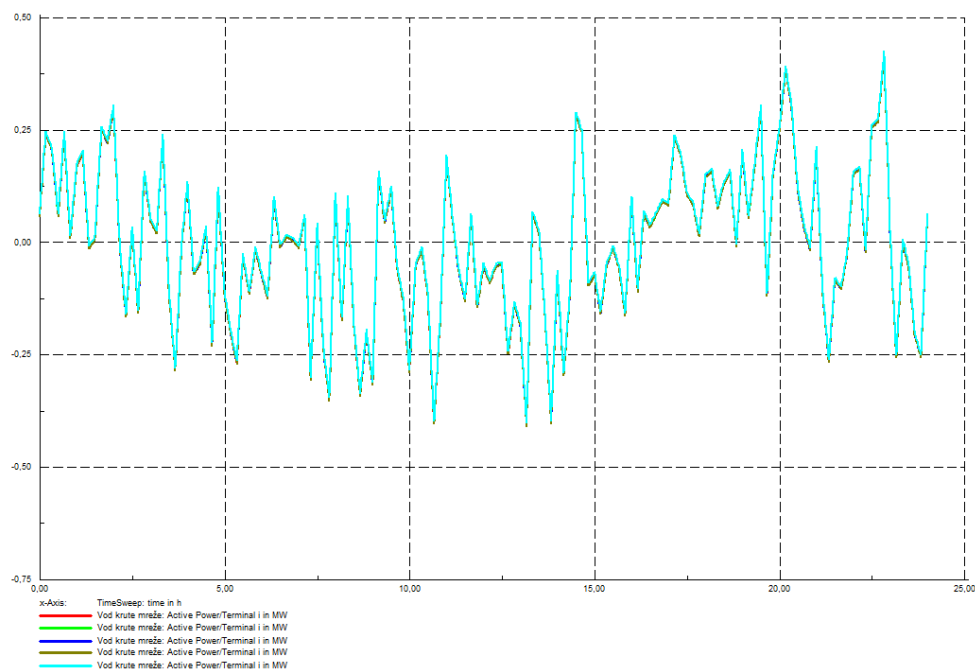
Snaga krute mreže [MVA]	10	20	35	40	60
Iz krute mreže [MWh]	0,031	-0,71	-0,110	-0,117	-0,131
Distribuirana proizvodnja [MWh]	9,634	9,634	9,634	9,634	9,634
Opterećenje [MWh]	9,426	9,426	9,426	9,426	9,426
Gubici [MWh]	0,242	0,138	0,098	0,092	0,077



Slika 4.51. Promjena razine napona na sabirnici postrojenja na morske valove uslijed promjene snage kratkog spoja mreže

Na slici 4.51. zelena krivulja predstavlja napon sabirnice kada je snaga kratkog spoja mreže 20 MVA, crvena krivulja predstavlja napon sabirnice kada je snaga kratkog spoja mreže 35 MVA, tamno plava krivulja predstavlja napon sabirnice kada je snaga kratkog spoja mreže 40 MVA, smeđa krivulja predstavlja napon sabirnice kada je snaga kratkog spoja mreže 60 MVA, svijetlo plava krivulja predstavlja napon sabirnice kada je snaga kratkog spoja mreže 10 MVA . Napon na sabirnici je stabilniji ukoliko je snaga kratkog spoja veća što znači da je moguće integrirati više postrojenja na morske valove ukoliko je snaga kratkog spoja mreže veća.

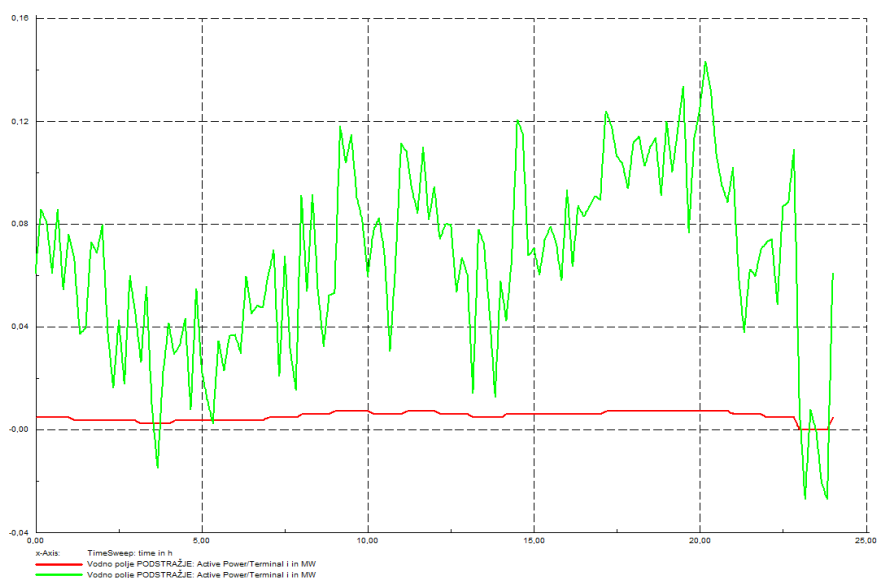
Na slici 4.47. vidljivo je kako za promatrani raspon promjena snage kratkog spoja krute mreže 10-60MVA gotovo da nema promjena radne snage koja dolazi iz krute mreže.



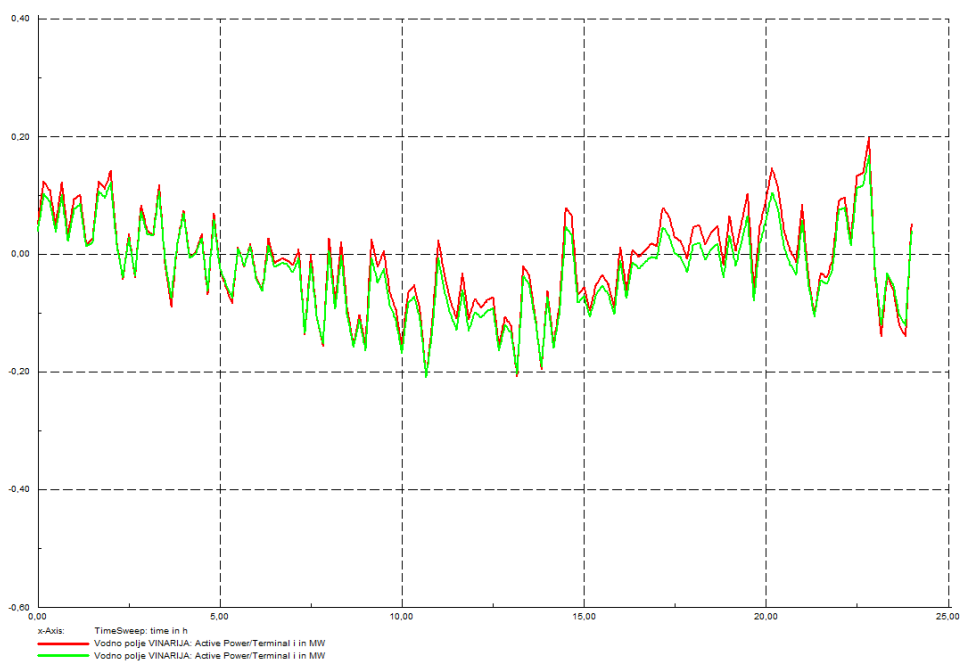
Slika 4.52. Radna snaga iz krute mreže za slučaj minimalnog opterećenja-promjena snage trofaznog kratkog spoja krute mreže

4.3.5. Mreža u slučaju kvara pojedinog dijela mreže

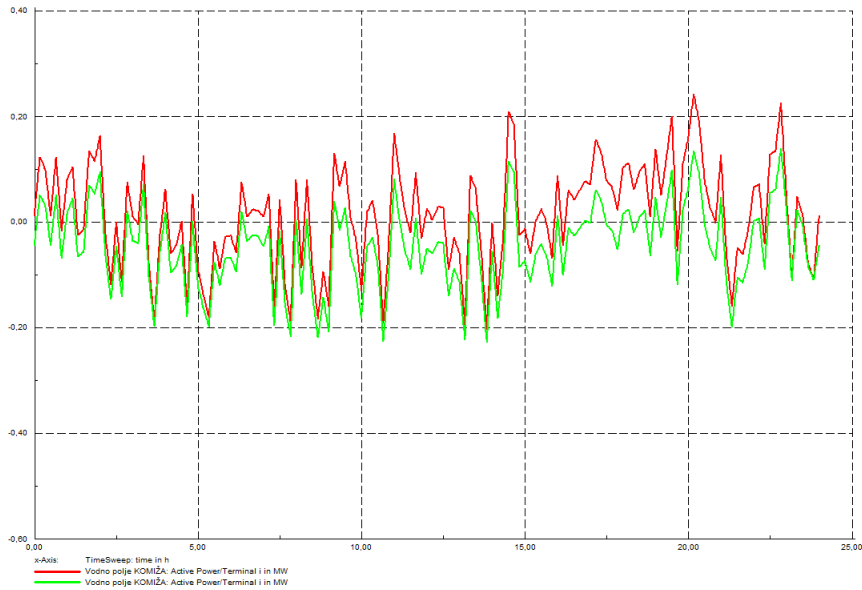
Kvar se simulirao na istom mjestu kao i u slučaju maksimalnog opterećenja, ali u slučaju kada je spojeno 47 postrojenja na morske valove tj. kada se sva potreba za energijom može zadovoljiti iz postrojenja na morske valove. Na slikama 4.53.-4.55. vidljivo je kao i u slučaju maksimalnog opterećenja kako se pomoću vodova vodnih polja "Vinarija" i "Komiža" nadomješta energija koja u slučaju normalnog pogona dolazi preko voda vodnog polja "Podstražje".



Slika 4.53. Vodno polje "Podstražje" (prije kvara zelena krivulja i nakon kvara crvena kivilja)



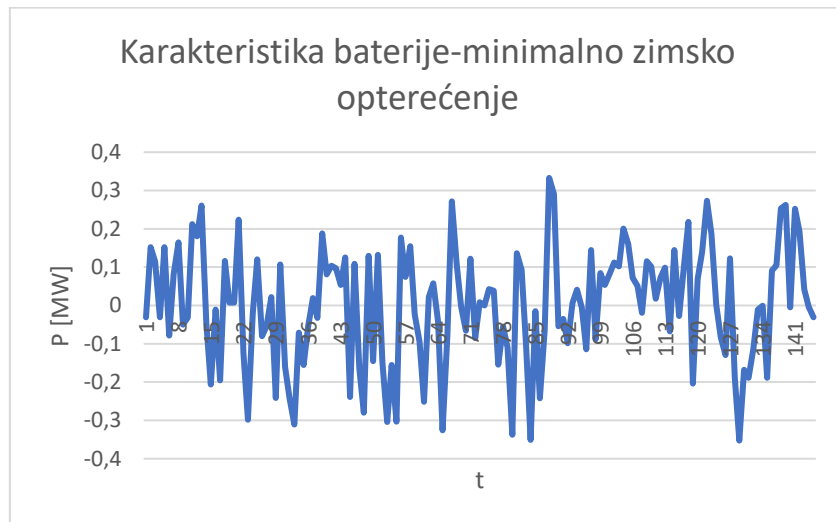
Slika 4.54. Vodno polje "Vinarija" (prije kvara zelena krivulja i nakon kvara crvena kivilja)



Slika 4.55. Vodno polje "Komiža" (prije kvara zelena krivulja i nakon kvara crvena krivulja)

4.3.6. Korištenje baterije na lokaciji 1 prilikom integriranja postrojenja na morske valove

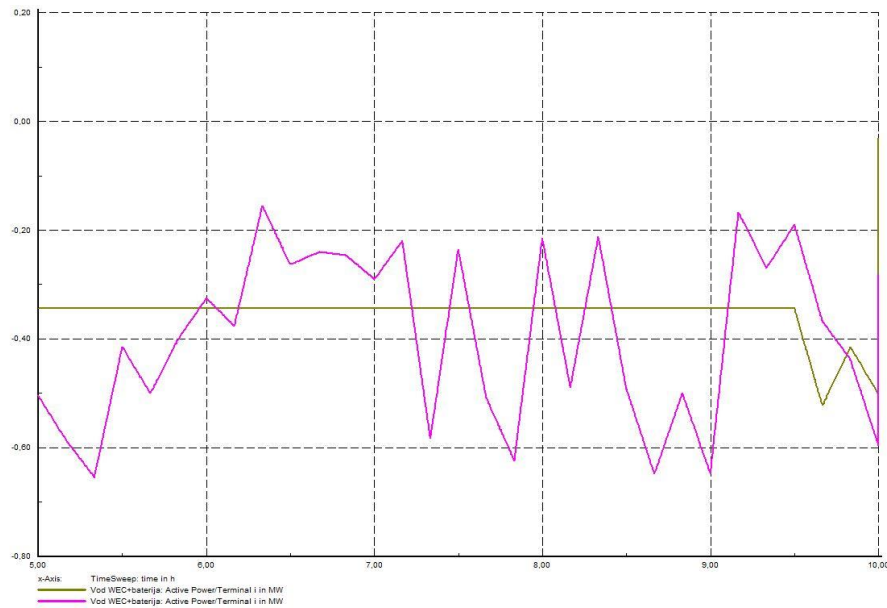
Simulacija se odvijala na jednak način kao i simulacija u poglavlju 4.2.5. samo je umjesto 330 postrojenja na morske valove integrirano 47 postrojenja na morske valove koliko je dovoljno da se pokrije zimski konzum.



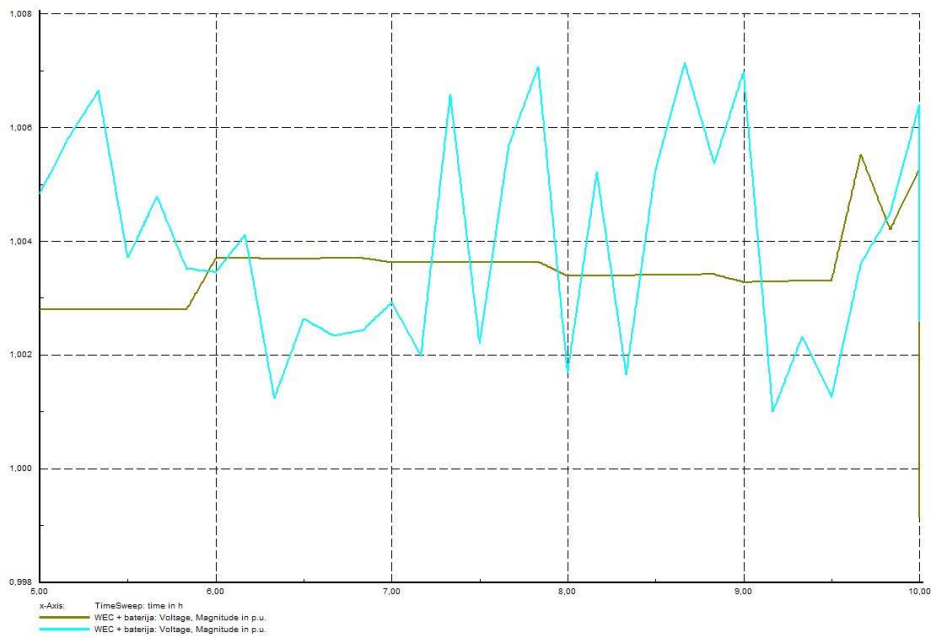
Slika 4.56. Karakteristika baterije-minimalno zimsko opterećenje

Usporedbom karakteristika baterije u slučaju maksimalnog ljetnog opterećenja i minimalnog zimskog opterećenja vidljivo je kako su vrijednosti snage nekoliko puta manje u slučaju

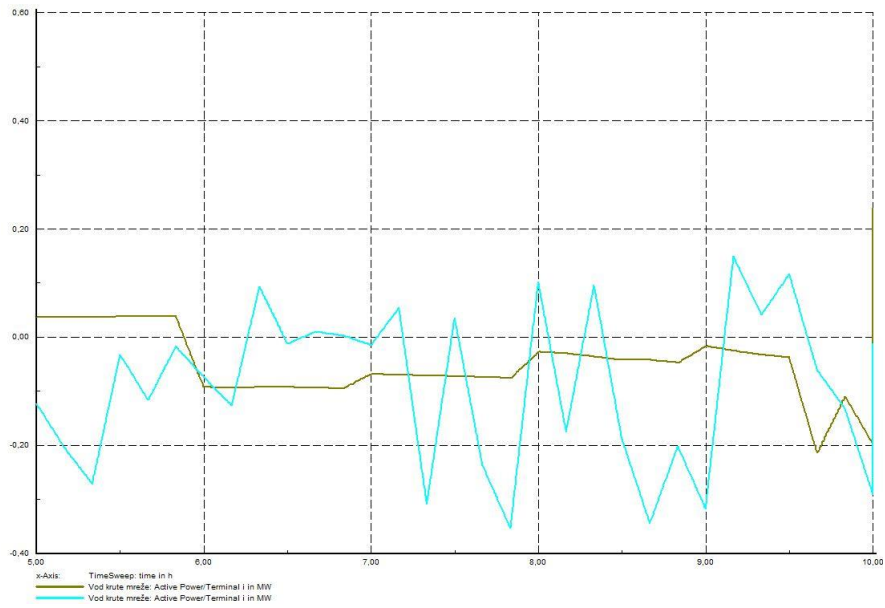
minimalnog zimskog opterećenja. Simulacija se promatrala u vremenu 5:00-10:00h, a ukupna distribuirana proizvodnja u tom periodu iznosila je 2,089 MWh, dok su gubici iznosili 0,01 MWh.



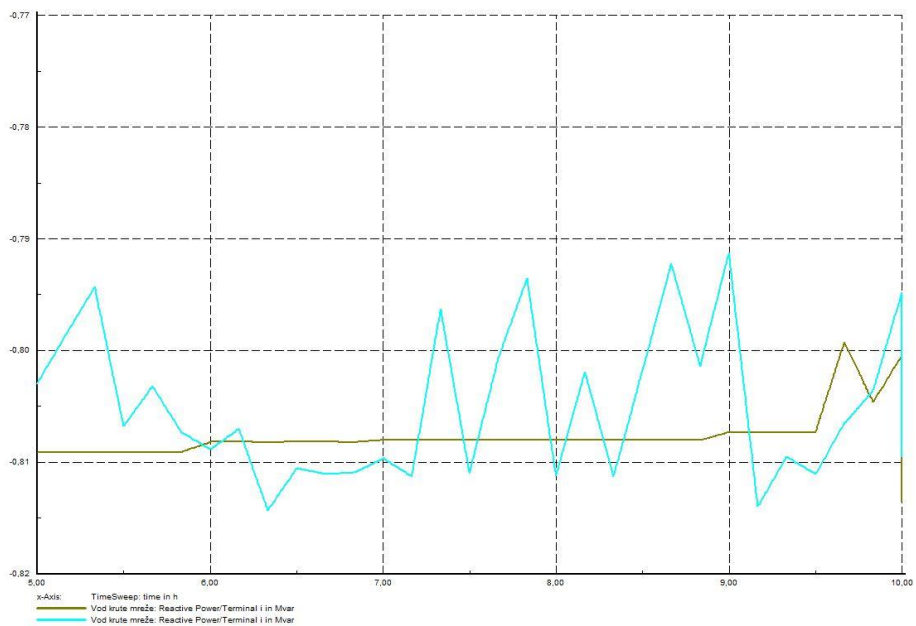
Slika 4.57. Tok radne snage na promatranomvodu (smeđa krivulja predstavlja snagu s priključenom baterijom, a roza krivulja snagu bez baterije)



Slika 4.58. Napon na sabirnici postrojenja i baterije (smeđa krivulja predstavlja napon s priključenom baterijom, plava krivulja napon u slučaju bez baterije)



Slika 4.59. Radna snaga na vodu krute mreže (smeđa krivulja predstavlja snagu nakon priključenja baterije, a plava krivulja snagu bez priključene baterije)



Slika 4.60. Jalova snaga na vodu krute mreže (smeđa krivulja predstavlja snagu nakon priključenja baterije, a plava krivulja snagu bez baterije)

Napon prikazan na slici 4.58. se stabilizirao nakon priključenja baterije a i razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti napona je manja. Također na slici 4.59. i 4.60 vidljivo je kako su krivulja radne i jalove snage pravilnijeg oblika i nema toliko oscilacija u iznosima kada je priključena baterija.

ZAKLJUČAK

Analizom rezultata dobivenih simulacijom u četvrtom poglavlju može se zaključiti kako je moguće integrirati postrojenje na morske valove na otoku Visu. Mreža je slabije opterećena pa zbog toga dolazi do pojave većih napona u mreži što ograničava razinu integracije. Vidljiva je velika razlika u proizvodnji električne energije iz fotonaponske elektrane tijekom zimskog dana kada je ta proizvodnja puno manja nego tijekom ljetnog dana, kao što je vidljiva i velika razlika u ukupnom opterećenju otoka Visa tijekom ljetnog dana, kada je opterećenje veće nego tijekom zimskog dana, kada je opterećenje manje što se može pripisati turističkoj ljetnoj sezoni. Ukoliko se cjelokupna potražnja za električnom energijom na otoku Visu u zimskim danima želi dobivati iz postrojenja na morske valove potrebno je integrirati 47 postrojenja što nije neizvedivo, ali zahtjeva dodatna ulaganja u mrežu kao što je pojačanje ili postavljanje novog transformatora veće snage. Kada bi se cjelokupna ljetna potražnja električne energije htjela dobiti iz postrojenja na morske valove potrebno bi bilo integrirati 330 postrojenja na morske valove što je velik broj postrojenja, a zahtjeva i velika dodatna financijska ulaganja u pojačanje transformatora tj. transformatorskih stanica. Promjenom snage trofaznog kratkog spoja mreže tj. snage mreže vidljivo je kako što je mreža slabija naponske prilike su lošije tj. napon poprima velike vrijednosti, a što je mreža jača naponske prilike su bolje i mogućnost razine integracije postrojenja na morske valove je veća. U praktičnom dijelu rada simulirao se i slučaj kada su priključene baterije. Baterije imaju pozitivan utjecaj na smanjivanje oscilacije u proizvodnji tj. na smanjivanje oscilacija na energiju koja se prenosi vodom, a također pozitivno utječu i na smanjivanje naponskih oscilacija.

LITERATURA

- [1] Dostupno na ISVU; <https://www.isvu.hr/studomat/hr/prijava> (dostupno datuma 6.4.2021.)
- [2] Predavanja Prof.dr.sc. Damir Šljivac, kolegij Obnovljivi izvori električne energije – 2020., FERIT Osijek (uvodno poglavlje, poglavlje 3.1.-3.3.)
- [3] Na linku <https://personal.ems.psu.edu/~fkd/courses/cause2003/finalprojects/canutepresentation.pdf> (5. slajd, dostupno 12.4.2021.)
- [4] Vikas M., Subba Rao, Jaya Kumar Seelam, TIDAL ENERGY: A REWIEW, dostupno na linku https://www.researchgate.net/publication/310795127_Tidal_Energy_A_Review (dostupno na datum 12.4.2021.)
- [5] dostupno na linku: <https://www.hhi.hr/o-nama/projekti/morske-mijene-i-razina-jadrana-online> (pristupljeno 13.4.2021., podnaslov: PLIMNE OSCILACIJE NA JADRANU)
- [6] dostupno na linku https://www.uprm.edu/aret/docs/Ch_3_Ocean.pdf (pristupljeno 13.4.2021., 15. stranica)
- [7] dostupno na linku: <http://prirodahrvatske.com/jadran/> (pristupljeno 13.4.2021., odlomak: Morske struje, mijene i valovi)
- [8] Damir Šljivac, Irina Temiz, Branka Nakomčić-Smaragdakis, Matej Žnidarec: Integration of Wave Power Farms into Power Systems of the Adriatic Islands: Technical Possibilities and Cross-Cutting Aspects
- [9] Dongsheng Qiao , Rizwan Haider, Jun Yan , Dezhi Ning and Binbin Li; Review of Wave Energy Converter and Design of Mooring System (1.,5.,6.,8.stranica)
- [10] Lucia Margheritini , Anne Merrild Hansen , Peter Frigaard; A method for EIA scoping of wave energy converters—based on classification of the used technology (4. poglavlje; Development of an impact matrix from the EMEC EIA guidance 4.,5.,6. stranica)
- [11] Roger Bedard; Economic and Social Benefits from Wave Energy Conversion Marine Technology (poglavlje: Social Benefits of Wave Energy; 48. stranica)

[12] James R Joubert Johannes L van Niekerk Josh Reinecke Imke Meyer; Wave Energy Converters (WECs), 2013 (stranice: 6.,7.,9.,22.,24.,29.,34.)

[13] Slika preuzeta sa linka: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/19/Wave_energy_power_generator_-_geograph.org.uk_-_1419261.jpg (dostupno 6.5.2021.)

[14] Slika preuzeta sa linka: https://www.researchgate.net/figure/Graphics-of-SSG-wave-energy-converter-Vicinanza-and-Frigaard-2008_fig2_314868499 (dostupno 6.5.2021.)

[15] Slika preuzeta sa linka : https://www.researchgate.net/figure/Oceanlinx-bottom-standing-OWC-Australia-about-2005_fig15_281307478 (dostupno 6.5.2021.)

[16] Slika preuzeta sa linka: <https://docplayer.net/docs-images/102/152752852/images/2-10.jpg> (dostupno 6.5.2021.)

[17] Slika preuzeta sa linka: https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Finhabitat.com%2Ffiles%2Foyster_power2.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Finhabitat.com%2Foyster-generates-electricity-from-waves%2Foysterpower6%2F&tbnid=bIVQNMzhTWm8OM&vet=12ahUKEwju1o2dqBXwAhUWs6QKHye2Aw8QMygKegUIARC6AQ..i&docid=StdnR9cypKpfFM&w=537&h=377&q=oyster%20awuamarine&hl=hr&ved=2ahUKEwju1o2dqBXwAhUWs6QKHye2Aw8QMygKegUIARC6AQ (dostupno 6.5.2021.)

[18] Dostupno na stranici "Ocean energy a world of power"; dostupno na linku: <https://oceanenergy.ie/oe-buoy/> (dostupno 6.5.2021.)

[19] dostupno na linku: <https://teamwork.nl/wp-content/uploads/2017/07/image022.jpg> (dostupno 6.5.2021.)

[20] Predavanja Prof.dr.sc. Damir Šljivac – kolegij :Integracija obnovljivih izvora energije i napredne mreže, FERIT Osijek

[21] Capitanescu, F.; Ochoa, L.F.; Margossian, H.; Hatziargyriou, N.D. Assessing the Potential of Network Reconfiguration to Improve Distributed Generation Hosting Capacity in Active Distribution Systems. IEEE Trans. Power Syst. 2015, 30, 346–356.

- [22] Du Bois, A.; De Jaeger, E.; Martin, B. Hosting capacity of LV distribution grids for small distributed generation units, referring to voltage level and unbalance. In Proceedings of the 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), Stockholm, Sweden, 10–13 June 2013; Institution of Engineering and Technology: London, UK, 2013; pp. 1303– 1303.
- [23] Alena Ulasenka, Alvaro Ortiz, Luis Del Rio Etayo, Ron Brandl, Pablo Cirujano, Juan Montoya; HOLISTIC COORDINATION OF SMART TECHNOLOGIES FOR EFFICIENT LV OPERATION, INCREASING HOSTING CAPACITY AND REDUCING GRID LOSSES, dostupno na linku: <https://www.cired-repository.org/bitstream/handle/20.500.12455/522/CIRED%202019%20-%201688.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (pristupljeno 23.4.2021.)
- [24] dostupno na linku: <https://electricenergyonline.com/energy/magazine/970/article/Next-Generation-Dynamic-Line-Rating-Provides-Strong-Economic-Benefits.htm> (pristupljeno 24.4.2021.)
- [25] Cecília Reis, R.F.M. Brandao; Energy Management Systems , dostupno na linku : https://www.researchgate.net/publication/261036010_Energy_Management_Systems (pristupljeno 26.4.2021.)
- [26] S. Rauf, S. Rasool, M. Rizwan, M. Yousaf, N. Khan; Domestic electrical load management using smart grid; dostupno na linku https://www.researchgate.net/publication/311003006_Domestic_Electrical_Load_Management_Using_Smart_Grid (pristupljeno 26.4.2021.)
- [27] Kashem M. Muttaqi, An D. T Le, Michael Negnevitsky, Gerard Ledwich; Distributed generation for minimization of power losses in distribution systems
- [28] Predavanja Izv.prof.dr.sc. Zvonimir Klaić; kolegij Integracija obnovljivih izvora energije i napredne mreže, kvaliteta; FERIT Osijek 2020
- [29] Yue Hong, Mikael Eriksson, Valeria Castellucci, Cecilia Boström, Rafael Waters: Linear generator-based wave energy converter model with experimental verification and three loading strategies (stranice: 1)

[30] Matej Žnidarec, Damir Šljivac, Dario Došen, Branka Nakomčić: Performance evaluation of simple PV microgrid energy management system (3. poglavlje)

SAŽETAK

Cilj ovog Diplomskog rada je objasniti utjecaj integracije postrojenja na morske valove na postojeću elektroenergetsku mrežu, ali i utjecaj integracije takvoga postrojenja na strujno-naponske prilike u mreži.

U drugom poglavlju prikazane su tehnologije koje za dobivanje električne energije koriste energiju valova, energiju morskih struja ili plime i oseke. Drugo poglavlje prikazuje i moguće posljedice koje se mogu dogoditi ukoliko se integrira postrojenje na morske valove. Opisane su naponske, strujne promjene kao i promjena karaktera mreže, ali i promjena kvalitete električne energije koja se prilikom simulacije u ovom radu nije razmatrala.

Treće poglavlje daje uvid u različite tehnologije postrojenja na morske valove koja se već koriste ili će se tek koristiti te njihove prednosti i nedostaci.

Četvrto poglavlje je poglavlje u kojemu su prikazane simulacije i vrijednosti električnih veličina dobivenih simulacijom na stvarnoj mreži otoka Visa sa stvarnim vrijednostima. Simuliraju se različite kombinacije sa fotonaponskom elektranom i postrojenjima na morske valove te se grafički i tablično prikazuju dobiveni podaci.

Ključne riječi: integracija postrojenja na morske valove na Jadranskom moru, strujno-naponske prilike, minimalno i maksimalno opterećenje

ABSTRACT

The main goal of this graduate thesis is to explain the impact of the integration of a wave energy converter on the existing electricity network but also the impact of the integration of such a plant on the current and voltage conditions in the network.

The second chapter presents technologies that use wave energy or tides to generate electricity. The second chapter also shows the possible consequences that can occur if the plant is integrated. Voltage, current changes as well as changes in the character of the network are described, but also changes in the quality of electricity that were not considered during the simulation in this paper.

The third chapter provide san insight into the various technologies of sea wave plants that are already used or will be used and their advantages and disadvantages.

The fourth chapter is a chapter in which simulations and values of electrical quantities obtained by simulation on the real network of the island of Vis with real values are presented. Different combinations with a photovoltaic power plant and plants on sea waves are simulated, and the obtained data are graphically and tabularly presented.

Key words: integration of the waves energy converters in Adriatic Sea, current-voltage conditions, minimum and maximum load

ŽIVOTOPIS

Autor Diplomskog rada "Integracija postrojenja na morske valove na Jadranskim otocima u okviru WECANet projekta" student je druge godine diplomskog studija na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijske tehnologije u Osijeku. Student je rođen 17.06.1997., a srednjoškolsko obrazovanje završio je u Matematičkoj gimnaziji u Požegi, u gradu u kojem živi. Prediplomski studij student je završio na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijske tehnologije u Osijeku. Student je marljiv, komunikativan, voli raditi u timovima i odgovoran te svoje obaveze izvršava na vrijeme. Student tijekom cijelog studiranja nije "prenosio" ispit iz jednog semestra u drugi ili s jedne godine studiranja na drugu godinu studiranja. Student je u akademskoj godini 2018./2019. izabran za dobivanje STEM stipendije koja se dodjeljuje na osnovu prosjeka ocjena. Student je stručnu praksu od 200h i nekoliko dodatnih dana zbog želje za učenjem i radom odradio u Požegi u tvrtki Unius d.o.o.. Student je bio dio tima koji je završio na šestom mjestu na "STEM Games" natjecanju u akademskoj godini 2020./2021., od prijavljenih 30-ak ekipa. Student se dobro služi računalom, a osim hrvatskog jezika govori i engleski jezik te posjeduje vozačku dozvolu B kategorije.