

# Tehno-ekonomska analiza mikromreže zgrade FERIT-a

---

Šalković, Danijel

Master's thesis / Diplomski rad

2017

*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:200:042013>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA MIKROMREŽE  
ZGRADE FERIT-a**

**Diplomski rad**

**Danijel Šalković**

**Osijek, 2017. godina**

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

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 21.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Danijel Šalković
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	D 960, 12.10.2015.
<b>OIB studenta:</b>	23398025602
<b>Mentor:</b>	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
<b>Sumentor:</b>	Matej Žnidarec
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Izv. prof. dr.sc. Zvonimir Klaić
<b>Član Povjerenstva:</b>	Matej Žnidarec
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Tehno-ekonomska analiza mikromreže zgrade FERIT-a
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	U teorijskom dijelu opisati tehničke i ekonomske karakteristike mikromreža u zgradama a u praktičnom dati tehno-ekonomsku analizu i usporedbu te prijedlog optimalnog rješenja mikromreže zgrade FERITA.Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ing.,
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	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: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	21.09.2017.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

Osijek, 27.09.2017.

**Ime i prezime studenta:**

Danijel Šalković

**Studij:**

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

D 960, 12.10.2015.

**Ephorus podudaranje [%]:**

4%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Tehno-ekonomska analiza mikromreže zgrade FERIT-a**

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
2. NEKONVENCIONALNI IZVORI ENERGIJE .....	2
2.1. Nekonvencionalni izvori i električna energija.....	2
2.2. Nekonvencionalni obnovljivi izvori električne energije .....	3
2.2.1. Energija biomase .....	4
2.2.2. Energija vjetra .....	5
2.2.3. Energija Sunčeva zračenja.....	6
2.2.4. Energija vode.....	7
2.2.5. Energija plime i oseke .....	8
2.2.6. Energija morskih struja i valova.....	8
3. MIKROMREŽA.....	10
3.1. Optimizacija i problem optimizacije mikromreže .....	11
3.2. Upravljačka struktura mikromreže .....	12
3.2.1. Centralizirano upravljanje mikromrežom.....	13
3.2.2. Decentralizirano upravljanje mikromrežom .....	14
3.2.3. Upravljanje radom više mikromreža .....	14
3.3. Mikromrežni operator.....	16
3.4. Zaštita mikromreže .....	17
3.4.1. Zaštita i problem kontrole u mikromrežama .....	17
3.4.2. Zaštita distribucijskog sustava.....	18
3.4.3. Prekomjerno strujno i usmjereno preopterećenje .....	18
3.4.4. Distantna zaštita .....	19
3.4.5. Diferencijalna zaštita .....	19
3.5. Prednosti mikromreža.....	20
3.5.1. Ekonomske i tehničke prednosti mikromreža .....	20
3.5.2. Okolišne i socijalne prednosti mikromreže .....	22
3.5.3. Europski primjer mikromreže.....	22
3.6. Distribuirana proizvodnja u mikromreži .....	23
3.7. Virtualne elektrane i mikromreže .....	25
3.8. Priključak mikromreže na distributivnu mrežu .....	26
3.9. Arhitektura i podjela mikromreže .....	27
3.10. Osnovna klasifikacija mogućnosti arhitekture mikromreže .....	28
3.10.1. Korisničke mikromreže .....	28
3.10.2. Industrijsko-poslovna mikromreža .....	29

3.10.3. Odvojene mikromreže .....	30
4. SIMULACIJA MIKROMREŽE ZGRADE FERIT-a U PROGRAMU HOMER .....	32
4.1. Diplomski projektni zadatak .....	32
4.2. Rad u programskom paketu HOMER .....	33
4.2.1. Generator (agregat).....	33
4.2.2. Pretvarač (inverter).....	33
4.2.3. Fotonaponska elektrana .....	34
4.2.4. Fotonaponska punionica.....	35
4.2.5. Vjetroelektrana .....	36
4.2.6. Baterija .....	39
4.2.7. Gorivna ćelija .....	40
4.3. Rezultati tehno-ekonomske analize mikromreže zgrade FERIT-a .....	43
4.3.1. Prvi primjer tehno-ekonomske analize mikromreže.....	43
4.3.2. Drugi primjer tehno-ekonomske analize mikromreže .....	48
4.3.3. Treći primjer tehno-ekonomske analize mikromreže .....	53
4.3.4. Četvrti primjer tehno-ekonomske analize mikromreže .....	60
5. ZAKLJUČAK .....	69
SAŽETAK.....	74
ŽIVOTOPIS .....	75
PRILOZI.....	76

## 1. UVOD

Zbog sve većeg rasta potrošnje električne energije dolazi do rekonstrukcija elektroenergetskih mreža i projektiranja novih naprednih tehnologija za proizvodnju električne energije. Te napredne tehnologije nazivamo mikromreža. Mikromreža je tehnologija koja je vrlo važna u poboljšanju elektroenergetskog sustava za proizvodnju kvalitetne električne energije, te smanjenje opasnih stakleničkih plinova. Ona nam omogućuje da koristimo analogne i digitalne informacijske i komunikacijske tehnologije za prikupljanje informacija. Samim time omogućuju bolju integraciju obnovljivih izvora energije u elektroenergetsku mrežu.

U radu će biti predstavljena tehno-ekološka analiza mikromreže zgrade FERIT-a. Gdje će se u prvom djelu rada govoriti općenito o nekonvencionalnim izvorima energije i njihovim podjelama. Zatim će se nešto više reći o mikromreži, njezinom optimizacijskom upravljanju i koordiniranju obnovljivih izvora, decentraliziranom i centraliziranom upravljanju, zaštiti mikromreža od kvarova unutar distribucijske mreže, povezanošću mikromreža sa distribucijskim sustavom, samostalnim i industrijsko poslovnim mikromrežama, te ekonomskim i tehnološkim prednostima i karakteristikama mikromreže.

U proračunskom djelu prikazana je tehno-ekonomska analize koja je temeljena za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, mikromreže zgrade FERIT-a. Tehno-ekonomska analiza odradila se u programskom paketu HOMER gdje su se u program unosili postojeći podaci fotonaponske elektrane 1 FERIT 10 kW, te dobivali određeni podatci o proizvodnji i potrošnji električne energije. Zatim se na kontu tih podataka pokušalo dobiti optimalno rješenje koje bi bilo u mogućnosti napajati zgradu FERIT-a. Optimalno rješenje bi bilo da se poveća snaga fotonaponske elektrane 1 FERIT sa 10 kW na 60 kW, te projektiraju dodatni izvori električne energije kao što su dvije vjetroelektrane različitih parametara (prosječna brzina vjetra 2,4 m/s) i dodaju spremnici električne energije (baterije). Spremnici energije su potrebni za napajanje zgrade FERIT-a kada nema dovoljno proizvodnje električne energije od strane fotonaponske elektrane 1 FERIT i pomoćnih izvora vjetroelektrana.

U zaključnom djelu se prikazuje osvrt na rezultate tehno-ekonomske analize, te govori o potencijalu mikromreža.

## 2. NEKONVENCIONALNI IZVORI ENERGIJE

### 2.1. Nekonvencionalni izvori i električna energija

Nekonvencionalne izvore energije nazivamo novim obnovljivim izvorima energije, eko izvori, alternativni izvori, aditivni izvori: hidroenergija, Sunčevo zračenje, vjetar, ogrjevno drvo i druga biomasa, bioplin i otpad, geotermalna energija, toplina okoline. Obnovljivost pojedinog izvora energije najlakše je opisati kao sposobnost izvora da se svake godine obnavlja. Budući da su konvencionalni izvori energije (ugljen, nafta, plin) ograničeni i iscrpljivi, upravo zato se ta energija mora dobivati iz novih izvora energije, odnosno nekonvencionalnih izvora. Prijeko je potrebno da novi izvori energije budu u skladu sa zaštitom okoliša i održivim razvojem bez emisije štetnih tvari. [1] Najznačajnije svojstvo nekonvencionalnih izvora energije je mogućnost različite primjene. Nekonvencionalni izvori energije, ako su u mogućnosti iskorištenja na promatranom mjestu, mogu se iskoristiti na komunalnoj razini, to jest da budu što bliže vlastitoj potrošnji. Time se trošak rada pri instaliranju, pogonu i održavanju praktički izbjegava ili barem pokriva, osobito kod koristi za elektroenergetski sustav; snižavaju se prosječna opterećenja u električnim mrežama i samim time snižavaju se gubici u mrežama. Kod većine nekonvencionalnih izvora nema potrošnje energije prilikom pretvorbe u neki drugi oblik (kao što postoji značajna potrošnja energije pri eksploataciji ugljenokopa). Većina nekonvencionalnih izvora ovisi o energetskej aktivnosti Sunca, a geotermalna energija javlja se kao rezultat energetske aktivnosti u unutrašnjosti Zemlje. Sunčevo zračenje može se koristiti neposredno u drugom energetskej obliku. Sunce je danas glavni izvor nekonvencionalnih izvora. Potrebna su postrojenja za pretvorbu nekonvencionalnog oblika izvora u neki drugi oblik. [3]

Za električnu energiju kažemo da je pojam više povezanih oblika energije: energija sadržana u električnom polju, potencijalna energija električnog naboja ili energija električne struje. Električna energija je jedan od najplemenitijih oblika. Mjerna jedinica za električnu energiju u SI sustavu je džul (J), ali se u fizici koristi također i elektronvolt (eV). U elektroenergetskom sustavu za obračun energije koriste se jedinice vatsat (Wh), npr. kilovatsat (kWh) i megavatsat (MWh). Električnu energiju možemo pretvoriti u neki drugi oblik energije - svjetlo, toplinu ili kod elektromotora mehanički rad - okretanje nekog stroja, ili u kemijskim procesima kemijski učinak. Uređaji za pretvorbu energije (sijalica, kupaonski bojler i drugo) nikada ne mogu svu električnu energiju pretvoriti u korisni učinak. Npr: žarulja može potrošiti daleko više energije za beskorisno grijanje sijalice, a samo se mali dio pretvara u vidljivu



svjetlost. Odnos između korisne energije i one koja je uzeta iz električne mreže, naziva se stupnjem djelovanja i on je uvijek manji od 1. [2]



*Slika 2.1. Različite pretvorbe i oblici energije Sunčeva zračenja [1]*

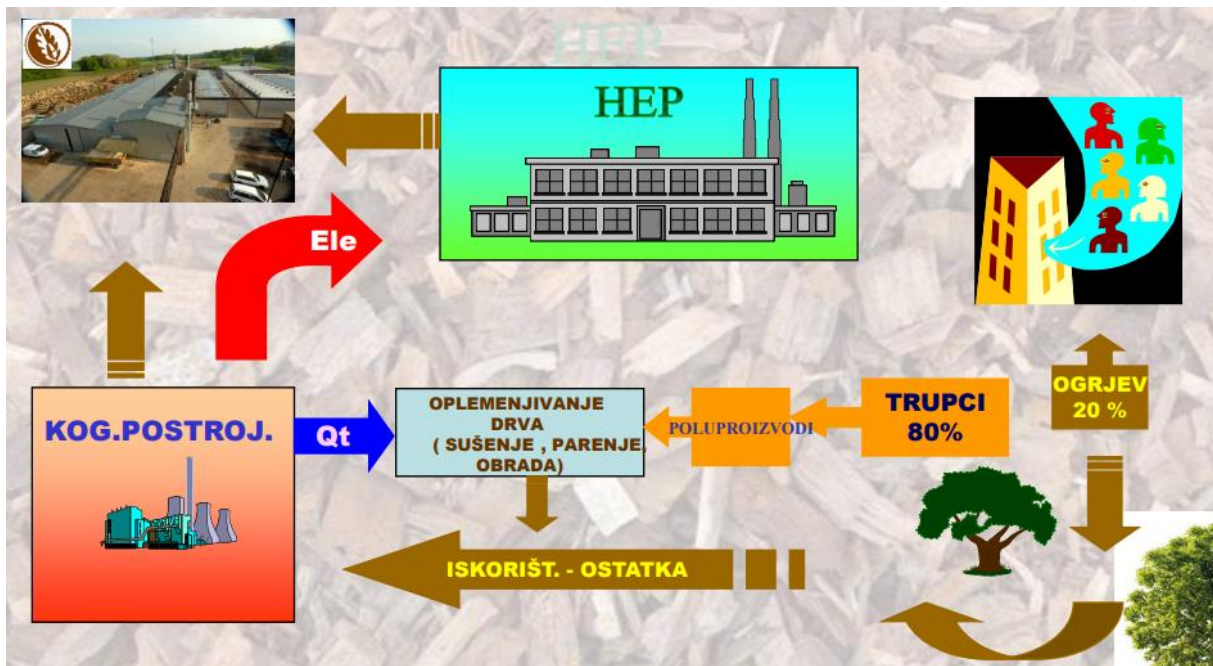
## **2.2. Nekonvencionalni obnovljivi izvori električne energije**

Nekonvencionalni obnovljivi izvori električne energije su:

- energija biomase
- energija vjetra
- energija Sunčevog zračenja
- energija vodotoka (male hidroelektrane kojima je maksimalna instalirana snaga do 10 MW)
- energija plime i oseke
- energija morskih struja i valova

### 2.2.1. Energija biomase

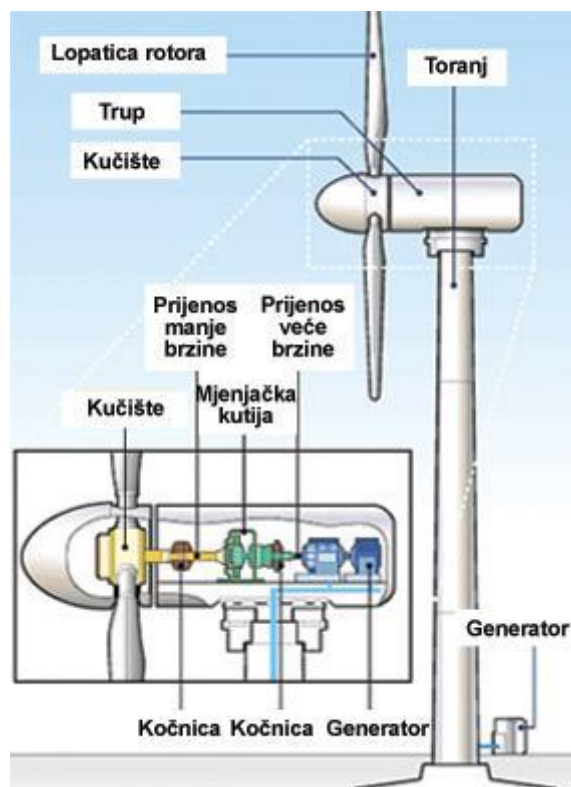
Biomasa su sve organske tvari nastale razgradnjom biljaka i životinja. Kod energije biomase govori se o energiji koja se dobiva oksidacijom, to jest paljenjem raznih organskih materijala. Ova energija se običajno koristi za paljenje vatre. Energija biomase dobiva se iz drveta, kore, drvnih otpada, lišća, drvene stajljike. Godišnje na zemlji nastaje oko dvije milijarde tona suhe biomase. Za hranu i stalo se koristi oko 1,2% za papir 1% i za gorivo 1%, ostataka trune i pretvara se u obnovljiv izvor energije. Pomoću biomase proizvodi se bioplín, biodizel, biobenzin i ostalo. Proizvodnjom i korištenjem biomase u energetske svrhe smanjuje se emisija štetnih tvari i doprinosi se zaštiti tla i voda te povećanju bioloških raznolikosti. Biomasa je prihvatljivo gorivo s gledišta utjecaja na okoliš jer sadrži vrlo malo ili gotovo čak ne sadrži brojne štetne tvari – sumpor, teške kovine i sl. Bioplín nastaje fermentacijom otpada iz poljoprivrede, kućanstava i industrije. Sastoji se od 60% metana, 35% ugljičnog dioksida te 5% smjese vodika, dušika, amonijaka, sumporovog vodika, ugljičnog monoksida, kisika i vodene pare. S obzirom na veliku prisutnost metana koju sadržava bioplín, može se koristiti i kao gorivo. Također se može koristiti za proizvodnju električne energije, zagrijavanje vode i prostora i u druge industrijske svrhe. [15]



Slika 2.2. Proces kogeneracijskog postrojenja na biomasi [18]

## 2.2.2. Energija vjetra

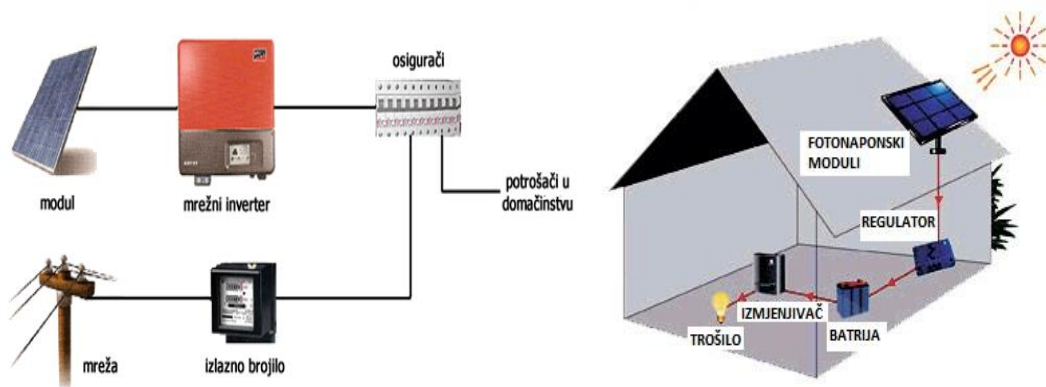
Energija vjetra je jedan vrlo korisnih oblika energije, to jest koristan izvor električne energije koji se dobiva pomoću vjetroelektrana. Kod vjetroelektrana energija vjetra pretvara se u mehaničku energiju. Energiju vjetra možemo pretvoriti i u električnu energiju. Najčešće se koriste asinkroni generatori za vjetroagregate koji imaju zahtjev za aktivnom snagom iz mreže koja se koristi za pobudu, zato sadržavaju kondenzatorske baterije za njenu kompenzaciju. Postoje i izvedbe vjetroagregata i sa sinkronim generatorom, no oni se ne primjenjuju često, dok asinkroni sa dvostrukim napajanjem imaju bitnu strukturu i parametre koji omogućavaju spajanje na elektroenergetsku mrežu. Električna energija vjetra varira iz sata u sat jer je energija vjetra nepredvidiva. [17]



Slika 2.3. Vjetroelektrana [17]

### 2.2.3. Energija Sunčeva zračenja

Sunčeva energija je zračenje svjetlosti i topline iz Sunca koje koristi ljudima. Sunčevo zračenje zajedno sa sekundarnim sunčevim izvorima kao što su energija vjetra i energija valova, hidroenergija i biomasa čine većinu raspoloživih obnovljivih izvora energije na Zemlji. Tehnologije Sunca mogu biti pasivne ili aktivne, ovisno o pretvaranju, rasporedu te prikupljanju sunčeve svjetlosti. Aktivne sunčeve tehnike uključuju primjenu fotonaponskih panela i sunčevih toplinskih kolektora. Pasivne sunčeve tehnike uključuju orijentaciju zgrada prema Suncu, odabir materijala s povoljnim svojstvima termalnih masa ili svjetlosnim svojstvima raspršenja, te oblikovanjem prostora u kojima zrak prirodno kruži. [19] Postoje dva glavna osnovna tipa fotonaponskih postrojenja, to su otočni sustavi i sustavi spojeni na električnu mrežu (mrežni sustavi). Mrežni se FN sustavi, ovisno o načinu korištenja Sunčeve svjetlosti, dijele na pasivne i aktivne. Pasivni FN sustav spojen je na električnu mrežu. Iz mreže uzima električnu energiju u razdobljima kada FN moduli ne mogu proizvesti dovoljne količine električne energije, na primjer za vrijeme jače naoblake, te noću. Za razliku od pasivnih, aktivni mrežni FN sustavi koriste interaktivno mrežu, uzimajući energiju u slučaju većih potreba ili je vraćaju u slučaju viškova električne energije proizvedene u FN modulima. Otočni sustavi nemaju spoj sa elektroenergetskim sustavom (električnom mrežom), te stoga ne uzimaju i ne predaju mreži proizvedenu električnu energiju. Prednosti direktnih otočnih sustava su te što imaju jednostavnu strukturu te jednostavno spajanje. Hibridni sustavi, osim fotonaponskih panela koji služe za proizvodnju električne energije, sadrže i pomoćne izvore, kao na primjer diesel agregat. Cilj je sustava iskoristiti sunčevu energiju kada je ima, a u nedostatku energije iz solarnog sustava koriste se pomoćni izvori. [20]



Slika 2.4. Mrežni i otočni fotonaponski sustav [20]

## 2.2.4. Energija vode

Energija vode je jedan od značajnijih obnovljivih izvora energije. Posljednjih tridesetak godina proizvodnja energije iz energije vode u hidroelektranama je utrostručena, te je sa time udio hidroenergije povećan za 50%. Ovakva vrsta energije ne može se proizvesti svuda, može se proizvesti samo tamo gdje ima puno brze tekuće vode, ali i samim time poželjno je da je ima tokom cijele godine. Kako bi se smanjila oscilacija vode grade se brane i akumulacijska jezera, što znatno diže cijenu same elektrane. [21]



Slika 2.5. Hidroelektrana u Itaipu [21]

### 2.2.5. Energija plime i oseke

Energija plime i oseke dolazi od gravitacijskih sila Sunca i Mjeseca. Do sada ta energija nije dosegla svoj komercijalni doseg sa gledišta proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Ta energija se proizvodi tamo gdje je razlika između plime i oseke viša od 10 metara. Princip je sličan kao kod hidroelektrana. Na ulazu u neki zaljev postavi se brana i kada razina vode se dignu, propušta se preko turbine u zaljev. Kada se zaljev napuni, brana se zatvara i čeka da razina vode opadne. Tada se voda na isti princip vraća nazad iz zaljeva. Kod jednostavnijih slučajeva, voda se propušta kroz turbinu samo u jednom smjeru i u tom slučaju turbine su jednostavnije. Jedan od glavnih problema je vrlo mali broj mjesta za iskorištavanje i dobivanje takvog oblika energije. [22]

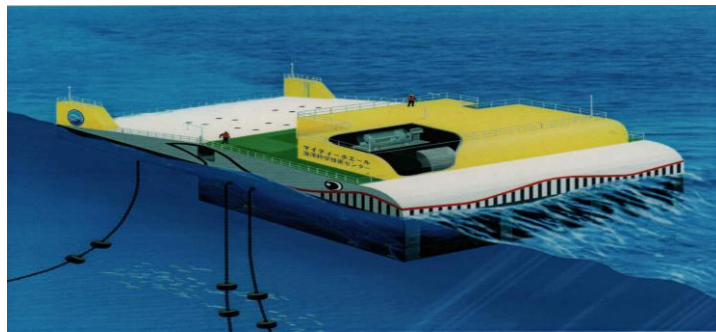


*Slika 2.6. Elektrana plime i Oseke na ušću rijeke Rance u Francuskoj [22]*

### 2.2.6. Energija morskih struja i valova

Energija morskih valova i struja je oblik koji se dobiva od strane Sunčeve energije, koja služi za stvaranje stalnih vjetrova na nekim dijelovima Zemlje. Takvi vjetrovi proizvode stalnu valovitost na određenim područjima te su to i ujedno mjesta koja nam služe za iskorištavanje takve vrste energije. Jedan od problema takvog iskorištavanja energije je da te elektrane moraju biti izgrađene na pučini, jer bliže obale valovi potpuno slabe. Drugi problem kod takvih elektrana je, da proizvedenu električnu energiju je vrlo skupo i teško prenijeti do samih korisnika odnosno potrošača. Energija valova prvo se pretvara u strujanje zraka, a taj zrak pokreće turbinu. Sama amplituda valova mora biti vrlo velika da bi došlo do pretvorbe

energije. Energija valova se direktno hvata ispod površine valova. Tada ta energija može pogoniti turbinu, a najjednostavniji i najčešći način funkcioniranja je sljedeći: Val se diže u komori, a rastuće sile vode tjeraju zrak iz komore te se tako proizvodi pokretljivi zrak koji pogoni turbinu, a koja onda pokreće generator. [22]



*Slika 2.7. Elektrana na morske struje i valove [22]*

### 3. MIKROMREŽA

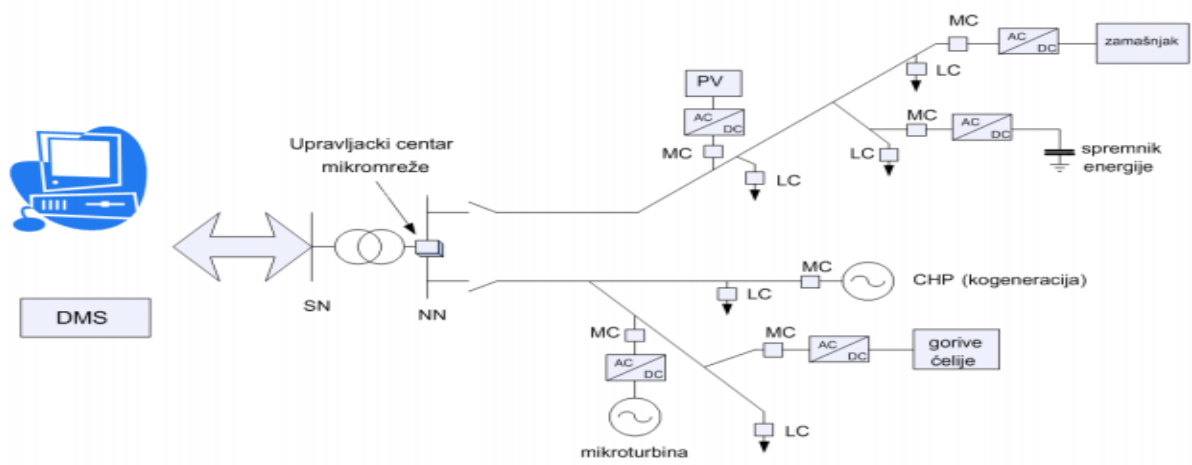
Mikromreža se može definirati kao elektroenergetska mreža koja povezuje distribuirane izvore energije, trošila te spremnike energije. Još možemo reći da se mikromreža može definirati kao niskonaponska mreža s distributivnom proizvodnjom. To jest povezuje niskonaponske distribucijske sustave, distribuirane izvore energije, uređaje za skladištenje energije zajedno s upravljivim trošilima, nudeći pri tome različite mogućnosti vođenja sustava. Sa strane korisnika, mikromreža osigurava toplinske električne potrebe, te povećava pouzdanost, smanjuje zračenje, poboljšava kvalitetu električne energije, s time da održavaju napon konstantnim te smanjuje padove napona. Od strane srednje naponske mreže, mikromreža se smatra upravljivom jedinicom unutar elektroenergetskog sustava, koji se može upravljati kao cjelinom, a samim time može se predstavljati kao mali izvor pomoćnog napajanja u mreži.

Mikromreže omogućavaju:

- a) opskrbu električnom energijom osnovanu na koordiniranom smještaju distribuiranih izvora i potrošača
- b) sigurnu i pouzdanu opskrbu električnom energijom uz mogućnost korištenja različitih usluga ovisno o željama potrošačima i njihovom zahtjevima za kvalitetom električne energije
- c) mogućnost rada kao neovisna mreža, s dovoljno velikom distribuiranom proizvodnjom da može raditi odvojeno od konvencionalne distribucijske mreže u slučaju kvara na višim naponima ili drugih kriznih situacija. [5]

Mikromreža zasniva se na tehnologijama kao što su distribuirana proizvodnja, skladištenje električne energije, interkonekcijski sklopovi i upravljački sustav.

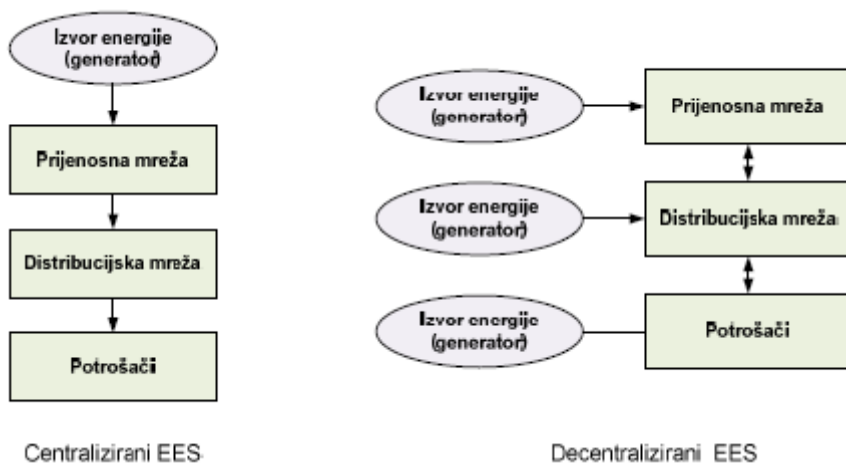




Slika 3.1. Mikromreža [5]

### 3.1. Optimizacija i problem optimizacije mikromreže

Glavna ideja korištenja mikromreže je da upravlja i koordinira izvorima, spremnicima i trošilima na više decentraliziran način (autonomno upravljanje, upravlja svakim upravljivim element kao što su pretvarači i distribuirani izvori ), smanjujući potrebu korištenja centralizirane (distribuirana proizvodnja od strane mikromrežnog operatora ) koordinacije i upravljanja. Zato je optimizacija mikromreže jako važna kod upravljanja resursima i troškovima. [13]

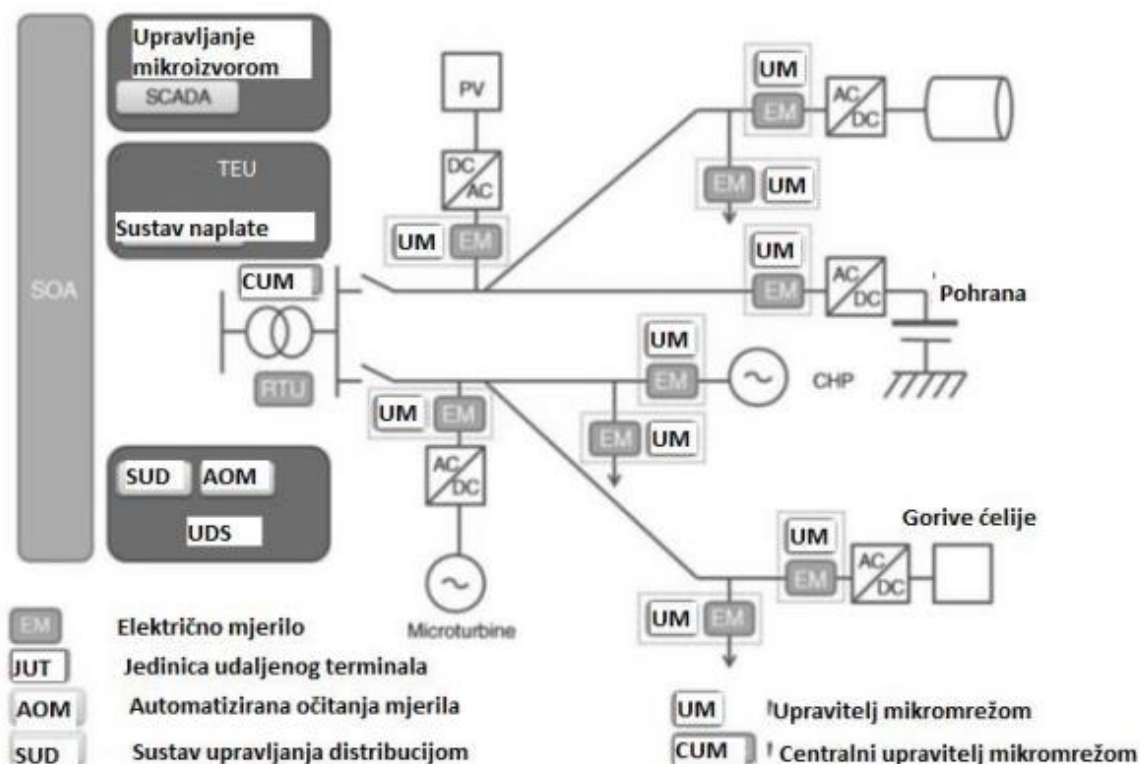


Slika 3.2. Centralizirani i decentralizirani elektroenergetski sustav [13]

Problema optimizacije planiranja rada mikromreže uključuje spremnik za pohranu energije. Njegova upotreba u mikromreži omogućuje povezanost sa proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije unutar mikromreže, ali i samim time i kretanja cijene na tržištu. U model mikromreže uključena su i pravila za stranu potražnju: upravljiva trošila kao i izmjena energije s makromrežom. [13] Problem je i kod minimiziranja troškova mikromreže, koji trebaju zadovoljiti potražnju trošila u određenom vremenskom periodu. Taj problem može se riješiti pomoću modelskog budućeg upravljanja. Takav model upravljanja se bazira na ponašanju sustava u budućnosti, što je od velike važnosti kod same potražnje trošila. Sa tim načinom upravljanja mikromreže pojavljuje se princip povratne veze, pomoću koje se može u vrlo kratkom vremenu ispraviti ponašanje sustava.

### **3.2. Upravljačka struktura mikromreže**

Kod upravljačke strukture mikromreže postoje dvije razine upravljanja koje imaju razliku u vremenskom redoslijedu, te razliku s obzirom na upravljački pristup. Prva razina upravljanja je brzi upravljački krug frekvencije, faze i napona s obzirom na pojedinu komponentu uzimajući u obzir vremensku skalu koja je na sekundarnom ili još manjem stupnju. Ove spomenute električne veličine imaju najviši prioritet te moraju biti upravljanje na najnižoj razini. Druga razina upravljanja prikazuje prognozirane opterećenja kao i prikaz proizvodnje od strane obnovljivih izvora energije, angažiranost proizvodnih jedinica i ekonomsku razmjenu, energetska razmjenu sa mikromrežom pri čemu je vremenska skala znatno duža. Kod navedene više razine nalazi se centralizirani regulator, dok se kod niže razine, razine proizvodnih jedinica i trošila nalaze distribuirani, to jest lokalni regulatori. Centralni regulatori prikazuju vrijednosti koje se kasnije šalju proizvodnim jedinicama i spremnicima, a lokalni regulatori se brinu da te vrijednosti budu izvršene u proizvodnim jedinicama. [13]



Slika 3.3. Upravljačka struktura mikromreže [14]

### 3.2.1. Centralizirano upravljanje mikromrežom

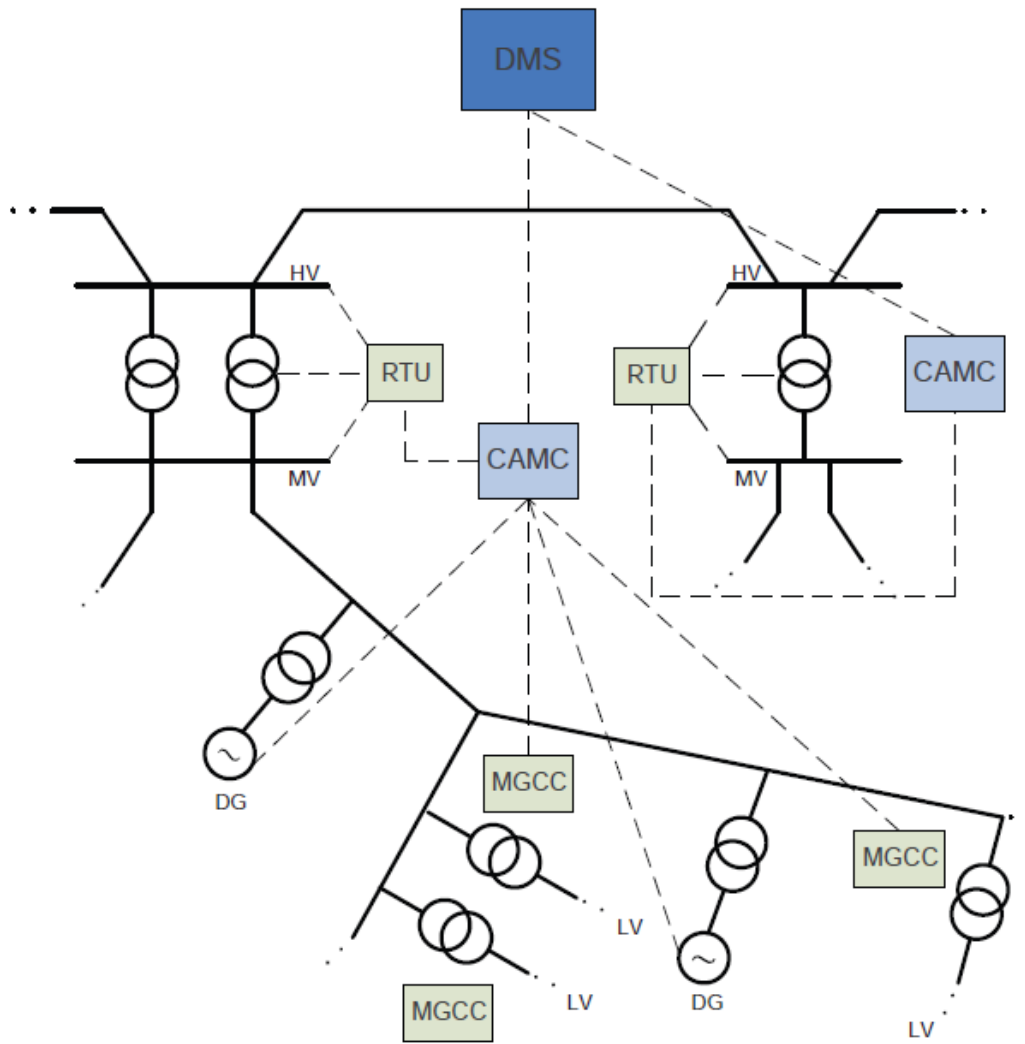
Struktura mikromreža može se upravljati na centraliziranom ili decentraliziranom načinu, ovisno o preuzimanju različitih razina kontrola. Centralizirano upravljanje ima odgovornost za maksimalizaciju vrijednosti mikromreže i optimizaciju njezinog djelovanja leži u MGCC (srednji mikromrežni kontroler). MGCC (srednji mikromrežni kontroler) koristi tržišne cijene troškova električne energije i plina, a temelji se na mrežnim sigurnosnim pitanjima i zahtjevima pomoćnih usluga od strane DSO-a (ODS), određuje iznos energije koju mikromreža treba uvesti iz glavnog distribucijskog sustava, optimizirajući lokalnu proizvodnju ili potrošnju. Definirani optimizirani operativni scenarij ostvaruje se kontroliranjem mikro izvora i kontroliranim opterećenjima unutar mikromreža slanjem kontrolnih signala u teren. Te je potrebno je pratiti stvarnu aktivnu i jalovu snagu komponenata. [23]

### **3.2.2. Decentralizirano upravljanje mikromrežom**

U potpuno decentraliziranom pristupu glavna se odgovornost dodjeljuje MC-ima (mrežni kontroler) koji optimiziraju svoju proizvodnju kako bi zadovoljili potražnju i omogućili najveću moguću isporuku električne energije u mrežu, uzimajući u obzir tržišne cijene. Ovaj pristup je prikladan u slučajevima različitog vlasništva nad DER-ovima (distribuirani izvori), gdje bi se trebalo donositi više odluka na lokalnoj razini, što je kod centraliziranog upravljanja vrlo teško. Osim glavnih ciljeva i karakteristika kontroliranja mikromrežama, izbor između centraliziranog i decentraliziranog pristupa za kontrolu mikromrežama ovisi o dostupnim ili pristupačnim resursima: osoblja i opreme. Dva su pristupa dostupna. U oba pristupa, neke osnovne funkcije su centralno dostupne, kao što su predviđanje lokalne proizvodnje i potražnje te nadzor sigurnosti. [23]

### **3.2.3. Upravljanje radom više mikromreža**

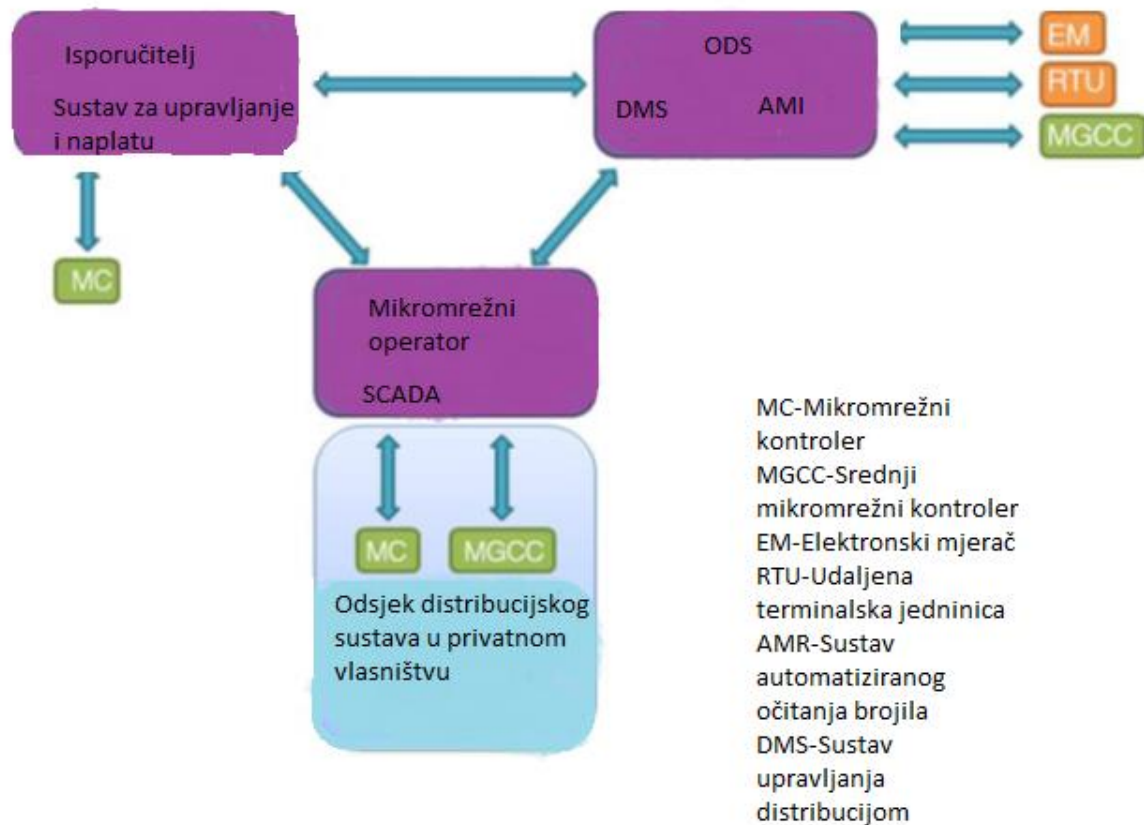
Novi koncept mikromreža prikazuje visoku razinu strukture, povezanu sa razinom srednjeg napona (MV), koja se sastoji od niskonaponskih mikromreža i jedinica distribuirane proizvodnje. Veliki broj niskonaponskih mreža s mikro izvorima, više ne čine pasivne elemente podijeljene mreže, što zahtijeva potpuno novu upravljačku arhitekturu sustava. U takvom učinkovitom sustavu kontrolu će obavljati centralni autonomni upravitelj (CAMC), koja će biti ugrađen na strani srednje napona visokonaponskog transformatora, koji se upravlja od strane operatora distribuiranog sustava. Na taj se način ovakva složenost sustava može podijeliti na nekoliko manjih pojedinačnih upravitelja, ponašajući se kao da su mali distribucijski sustavi koji mogu rješavati probleme distribuiranih izvora i mikro izvora i drugih upravljačkih uređaja. Zbog toga vrlo važna stavaka je upotreba komunikacijske infrastrukture. To se može postići tako da se iskoristi pametna infrastruktura koja će omogućiti koordinirano i integrirano upravljanje pojedinačnih elemenata na razini niskog napona, kao što su mikromreže, distribuirani izvori. [23]



Slika 3.4. Slika prikazuje upravljanje arhitekturom velikih mikromrežnih sustava [23]

### 3.3. Mikromrežni operator

Mikromrežni operator odgovoran je za rad, održavanje i razvoj lokalne distribucijske mreže koja je povezana sa mikromrežom. Mikromrežne operatore koristimo u različitim segmentima. Oni se razlikuju po vrsti i ulogama. Mogu biti operatori mikromreža i distribucijski operatori. [23]



Slika 3.5. Prikaz upravljanja mikromrežnim operatorom [23]

DSO (npr. ODS) kontrolira DER (distribuirani izvori) putem dostupne infrastrukture. ESCO (isporučitelj) šalje zahtjeve DSO-u, ali ne šalje izravno. Ova funkcija je u potpunosti primjenjiva u DSO monopol, ali može biti korisna i namijenjena za tržišni model. Nadalje, DSO (ODS npr.) je vrlo bitan kada isporučitelj ESCO projektira zasebnu upravljačku opremu za postrojenje, te tako može izravno upravljati barem nekim od DER-a (distribuirani izvori). Ovo je posebna konfiguracija pogodna za neovisni (privatni) dio distribucijske mreže, kao što su trgovački centar ili zračna luka. U tom slučaju, ovakav operator mikromreže može biti odgovoran za upravljanje ovim dijelom mreže. [23]

### **3.4. Zaštita mikromreže**

#### **3.4.1. Zaštita i problem kontrole u mikromrežama**

Jedna od vrlo važnih stavki je primjena zaštite mikromržnih sustava. Zaštita mora odgovoriti i na kvarove koji se događaju unutar mreže i na kvarove unutar mikromreže. Ako je greška na mreži, potrebno je da zaštita izolira mikromrežu od glavne mreže što je brže moguće kako bi se zaštitili mikromrežni sustavi. No međutim isto tako ako se kvar pojavi na mikromreži, zaštita bi trebala djelovati i reagirati tako da izolira glavnu mrežu, kako se kvar dalje ne bi širio. Da bi takva zaštita djelovala i bila uspješna mikromreža mora imati niz svojih pod mikromreža. Zaštita kod distribucijskog sustava i kod sustava mikromreža se razlikuje to jest nije ista, jer kod distribucijskih sustava zaštita reagira na struje kratkog spoja, dok kod mikromrežnog sustava imamo različite tokove i amplitude struja koje teku kroz sustav, pa može doći do narušavanja zaštite to jest može doći do kvara. Neki od problema su:

- Promjena vrijednosti i smjera kratkog spoja, ovisno o tome dali je spojen ili nije spojen distribucijski
- Smanjenje osjetljivosti i brzine detekcije kvara u distribucijskim priključcima
- Nepotrebno iskapčanje uslužnog prekidača za nedostatke u susjednim vodovima zbog doprinosa kvara od strane distribucijskog izvora
- Povećana razina pogrešaka može premašiti kapacitet postojećeg postrojenja
- Smanjen doprinos grešaka distribucijskog izvora temeljen na pretvaraču zaštitnog sustava [23]

Sama kontrola je središnji dio u mikromrežama. Razlika distribuirane mikromreže i distribucijskog sustava je upravo u raspodijeljenim izvorima energije i nadzoru kontrole kontinuirane energije. Učinkovito upravljanje energijom u mikromrežama ključ je za postizanje učinaka učinkovitosti optimiziranjem proizvodnje i potrošnje topline, plina i ostalih izvora energije. Treba imati na umu da mikromreža upravlja raspodjelom energije. Kontrola velikog broja distribuiranih izvora može se postići različitim tehnikama, s obzirom na osnovni cilj, pa sve do potpuno decentraliziranog pristupa, ovisno glavnim kontrolama komunikacije i kontrolama lokacije distribuiranih generatora i opterećenja. Kod nekih slučajeva kontrola s

komunikacijom i ograničenjima, te računalnim uređajima je problem koji izaziva prednost donošenja bolje i značajnije tehnike za rješavanje problema. [23]

### **3.4.2. Zaštita distribucijskog sustava**

Distribucijski sustav (uključujući mikromrežu) podijeljen je na lokalne zaštitne zone koje pokrivaju mrežu (nadzemne vodove i kabeli) ili uređaje (autobusi, transformatori, generatori, opterećenja itd.). Zahtjevi koji sadržavaju osnovi kriteriji za projektiranje sustava zaštite distribucije poznati su kao "3S", što znači:

- Sustav osjetljivosti - osjetljivost bi trebalo biti u stanju identificirati stanje koje prelazi nazivnu vrijednost praga.
- Selektivnost - sustav zaštite treba odspojiti samo onaj dio na kojem je kvar, kako bi se smanjile posljedice kvara.
- Brzina- Zaštitne relejne brzine trebaju u najmanju moguću mjeru reagirati na nenormalne uvjete kako bi se izbjeglo oštećenje opreme i omogućilo održavanje stabilnosti.
- Sigurnosni sustav- ne smije raditi kada nije potreban
- Trošak - maksimalna zaštita na najnižoj mogućoj cijeni [23]

### **3.4.3. Prekomjerno strujno i usmjereno preopterećenje**

Za zaštita distribucijske mreže, kod ravnomjerno raspodijeljenog tereta, zaštita je projektirana da štiti smjeru toka struje. Ova zaštita temelji se na otkrivanju visokih strujnih kvarova pomoću osigurača, termo magnetskih prekidača i prešanih prekidača sklopova s standardnim prekidačem nad strujnim. Za zaštitu prstena koriste se sofisticirani usmjereni nad strujni relej (ANSI 67). [23]

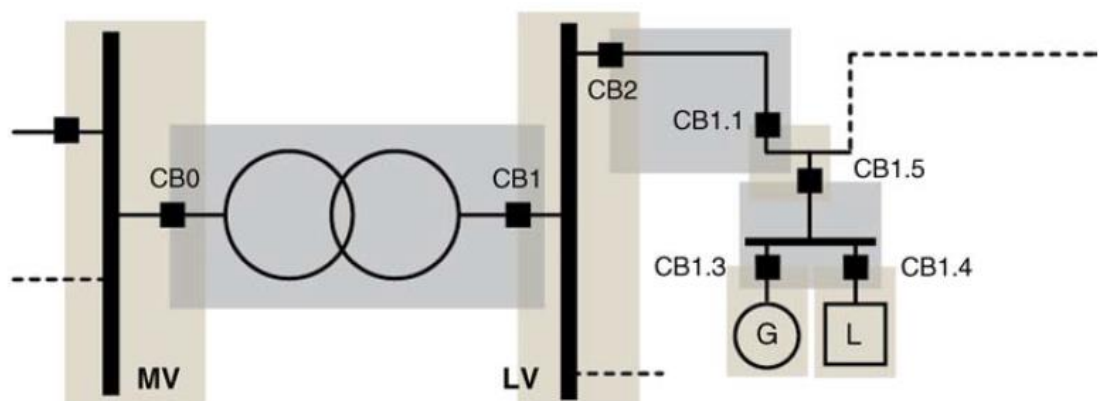


### 3.4.4. Distantna zaštita

Za zaštitu vodova projektira se distantna zaštita, to jest daljinski releji (ANSI 21). Daljinski releji uspoređuje struju kvara na naponu na mjestu kvara kako bi se izračunala impedancija od releja do točke kvara. U pravilu, relej ima tri zaštitne zone: zona 1 pokriva 80-85% duljine zaštite voda, zona 2 pokriva 100% dužine zaštite voda plus 50% sljedećeg voda, zona 3 pokriva 100% duljine zaštite voda plus 100% drugog voda, plus 25% trećeg voda. Ako se pojavi greška u radnoj zoni daljinskog releja, dolazi do promjene impedancije, te releje šalje signale prekidaču za prekid kruga. Javlja se problem kod ove zaštite zbog distribucijskih izvora, zato što oni utječu na impedanciju unutar sustava. [23]

### 3.4.5. Diferencijalna zaštita

Diferencijalni relej se koriste za pretjeranu struju (ANSI 87), uglavnom se koristi za zaštitu važnog dijela opreme kao što su distribuirani generatori i transformatori. Danas se takva zaštita također koristi za zaštitu podzemnih distribucijskih vodova pomoću komunikacija (pilot vodovi, svjetlovodni, radio ili mikrovalni vodovi, itd.) između linije terminala. Pruža najveću selektivnost i djeluje samo u slučaju unutarnje pogreške, ali zahtijeva pouzdani komunikacijski kanal za trenutni prijenos podataka između terminala zaštićenog elementa (pilot-voda, optičkih vlakana ili slobodnog prostora putem radija ili mikrovalova). Zbog osjetljivosti na moguće komunikacijske kvarove, diferencijalna zaštita zahtijeva posebnu shemu zaštite, povećavajući ukupni trošak sustava zaštite i ograničavajući njegovu primjenu u mikromrežama. [23]



Slika 3.6. Zaštitne zone različitih prekidača visokonaponskih i niskonaponskih s prekidnim relejima za mreže i uređaje [23]

### **3.5. Prednosti mikromreža**

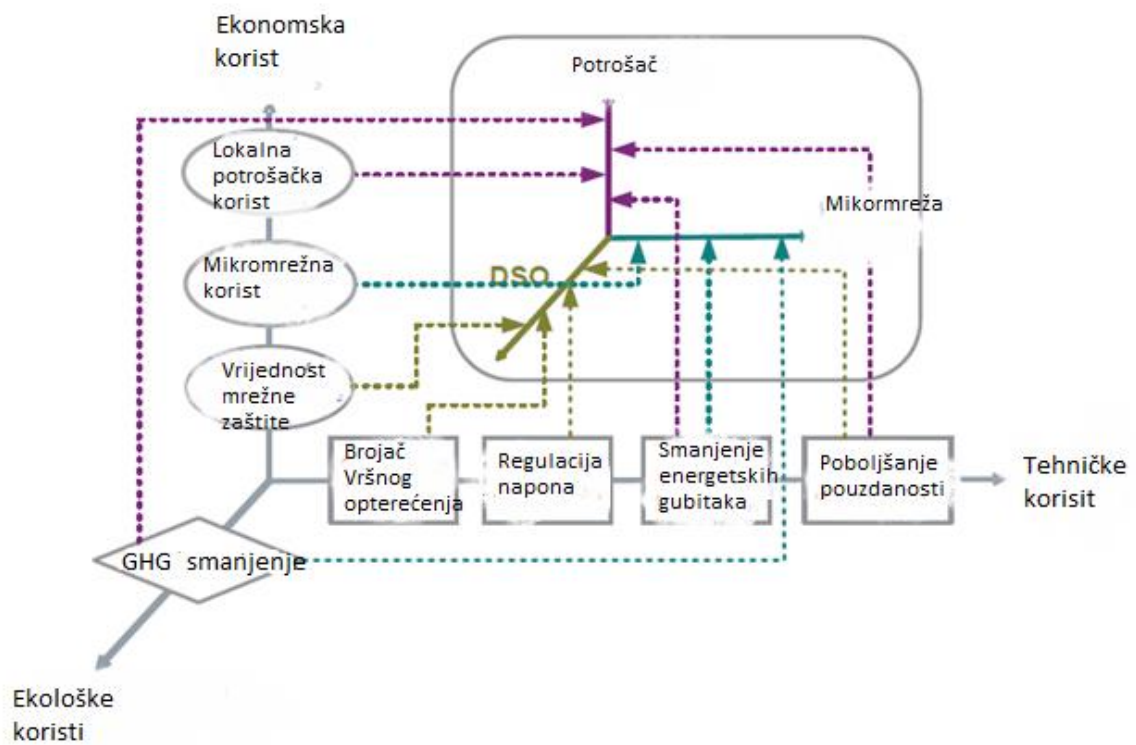
#### **3.5.1. Ekonomske i tehničke prednosti mikromreža**

Ekonomske prednosti stvorene od strane mikromreže mogu se svrstati u pružanje lokalnih usluga i selektivnosti. Lokalna usluga omogućava stvaranje unutarnje "završne mreže" energetskog tržišta unutar mikromreže, gdje bi se mikro istraživačke jedinice mogle prodavati po cijenama višim od cijena na veleprodajnoj razini, a krajnji potrošači mogu kupiti po cijenama nižim od razine maloprodaje. Što se tiče selektivnosti, ona je povezana s optimizacijskom odlukom o opremi u stvarnom vremenu, koja umanjuju troškovne prilike cijele mikromreže uzimajući u obzir tehnička i ekološka ograničenja. Lokaliteti (mjesto) i selektivnosti mogu se pripisati bilo potrošačkoj strani ili mikro istraživačkoj strani, gdje je potreban odgovarajući mehanizam raspodjele tržišta, odnosno raspodjele kamata kako bi se osigurala razumna raspodjela prednosti između potrošača i vlasnika mikromreže. Sa stajališta makro ekonomike, lokalitet (mjesto) mikromreže može se grupirati u aspekte:

- Mikromreža može djelovati kao pokretač lokalnog tržišta maloprodaje i usluga,
- Mikromreža može djelovati kao zaštitni alat od potencijalnih rizika od promjene prekida, opterećenja rast.

Prednost selektivnosti mikromreža može se dodatno kategorizirati u sljedeća dva aspekta:

- Mikromreža može djelovati kao agregat na strani ponude i potražnje
- Mikromreža može poslužiti kao arbitražni interes za različite dionike. [23]



Slika 3.7. Prikaz ekonomičnosti u mikromrežama [23]

Mikromreža potencijalno može poboljšati tehničku izvedbu lokalne distribucijske mreže sa određenim značajkama, a to su;

- Smanjenje gubitaka energije uslijed smanjenog protoka snage
- Poboljšanje kvalitete napona s obzirom na koordiniranu kontrolu reaktivne snage i ograničenja dispečerske aktivne snage
- Rasterećenje opterećenih mreža i uređaja
- Povećanje pouzdanosti opskrbe električne energije

Stvarna razina tehničke prednosti ovisi o dva čimbenik a to su, optimalna raspodjela mikro izvora i koordinirani stupanj raspodjele između potrošača. Kod planiranja veličine i lokacije mikromreže, može doći do povećanja sustava i slučajnog prekomjernog povezivanja prevelikih mikro izvora na slabe niskonaponske mreže, te tako može stvoriti velike tehničke probleme nego prednosti koje mikromreža može pružiti. [23]

### **3.5.2. Okolišne i socijalne prednosti mikromreže**

Ekološka prihvatljivost mikromreže može se prikazati na dva načina, a to su; pomak s obzirom na goriva (Prirodni plin) i usvajanje sve više energetske učinkovitosti za opskrbu energijom (Kombinirani sustavi toplinske i električne energije). Uz nacionalnu politiku podrške distribuiranim izvorima, na primjer fotonaponskim elektranama, očekuje se, da će primjenjivanje mikromreže rasti kao zamjena za gorivo, jer se troškovi obnovljivih izvora energije tijekom godina smanjuju. S obzirom da primjena sustava na daljinsko grijanje ili hlađenje, varira od regije do regije, očekuje se, kako će se pronaći rješenje na razini cijele Europe, gdje će uvelike pomoći primjena rada mikromreža.

Socijalne prednosti mikromreža mogu se očekivati od:

- Podizanje javne svijesti i poticanje uštede energije i smanjenje stakleničkih plinova
- Stvaranje novih istraživanja i mogućnost zapošljavanja
- Priključak električnih instalacija na udaljenim i nerazvijenim područjima [23]

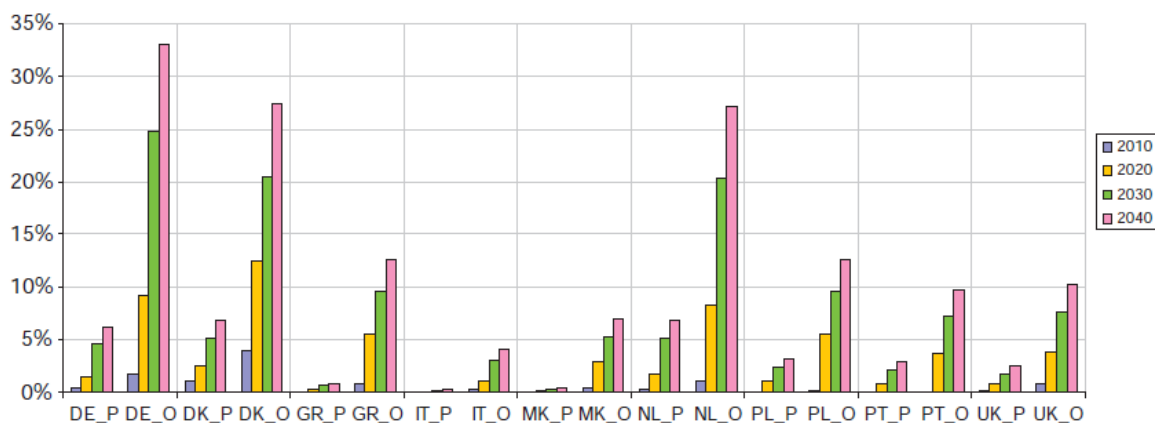
### **3.5.3. Europski primjer mikromreže**

Izvedba Europske mikromreža obično ovise o unutarnjim i vanjskim čimbenicima, koji se mogu prikazati u tri kategorije:

- Geografski položaj koji određuje vrste elektroenergetske mreže, raspoloživost obnovljivih izvora energije, energetska profit za proizvodnju električne energije i cijenu električne energije
- Vrijeme, koje određuje scenarij mikro izvora i troškova
- Osjetljivosti, se odnose na pojedinačno tržište, te regulacijske i operativne utjecajne čimbenike

Kako bi se mogle prikazati mikromrežne prednosti na europskoj razini, razvijen je okvir ocjenjivanja koji bi trebali zadovoljiti većinu ulaznih i izlaznih parametara na razini upravljanja složenih podatkovnih jedinica. S obzirom na taj okvir proučavane su europske

distribucijske mreže različitih tipova. Instalirani kapaciteti proizvodnje i potrošnje na godišnjoj razini značajno odskaku u različitim europskim zemljama. Prosječna veleprodajna cijena je između 40/90 dolara/MWh, nacionalne razine emisije CO<sub>2</sub> variraju između 400 kg/MWh i 800 kg/MWh, te cijena električne energije kod krajnjih korisnika (energija mreže i poreze) je 6/28 D/ kWh. U budućnosti se planira udio obnovljivih izvora povećati u Europi (20-30-40). [23] Nema baš određenih propisa i politika o korištenju distribuirane proizvodnje i mikromreže u Europskoj uniji. Iako je Europska komisija donjela neke različite direktive (2013/347/EC, 2004/8/EC, 2009/72/EC i ostalo) i okvirne programe (FP5, FP6 i FP7) koji prikazuju prodor energije u zemljama EU i razvoj mikromreže. Stoga je 2009. godine došlo do stvaranja pametne mreže, kao najbolja preporuka i standardizacija kako bi se postigli svi planovi unutar područja EU. Za integracijske mreže na razini cijele Unije i implementacija pametnih mreža za postizanje optimalnog korištenja energetske infrastrukture. Za povećavanje energetske učinkovitosti i integraciju distribuiranih obnovljivih izvora energije i za poticanje rasta, zapošljavanja i održiv razvoj. [33]

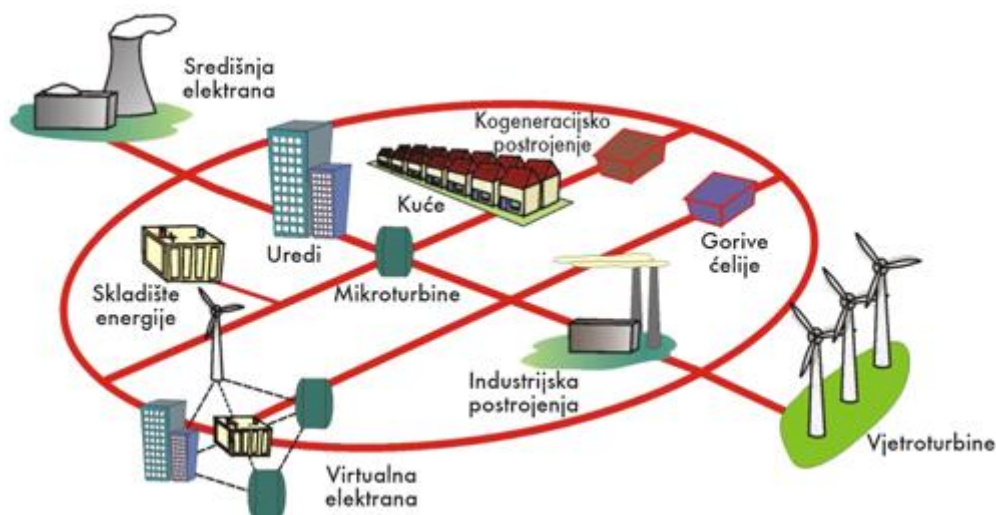


Slika 3.8. Omjer širenja mikromreže u nacionalnim mrežama EU (O-optimistične pretpostavke, P-pestimistične pretpostavke) [23]

### 3.6. Distribuirana proizvodnja u mikromreži

Distribuirana proizvodnja služi za proizvodnju električne energije kod samoga potrošača. Takvi distribuirani izvori najčešće su povezani s distribucijskom mrežom na srednjem i visokom naponu i to tako da je opterećenje potrošača pasivno, a tokovi snaga usmjereni samo od trafostanice prema potrošaču. Postoji niz tehnologija distribuirane proizvodnje a to su: mikro turbine, gorive ćelije, fotonaponske ćelije, vjetroelektrane. Neke tehnologija kao npr. mikro turbine, fotonaponske ćelije, motori s unutarnjim izgaranjem, imaju mogućnost

korištenja toplinskih gubitaka, što omogućavaju povećavanje njihove efikasnosti. Takve jedinice pojavljuju se kao obećavajuća opcija kupcima koji uzimaju u zahtjev pouzdanu i kvalitetnu električne energije. Zbog utjecaja mikro izvora na ravnotežu proizvodnje i potrošnje električne energije te i zbog utjecaja na mrežnu frekvenciju, niskonaponska mreža mogla bi postati vrlo značajna za samu mikromrežu, zbog toga što se s razvojem novih tehnologija niskonaponska mreža više neće biti pasivna. Iz ovoga bi se moglo zaključiti da se distribucijske mreže pretvaraju iz pasivnih u aktivne mreže, dok su tokovi snaga dvosmjerni. Takav oblik mreže osim što omogućava korištenje distribuirane proizvodnje i obnovljivih izvora energije te skladištenje energije, omogućava i uvođenje nove opreme i usluga. Upravljanje pomoću mikromreže i nadzor omogućava lakšu integraciju mikroproizvodnje, te tako omogućava upravljanje i nadzor opterećenja sustava. Distribuirana proizvodnja zajedno s mirkomrežom omogućava zaštitu sustava za vrijeme opterećenja. Postoji mnogostruka mikromreža, takva mikromreža je mreža sa hijerarhijskom strukturom upravljanja. Sastoji se od primarne, sekundarne i tercijalne razine upravljanja. Primarna razina upravljanja je prva razina hijerarhijske mreže, njezina značajka je najbrži odziv. Njezina uloga je održavati frekvenciju i napon pod kontrolom. Sekundarna razina odgovorna je za kvalitetu električne energije, te odstupanje frekvencije i napona od normalne razine. Tercijarna razina omogućava najveću razinu kontrole, ona omogućava razinu kontrole tokova energije, kontrolu tržišta signala i kontrolu drugih sustava. [7]

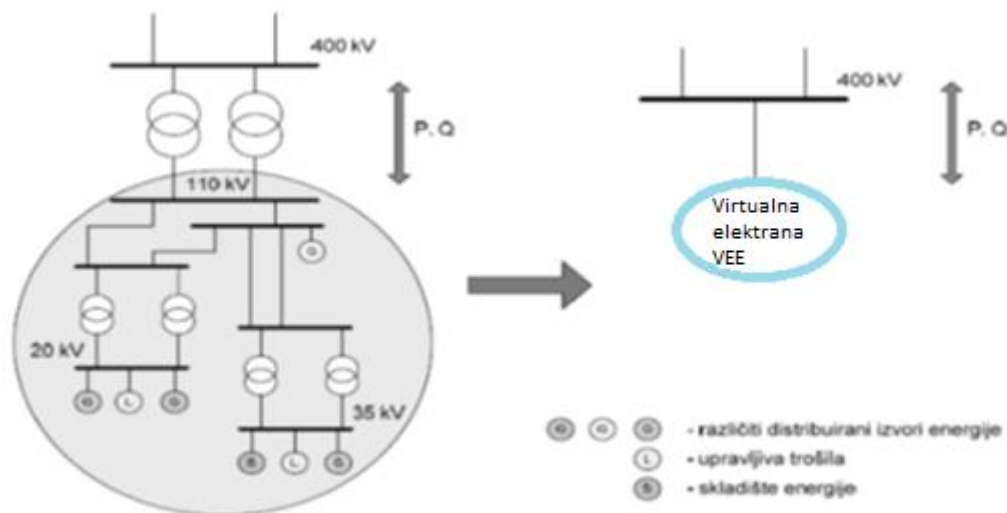


Slika 3.9 . Elektroenergetski sustav s distribuiranim izvorima [6]

### 3.7. Virtualne elektrane i mikromreže

Virtualne elektrane su prikazane kao udruženje malih proizvođača električne energije, to jest distribucijski izvora koji koriste različite ili iste tehnologije za proizvodnju električne energije. Oni se predstavljaju kao jedna elektrana. Električnom energijom se može trgovati prema određenim uvjetima u kojima opskrbljivač određuje iz kojeg će izvora koristiti električnu energiju: iz konvencionalnih ili obnovljivih izvora ili spremnika. Sustav se usavršava modernim informacijskim tehnologijama za upravljanje, naprednim sklopovima energetske elektronike te učinkovitim skladištenjem. [5]

- Lokalitet – Kod mikromreža, distribuirani izvori se nalaze unutar iste lokalne distribucijske mreže te oni nastoje prije svega zadovoljiti lokalnu potražnju. U virtualnim elektranama distribucijski izvori se ne moraju nužno nalaziti u lokalnim mrežama i oni su koordinirani na širokom zemljopisnom području. Kod virtualnih elektrana proizvodnja sudjeluje u tradicionalnom trgovanju sa normalnom tržišnom energijom.
- Veličina - instalirani kapacitet mikromreža je relativno mali (od nekoliko kW do nekoliko MW), a kod virtualnih elektrana kapacitet može biti puno veći.
- Interes potrošača - Mikromreža se fokusira na zadovoljstvo lokalne potrošnje, dok virtualna elektrana se bavi potrošnjom samo kod resursa koji sudjeluj u skupini trgovanje moćima putem naknade. [23]



Slika 3.10. Virtualna elektrana [12]

### 3.8. Priključak mikromreže na distributivnu mrežu

Priključak je mjesto (i uređaji) gdje se mikromreža spaja s distribucijskom mrežom. Nove tehnologije omogućavaju različite funkcije uklopa, isklopa, zaštita, mjerenje, komunikacija, sve te funkcije zamjenjuje jedan sustav sa specijalnim mikroprocesorima posebno dizajnirani za digitalnu obradu signala u stvarnom vremenu, digitalni procesor signala. Strujni i naponski transformatori postavljeni s obje strane interkonekcijskog sklopa omogućavaju mjerenje određenih vrijednosti te određuje radne uvjete. Upravljački sustav mikromreže izveden je tako da mora raditi sigurno i u otočnom pogonu i u pogonu spojenom na distribucijsku mrežu. Ovakav sustav može biti baziran na upravljačkoj jedinici ili može biti ugrađen u svaki distribuirani izvor kao autonomna jedinica. Kada se mikromreža od spoji od distribucijske mreže, upravljački sustav mora sam kontrolirati napon i frekvenciju, uravnotežiti proizvodnju i potrošnju te štititi mikromrežu. Najveći problem u otočnom pogonu predstavlja kontrola frekvencije. Kod velikih sustava frekvencija ovisi o rotacijskoj masi. Pretvarači upravljačkog sustava moraju omogućiti istu nazivnu frekvenciju kao što je bila prije prelaska na otočni rad.



### 3.9. Arhitektura i podjela mikromreže

U distribucijskoj mreži je sadržan veći broj malih distribuiranih izvora energije, koji mogu povećati pouzdanost sustava.

Planiranje	Prošlost	Sadašnjost	Mikromreže
	Konvencionalni pristup	Decentralizirani sustav	
Uklapanje generatora	Centralizirano	Decentralizirano	decentralizirano
Opterećenje	Nema utjecaja	Klasifikacija opterećenja zasniva se na zahtjevima za kvalitetom električne energije i upravljanje	
Distribucijska mreža	Napajanje iz pasivne mreže (preko TS)	Polu-aktivna mreža	Aktivna mreža / dvosmjerni tokovi snaga
Mogućnost vođenja sustava	Isključivanje potrošača, ispadi sustava	Isključivanje potrošača, odstupanje distribuiranih izvora	Otočni rad, hitna usluga na zahtjev korisnika, razmjena električne energije

Tablica 1. Tablica prikazuje razvoj planiranja distribucijske mreže [5]

Kod konvencionalnih izvora planiranje se temelji na proizvodnji električne energije u centraliziranim postrojenjima, te omogućuje opskrbu potrošača preko pasivne distribucijske mreže. Kod ove strukture svi korisnici dobivaju jednaku kvalitetu električne energije. Iako se na distribucijskoj razini omogućava integracija distribuiranih izvora, no međutim njihova je integracija ograničena zbog sprječavanja nepovoljnog utjecaja na rad samog sustava. Jedna od vrlo bitnih stavki je da DMS (Document Management System) ima negativan utjecaj na kvalitetu električne energije. Drugo vrlo bitna stavaka je da se distribuirani izvori oslanjaju na distribucijsku mrežu radi regulacije frekvencije i napona. Primjer: ako nestane napajanje od strane distribucijske mreže, poneki distribuirani izvori ne mogu isporučiti električnu energiju potrošačima, dok neki distribuirani izvori mogu, imaju dovoljan kapacitet za napajanje jednog djela potrošača. [5]

Mikromreža može se priključiti i na SN/VN mrežu distribucijskog sustava, te i na skupinu potrošača koji se napajaju iz jednog ili više distribuiranih izvora. Preko zajedničke priključnice spojena je s glavnom mrežom, preko koje se može definirati područje rada:

a) spojeno na distribucijsku mrežu (sinkroni spoj)

b) otočni rad (rad neovisan o distribucijskoj mreži)

Kod mikromreža spojenih na distribucijsku mrežu, razlikuju se dva moguća režima rada i to:

a) ovisne o mreži - napajanje potrošača u mikromreži ovisno je o napajanju iz distribucijske mreže

b) neovisne o mreži - iako je mikromreža spojena na distribucijsku mrežu, napajanje potrošača unutar mikromreže ne ovisi o napajanju iz distribucijske mreže, mikromreža radi nezavisno, ali postoje dvosmjerni tokovi snaga između mikromreže i distribucijske mreže [5].

### **3.10. Osnovna klasifikacija mogućnosti arhitekture mikromreže**

a) korisničke mikromreže

b) poslovno-industrijske mikromreže

c) otočne mikromreže [5]

#### **3.10.1. Korisničke mikromreže**

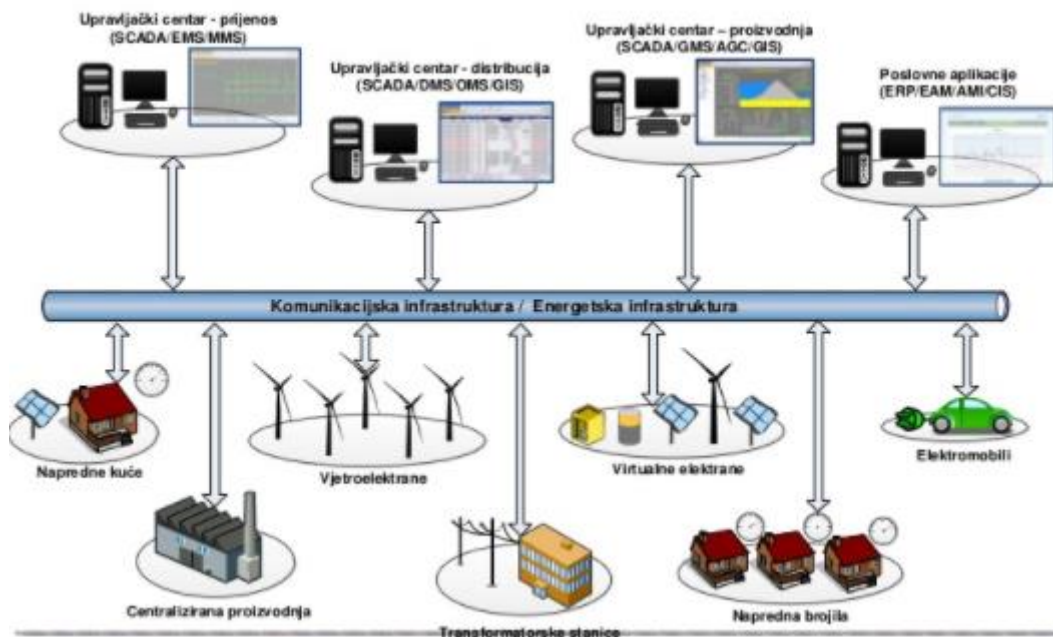
Korisnička mikromreža je vod na kojeg su spojeni distribuirani izvori i potrošači. Korištenjem većeg broja distribuiranih izvora energije smještenih u blizini potrošača, korisničke mikromreže mogu zadovoljiti povećan porast potrošnje te uspostaviti kontrolu nad zagušenjima lokalne distribucijske, pa čak i srednje naponske mreže.[5] Ovakva mikromreža koristi se kod urbanih i ruralnih područja. Koriste se distribuirani izvori kao što su male HE, fotonaponske elektrane, vjetroelektrane, agregati. Ove mikromreže mogu se od spojiti od distribucijske mreže u vremenu održavanja visokonaponskih vodova i postrojenja. Korisnička mikromreža omogućava utjecaj smanjenja kvarova na lokalne potrošače zbog toga što mikromreža može raditi u otočnom pogonu. Ona omogućuje pomoćno napajanje ukoliko dođe do pada jalove snage u mreži, a samim time povećava kvalitetu električne energije tamo di je to potrebno, te omogućuje se koristiti za pokrivanje toplinske energije u kućanstvima. [5]



Slika 3.11. Korisnička mikromreža [9]

### 3.10.2. Industrijsko-poslovna mikromreža

Industrijski i poslovni korisnici mikromreže su osjetljivi potrošači koji zahtijevaju visoku pouzdanost i visoku kvalitetu električne energije. Takve mikromreže prilagođavaju se prema velikim poslovno industrijskim objektima kao na primjer: šoping centri, sveučilišni smještajima i ostali. Vođenje mikromreže potpomognuto vođenjem sa strane distribucijske mreže može sprječavati prekide u napajanju i povećati kvalitetu opskrbe unutar mikromreže tako da ograničava utjecaj SN mreže i ostalih susjednih potrošača.[5] Ova mikromreža također kao i korisnička mikromreža može raditi u otočnom režimu rada kada srednje naponska mreža ne može pokriti potrebe potrošača i kada ne može utjecati na kvalitetu električne energije. Mikromreže mogu opskrbljivati više stambenih objekata, na primjer: više kuća u nizu. Stambene mikromreže pružaju povoljnu i pouzdanu opskrbu električnom energijom pri korištenju različitih obnovljivih izvora. Najpovoljniji i najbolji distribuirani izvor za stambeno područje su fotonaponske elektrane (sustav), koje se postavljaju na sami stambeni objekt.



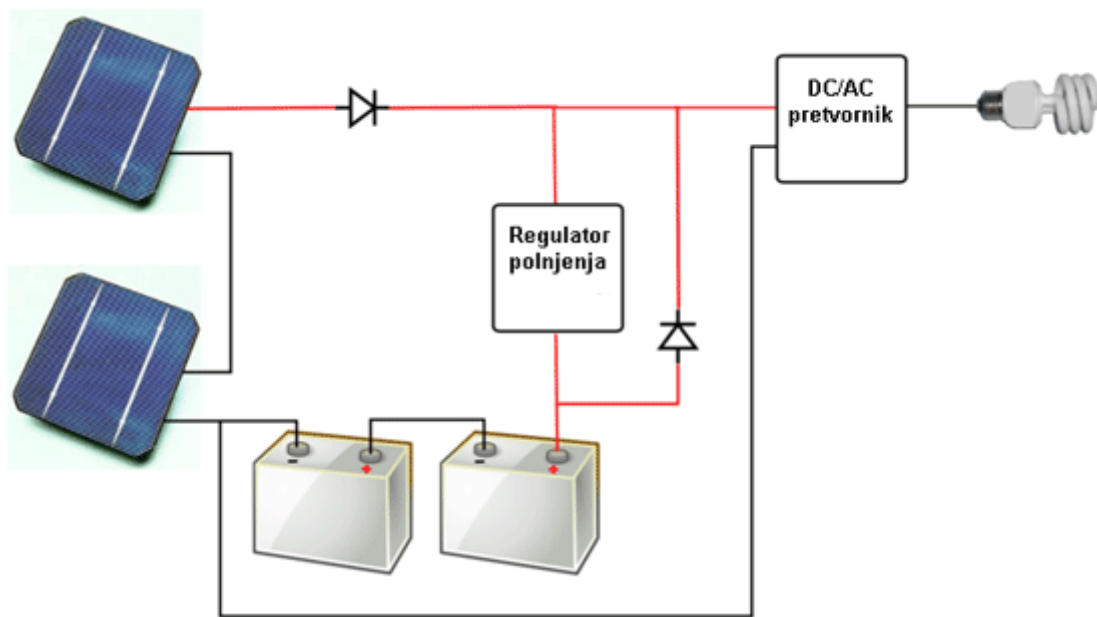
Slika 3.12. Poslovno-industrijska mikromreža [11]

### 3.10.3. Otočne mikromreže

Kod ruralnih naselja i otoka gdje nije dostupna distribucijska mreža koristi se odvojena mikromreža. Ovakva mikromreža radi u samostalnom pogonu, to jest u otočnom pogonu bez priključka na distribucijsku mrežu. Kod ove mikromreže upravljački sustava mora sam kontrolirati napon i frekvenciju te uravnotežiti proizvodnju i potrošnju električne energije. Zbog ekonomske neisplativosti priključka tako udaljenih ruralnih mjesta na elektroenergetski sustava ovakva primjena mikromreže je najbolja, kako bi zadovoljili potrebe potrošača. U ekonomskoj strategiji, kao što je poznato, na prvom mjestu je za cilj umanjiti troškove nezavisno o mrežnim mogućnostima. Najpovoljniji obnovljivi izvori za odvojenu mikromrežu su male hidroelektrane, vjetroelektrane (male), fotonaponske elektrane, plinske turbine. Za razliku od ostalih mikromreža, ova odvojena mikromreža mora svojom proizvodnjom pokriti potrebe potrošača, električne i toplinske potrebe. Kako bi se to omogućilo potrebno je koristiti spremnike sa energijom, kako bi mogli opskrbljivati potrošače električnom energijom onda kada nema dovoljno proizvodnje električne energije od strane distribuiranog izvora (najčešće noću). Za spremnike energije koriste se baterije. Metode koje se koriste za ostvarenje

stabilnosti sustava odvojene mikromreže baziraju se na korištenju izvora energije različitih vrsta i veličina, korištenju optimalno dimenzioniranih spremnika energije te definiranju potrošača prema prioritetima, sve uz napredni sustav upravljanja. [5]

Kao primjer korištenja odvojene mikromreže možemo dati udaljene otoke na Jadranu.



*Slika 3.13. Otočni mikrosustav [10]*

## **4. SIMULACIJA MIKROMREŽE ZGRADE FERIT-a U PROGRAMU HOMER**

### **4.1. Diplomski projektni zadatak**

Cilj ovoga projektnog zadatka je prikazati analizu sadašnjeg stanja mikromreže zgrade FERIT-a, te usporediti i dati prijedlog optimalnog rješenja mikromreže. Simulacija se izvodi u programu HOMER.

Homer ( hibridna optimizacija višestrukih električnih obnovljivih izvora ) programski model optimizacije mikroprocesora. Služi za pojednostavljenje zadatka vrednovanja dizajna i mežnih sustava koji se mogu spajati sa mrežom i mrežom za različite primjene. Prilikom dizajniranja elektroenergetskog sustava moraju se donijeti vrlo važne odluke o konfiguraciji sustava, to jest koje komponente se trebaju koristiti, te koje određene veličine te komponente treba koristiti. Takve odluke u tehničkim mogućnostima, troškovima samih tehnologija i dostupnosti energetske resursa čine te odluke vrlo teškim. Zbog toga Homerova optimizacija i algoritmi analize osjetljivosti olakšavaju procjenu mnogih mogućnosti konfiguracije sustava.

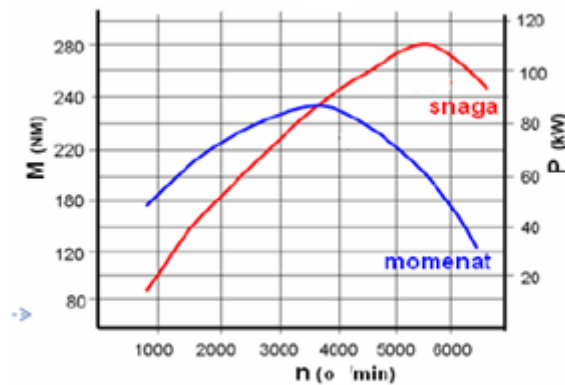
HOMER omogućava simuliranje rada sustava, tako da izračunava energetske bilance u svakom koraku godine. Za svaki vremenski korak, on uspoređuje električnu i toplinsku potrošnju u tom vremenskom koraku s energijom koju sustav može opskrbiti u tom vremenskom koraku i izračunava protjecanje energije do i od svake komponente sustava. Potom prikazuje dali je konfiguracija izvediva i procjenjuje cijenu instaliranja i upravljanja sustavom tijekom izvođenja projekta. [24]

Tijekom izvođenja simulacije korištene su komponente kao što su pretvarač, vjetroelektrana, fotonaponska elektrana ( punionica za električna vozila ), baterije, gorive ćelije, generator, mreža. Projektni zadatak se izvršavao tako da se prvo simuliralo postojeće stanje mikromreže spojene na elektroenergetsku mrežu, te se na kontu dobivenih rezultata pokušalo dobiti optimalno rješenje. Prilikom izvođenja simulacije, moralo se pripaziti na parametre određenih komponenata, to jest bilo je potrebno prikazati određene troškove i određenu optimalnu snagu, radi što bolje učinkovitosti.

## 4.2. Rad u programskom paketu HOMER

### 4.2.1. Generator (agregat)

Električni agregat je agregat koji u sebi ima pokretni motor (motor sa u unutrašnjim izgaranjem), to jest to su uređaji na izmjenične struje koji se pokreću pomoću benzinskih ili Diesel motora. Benzinski električni agregat (BEA), Diesel električni motor (DEA). Koriste se električne agregate (trofazne) snaga od 15 kVA- 400 kVA, te se pokreću Diesel motorom. Električni agregat služi nam za napajanje trošila. [25]



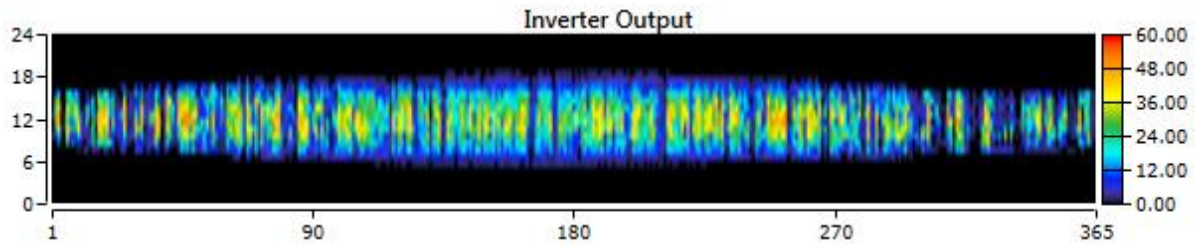
Slika 4.1. Krivulja momenta i snage Diesel motora [25]

Prilikom simulacije u programskom paketu HOMER odabrao sam opciju da mi program sam odabere najbolje rješenje generatora sa određenim parametrima potrošnje. Gorivo koje se koristi je DIESEL, 0.818 l/h, 0.251 l/h/kW, donja ogrjevna vrijednost iznosi 43.2 MJ/kg. Snaga instaliranog sustava generatora je 20 kW.

### 4.2.2. Pretvarač (inverter)

Pretvarači služe za pretvorbu energije istosmjernog napona 12-24 V u izmjeničan napon 230 V. U jednom režimu rade kao izmjenjivači (DC/AC), a u drugom režimu rade kao ispravljajući (AC/DC). Preporučuju se sinusni inverteri, zato što omogućavaju nesmetani rad kućanskih

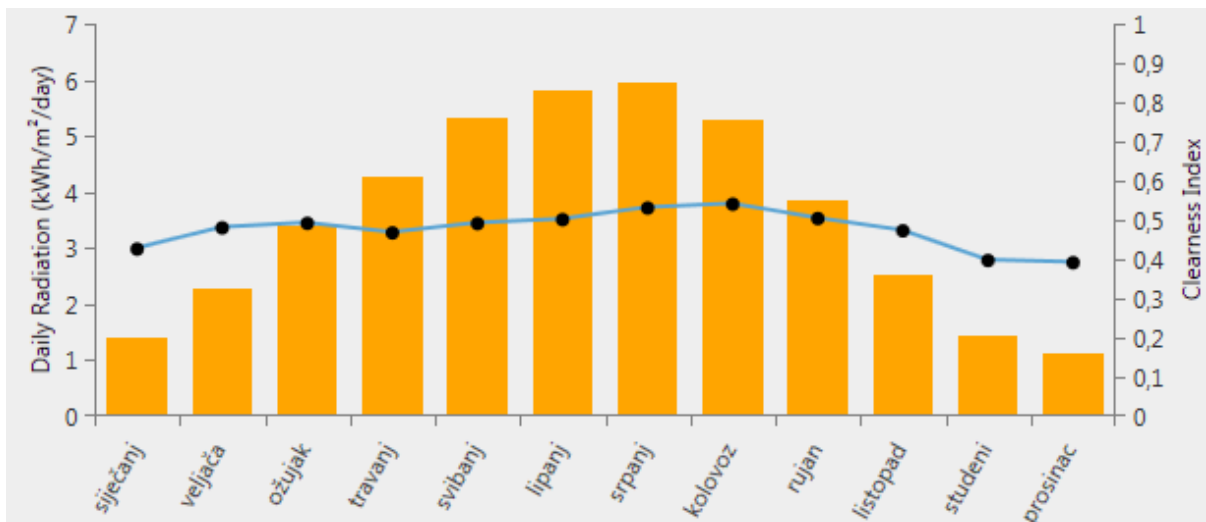
uređaja. Posebno treba pripaziti kod planiranja fotonaponskih sustava da se koriste manji inverteri od potrebno.



Slika 4.2. Izlazne snage invertera [24]

### 4.2.3. Fotonaponska elektrana

Fotonaponske sustave možemo podijeliti u dvije osnovne grupe. Prvi su otočni FN sustavi, gdje se proizvedena električna energija najčešće skladišti u baterije, te se koristi za potrebe potrošača. Druga grupa su mrežni sustavi, koji proizvedenu električnu energiju najčešće predaju u električnu mrežu, ali isto tako se koriste za potrebe potrošača. Proizvodnja električne energije od strane fotonaponskog sustava ovisi u Sunčevoj ozračenosti, a ona je za grad Osijek prikazana na slici.



Slika 4.3. Prikaz sunčeve dozračenosti te indeks vedrine [24]

Kod prve simulacije, prvo su unijeti parametri postojeće fotonaponske elektrane koja se nalazi na zgradi FERIT-a nazivne snage 10 kW. Sastoji se od 40 modula, pojedinačno snage 250 W. Moduli su povezani u dva niza gdje su zatim spojeni na pretvarač, a pretvarač na razvodnu

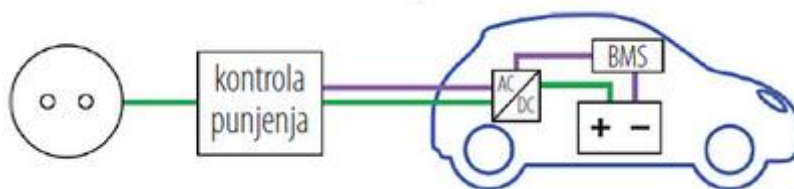


kutiju trofazne niskonaponske mreže 230/400 V. Fotonaponska elektrana proizvodi prosječno godišnje 11 853 kW/god (iz HOMER-a).

Planira se izgraditi dodatnih 50 kW fotonaponske elektrane, te bi ukupna snaga fotonaponske elektrane iznosila 60 kW. Fotonaponska elektrana bi se sastojala od 240 modula, pojedinačnih snaga 250 W. Ta fotonaponska elektrana zajedno sa drugim izvorima bi zadovoljavala potrošačke potrebe zgrade FERIT-a s obzirom na potrošenu električnu energiju od strane trošila. Godišnja prosječna proizvodnja bi bila 72573 kWh/god (očitano iz HOMER-a)

#### 4.2.4. Fotonaponska punionica

Fotonaponska punionica je stanica koja služi za napajanje električnih vozila električnom energijom. Izmjenična struja na naponu javne elektroenergetske mreže pretvara se u istosmjernu struju koja služi za punjenje baterije na naponu koji odgovara bateriji, prema potrebi vozila. Samim time omogućava se upravljanje sustavom za nadzor baterije. Prema normama HRN 61 851 određeni su prikazi punjenja električnih vozila i vanjska oprema stanice za napajanje električnom energijom. [27]



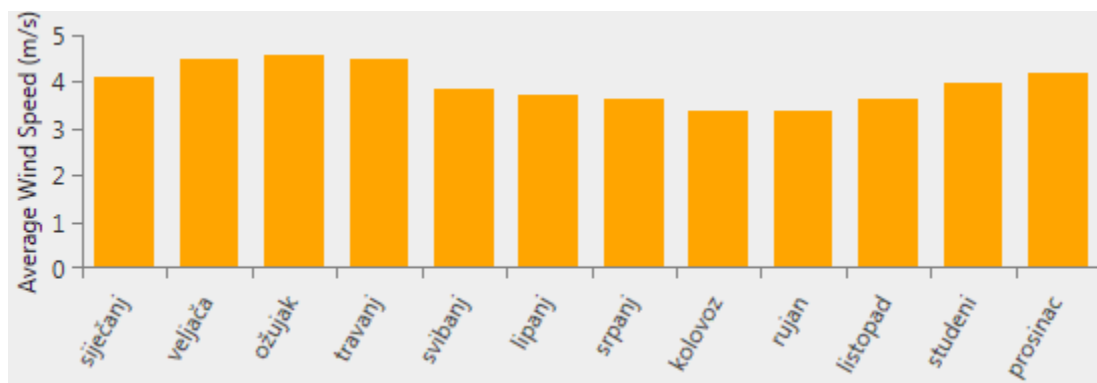
Slika 4.4. Fotonaponska punionica [27]

U sklopu projekta, bi se trebala izgraditi jedna fotonaponska punionica koja bi bila pogodna za mikromrežu fakulteta FERIT. Takva fotonaponska punionica bi bila idejno rješenje, zato što bi služila za punjenje vozila (električni bicikl) koje bi koristili studenti tokom dana, a i sami profesori. Povećala bi se količina proizvedene električne energije, koja bi također koristila fakultetu, kada bi električna vozila bila u stanju mirovanja. Izgradila bi se fotonaponska elektrana na krovu fakulteta snage 11 kW, koja bi napajala električnu punionicu

za vozila. U programu HOMER prilikom simulacije dobili smo rad na godišnjoj razini fotonaponske elektrane za električnu punionicu od 13 305 kWh/god.

#### 4.2.5. Vjetroelektrana

Vjetroelektrana je veći broj smještenih vjetroagregata, izloženih istom vjetru i priključeni na zajednički rasklopni uređaj na elektronergetski sustav. Za vjetroagregat može se reći da je rotirajući stroj koji prvo pretvara kinetičku energiju vjetra u mehaničku, a onda poslije preko električnih generatora u električnu energiju, ali sa time da se rotor vjetroturbine i rotor energije električnog generatora nalaze u istom vratilu. Prema zakonu (Alberta Betza) može se pretvoriti samo manje od 16/27 ili 59% kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju pomoću turbine. To je teoretski maksimum, ali u praksi se može pretvoriti između 35% i 45% energije vjetra, zbog raznih gubitaka u sustavu. [28]

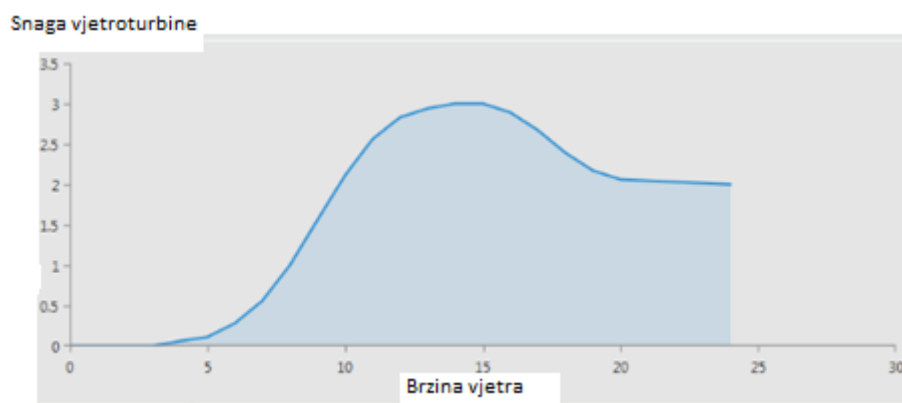


Slika 4.5. Prikaz godišnje raspodjele vjetra za Osijek [24]

Prilikom simulacije u programu HOMER koristilo se dvije vrste modela vjetroelektrana malih snaga, koje je predložio sam program. Vjetroelektrane malih snaga vrlo su pogodne za urbana naselja, gdje je brzina vjetra mala, ali promjenjiva, zbog promjena smjera vjetra. Proizvodnja energije raste sa brzinom vjetra ali isto tako se i smanjuje. Prosječna brzina vjetra za male vjetroelektrane je 4.5-5 m/s. Prilikom simulacije korištena je prvo vjetroelektrana snage 3 kW (Generic 3 kW).



Slika 4.6. Slika prikazuje vjetroelektrane snage 3 kW [31]

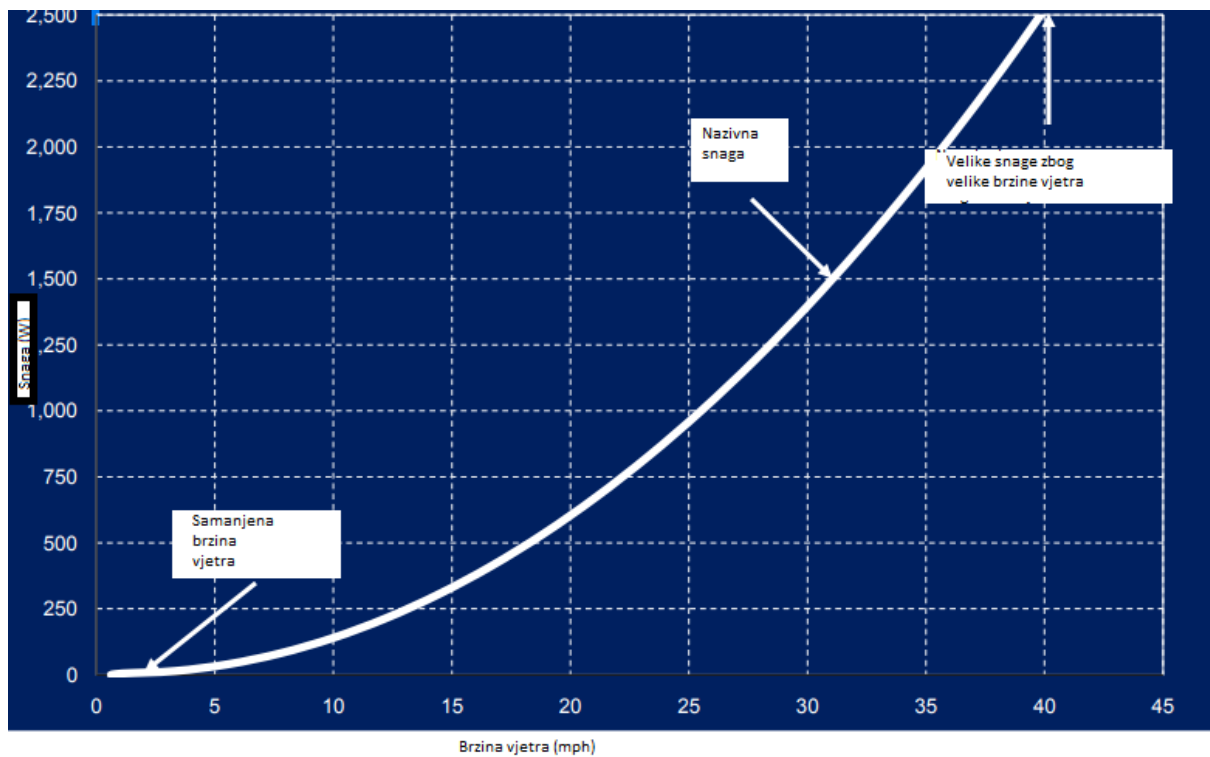


Slika 4.7. Krivulja snage Generic 3 kW [24]

Zatim je na sustav spojena još jedna vjetroelektrana, snage 4 kW.



Slika 4.8. Vjetroelektrana snage Honywell 4 kW [30]



Slika 4.9. Krivulja snage 4 kW vjetroelektrane Honeywell [30]

Godišnja proizvodnja od strane Generic 3 kW 917.16 kWh/god (trajanje iskorištenja instalirane snage je 306 h/god) [31] što je nisko jer se radi o propelernoj turbini koja zahtjeva veće brzine vjetra od onih dostupnih za lokaciju Osijek, a proizvodnja na godišnjoj razini od strane vjetroelektrane Honeywell 4 kW [30] s više lopatica je 2752 kWh/god (trajanje iskorištenja instalirane snage 688 h/god).



*Slika 4.10. Trubina Bergey Excel snage 6 kW [34]*

Dodatno je za proračun usporedbe mogućnosti korištenja samo vjetroelektrana umjesto fotonaponskih elektrana kao osnovne proizvodnje električne energije korišteno i 10 trubina tipa Bergey snage 6 kW [referenca] kao visoko iskoristive trokrake propelerne turbine čija je očekivana proizvodnja 53510 kWh/god (trajanje iskorištenja instalirane snage 892 h/god) [34].

#### **4.2.6. Baterija**

Baterija je jedna od glavnih komponenti fotonaponskih sustava, gdje se odvijaju procesi punjenja i pražnjenja. Koriste se za napajanje trošila za vrijeme tokom noći, kada nema dovoljne sunčeve energije za proizvodnju električne energije, to jest kada je fotonaponski sustav neaktivan te me proizvodi električnu energiju. Kapacitet same baterije ovisi o brzini punjenja i pražnjenja. Što je kraće vrijeme pražnjenja to je kapacitet koji je moguće postići manji. Životni vijek baterije ovisi o broju punjenja i pražnjenja, a samim time ako se baterija stalno puni i prazni smanjuje joj se životni vijek trajanja ( visoka temperatura je čimbenik koji

utječe negativno na bateriju ). Baterije se povezuju serijski ili paralelno kako bi se dobio željeni napon ili kapacitet. [20]

U tehno-ekonomskom projektu mikromreže zgrade FERIT-a koristi se baterija Discover 12VRE-3000TF-L, koju je predložio program HOMER. Baterija bi služila fakultetu, za skladištenje proizvedene električne energije, od strane obnovljivih izvora, koja bi se koristila kada ti izvori ne bi mogli pokriti potrošnju električne energije od strane fakulteta u noćnim satima, kada bi proizvodnja iz obnovljivih izvora bila mala. Parametri baterije:

- Nominalni napon: 12 V
- Maksimalni kapacitet: 244.971 Ah
- Struja punjenja: 57 A
- Struja pražnjenja: 133.903 A

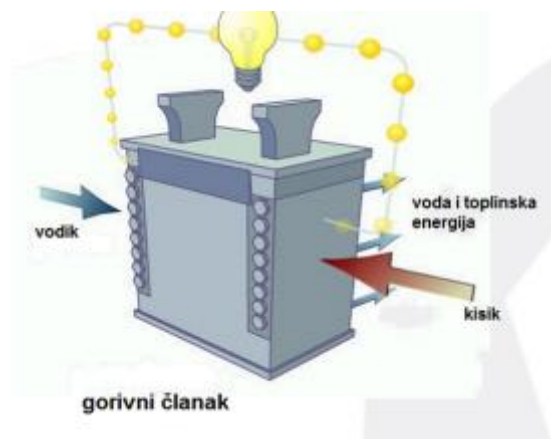


*Slika 4.11. Slika prikazuje bateriju Discover 12VRE-3000TF-L [29]*

#### **4.2.7. Gorivna ćelija**

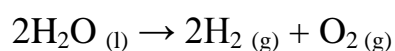
Gorivna ćelija ili gorivna ćelija je uređaj koji proizvodi električnu energiju iz goriva (na anodi) i oksidansa (na katodi), možemo reći da je to elektrokemijski uređaj. Ona služi za neposrednu pretvorbu kemijske energije, sadržana u nekom kemijskom elementu ili spoju u

istosmjernu električnu energiju. Gorivna ćelija se većinom sastoji od elektrolita ( tekuća ili čvrsta tvar koja provodi električnu energiju putem iona te vrši njihovo razdvajanje ) i elektrode ( anoda i katoda ), gdje se na njima vrši oksidacija i redukcija. Mogu biti od različitih materijala ili kombinacija (platina, grafit i ostali). Katalizator se izrađuje od plemenitih metala i obično je spojen sa jednom elektrodom. Gorivne ćelije koriste gorivo, gorivo je elemente visoke unutarnje energije, koja se oslobađa oksidacijom, na primjer vodik. Princip rada gorive ćelije ili članka možemo prikazati najbolje do sada razvijenijim sustavom s vodikom kao gorivom i kisikom kao oksidansom. Kada se vodik i kisik u plinskom stanju dovedu u kontakte i aktiviraju, reagiraju, spajaju se u vodu i oslobađaju energiju:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{energija}$ .



Slika 4.12. Gorivi članak [32]

Kada bi u mikromrežu fakulteta FERIT spojili sustav gorivnih ćelija sa spremnikom za gorivo, to jest gorivo kao vodik, omogućilo bi se praćenje proizvodnje i daljnji razvoj takvog sustava, što bi bilo vrlo korisno za budućnost. Omogućilo bi se praćenje proizvodnje električne energije, a samim time bi se omogućilo praćenje oslobađanje vodika procesom rastavljanja (reformacijom). Prilikom unošenja parametara program HOMER, pokušali smo dobiti koliko bi vode bilo potrebno da se proizvede 1 kg vodika, te smo dobili na posljetku:



$$m(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ kg}$$

$$n(\text{H}_2) = n(\text{H}_2\text{O}) = 2$$

$$\frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} * M(\text{H}_2\text{O}) = \frac{1 \text{ kg}}{2 \text{ g/mol}} * 18 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 9 \text{ kg}$$

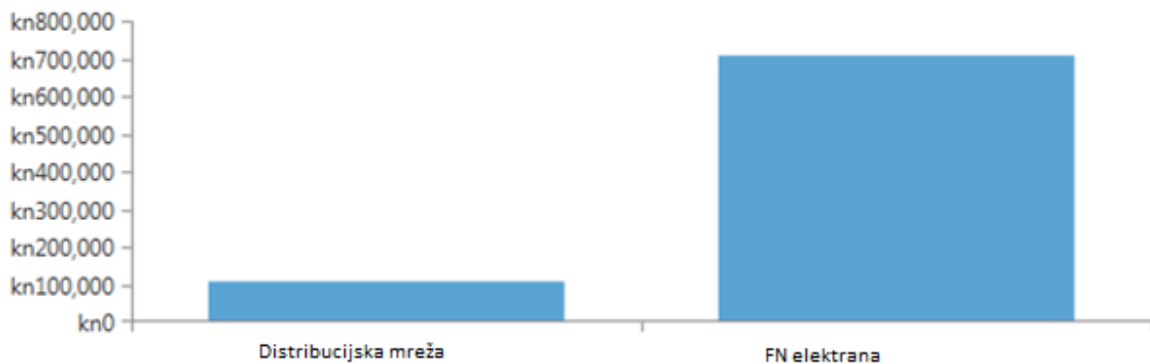
Ukupno je potrebno 9 kg vode da se proizvede 1 kg vodika. Što je vrlo veliki iznos. Planirana snaga postrojenja gorivih ćelija s spremnikom za gorivo na zgradi fakulteta FERIT bi bila 1.2 kW.



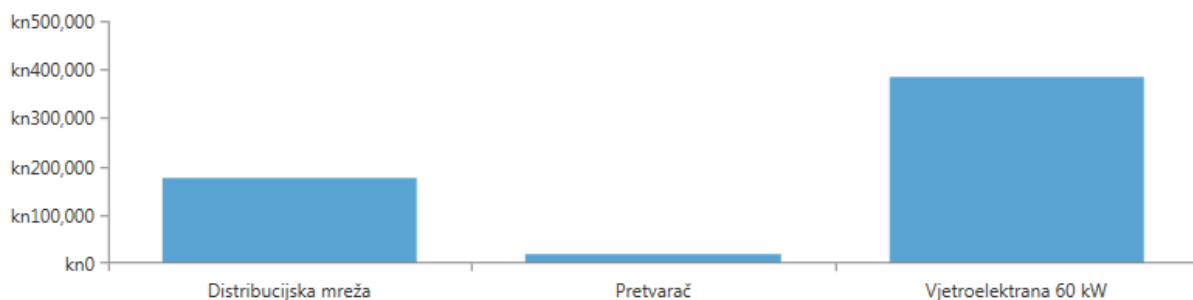
### 4.3. Rezultati tehno-ekonomske analize mikromreže zgrade FERIT-a

#### 4.3.1. Prvi primjer tehno-ekonomske analize mikromreže

Rezultati tehno-ekonomske analize mikromreže zgrade FERIT-a prikazani na više primjera, to jest, prikazani su troškovi s obzirom na komponente mikromreže ( FN elektrana, FN punionica, spremnici za proizvedenu električnu energiju (baterije), vjetroelektrane, gorive ćelije te Diesel generator ). U prvom primjeru na mikromrežu spojena je FN elektrana snage 10 kW. Zatim se na tu mikromrežu spaja još jedna elektrana snage 50 kW, kako bi zadovoljili potrebe potrošača koji se nalaze unutar zgrade FERIT-a. Za prvi primjer dobiveni su ukupni troškovi, zamjena, održavanje fotonaponskih panela, pretvarača. Ukupni troškovi elektrane 879.376.23 kn.



Slika 4.13. Cjelokupni troškovi mikromreže sa FN elektranom [24]



Slika 4.14. Cjelokupni troškovi mikromreže sa vjetroelektranom [24]

Kod dobivenih cjelokupnih troškova sustava kod prvog primjera, vidimo da su troškovi fotonaponske elektrane veliki, zbog velike instalirane snage. Kod vjetroelektrane su također nešto malo veći troškovi zbog velike instalirane snage. U donjem grafu prikazan je tijekom novca

tokom 25 godina za FN elektranu. Te bi elektrane (FN elektrana, vjetrolektrana) trebale pokrivati potrebe potrošača električnom energijom unutar zgrade fakulteta FERIT, a prema potrebama uzimati električnu energiju iz distribucijske mreže.

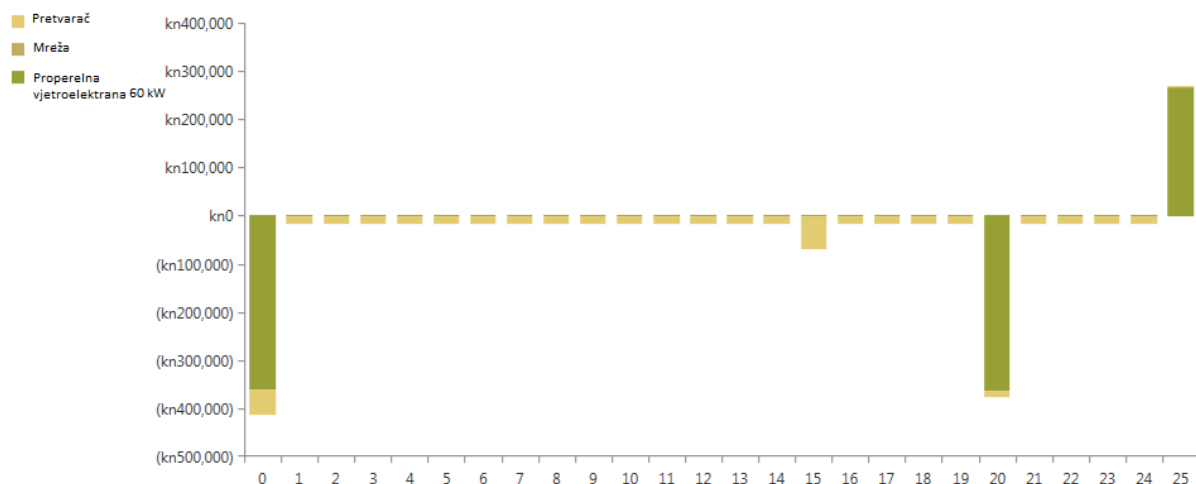
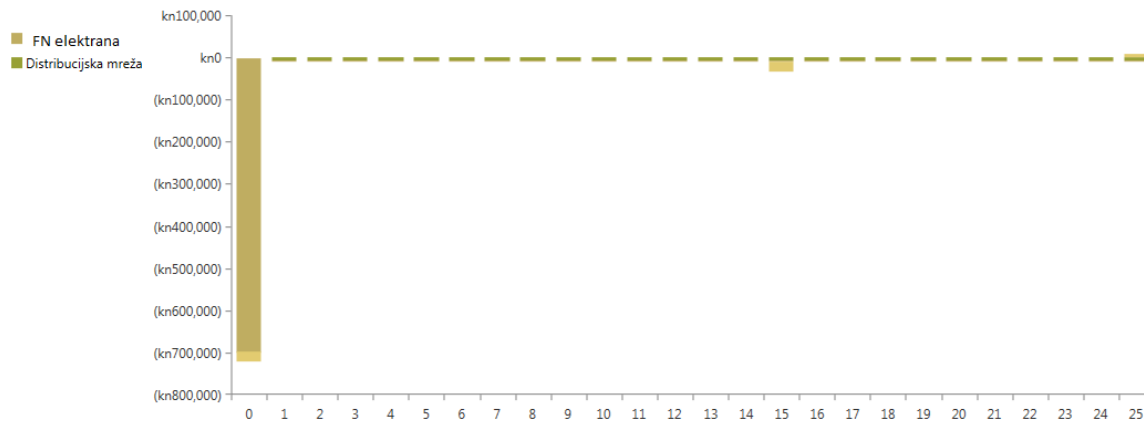
*Tablica 2. Cjelokupni troškovi mikromreže sa FN elektranom*

Komponenta	Kapital (kn)	Zamjena (kn)	Održavanje (kn)	Gorivo (kn)	Ušteda (kn)	Ukupni trošak (kn)
Distribucijska mreža	170.661,45	0,00	0,00	0,00	0,00	170.661,45
FN elektrana	697.080,00	0,00	11.634,78	0,00	0,00	708.714,78
Sustav	977.420,39	0,00	11.634,78	0,0	0,00	879.376,23

*Tablica 3. Cjelokupni troškovi mikromreže sa vjetrolektranom*

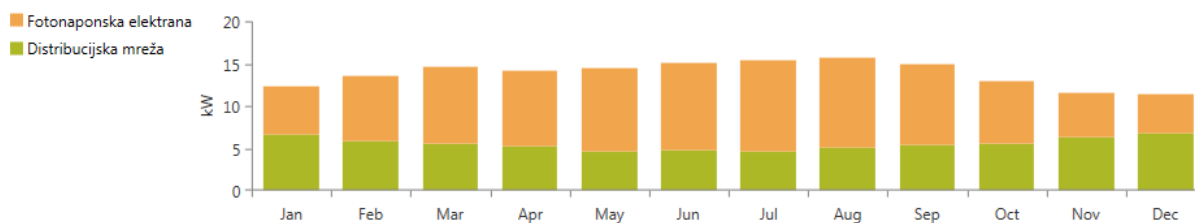
Komponenta	Kapital (kn)	Zamjena (kn)	Održavanje (kn)	Gorivo (kn)	Ušteda (kn)	Ukupni trošak (kn)
Distribucijska mreža	13.897,81	0,00	0,00	0,00	0,00	13.897,81
Vjetrolektrana 60 kW	360.000,00	114.770,65	32.318,78	0,00	64.680,62	601.770,05
Pretvarač	53.280,00	22.605,31	19.300,77	0,00	4.254,55	99.440,63
Sustav	413.280,00	137.375,96	51.618,78	0,00	68.935,17	715.108,49

Tijek novca kroz 25 godina prikazan je na slikama.



Slika 4.15. Tijek novca kroz 25 godina [24]

Slika prikazuje proizvodnju električne energije po mjesecima. Gdje se vidi, da je prosjek električna energija od strane FN elektrane 82.8% gdje je godišnja proizvodnja 72573 kWh/god, a od distribucijske mreže 17.2%, to jest 48576 kWh/god. Te je vidljiv prosjek proizvodnje od strane vjetroelektrane 53.69 %, to jest 53507 kWh/god, distribucijska mreža 46.31%, to jest 46151 kWh/god. Korišteno je 10 propelernih vjetroturbina Bergey Excel 6 snage 6 kW. Vidljivo je, da je proizvodnja od strane FN elektrane veća nego kod vjetroelektrane. Kod mikromreže sa vjetroelektranom koristi se električna energija iz distribucijske mreže za potrebe napajanja potrošača, za razliku od mikromreže sa FN elektranom gdje je vidljivo da se distribucijska mreža u manjem postotku koristi.

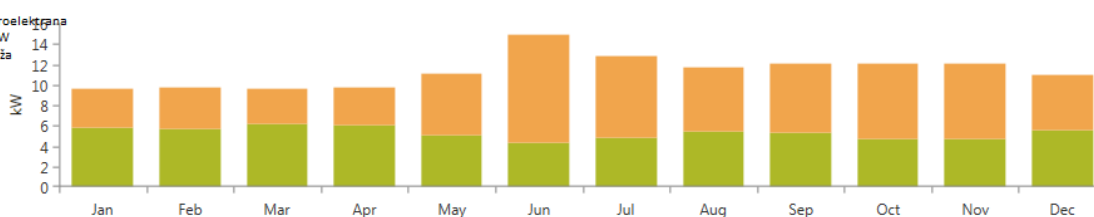


Slika 4.16. Mjesečna prosječna proizvodnja snage od strane FN elektrane i distribucijske mreže [24]

Tablica 4. Prikaz potrošnje u prvom primjeru od strane FN elektrane i distribucijske mreže

Potrošnja	kWh/god	%
AC primarno opterećenje	72.635	64.10
DC primarno opterećenje	0	0.00
Mrežna prodaja	40.892	35.90
<b>Ukupno</b>	<b>113.527</b>	<b>100.00</b>

Količina	Vrijednost
Frakcija obnovljivih izvora	57.3
Max. Dozračenost obn. izvora	111.1



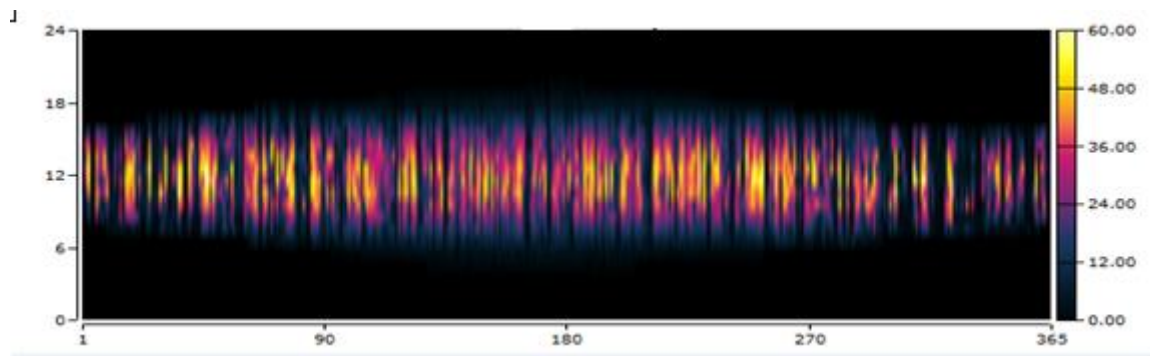
Slika 4.17. Mjesečna prosječna proizvodnja snage od strane vjetroelektrane Bergey Excel 6 kW i distribucijske mreže [24]

Tablica 5. Prikaz potrošnje u prvom primjeru od strane vjetroelektrane i distribucijske mreže

Potrošnja	kWh/god	%
AC primarno opterećenje	72.635	77.02
DC primarno opterećenje	0	0.00
Mrežna prodaja	21.672	22.98
<b>Ukupno</b>	<b>94.307</b>	<b>100.00</b>

Količina	Vrijednost
Frakcija obnovljivih izvora	51.1
Max. Dozračenost obn. izvora	111.1

Proizvodnja električne energije tokom dvadeset četiri sata i 365 dana od strane fotonaponske elektrane prikazana je na slici. Na slici se vidi da proizvodnja počinje oko 7 sati ujutro, a završava oko 18 sati poslije podne. Najveća proizvodnja se nalazi između 11 sati i 14 sati.



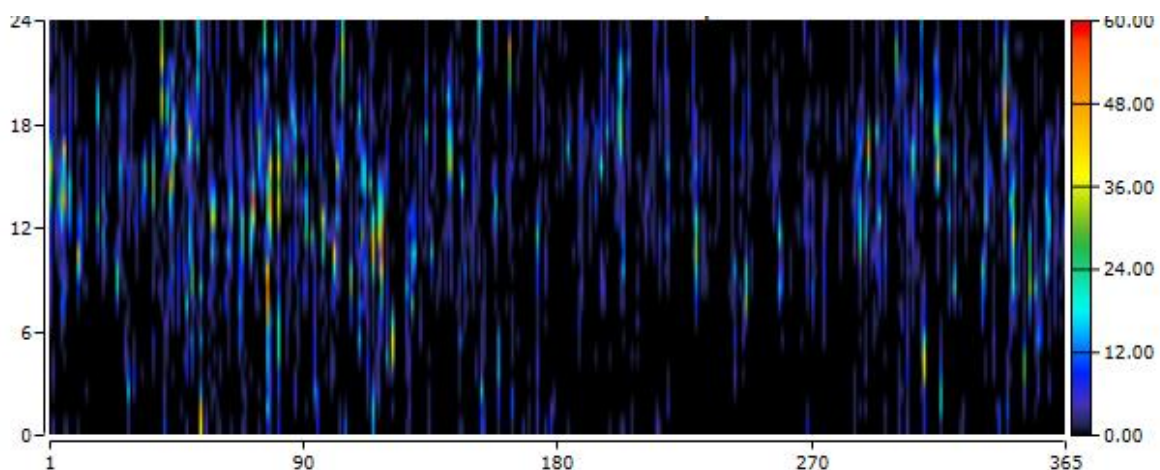
Slika 4.18. Prikaz izlazne snage od strane fotonaponske elektrane [24]

Tablica 6. Izlazne snage fotonaponske elektrane

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	60.00	kW
Srednji izlaz	8.28	kW
Srednji izlaz	198.83	kWh/d
Faktor kapaciteta	13.81	%
Ukupna proizvodnja	72.573,33	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni Izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	59.5	kW
PV prodiranje	262	%
Sati rada	4,388	hrs/god
Izravni trošak	1,747	Kn/kWh

Slika prikazuje izlazne snage vjetroelektrane 60 kW.



Slika 4.19. Prikaz izlazne snage vjetroelektrane snage 60 kW [24]

Tablica 7. Tablice prikazuju izlazne snage i ostale podatke vjetroelektrane snage 60 kW

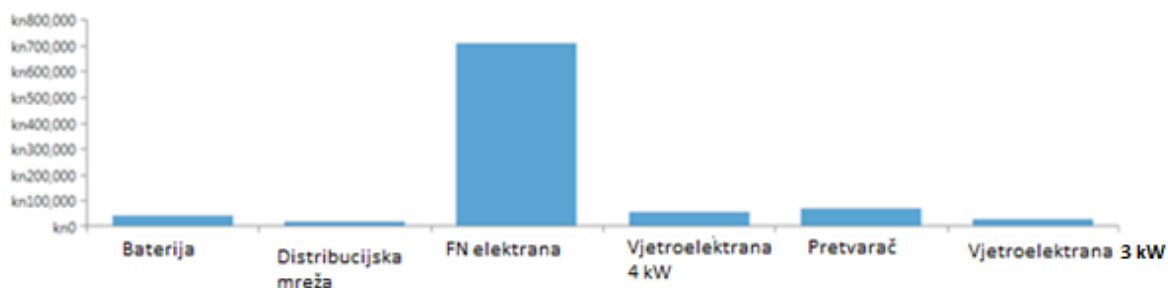
Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna Snaga	60.00	kW
Srednji izlaz	5.58	kW
Faktor kapaciteta	11.08	%
Ukupna proizvodnja	53507	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	58.32	kW
Sati rada	4.783,00	hrs/god
Prodiranje vjetra	199.2	%
Izravni trošak	1.62	Kn/kWh

U prvom primjeru vidljivo je da proizvodnja od strane fotonaponske elektrane ne može pokriti cjelokupnu potrošnju električne energije od strane potrošača, pa se mali dio električne energije uzima iz distribucijske mreže. Vidljivo je da fotonaponska elektrana proizvodi električnu energiju tokom cijele godine. U prvom primjeru napravljena je usporedba 10 vjetroturbina po 6 kW i FN elektrane 60 kW. Iz dijagrama se vidi da je proizvodnja veća od strane FN elektrane za 20% od properelne vjetroelektrane. Kod usporedbe vidimo da je godišnja proizvodnja FN elektrane 72573 kWh/god, a proizvodnja električne energije na godišnjoj razini od strane vjetroelektrane koja je povezana na distribucijskom mrežom iznosi 53507 kWh/god.

#### 4.3.2. Drugi primjer tehno-ekonomske analize mikromreže

U drugom primjeru na mikromrežu spojena je fotonaponska elektrana snage 60 kW. Zatim se na tu istu mikromrežu spaja vjetroelektrana snage 3 kW te vjetroelektranu Honeywell snage 4 kW, koje bi trebale proizvoditi električnu energiju, kada bi proizvodnja električne energije od strane fotonapona bila mala. Ali i samim time te vjetroelektrane bi služile i u laboratorijske svrhe, za proučavanje proizvodnje električne energije u gradu Osijeku. U sustav su još spojene i baterije, koje služe za skladištenje proizvedene električne energije, te omogućavaju korištenje te iste proizvedene električne energije za potrebe potrošača. Ukupni troškovi mikromreže, zamjena i održavanja fotonaponskih elektrana, vjetroelektrana, pretvarača i baterija su 1.022.208,29 kn.



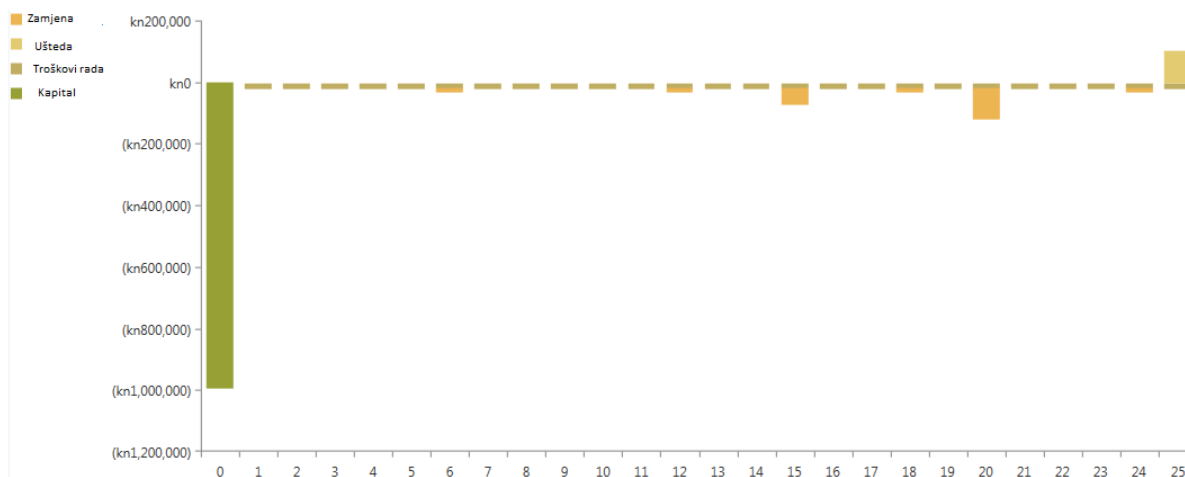
Slika 4.20. Ukupni troškovi mikromreže za drugi primjer [24]

U drugom primjeru vidimo da fotonaponska elektrana ima najveću instaliranu snagu kao i u prvom primjeru, te zato ima najveći investicijski trošak. Troškovi projektiranih vjetroelektrana unutar mikromreže 4 kW i 3 kW imaju neznatno male troškove u odnosu na FN elektranu. Distribucijska mreža koristi se većinom preko zime ali u malim postotcima, kada nema dovoljno sunčeve ozračenosti, te su zbog toga troškovi distribucijske mreže mali.

Tablica 8. Ukupni troškovi mikromreže za drugi primjer

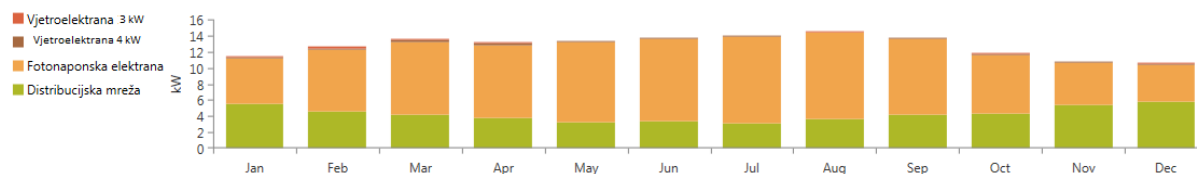
Komponenta	Kapital (kn)	Zamjena (kn)	Održavanje (kn)	Gorivo (kn)	Ušteda (kn)	Ukupni trošak (kn)
Baterija	20.720,00	26.602,42	129,28	0,00	3.566,25	43.885,45
Distribucijska mreža	118.814,98	0,00	0,00	0,00	0,00	118.814,98
Vjetroelektrana Honeywell 4 kW	33.300,00	10.616,28	19.391,27	0,00	5.982,96	57.324,59
Vjetroelektrana 3 kW	18.000,00	2.869,27	2.585,48	0,00	1.617,02	21.837,73
Prevarač	53.280,00	22.605,31	0,00	0,00	4.254,55	71.630,76
FN elektrana	697.080,00	0,00	11.634,78	0,00	0,00	708.714,78
Sustav	907.894,98	62.693,28	33.740,81	0,00	15.420,78	1.022.208,29

Sljedeća slika prikazuje tijek novca po komponentama mikromreže zgrade FERIT-a kroz 25 godina.



Slika 4.21. Tijek novca za drugi slučaj kroz 25 godina [24]

Proizvodnja električne energije tokom mjeseci prikazana je na slici. Ukupni prosjek od strane FN elektrane 64.84 % to jest 72573 kWh/god, vjetroelektrane 3 kW 0.82 %, to jest 917.16 kWh/god, vjetroelektrane 4 kW 1.10 %, to jest 2752 kWh/god, te od distribucijske mreže 33.24 % ili 37201 kWh/god.



Slika 4.22. Mjesečna prosječna proizvodnja snage [24]

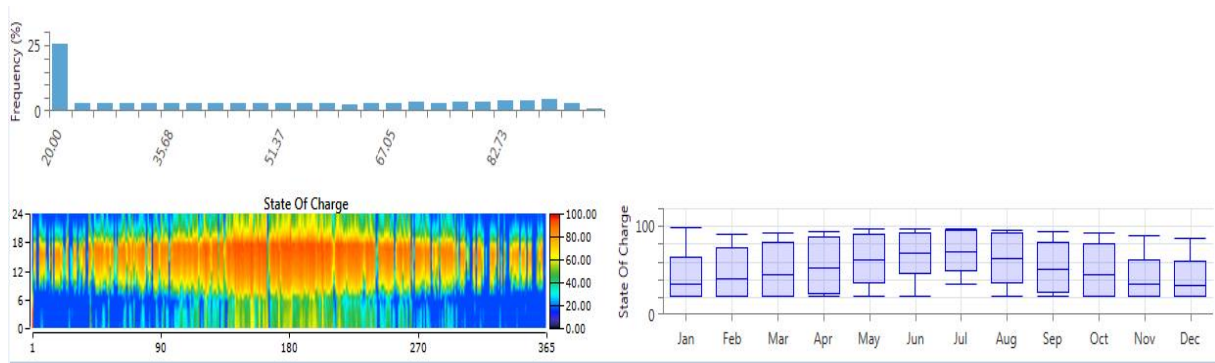
Tablica 9. Prikaz potrošnje električne energije u drugom primjeru

Potrošnja	kWh/god	%
AC primarno opterećenje	72.635	71.01
DC primarno opterećenje	0	0.00
Mrežna prodaja	29.797	28.99
<b>Ukupno</b>	<b>102.432</b>	<b>100.00</b>

Količina	Vrijednost
Frakcija obnovljivih izvora	63.8
Max. Dozračenost obn. izvora	561.5

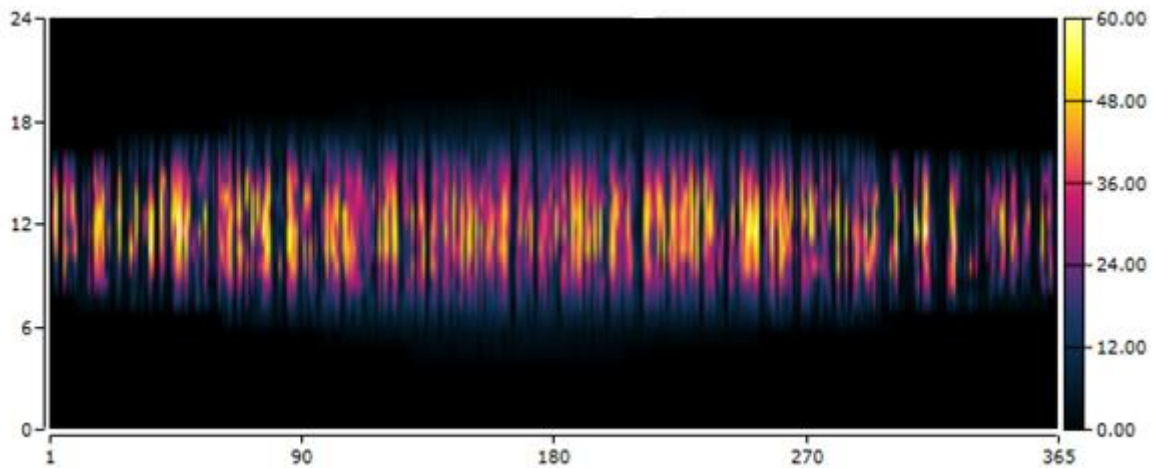
Sljedeća slika prikazuje stanje baterije Discover 12VRE-3000TF-L koja se nalazi unutar sustava mikromreže za skladištenje električne energije.





Slika 4.23. Prikaz stanja baterije Discover 12VRE-3000TF-L [24]

Proizvodnja električne energije od strane fotonaponske elektrane jednaka je kao i kod prvog slučaja tokom godine.



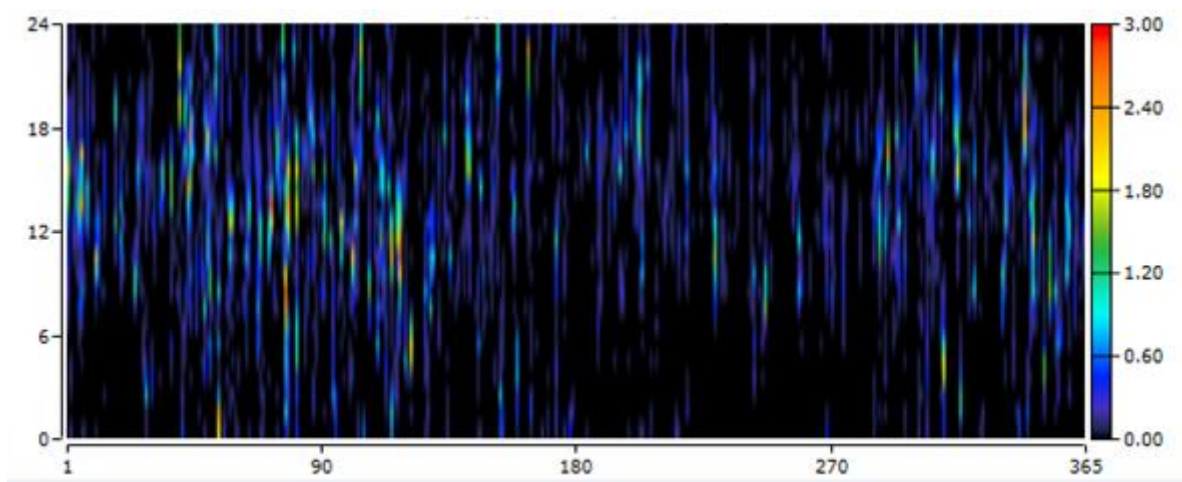
Slika 4.24. Prikaz izlazne snage od strane fotonaponske elektrane [24]

Tablica 10. Podatci izlazne snage fotonaponske elektrane

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	60.00	kW
Srednji izlaz	8.28	kW
Srednji izlaz	198.83	kWh/d
Faktor kapaciteta	13.81	%
Ukupna proizvodnja	72.573,33	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni Izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	59.5	kW
PV prodiranje	262	%
Sati rada	4,388	hrs/god
Izravni trošak	1,747	Kn/kWh

Proizvodnja vjetroelektrane od 3 kW i vjetroelektrane 4 kW prikazana je na slici.

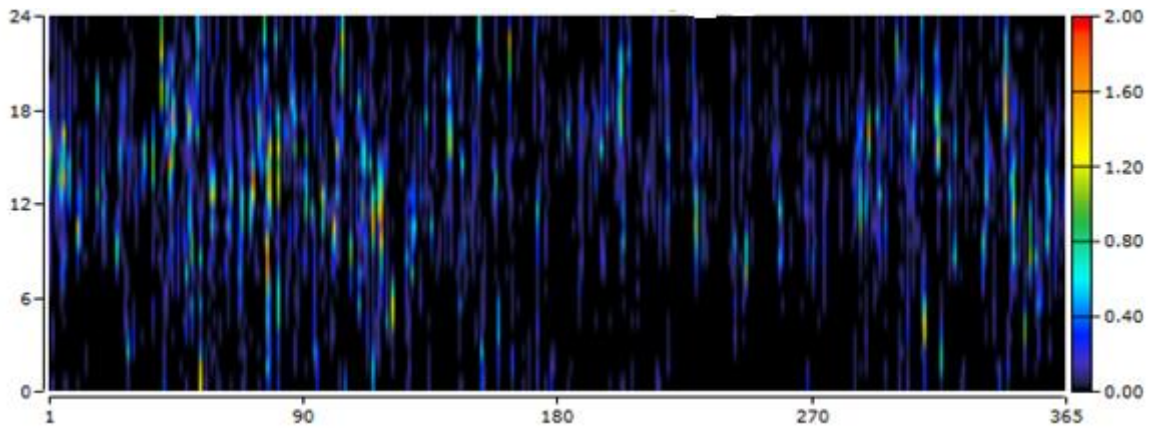


Slika 4.25. Prikaz izlazne snage vjetroelektrane snage 3 kW [24]

Tablica 11. Tablice prikazuju izlazne snage i ostale podatke vjetroelektrane snage 3 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	3.00	kW
Srednji izlaz	0.10	kW
Faktor kapaciteta	3.49	%
Ukupna proizvodnja	917.16	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	2.92	kW
Sati rada	4.783,00	hrs/god
Prodiranje vjetra	3.32	%
Izravni trošak	1.84	Kn/kWh



Slika 4.26. Prikaz izlazne snage vjetroelektrane Honeywell [24]

Tablica 12. Tablice prikazuju izlaznu snagu vjetroelektrane 4 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	4.00	kW
Srednji izlaz	0.25	kW
Faktor kapaciteta	3.89	%
Ukupna proizvodnja	2752	kWh/god

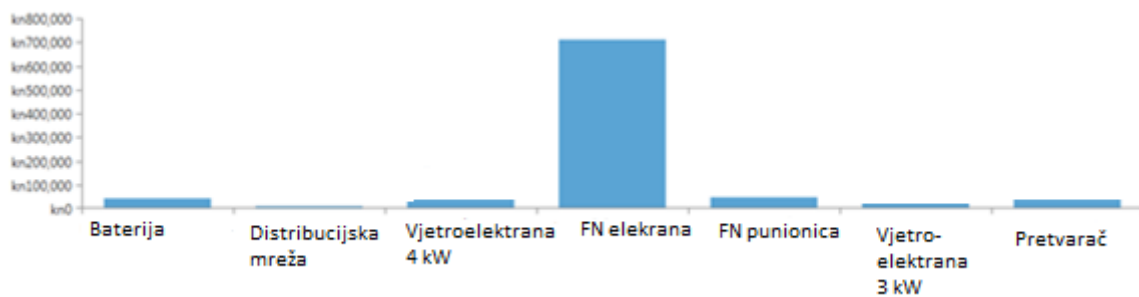
Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	3.88	kW
Sati rada	4.783,00	hrs/god
Prodiranje vjetra	4.45	%
Izravni trošak	3.60	Kn/kWh

U drugom primjeru vidljivo je da proizvodnja električne energije od strane obnovljivih izvora energije povećana. Najveća proizvodnja je od strane fotonaponske elektrane od četvrtog do devetog mjeseca, kada je sunčevo zračenje najizraženije. Proizvodnja od strane vjetroelektrana je također vidljiva. Najizraženija je proizvodnja od strane vjetroelektrana u proljeće i jesen. Distribucijska mreža bi se koristila više tokom zime, gdje proizvodnja električne energije od strane obnovljivih izvora energije nije toliko visoka te, ne može zadovoljiti sve potrebe potrošača unutar zgrade FERIT-a. U drugom primjeru vidimo da je ukupna proizvodnja električne energije na godišnjoj razini mikromreže 111.922 kWh/god.

### 4.3.3. Treći primjer tehno-ekonomske analize mikromreže

U trećem primjeru na mikromrežu spojena je fotonaponska elektrana snage 60 kW, vjetroelektrana snage 3 kW, vjetroelektrana snage 4 kW, baterije za skladištenje električne

energije, fotonaponska punionica snage 11 kW za električne bicikle te generator. Fotonaponska punionica bila bi u sklopu mikromreže, omogućavala bi punjenje baterija električnih bicikala. FN punionica bi bila vrlo korisna, jer studenti koji bi studirali na FERIT-u, a živjeli bi dalje od fakulteta, mogli bi koristiti takav prijevoz, ne samo oni već i svi djelatnici fakulteta. Također bi se mogla koristiti za laboratorijska istraživanja i daljnji razvoj takvih punionica. Što se tiče generatora, on bi uvelike poboljšao proizvodnju električne energije tokom noći za potrebe potrošača, jer tokom noći je mala proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije. Ukupni troškovi mikromreže, zamjena i održavanja fotonaponskih elektrana, vjetroelektrana, pretvarača, baterija, fotonaponske punionice te generatora su 1.079.478,99 kn.



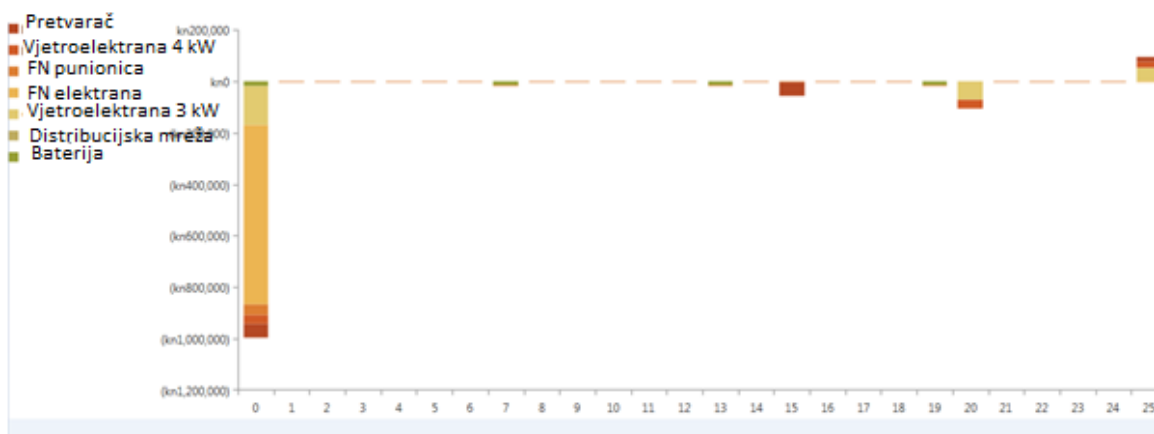
Slika 4.27. Ukupni troškovi za treći primjer mikromreže [24]

U trećem je primjeru kao i u prva dva primjera investicijski trošak fotonaponske elektrane najveći, zbog velike instalirane snage, jer proizvodnja električne energije od strane FN elektrane pokriva većinu potrošača unutar zgrade fakulteta FERIT. Investicijski troškovi vjetroelektrana su se povećali, ali i proizvodnja električne energije se povećala. U ovom primjeru je projektirana i FN punionica. Ta FN punionica bi trebala uzimala 11 kW električne energije iz sustava mikromreže, ali u ovom projektu je ona projektirana kao zasebna elektrana koja proizvodi električnu energiju, te bi služila za punjenje baterija električnih bicikala. Snaga pojedinog električnog bicikla bi bila 0.25 kW, te bi najveća moguća brzina koju bi mogao doseći električni bicikl bila oko 25 km/h. Ovisno o težini putnika moguće je proći i do 30 km. Punjenje baterije bi trajalo oko 7 sati. Baterije bi se trebale mjenjati svake 2 godine, broj ciklusa punjenja baterija su od 350 pa do 1000, ovisno o vrsti baterija (olovne, litijske).

Tablica 13. Ukupni troškovi za treći primjer mikromreže

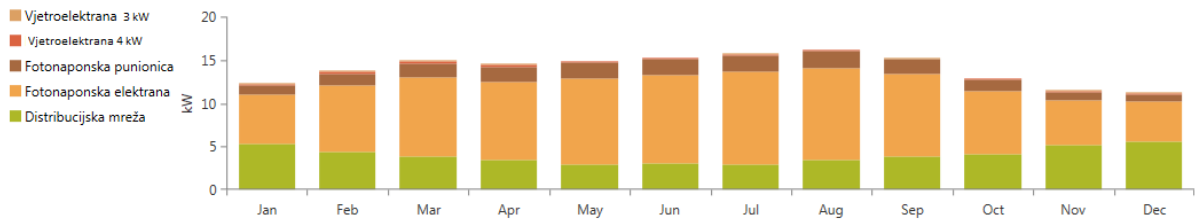
Komponenta	Kapital (kn)	Zamjena (kn)	Održavanje (kn)	Gorivo (kn)	Ušteda (kn)	Ukupni trošak (kn)
Baterija	20.720,00	26.954,92	129,28	0,00	3.305,16	44.499,04
Distribucijska mreža	128.308,37	0,00	0,00	0,00	0,00	128.308,37
Vjetroelektrana Honeywell 4 kW	33.300,00	10.616,28	19.391,27	0,00	5.982,96	57.324,59
Prevarač	53.280,00	22.605,31	0,00	0,00	4.254,55	71.630,76
Vjetroelektrana 3 kW	18.000,00	2.869,27	2.585,48	0,00	1.617,02	21.837,73
FN elektrana	697.080,00	0,00	11.634,78	0,00	0,00	708.714,78
FN punionica	40.700,00	0,00	6.463,77	0,00	0,00	47.163,77
Sustav	991.388,37	63.045,78	40.204,58	0,00	15.159,69	1.079.478,99

Tijek novca kroz 25 godina za treći slučaj prikazano je slici.



Slika 4.28. Tijek novca kroz 25 godina [24]

Proizvodnja električne energije tokom mjeseci za treći slučaj. Vidljiv je prosjek električne energije FN elektrane 58.97 %, to jest 72573 kWh/god, FN punionice 10.1 %, to jest 13305 kWh/god, Vjetroelektrane 3 kW 0.75 %, to jest 917 kWh/god, vjetroelektrane 4 kW 1.00 %, to jest 2752 kWh/god, distribucijske mreže 28.47 %, to jest 35043 kWh/god.



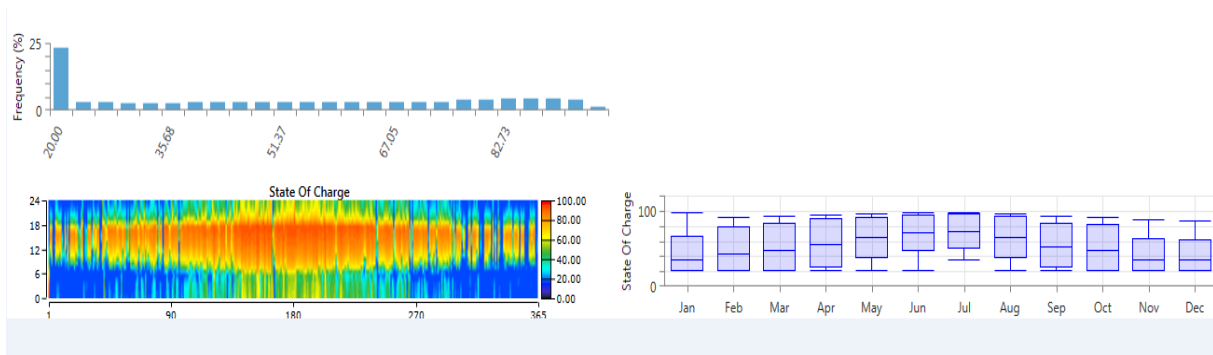
Slika 4.29. Mjesečna prosječna proizvodnja snage [24]

Tablica 14. Prikaz potrošnje električne energije za treći primjer

Potrošnja	kWh/god	%
AC primarno opterećenje	72.635	64.54
DC primarno opterećenje	0	0.00
Mrežna prodaja	39.906	35.46
Ukupno	112.541	100.00

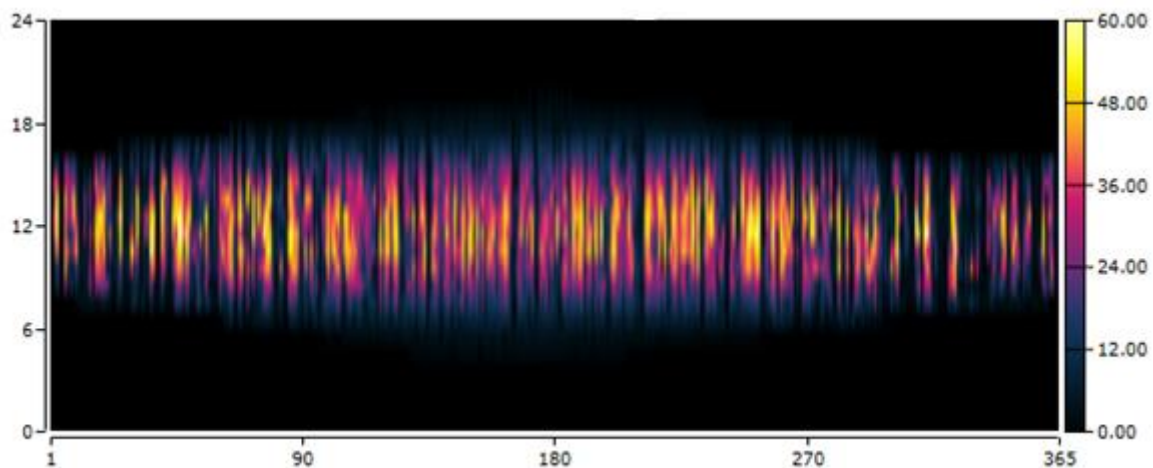
Količina	Vrijednost
Frakcija obnovljivih izvora	68.9
Max. Dozračenost obn. izvora	615.7

Sljedeća slika prikazuje stanje baterije Discover 12VRE-3000TF-L koja se nalazi unutar sustava mikromreže za skladištenje električne energije.



Slika 4.30. Stanje baterije [24]

Proizvodnja električne energije od strane fotonaponske elektrane 60 kW prikazana je na slici. Gdje se ujedno vidi najveća proizvodnja električne energije u određenom razdoblju.



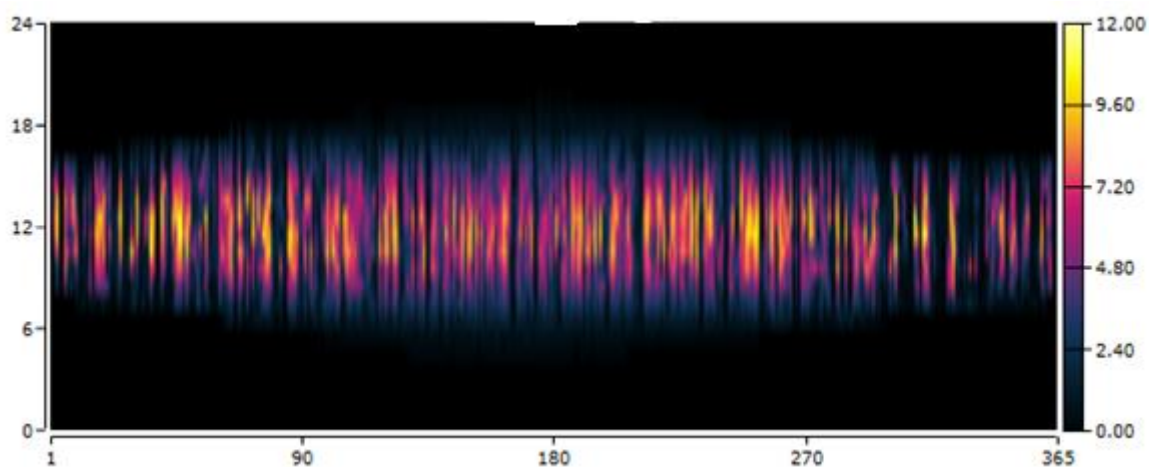
Slika 4.31. Prikaz izlazne snage od strane fotonaponske elektrane [24]

Tablica 15. Prikaz izlaznih tablica za fotonaponsku elektranu snage 60 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	60.00	kW
Srednji izlaz	8.28	kW
Srednji izlaz	198.83	kWh/d
Faktor kapaciteta	13.81	%
Ukupna proizvodnja	72.573,33	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni Izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	59.5	kW
PV prodiranje	262	%
Sati rada	4,388	hrs/god
Izravni trošak	1,756	Kn/kWh

Proizvodnja električne energije od strane fotonaponske punionice snage 11 kW za određena razdoblja tokom godine.



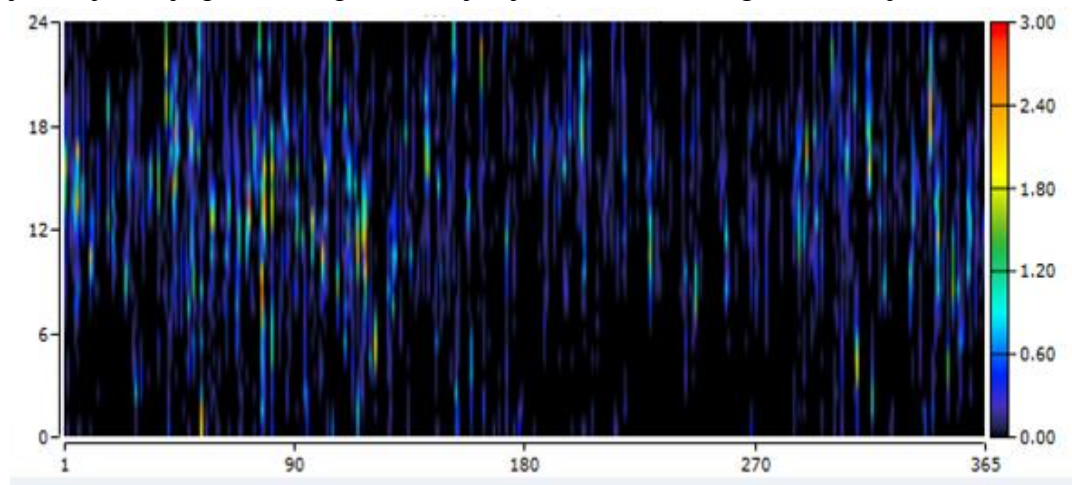
Slika 4.32. Prikaz izlazne snage od strane fotonaponske punionice [24]

Tablica 16. Tablice prikazuju izlazne snage fotonaponske elektrane 11 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	11.00	kW
Srednji izlaz	1.52	kW
Srednji izlaz	36.45	kWh/d
Faktor kapaciteta	13.81	%
Ukupna proizvodnja	13.305,11	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	10.9	kW
Sati rada	4.388	hrs/god
PV prodiranje	48.1	%
Izravni trošak	1.274	Kn/kWh

Na sljedećoj slici je prikazana proizvodnja vjetroelektrane snage 3 kW i vjetroelektrane 4 kW.



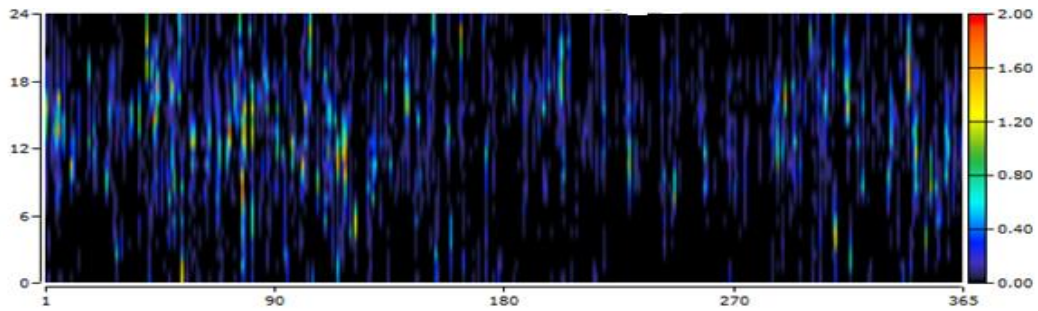
Slika 4.33. Prikaz izlazne snage vjetroelektrane 3 kW [24]

Tablica 17. Tablice prikazuju izlazne snage vjetroelektrane 3 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	3.00	kW
Srednji izlaz	0.10	kW
Faktor kapaciteta	3.49	%
Ukupna proizvodnja	917.16	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	2.92	kW
Sati rada	4.783,00	hrs/god
Prodiranje vjetra	3.32	%
Izravni trošak	14.10	Kn/kWh





Slika 4.34. Prikaz izlazne snage vjetroelektrane Honeywell 4 kW [24]

Tablica 18. Tablice prikazuju izlazne snagu vjetroelektrane 4 kW

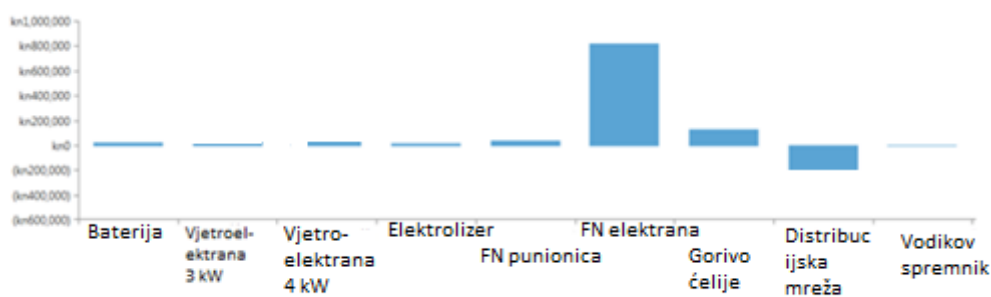
Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	4.00	kW
Srednji izlaz	0.25	kW
Faktor kapaciteta	3.89	%
Ukupna proizvodnja	2752	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	3.88	kW
Sati operacije	4.783,00	hrs/god
Prodiranje vjetra	4.45	%
Izravni trošak	3.66	Kn/kWh

U trećem primjeru vidljivo je da proizvodnja električne energije od strane obnovljivih izvora energije je povećana kao i kod drugog primjeru. Najveća proizvodnja je od strane fotonaponske elektrane od četvrtog do devetog mjeseca, kada je sunčevo zračenje najizraženije. Proizvodnja od strane vjetroelektrana je također vidljiva. Najizraženija je proizvodnja od strane vjetroelektrana u proljeće i jesen. Proizvodnja električne energije od strane fotonaponske punionice također je vidljiva, tokom cijele godine, što znači da bi bio uspješan projekt kada bi se uspjela izgraditi fotonaponska punionica. Tokom izvođenja simulacije, vidljivo je da se rad generator nigdje ne prikazuje u ovom slučaju, to jest njegovo korištenje nije zabilježeno u najboljem slučaju simulacije, jer zbog vrlo skupog goriva i velikih troškova generatora, generator nije prikazan u sustavu. Distribucijska mreža bi se koristila većinom tokom zime, gdje proizvodnja električne energije od strane obnovljivih izvora energije nije toliko visoka, te ne može zadovoljiti sve potrebe potrošača unutar zgrade FERIT-a kao i u drugom slučaju. Za treći primjer proizvodnja električne energije na godišnjoj razini iznosi 123.069 kWh/god.

#### 4.3.4. Četvrti primjer tehno-ekonomske analize mikromreže

.U četvrtom primjeru na mikromrežu spojena je fotonaponska elektrana snage 60 kW, vjetroelektrana snage 3 kW, te vjetroelektrana snage 4 kW, baterije za skladištenje električne energije, fotonaponska punionica za električne bicikle, generator i gorive ćelije. Gorivne ćelije bi omogućile proizvodnju električne energije pomoću vodika, koji bi se proizvodio unutar sustava. U prijašnjem dijelu teksta prikazano je koliko litara vode je potrebno za proizvodnju jedne litre vodika. Izgradnjom sustava gorivnih ćelija omogućava proučavanje i daljnji razvitak ovakvih sustava u laboratoriju. Ukupni troškovi mikromreže, zamjena i održavanja fotonaponskih elektrana, vjetroelektrana, pretvarača, baterija, fotonaponske punionice, generatora te gorivnih ćelija su 1.250.309,78 kn.



Slika 4.35. Ukupni troškovi mikromreže za četvrti primjer [24]

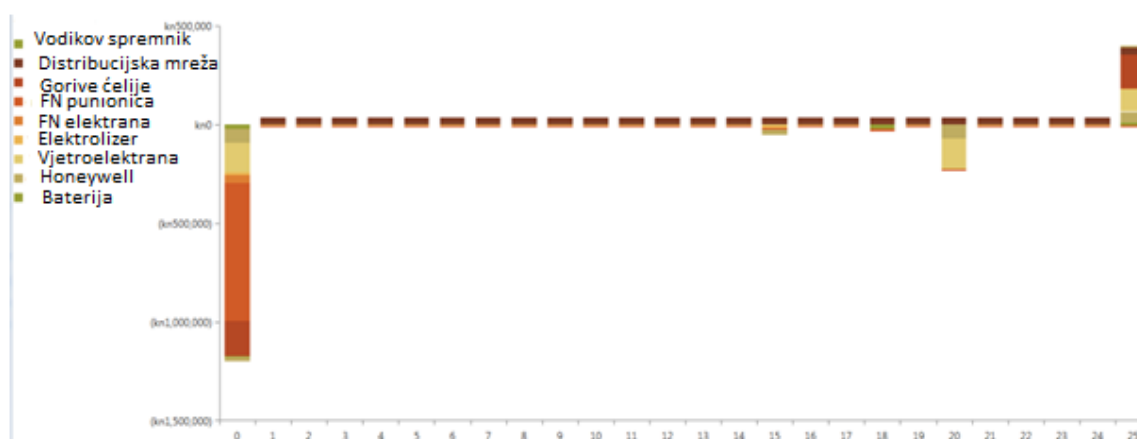
U četvrtom primjeru troškovi sustava su povećani zbog toga što je u projekt instalirana goriva ćelija. U troškove gorive ćelije spadaju troškovi samih gorivnih ćelija, troškovi elektrolizera, troškovi vodikovog spremnika. Troškovi vjetroelektrana snaga 4 kW i 3 kW ostaju ne promijenjeni kao i troškovi fotonaponske punionice 11 kW i fotonaponske elektrane 60 kW. U ovom primjeru kao i u drugom i trećem primjeru imamo troškove baterija, koje su prijeko potrebne radi skladištenja proizvedene električne energije. Troškovi baterija su mali s obzirom na ostale troškove komponenata mikromreže.

Tablica 19. Ukupni troškovi za četvrti primjer mikromreže

Komponenta	Kapital (kn)	Zamjena (kn)	Održavanje (kn)	Gorivo (kn)	Ušteda (kn)	Ukupni trošak (kn)
Baterija	20.720,00	26.954,92	129,28	0,00	3.305,16	44.499,04
Distribucijska mreža	136.976,38	0,00	0,00	0,00	0,00	136.976,38

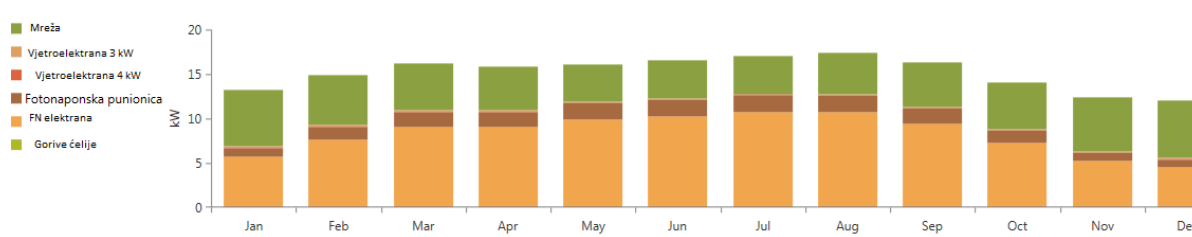
Vjetroelektrana Honeywell 4 kW	33.300,00	10.616,28	19.391,27	0,00	5.982,96	57.324,59
Prevarač	53.280,00	22.605,31	0,00	0,00	4.254,55	71.630,76
Vjetroelektrana 3 kW	18.000,00	2.869,27	2.585,48	0,00	1.617,02	21.837,73
FN elektrana	697.080,00	0,00	11.634,78	0,00	0,00	708.714,78
FN punionica	40.700,00	0,00	6.463,77	0,00	0,00	47.163,77
Elektrolizer	15.000,00	6.364,11	0,00	0,00	1.197,79	20.166,32
Gorivne ćelije	177.600,00	0,00	0,00	0,00	41.481,84	136.118,16
Vodikov spremnik	2.000,00	0,00	3.878,25	0,00	0,00	5.878,25
Sustav	1.194.656,38	69.409,89	44.082,83	0,00	57.839,32	1.250.309,78

Tijek novca tokom 25 godina za četvrti slučaj.



Slika 4.36. Tijek novca kroz 25 godina [24]

Prosječna proizvodnja električne energije od strane obnovljivih izvora energije. Vidljiv je prosjek električne energije FN elektrane 54.06 %, to jest 72573 kWh/god, FN punionice 10.02 %, to jest 13305 kWh/god, Vjetroelektrane 3 kW 0.46 %, to jest 917 kWh/god, vjetroelektrane 4 kW 0.60 %, to jest 2752 kWh/god, distribucijske mreže 13.98 %, to jest 33789 kWh/god, gorive ćelije 0.11 %, to jest 320 kWh/god.



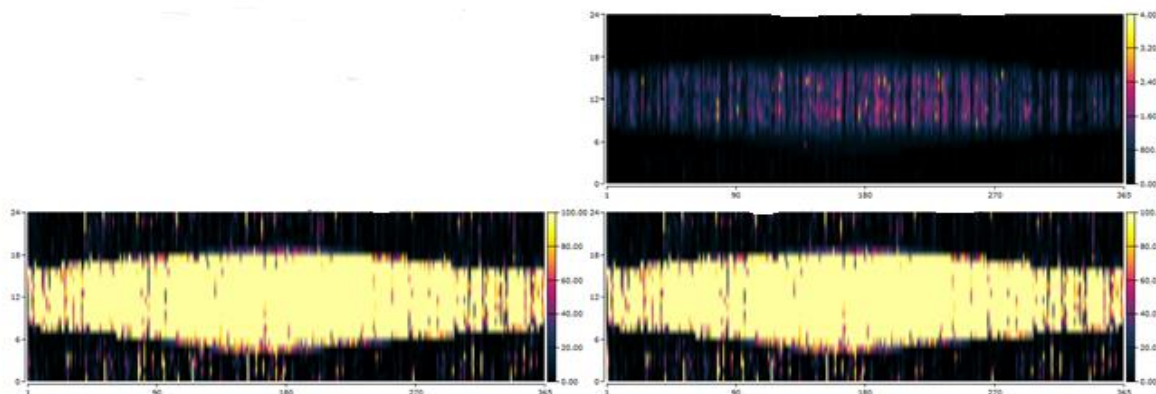
Slika 4.37. Mjesečna prosječna proizvodnja snage [24]

Tablica 20. Prikaz potrošnje električne energije za četvrti primjer

Potrošnja	kWh/god	%
AC primarno opterećenje	72.635	58.33
DC primarno opterećenje	0	0.00
Mrežna prodaja	46.664	37.63
Ukupno	124.524	100.00

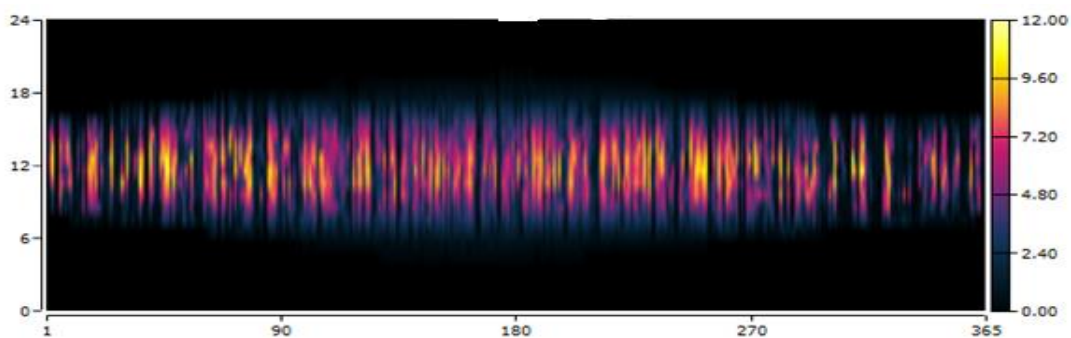
Količina	Vrijednost
Frakcija obnovljivih izvora	62.0
Max. Dozračenost obn. izvora	141.1

Sljedeća slika prikazuje prodor obnovljivih izvora električne energije.



Slika 4.38. Prodor obnovljivih izvora energije [24]

Sljedeće slike prikazuju izlazne snage za fotonaponsku elektranu snage 60 kW i fotonaponsku punionicu snage 11 kW.

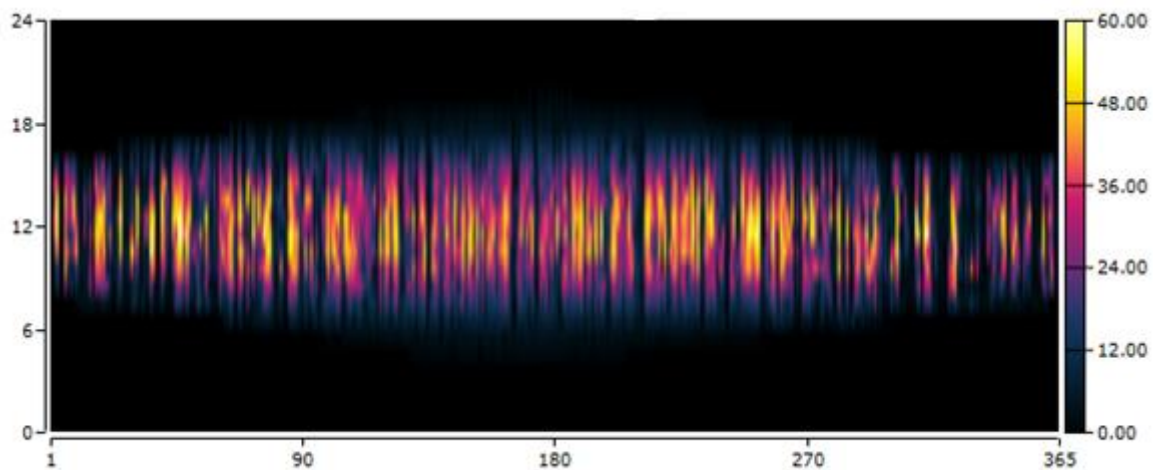


Slika 4.39. Prikaz izlazne snage od strane fotonaponske punionice [24]

Tablica 21. Tablice prikazuju izlazne snage fotonaponske elektrane 11 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	11.00	kW
Srednji izlaz	1.52	kW
Srednji izlaz	36.45	kWh/d
Faktor kapaciteta	13.81	%
Ukupna proizvodnja	13.305,11	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni Izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	10.9	kW
Sati rada	4.388	hrs/god
PV prodiranje	48.1	%
Izravni trošak	1.263	Kn/kWh



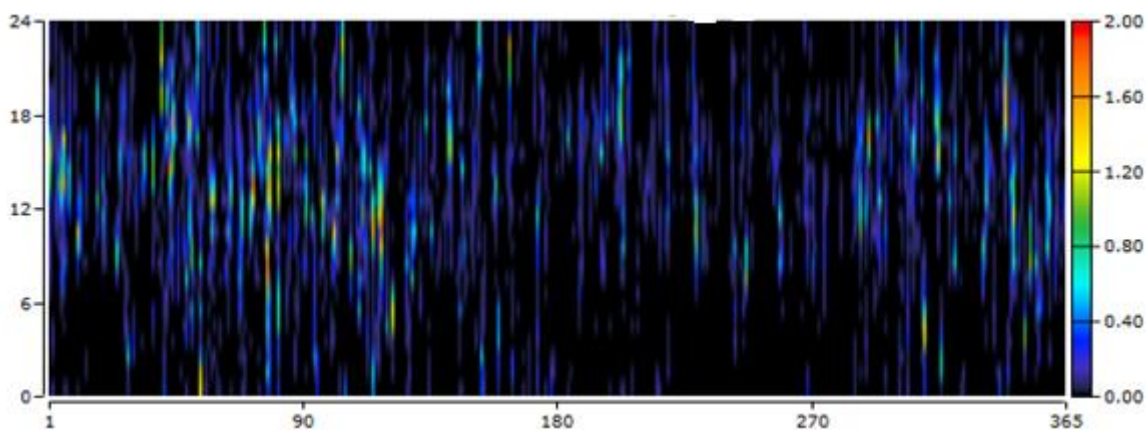
Slika 4.40. Prikaz izlazne snage od strane fotonaponske elektrane [24]

Tablica 22. Prikaz izlaznih tablica za fotonaponsku elektranu snage 60 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	60.00	kW
Srednji izlaz	8.28	kW
Srednji izlaz	198.83	kWh/d
Faktor kapaciteta	13.81	%
Ukupna proizvodnja	72.573,33	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni Izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	59.5	kW
PV prodiranje	262	%
Sati rada	4,388	hrs/god
Izravni trošak	1,889	Kn/kWh

Sljedeće slike prikazuju nam izlazne snage vjetroelektrane snage od 3 kW i vjetroelektrane snaga 4 kW.

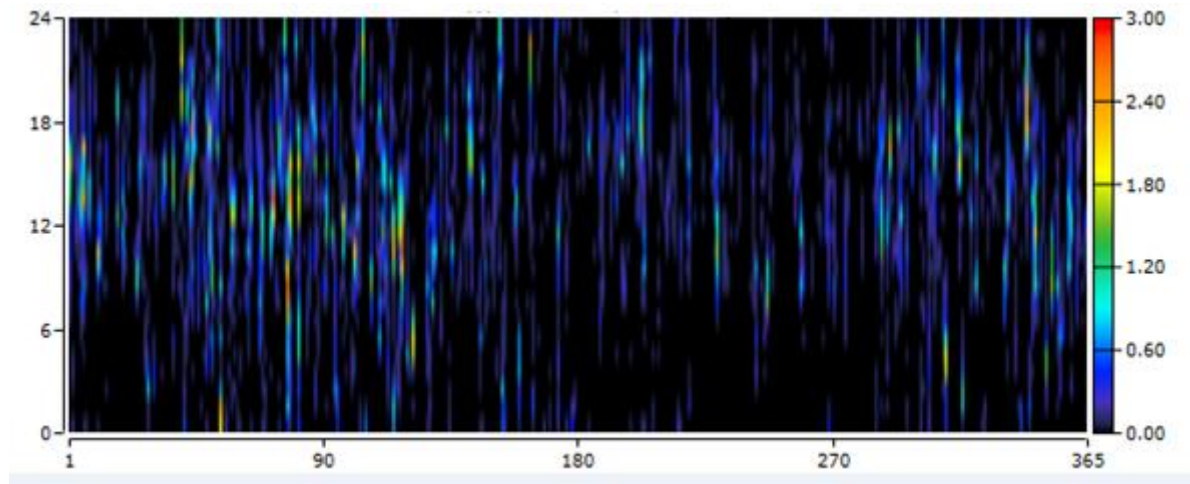


Slika 4.41. Prikaz izlazne snage vjetroelektrane Honeywell 4 kW [24]

Tablica 23. Tablice prikazuju izlaznu snagu vjetroelektrane 4 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	4.00	kW
Srednji izlaz	0.25	kW
Faktor kapaciteta	3.89	%
Ukupna proizvodnja	2752	kWh/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	3.88	kW
Sati operacije	4.783,00	hrs/god
Prodiranje vjetra	4.45	%
Izravni trošak	3.75	Kn/kWh



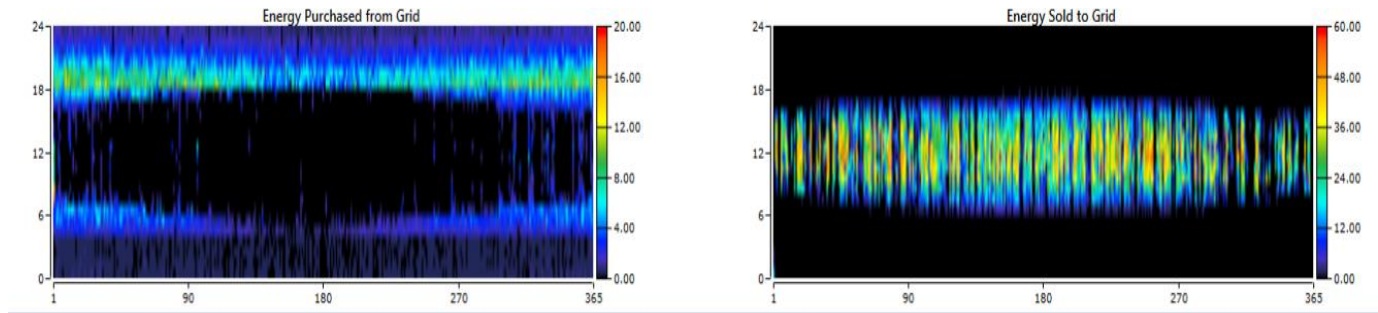
Slika 4.42. Prikaz izlazne snage vjetroelektrane 3 kW [24]

Tablica 24. Tablice prikazuju izlazne snage vjetroelektrane 3 kW

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivna snaga	3.00	kW
Srednji izlaz	0.10	kW
Faktor kapaciteta	3.49	%
Ukupna proizvodnja	917.16	kWh/god

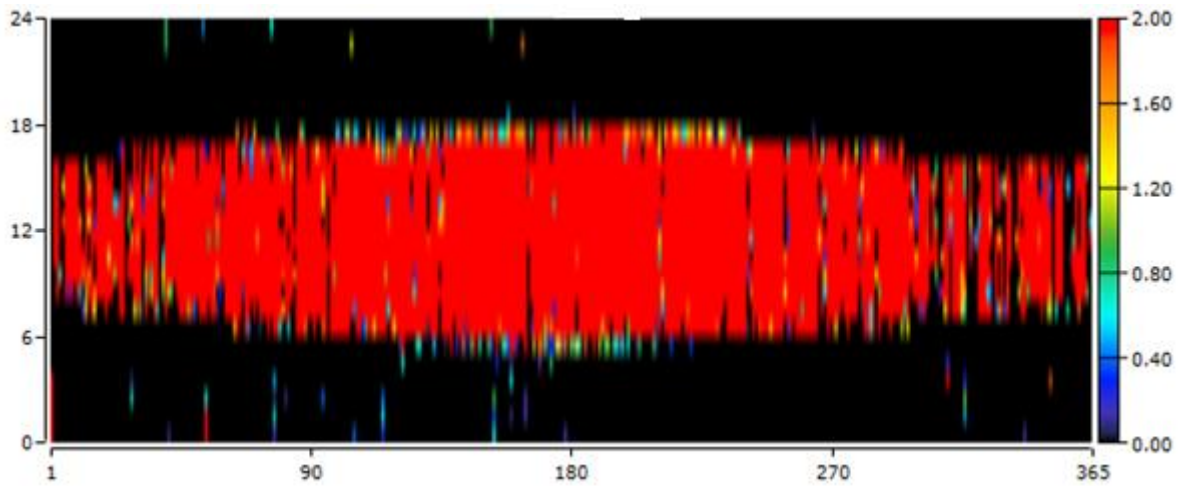
Količina	Vrijednost	Jedinica
Minimalni izlaz	0.00	kW
Maksimalni izlaz	2.92	kW
Sati rada	4.783,00	hrs/god
Prodiranje vjetra	3.32	%
Izravni trošak	16.68	Kn/kWh

Na slici je prikazan odnos kupljene energije i prodane energije u mrežu i iz mreže.



Slika 4.43. Kupljena i prodana energija iz i u mrežu [24]

Sljedeća slika prikazuje ulazne snage elektrolizera, gdje vidimo da su ulazne snage najveće između 10 i 14 sati.



Slika 4.44. Prikaz ulazne snage elektrolizera [24]

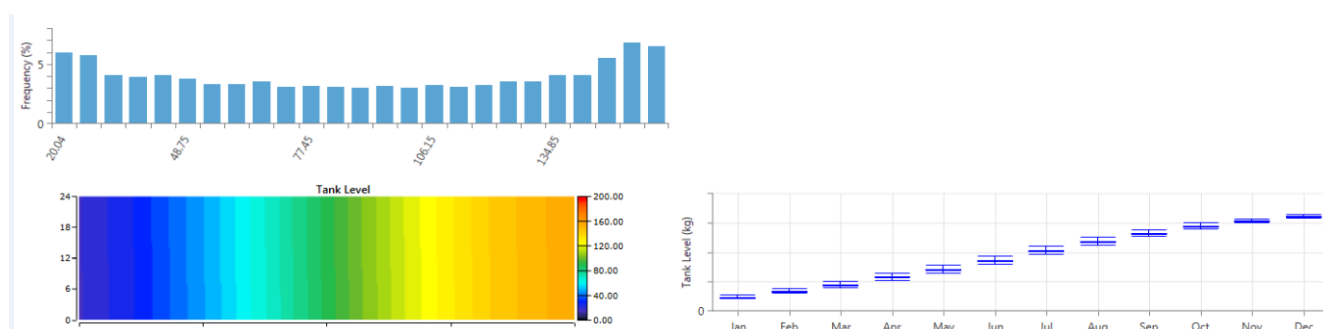


Tablica 25. Tablice prikazuju ulazne snage elektrolizera

Količina	Vrijednost	Jedinica
Nazivni kapacitet	2.00	kW
Srednji ulaz	0.76	kW
Minimalni ulaz	0.00	kW
Maksimalni ulaz	2.00	kW
Ukupna ulazna energija	6,661.83	kWh/god
Faktor kapaciteta	38.02	%
Ukupno sati rada	3,554,00	hr/god

Količina	Vrijednost	Jedinica
Srednji izlaz	0.02	kg/hr
Minimalni izlaz	0.00	kg/hr
Maksimalni izlaz	0.04	kg/hr
Ukupna proizvodnja	143.56	kg/god
Specifična potrošnja	46.41	kWh/kg

Za gorive ćelije potreban je vodik, kako bi se proizvodila električna energija. Potrebno je skladištiti vodik, zato se on skladišti u posebne spremnike za vodik.



Slika 4.45. Prikaz stanja vodikovog spremnika tokom mjeseci i godine [24]

U četvrtom slučaju vidi se da je proizvodnja električne energije vidljiva od strane svih izvora energije. Najveća proizvodnja je od strane fotonaponske elektrane od četvrtog do devetog mjeseca. Proizvodnja od strane vjetroelektrana je također vidljiva. Proizvodnja električne energije od strane fotonaponske punionice također je vidljiva, tokom cijele godine. Također je vidljivo da dolazi do male proizvodnje električne energije od strane gorivnih ćelija, razlog tome je skupa proizvodnja vodika. Tokom izvođenja simulacije, vidljivo je da se rad generator nigdje ne prikazuje u ovom slučaju, to jest njegovo korištenje nije zabilježeno u najboljem slučaju simulacije, jer zbog vrlo skupog goriva i velikih troškova generatora, generator nije prikazan u sustavu. Distribucijska mreža se koristi većinom tokom zime, ali i po ljeti u ovom slučaju simulacije. Tokom zime se koristi jer proizvodnja električne energije nije baš toliko izražena, odnosno velika. Proizvodnja električne energije na godišnjoj razini iznosi 132.783 kWh/god.

Iz sva četiri primjera vidimo da je najveća proizvodnja električne energije mikromreže u četvrtom primjeru 132.783 kWh/god. Jer četvrti primjer mikromreže sadržava puno više komponenata izvora električne energije od prvog, drugog i trećeg primjera. Također i instalirana snaga četvrtog primjera je najveća, kao i troškovi koji bi iznosili ukupno 1.250.309,78. Gledano od strane s ekonomskog gledišta bila vrlo isplativa investicija, a samim time ova mikromreža koristila bi se za različita laboratorijska proučavanja i razvoj.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan sustav mikromreže sa njezinim tehnologijama. Prikazan je optimizacijski sustav sa problemima rada mikromreže, te općenito o zaštiti mikromreže i ekonomskim i tehničkim prednostima mikromreže.

Zbog sve većih zahtjeva korisnika za instaliranjem takvih sustava, iako su još troškovi izgradnje skupi, mikromreže postaju sve raširenije, posebice su u prostorima gdje je elektroenergetska mreža ne pristupačna. Daljnjim istraživanjem i razvitkom novih tehnologija, mikromreža postaje jedan od najkorisnijih izvora za proizvodnju električne energije u svijetu.

Za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula, vjetroelektrana, jako bitan parametar nam je Sunce, to jest njegov intenzitet sunčeva zračenja ( $120 \text{ W/m}^2$ ) tijekom pojedinog dana, tokom zime, proljeća, jeseni i ljeta. Također za dobivanje električne energije vrlo bitno nam je i gorivo, kao na primjer Diesel goriva u generatorima, koje bi omogućavalo proizvodnju električne energije, tokom noći, kada nema sunčevog zračenja na površinu Zemlje. Ogrjevna vrijednost Diesel goriva je  $44,80 \text{ MJ/kg}$ . Vodik kao gorivo, jedan je od vrlo bitnih parametara kod gorivnih ćelija za proizvodnju električne energije. Daljnjim razvitkom gorivnih ćelija doći će do razvoja, gdje će se osim vodika koristiti više vrsta goriva kao što su metan, benzin i ostali.

Prilikom izvedbe simulacije u Homer programu, vidljivo je da u sva četiri slučaja koja su prikazana u radu prevladava proizvodnja električne energije od strane fotonaponske elektrane čija je instalirana snaga  $60 \text{ kW}$ . Također i ostali izvori električne energije također su prisutni i sudjeluju u proizvodnji. Mali prikaz proizvodnje vidljivo je kod gorivnih ćelija, zbog jako skupog goriva, te kod generatora, gdje je također vrlo bitno gorivo koje je jako skupo, te se ovi izvori energije koriste samo onda kada je to nužno.

Cjelokupno možemo zaključiti da je mikromrežni sustav danas jedan od najkorisnijih i najrazvijenijih sustava u svijetu za proizvodnju i opskrbu električnom energijom. Simulacija u Homer programu omogućava nam bolju predodžbu stanja i uvijete sustava mikromreže koje inače ne možemo saznati sami, ali i omogućava nam također uvid u mogućnost grešaka koje bi se mogle dogoditi pri samoj izvedbi projekta bez simulacije, te isplativost samoga projekta.

## LITERATURA

[1] Ljubomir Majdandžić: Fotonaponski paneli:

[http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01\\_handbook\\_fotonapon.pdf](http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf) [8.5.2017.]

[2] Električna energija:

<http://www.izvorienergije.com/energija.html> [8.5.2017.]

[3] Marijan Kalea: Opća svojstva nekovencionalnih obnovljivih izvora energije:

[http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF\\_OBNOVLJIVI\\_COM/Kalea\\_Opca\\_svojstva\\_NIE\\_OIE.pdf](http://www.obnovljivi.com/pdf/PDF_OBNOVLJIVI_COM/Kalea_Opca_svojstva_NIE_OIE.pdf) [8.5.2017.]

[4] Doc. dr. sc. Ljubomir Majdandžić, dipl. ing. ; Solarni sustavi [8.5.2017.]

[5] Definicija mikromreže:

<http://www.ho-cired.hr/wp-content/uploads/2013/06/SO4-18.pdf> [8.5.2017]

[6] Elektroenergetski sustav s distribuiranim izvorima:

<https://www.google.hr/search?q=Elektroenergetski+sustav+s+distribuiranim+izvorima&source> [9.5.2017.]

[7] Kontrola napona distribucijskih mreža s mikromrežama pomoću reaktivne snage  
Upravljanje:

[http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76399/36-aece\\_2015\\_1\\_12.pdf](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76399/36-aece_2015_1_12.pdf)  
[9.5.2017.]

[8] FN baterija – SolarShop:

<http://www.solarno.hr/katalog/proizvod/01010/akumulator-solarni-sole120ah>  
[9.5.2017.]

[9] Korisnička mikromreža (slika):

<https://www.cleanskies.org/infographics/microgrid/> [9.5.2017.]

[10] Otočne FN elektrane (slika):

<http://www.plan-net-solar.hr/solarne-elektrane/vrste-solarnih-elektrana/otocne-solarne-elektrane/> [10.5.2017.]

[11] Poslovno-industrijska mikromreža (slika):

<https://www.google.hr/search?biw=1000&bih=474&tbm=isch&sa=1&q=Poslovno-industrijska+mikromre> [10.5.2017.]

[12] Josip Tosic- Virtualne elektrane:

[https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/KDI-JosipTosic.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI-JosipTosic.pdf) [11.5.2017.]

[13] Matija Zecevic- Optimizacija i problem optimizacije mikromreže:

[http://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/KDI%2C\\_Matija\\_Zececic.pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI%2C_Matija_Zececic.pdf)  
[11.5.2017.]

[14] Davor Greganić- UPRAVLJANJE LABORATORIJSKOM MIKROMREŽOM:

<https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A813/datastream/PDF/view>  
[11.5.2017]

[15] Energija biomase teorija:

<http://tehno-dom.hr/energija-biomase/> [11.5.2017.]

[17] Damir Šljivac, Energija vjetra, predavanja:

[https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284661/mod\\_resource/content/4/OIelen\\_2016\\_2017\\_4poglavlje.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284661/mod_resource/content/4/OIelen_2016_2017_4poglavlje.pdf) [11.5.2017.]

[18] Postrojenje biomase (slika):

<http://www.sumari.hr/biomasa/cetvrtidanibiomase/KWKNasice.pdf> [11.5.2017.]

[19] Damir Šljivac, Sunčeva energija, predavanja:

[https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284808/mod\\_resource/content/4/PREDAVANJ A/OIelen\\_2016\\_2017\\_3poglavlje.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284808/mod_resource/content/4/PREDAVANJ A/OIelen_2016_2017_3poglavlje.pdf) [11.5.2017.]

[20] Danijel Šalković, Završni rad; Otočne FN elektrane, ETF Osijek, 2014. god. [15.6.2017.]

[21] Energija vode- hidroenergija:

[http://www.izvorienergije.com/energija\\_vode.html](http://www.izvorienergije.com/energija_vode.html) [15.6.2017.]

[22] Obnovljivi izvori električne energije:

[http://www.izvorienergije.com/obnovljivi\\_izvori\\_energije.html](http://www.izvorienergije.com/obnovljivi_izvori_energije.html) [15.6.2017.]

[23] Nikos Hatziargyriou; Microgrids Architectures and Controls, Ujedinjeno Kraljevstvo 2014. god. [15.6.2017.]

[24] Programski paket Homer:

HOMER\_What is Homer\_Homer [17.6.2017.]

[25] Diesel električni agregati i njihova primjena\_Dr Željko Despotović,  
dipl.el.inž\_PREDMET: SPECIJALNE ELEKTRIČNE INSTALACIJE [17.6.2017.]

[26] Pretvarač napona (inverter):

<http://www.solar-webshop.eu/hr/katalog/proizvod/30/> [17.6.2017.]

[27] Električna vozila teorija:

<http://www.schrack.hr/alternativni-izvori/elektromobilnost/punjenje-elektricnih-vozila/> [17.6.2017.]

[28] Damir Šljivac, Energija vjetra, Vjetroelektrana, predavanja:

[https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284661/mod\\_resource/content/4/OIelen\\_2016\\_2017\\_4poglavlje.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284661/mod_resource/content/4/OIelen_2016_2017_4poglavlje.pdf) [18.6.2017.]

[29] Baterija

<https://www.google.hr/search?q=Discover+12VRE-3000TF-L> [18.6.2017.]

[30] Slika vjetroelektrane Honeywel wind turbine:

<https://offgridcabin.files.wordpress.com/2011/01/wt6500-output-data.pdf> [18.6.2017.]

[31] Slika vjetroelektrane:

[https://www.google.hr/wind\\_tronict\\_turbine](https://www.google.hr/wind_tronict_turbine)[18.6.2017.]

[32] Teorija gorivih članaka:

[https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/ET13\\_Gorivni\\_clanci.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ET13_Gorivni_clanci.pdf) [18.6.2017.]

[33] Amjad Ali, Wuhua Li, Rashid Hussain, Xiangning He, Barry W. Williams and Abdul Hameed Memon; Overview of Current Microgrid Policies, Incentives and Barriers in the European Union, United States and China [20.9.2017.]

[34] Vjetroturbina Bergey Excel 6 kW:

<http://bergey.com/products/wind-turbines/6kw-bergey-excel> [20.9.2017.]

## **SAŽETAK**

Tehno-ekonomska analiza mikromreže zgrade FERIT-a

U ovom diplomskom radu, prikazane su važne karakteristike i tehnologije kojima se služi i od kojih je sastavljena mikromreža. U proračunskom dijelu predstavljena je mikromreža na zgradi fakulteta FERIT-a. Analiza se izvodila u računalnom programskom paketu HOMER, koji omogućuje prikaz tehno-ekonomske analize te mikromreže. Pomoću tog programa nastojalo se pronaći optimalno rješenje, sa parametrima i troškovima: troškovima održavanja, troškovima pojedinih komponenti ( FNE, VE, Gorivih ćelija) te troškovima same izgradnje. Troškovi već postojeće fotonaponske elektrane unijeti su prema dobivenim podacima, a ostali troškovi ostalih komponenti, unijeti su prema približnim izračunima i karakteristikama. Simulacijski program je prikazao idejno rješenje, koje će biti od vrlo važne koristi za izgradnju mikromreže na zgradi fakulteta FERIT.

Ključne riječi: mikromreža, fotonaponska elektrana, goriva ćelija, vjetroelektrana

## **ABSTRACT**

Techno-economic analysis of the FERIT building microgrid

In this graduate thesis, the important characteristics and technologies used are made up of microgrid. In the budget section a microgrid was introduced at the FERIT faculty building. The analysis was carried out in the HOMER computer program package, which enables the analysis of the techno-economic analysis and microgrid. With this program we tried to find the optimal solution, with parameters and costs: maintenance costs, the cost of each component (FNE, VE, fuel cells) and the cost of the construction itself. Costs of existing photovoltaic plants are entered according to the data obtained and the other costs of the other components are entered according to approximate calculations and characteristics. The simulation program has shown an ideal solution, which will be of great benefit for the construction of the microgrid at the FERIT faculty building.

Key words: microgrid, photovoltaic power plants, fuel cells, wind power plants



## ŽIVOTOPIS

Danijel Šalković, rođen 28.04.1992. godine u Našicama, Hrvatska. Osnovnu školu 'Ivane Brlić-Mažuranić' te Opću gimnaziju 'Stjepan Ivšić' završava u Orahovici s vrlo dobrim uspjehom. Na sveučilištu Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku upisuje Elektrotehnički fakultet, stručni studij Elektroenergetika 2011. godine. Tijekom studiranja odradio praksu u HEP ODS d.o.o. u Orahovici, na području za mjerenja petlje otpora uzemljenja. Od strani jezika koristi se njemačkim i engleskim jezikom u govoru i pismu.

Godine 2011. upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Preddiplomski stručni studij Elektrotehnike, smjer Elektroenergetika. Stručni studij završava 2014. godine, te iste te godine upisuje Razlikovne obveze za upis u Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnike, smjer Elektroenergetika.. Razlikovne obveze završava 2015. godine, gdje iste te godine upisuje Diplomski studij, smjer Održiva elektroenergetika, DEB.

## **PRILOZI**

Na CD-u se nalazi:

- Diplomski rad\_ Tehno-ekonomska analiza mikromreže zgrade FERIT-a u PDF i Wordu
- Prezentacija diplomskog rada\_ Tehno-ekonomska analiza mikromreže zgrade FERIT-a