Mikromreže

Jovanovac, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:694266

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

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

Sveučilišni studij

MIKROMREŽE

Diplomski rad

Ivona Jovanovac

Osijek, 2016. godina

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

ETFOS ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek,

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	
Studij, smjer:	
Mat. br. studenta, godina upisa:	
Mentor:	
Sumentor:	
Predsjednik Povjerenstva:	
Član Povjerenstva:	
Naslov diplomskog rada:	
Primarna znanstvena grana rada:	
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	
Zadatak diplomskog rada:	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: Jasnoća pismenog izražavanja: Razina samostalnosti:

Potpis sumentora:	Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

U Osijeku, godine

Potpis predsjednika Odbora:

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek,

Ime i prezime studenta:	
Studij :	
Mat. br. studenta, godina upisa:	

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**:**

izrađen pod vodstvom mentora

i sumentora

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. POJAM MIKROMREŽE 2

2.1 Združivanje distribuirane proizvodnje i mikromreže 4

2.2 Pojašnjenje mikromreže 6

2.2.1 Mikromreže u odnosu na virtualne elektrane 9

2.3 Upravljivi elementi i operacijske strategije mikromreže 10

2.3.1 Intermitentni izvori električne energije 11

2.3.2 Upravljivi mikroizvori i kogeneracijska postrojenja 11

2.3.3 Jedinice za pohranu energije 12

2.3.4 Operacijske strategije mikromreže 12

3. PROBLEMATIKA UPRAVLJANJA MIKROMREŽAMA 13

3.1 Funkcije upravljanja 14

3.2 Uloga informacijske i komunikacijske tehnologije 15

3.3 Arhitektura upravljanja mikromrežom 16

3.3.1 Hijerarhijska razina upravljanja 16

3.3.2 Mikromrežni operatori 19

3.4 Centralizirano i decentralizirano upravljanje 19

3.4.1 Centralizirano upravljanje i analiza slučaja 19

3.4.2 Decentralizirano upravljanje 22

3.4.3 Prognoza potražnje 22

4. PREGLED PROJEKATA MIKROMREŽA U EUROPI 23

4.1 Terenska ispitivanja u Gaidouromandra, Kythnos Microgrid (Grčka)_ inteligentno decentralizirano upravljanje opterećenjem u izoliranom sustavu 23

4.2 Terenska ispitivanja u Meinheimu (Njemačka)- prijelaz s mrežnog rada na otočni način rada 24

4.3 Mikromreža u Bronsbergenu (Nizozemska)- otočni rad i pametno skladištenje energije 26

5. SIMULACIJA U PROGRAMSKOM PAKETU HOMER 30

5.1 Cilj projektnog zadatka 30

5.2 Komponente korištene u programskom paketu Homer 30

5.3 Optimiranje mikromreže na FERIT-u pomoću programskog paketa Homer 37

LITERATURA 55

SAŽETAK 57

ABSTRACT 57

ŽIVOTOPIS 58

1. UVOD

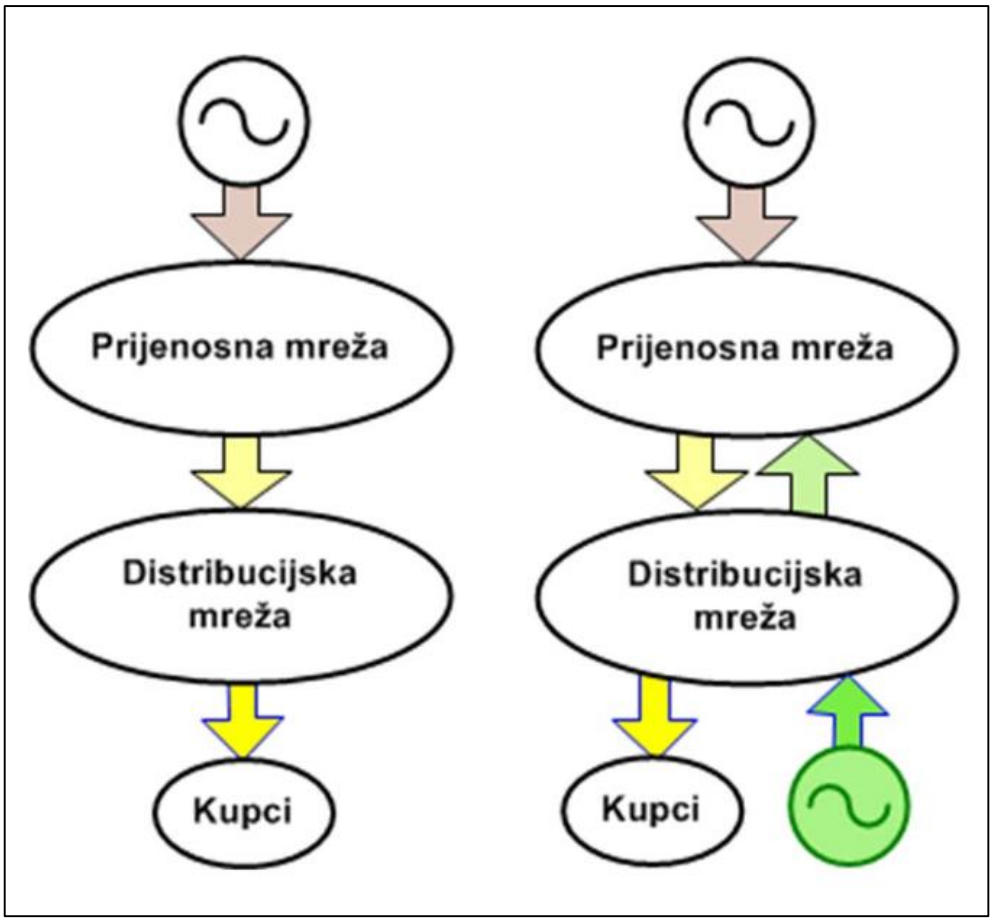
Život bez električne energije nezamisliv je u današnjem svijetu. Ljudska ovisnost o električnoj energiji je sve veća što pokazuje činjenica da potražnja fosilnih goriva za proizvodnju električne energije neprestano raste. Korištenje obnovljivih izvora energije je u porastu, ali je njihov udio u proizvodnji električne energije i dalje vrlo mal. [27] Društveno ekonomskim razvojem svijeta raste i potražnja za kvalitetnom električnom energijom koju je potrebno isporučiti u najkraćem vremenskom roku uz ispunjene tehničke uvjete sustava sigurnosti te uz ekonomski prihvatljive uvjete. Rastući broj tehničkih, financijskih i socijalnih faktora doprinose razvoju mikromreža- najvećoj dolazećoj promjeni infrastrukture električne energije. Mikromreža predstavlja integraciju distribuirane proizvodnje električne energije, skladištenja električne energije te upravljanja potrošnjom. Cijena distribuirane proizvodnje u neprestanom je padu, javlja se potreba za mrežnom pouzdanošću, posebice u zemljama sa lošim meteorološkim uvjetima i smanjenom koncentracijom potrošača. Oluje i ostale veće vremenske nepogodne povećavaju potrebu za lokalnim pomoćnim napajanjem koje bi opskrbljivalo centre za javnu sigurnost, bolnice i ostale javne službe u kriznim situacijama. Troškovi i složenost građe mikromreže, te interkonekcija mikromreža se rješavaju putem brojnih pilot projekata. [1]

Mikromreže već desetljećima postoje na određenim lokacijama kao što je to primjer na sveučilištu u Kaliforniji, San Diego. Sveučilište posjeduje 42 MW mikromrežu koja samostalno generira 92% vlastitog godišnjeg opterećenja električne energije i 95% opterećenja pri grijanju i hlađenju. Važnost mikromreže leži u činjenici da Sveučilište uz pomoć vlastite mreže mjesečno uštedi preko 800,000 $. [1] Uz pomoć tzv. glavnog kontrolera izvršava se cjelokupan monitoring sustava u stvarnom vremenu te se izvodi analiza elektroenergetskog sustava radi provjere pouzdanosti i ograničenja za planiranje i rad mikromreže. Ovakav primjer je dokaz kako je mikromreža temelj daljnjeg razvoja elektroenergetske infrastrukture i komunikacijske tehnologije koja bi doprinijela zaštiti sustava.

U radu će biti objašnjen koncept mikromreže, rad i upravljanje mikromrežom, problem prognoze potrošnje električne energije, te opis postojećih infrastruktura mikromreže diljem svijeta. U praktičnom dijelu biti će dana analiza optimalnog sustava mikromreže na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.

2. POJAM MIKROMREŽE

Pojam mikromreže odnosi se na elektroenergetski sustav sa distribuiranim izvorima energije i nikako ga se ne smije vezati uz veličinu mreže, već uz njenu funkciju. Postojeći elektroenergetski sustav mora se nositi sa razvojem tehnologije i društva te ekonomskim problemima. Sustav i problematika te zaštita u elektroenergetskom sustavu je zahtjevan izazov za elektroinženjere, a potreba za sigurnim elektroenergetskim sustavom je primarna. Kvaliteta električne energije mora biti odgovarajućih značajki i energija treba biti stalno dostupna, troškovi opskrbe električnom energijom moraju biti optimalni a energetska učinkovitost treba biti prisutna u svim aspektima potrošnje energije. Svi spomenuti izazovi igraju veliku ulogu u razvoju mikromreže, energetske mreže koja bi trebala pokriti nedostatke sustava kakvog danas poznajemo-te unaprijediti proizvodnju i korištenje električne energije. Mikromreža je sposobna raditi u otočnom pogonu koji je veoma koristan prilikom pojave bilo kakvih kvarova a isto tako i pri dovođenju električne energije u zabačene krajeve, no problem ovakvog režima rada je kontrola frekvencije, napona, reaktivne i aktivne snage. [11] Isto tako mikromreža može raditi i paralelno s postojećom mrežom gdje ju operator sustava nadgleda kao upravljivu cjelinu. Mikromreža podržava fleksibilnu i učinkovitu električnu mrežu omogućavajući integraciju obnovljivih izvora energije. Osim toga, korištenjem lokalnog izvora električne energije koji smanjuje opterećenje postojeće mreže, smanjuju se gubici u prijenosu i distribuciji te se tako povećava učinkovitost sustava isporuke električne energije. [2] Energetski sustav na razini distribucije treba evoluirati da bi se olakšao takav pristup distribuiranoj proizvodnji temeljenoj na obnovljivim izvorima energije, te kako bi se uspostavio komunikacijski sustav koji će omogućiti interakciju s krajnjim korisnicima radi dobivanja podataka o količini tražene energije. Prisutnost distribuiranih izvora polako pretvara distribucijsku mrežu iz pasivne mreže u aktivnu što je rezultiralo da se u nekim granama mreže mijenja smjer tokova snaga. [3] Aktivna mreža zahtjeva novu opremu i usluge, kontrolu napona, zaštitu sustava i proračun tokova snaga što bitno otežava posao dispečera sustava. No, glavna funkcija takve mreže dakako je ujednačiti proizvodnju i potrošnju električne energije u realnom vremenu.



Sl. 2.1. *Principijelni blok dijagram pasivne i aktivne mreže [4]*

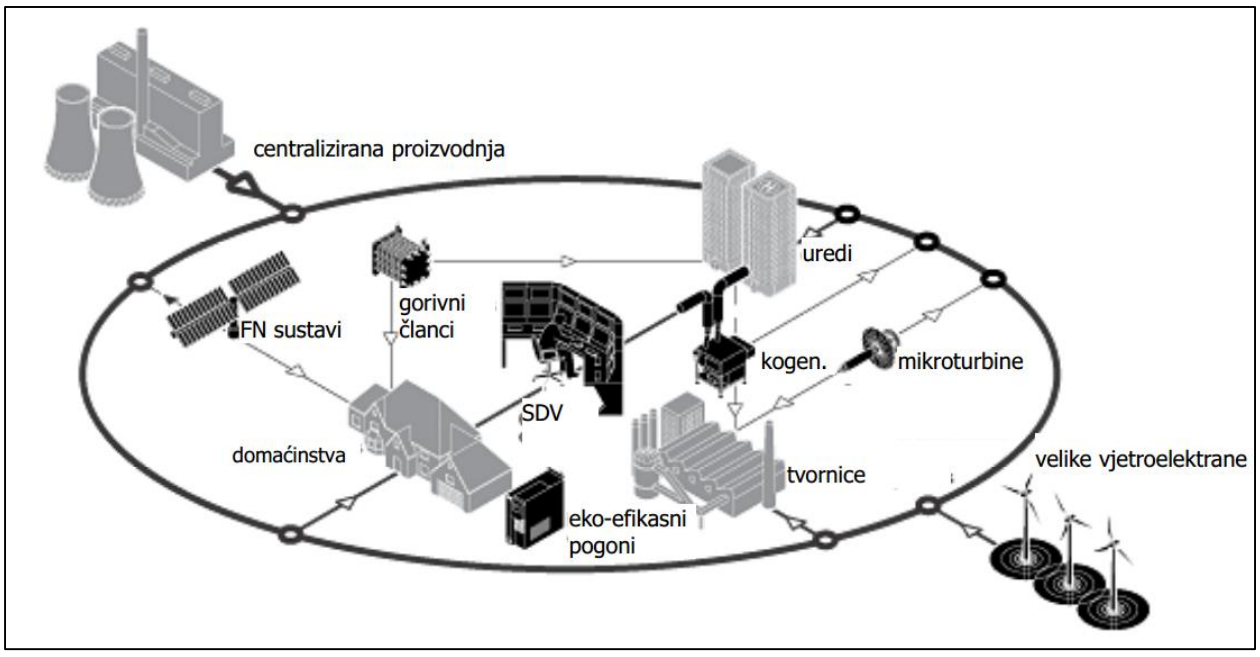
Organizacija mikromreže se temelji na upravljačkim svojstvima nad mrežom koja sadrži mikroturbine, gorivne ćelije i fotonaponske elektrane zajedno sa sustavima za pohranu energije kao što su zamašnjaci[1], baterije, ultrakondenzatori[2] i gorivne ćelije. Ovakvim sustavom omogućava se kontinuirana opskrba u slučaju kvara, katastrofe ili nekog drugog poremećaja koji može prekinuti opskrbu električnom energijom. [5] Ključni potencijal mikromreže leži u mogućnosti da krajnji korisnici imaju mogućnost, na lokalnoj razini, pravilno upotrijebiti svu neiskorištenu toplinu koja je nusproizvod dobivanja električne energije, posebice kućanstva koja se nalaze u zemljama s hladnijom klimom. Sa stajališta iskoristivosti, primjena mikromreže može smanjiti potrebu za distribucijskim i prijenosnim jedinicama. Na primjer, distribuirana proizvodnja u neposrednoj blizini opterećenja može imati vrlo korisne učinke za sustav u smanjenju tokova snaga u prijenosnoj i distribucijskoj mreži što dovodi do smanjenja gubitaka. Mikromreža može u situacijama kada je veliko opterećenje biti i potpora mreži. Sve spomenute karakteristike

[1] Zamašnjaci su uređaji s velikim momentom inercije koji se koriste za pohranu mehaničke energije.
[2] Ultrakondenzatori su građeni od dvije metalne ploče između kojih je izolator.

mikromreže dovoljan su dokaz kako je potrebno razvijati novi koncept elektroenergetskog sustava u svijetu koji se razvija brzo i kojemu je takva promjena prijeko potrebna. [5]

2.1 Združivanje distribuirane proizvodnje i mikromreže

Distribuirana proizvodnja predstavlja termin kojim se označuje proizvodnja električne energije na lokaciji potrošača. [7] 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 ka potrošaču. Iz tog razloga provedene su mnoge su studije o povezivanju distribucijske proizvodnje unutar distribucijske mreže i to u rasponu od upravljanja i zaštite do stabilnosti i kvalitete električne energije. Različite tehnologije mikromreže kao što su mikroturbine, fotonaponi, gorivne ćelije i vjetroturbine mogu se direktno spojiti na niskonaponsku mrežu. Takve su se jedinice pojavile kao obećavajuća opcija kupcima koji zahtijevaju pouzdanu i kvalitetnu električnu energiju. S prodiranjem ovakvih tehnologija jasno je da niskonaponska mreža više neće biti smatrana pasivnim dodatkom prijenosne mreže.

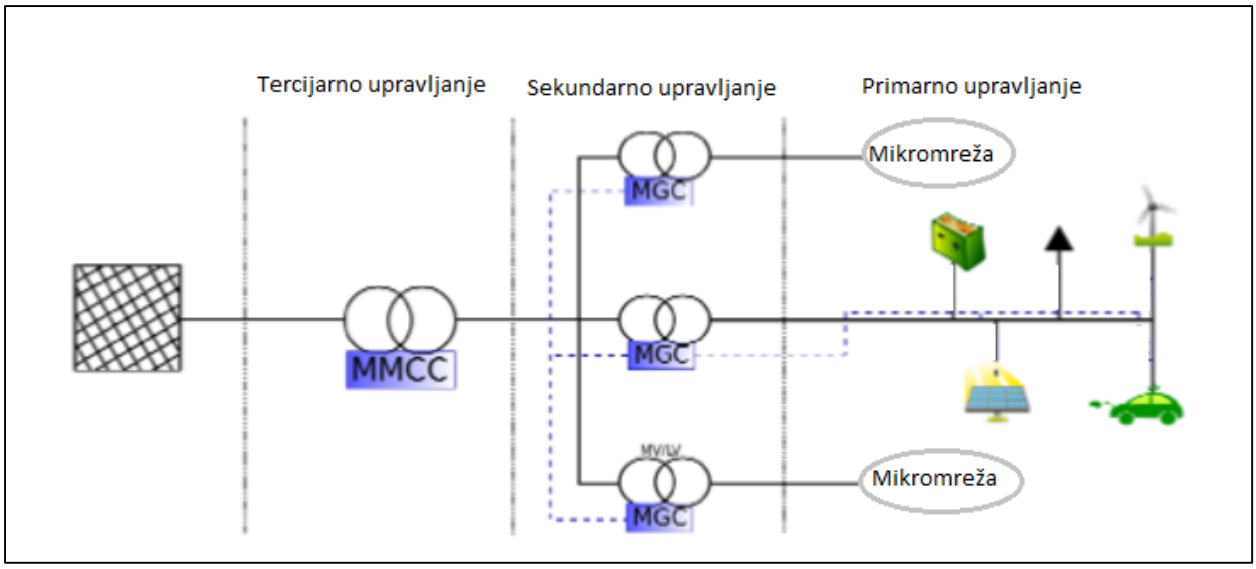


Sl. 2.2. *Konfiguracija elektroenergetskog sustava sa distribuiranim izvorima energije [10]*

Utjecaj mikroizvora na uravnoteženu proizvodnju i potrošnju električne energije te mrežnu frekvenciju mogla bi postati vrlo značajna prednost same mikromreže. Nadzor i upravljanje mikromrežom potrebno je kako bi se olakšala integracija mikroproizvodnje, te olakšao nadzor i upravljanje opterećenjem sustava. To bi donijelo niz potencijalnih prednosti na svim naponskim

razinama distribucijske mreže. No, da bi se to postiglo trebaju biti usvojene različite strategije hijerarhijskog upravljanja. Primarna ekonomska značajka primjene distribuiranih izvora energije jest iskorištavanje toplinskih gubitaka prilikom pretvorbe koja se odvija za dobivanje električne energije. Mala kogeneracijska postrojenja primjer su dobro korištenih osnovnih izvora energije koja dobro manipuliraju gubicima i doprinose smanjenju stakleničkih plinova. Distribuirana proizvodnja združena s mikromrežom dobra je podrška sustavu za vrijeme poremećaja. Mogućnošću upravljanja mikromrežama, distribuiranim izvorima energije koji su povezani na mrežu, te upravljanja opterećenjem uvodi se koncept mnogostrukih mikromreža. [5] Mnogostruka mikromreža je mreža s hijerarhijskom strukturom upravljanja. Sastoji se od primarne, sekundarne i tercijarne razine upravljanja. Primarna razina upravljanja je prva razina hijerarhijske mreže, njena najveća značajka je najbrži odziv. Uloga primarne razine je držati frekvenciju i napon pod kontrolom. Sastoji se od lokalnog upravljanja proizvodnjom električne energije iz kućanstva, upravljanja skladištenjem električne energije te upravljanja upravljivim opterećenjima. Sekundarna razina upravljanja je odgovorna za kvalitetu električne energije i ublažavanje odstupanja frekvencije i napona od normalne razine koja je podešena primarnim kontrolerom. Tercijarna razina upravljanja predstavlja najvišu razinu kontrole, ona je zadužena, ovisno o optimalnim tokovima energije, postaviti dugoročne početne uvjete na temelju informacija primljenih o statusu distribuiranih izvora energije, tržišne signale i druge zahtjeve sustava. [11] Svi lokalni kontroleri su upravljivi i upravljaju se MGC-om[3] *(„Microgrid controller")* koji je odgovoran za razmjenu informacija sa tercijarnim kontrolorem- MMCC-om[4] (*„Multi- Microgrid central controller"*). MGC je neovisan o operatoru distribucijskog sustava. MMCC koordinira rad distribucijskog sustava od strane raspoređivanja svih raspoloživih resursa uključujući i one koje se nude od strane mikromrežnih operatora. [6]

[3] MGC (kontroler mikromreže) nadzire i upravlja proizvodnju električne energije, opterećenje i zaštitu.
[4] MMCC (multicentralni mikromrežni kontroler) je kontroler iz tercijarne razine upravljanja.

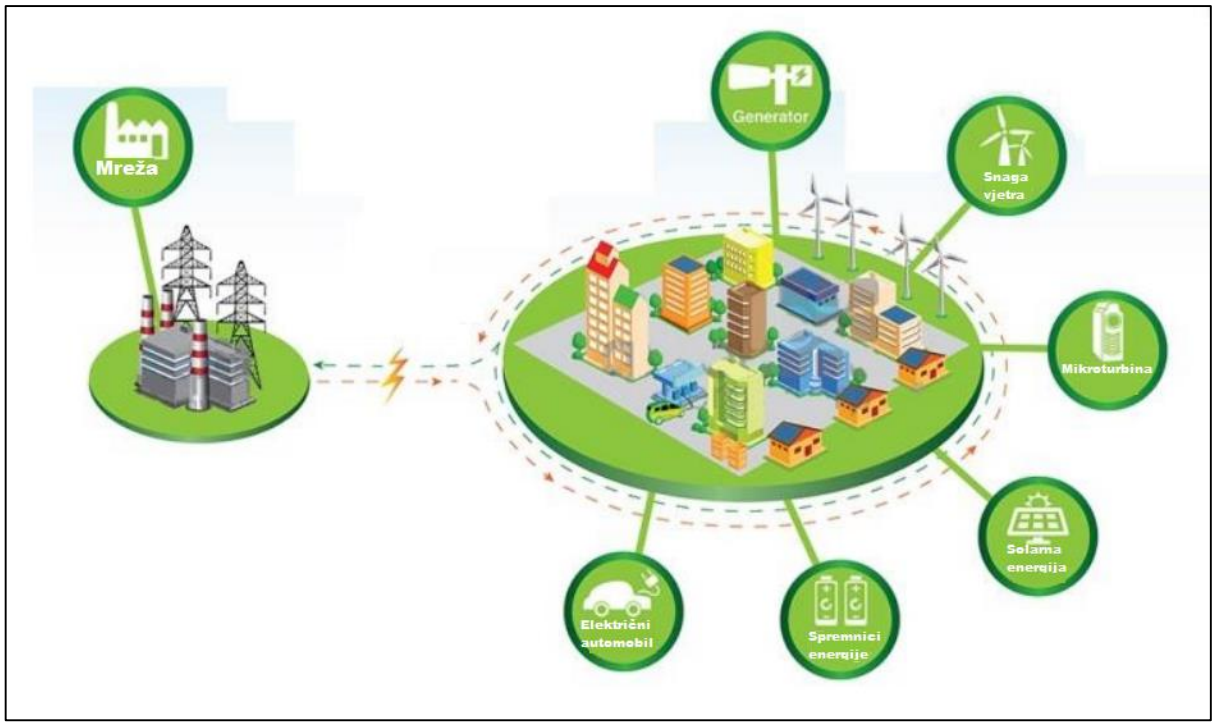


Sl. 2.3. *Hijerarhijska struktura upravljanja distribucijske mreže sa mnogostrukom mikromrežom [6]*

Mikromreže mogu napajati stambene objekte gdje je najpovoljnije koristiti fotonaponske sustave. Time se dobiva kvalitetna, pouzdana i povoljna električna energija. Stambeno područje Mannheim-Wallstadt u Njemačkoj primjer je poslovno-industrijske mikromreže urbanog dijela grada s instaliranim fotonaponskim ćelijama, mogućnošću kogeneracije i skladištenja energije kojima je cilj uvođenje distribuirane proizvodnje i pretvaranje distribucijske mreže u aktivnu. Budućnost nam donosi spajanje velikog broja izvora na distribucijsku mrežu. S obzirom na gubitke u prijenosu zbog starosti opreme, zagušenja i ostalih problema, distribuirani izvori koji su instalirani bliže potrošačima dakako predstavljaju veliki korak razvoju mikromreža i najprihvatljivije rješenje u planiranju razvitka elektroenergetskog sustava.

2.2 Pojašnjenje mikromreže

Mikromreža obuhvaća sustave distribucije s distribuiranim izvorima energije zajedno s uređajima za pohranu energije i prilagodljivim opterećenjima. Kao takva, mikromreža pruža mogućnost samostalnog rada, odvojeno od distribucijske mreže te pruža pouzdanu opskrbu električnom energijom zasnovanu na koordiniranom smještaju distribuiranih izvora i potrošača. [6]



Sl. 2.4. *Primjer mikromreže [8]*

- u konceptu mikromreže fokus se stavlja na lokalnu opskrbu obližnjih opterećenja, stoga lokacije s modelima koji zanemaruju fizičke lokacije generatora ne predstavljaju mikromreže.
- mikromreža je obično spojena na niskonaponsku mrežu, no postoje iznimke gdje je spojena na visokonaponsku mrežu zbog potrebe interkonekcije.

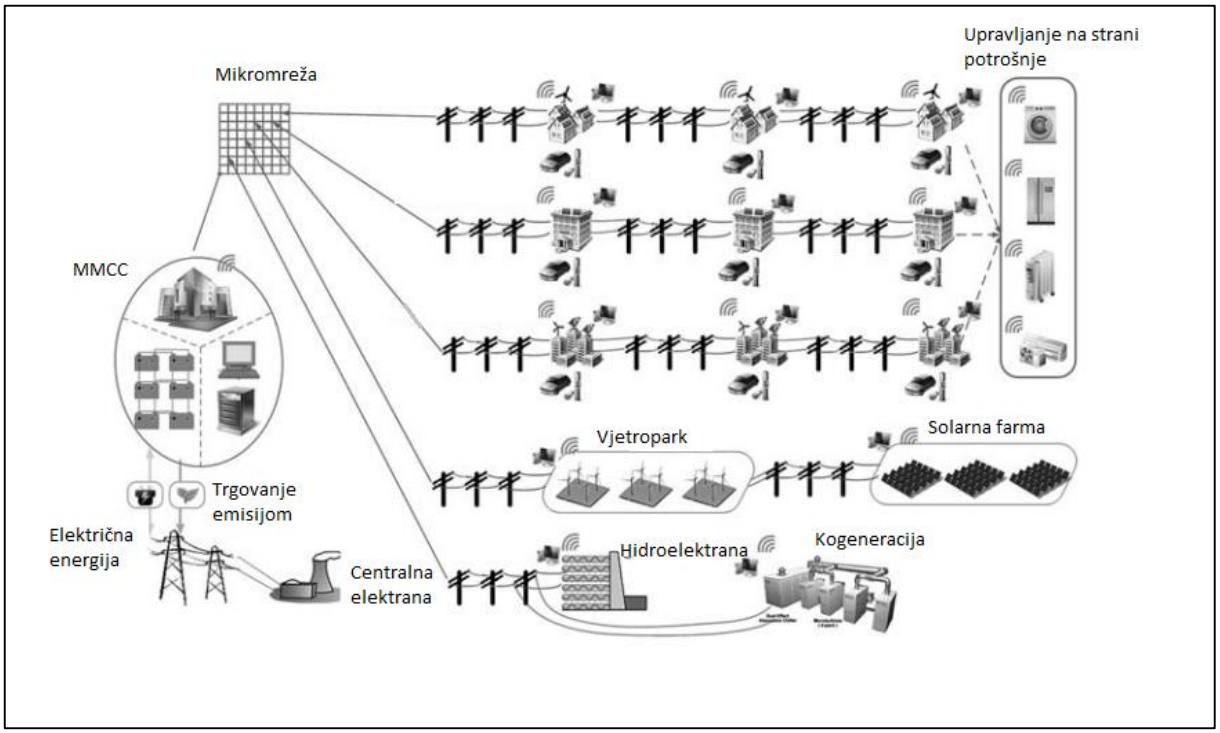
Mikromreža treba biti sposobna raditi jednako dobro spojena na mrežu, i u slučaju kvarova i ostalih poremećaja, u otočnom radu.

- većina budućih mikromreža raditi će većinu vremena u okviru konvencionalne mreže, osim onih posebno instaliranih za otočni način rada, stoga će glavne prednosti mikromreža proizaći iz normalnog mrežnog stanja.
- u nastojanju da se postigne dugotrajan otočni način rada, mikromreža treba zadovoljiti visoke zahtjeve glede potrebne količine skladištenja električne energije i procjene kapaciteta mikrogeneratora za kontinuiranu opskrbu potrošača.

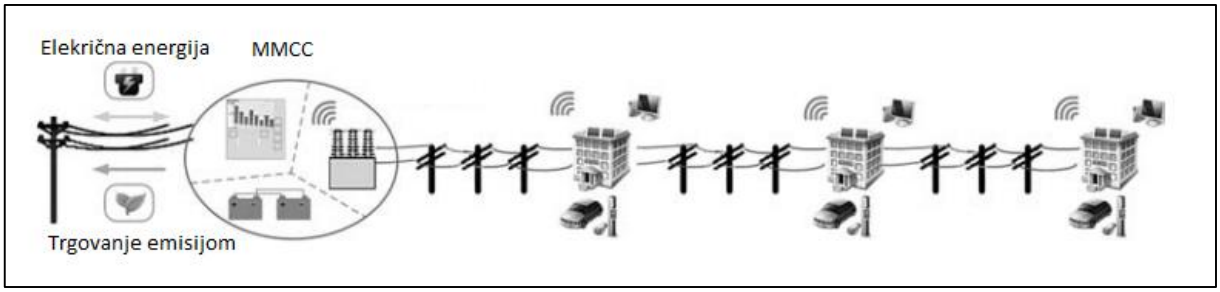
Razlika između mikromreže i pasivne mreže napajane intermitirajućim izvorima energije leži u uvjetima upravljanja i koordinaciji raspoloživim resursima.

- mikromrežni operator je više od združivanja distribuiranih izvora i mrežnog davatelja usluga. On sva ta svojstva ispunjava uz ekonomsko-tehničke i ekološki najpovoljnije uvjete.
- glavna prednost jest dobro rukovanje sukobljenim interesima različitih dionika, odnosno donošenje optimalnog operativnog rješenja koje dopušta uključenje svih sudionika.

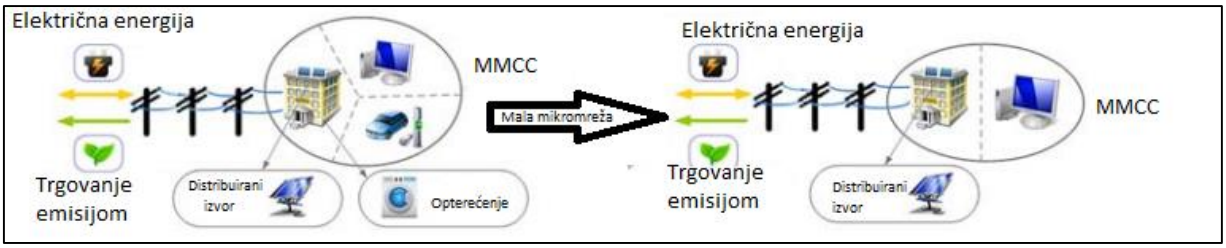
Mikromreža se pojavljuje na razini niskonaponske mreže, niskonaponskog pojnog voda i na razini niskonaponskog kućanstva. [5]



Sl. 2.5. *Mikromreža na razini niskonaponske mreže [5]*



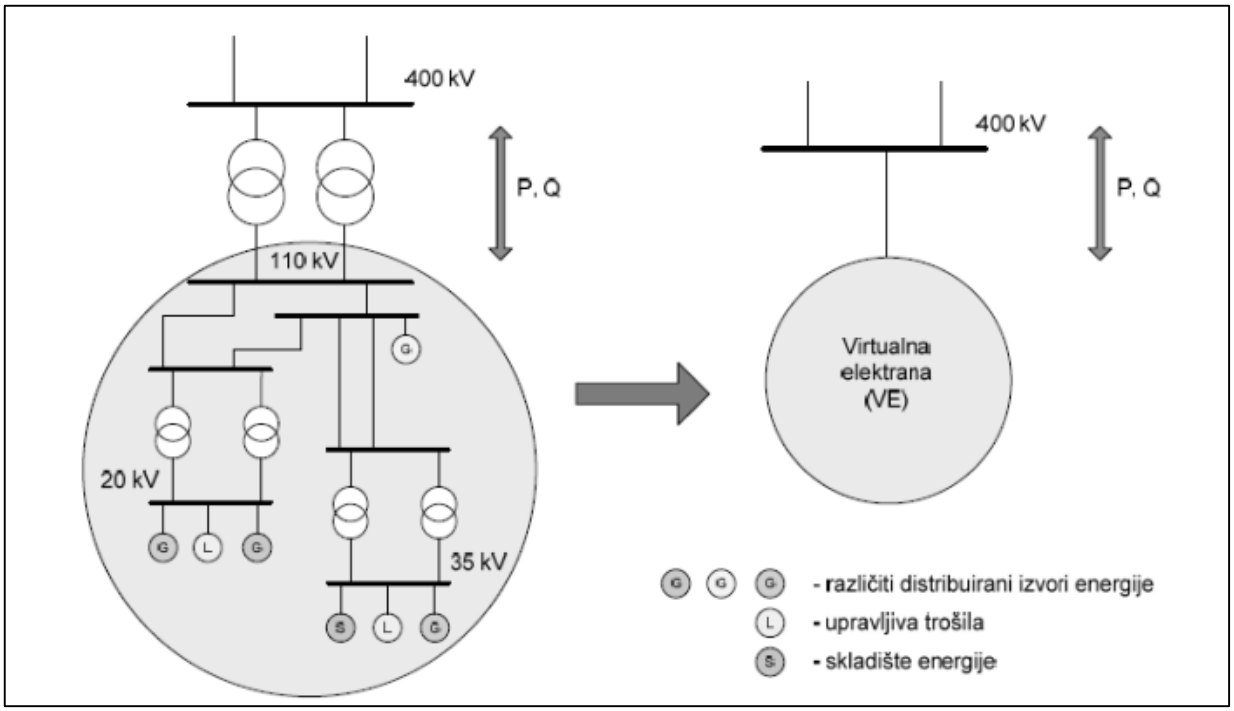
Sl. 2.6. *Mikromreža na razini pojnog voda [5]*



Sl. 2.7. *Mikromreža na razini niskonaponskog kućanstva [5]*

2.2.1 Mikromreže u odnosu na virtualne elektrane

Virtualna elektrana je skup distribuiranih izvora energije i sustava za pohranu energije a koja se na tržištu pojavljuje kao cjelina, u obliku jedne konvencionalne elektrane. Ona nije predviđena za otočni rad i sve njene jedinice ne moraju nužno biti na istom lokalitetu.

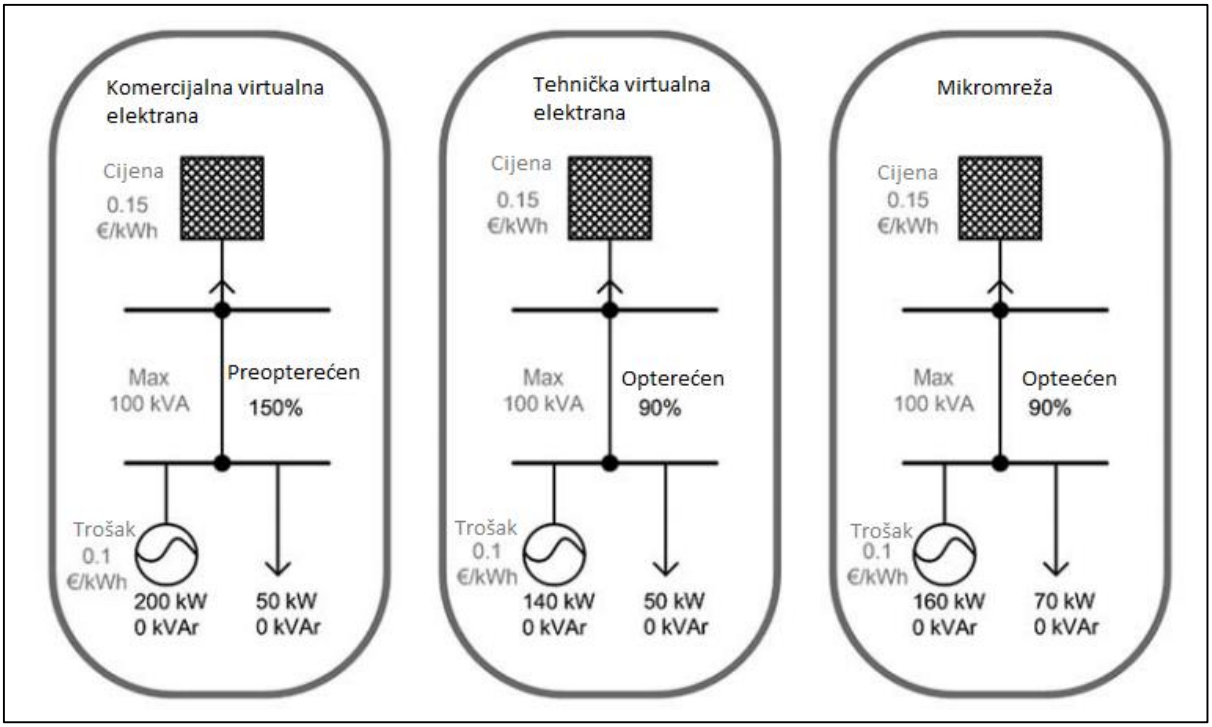


Sl. 2.8. *Virtualna elektrana [9]*

Postoje dvije vrste virtualnih elektrana: komercijalne i tehničke virtualne elektrane. Komercijalne se elektrane pojavljuju na tržištu električne energije i predstavljaju skup distribuiranih izvora. Prednost im je raznovrsnost izvora i povećani kapacitet te povećanje profitabilnosti svakog distribuiranog izvora sudjelovanjem na tržištu. Tehničke virtualne elektrane predstavljaju monopolističku ulogu koju obnaša operator distribucijskog sustava. Pružaju vidljivost distribuiranih izvora prema operatoru sustava, doprinos distribuiranih izvora u upravljanju sustava i njihovo optimalno korištenje. [9]

Virtualna elektrana može zamijeniti konvencionalnu elektranu pružajući veću fleksibilnost i učinkovitost. Iako su mikromreže i virtualne elektrane slične, postoje razlike:

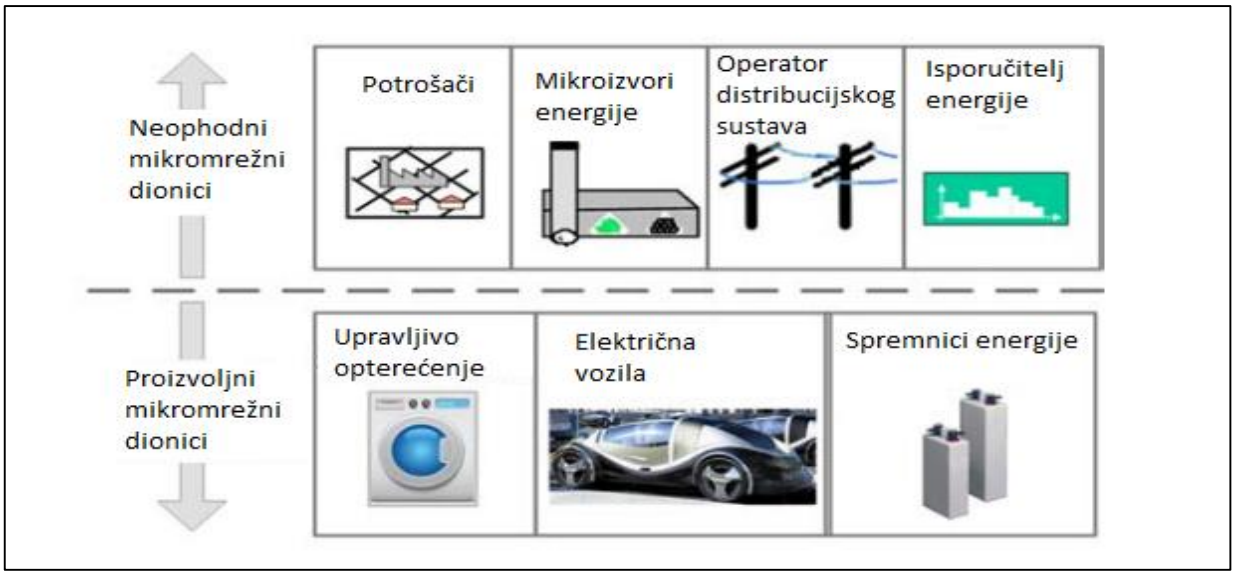
- lokacija; u mikromrežama se distribuirani izvori nalaze u istoj lokalnoj distribucijskoj mreži i cilj im je prvotno zadovoljiti lokalne potrošače. Kod virtualnih elektrana distribuirani se izvori ne moraju nalaziti na istoj lokaciji i upravljaju se na širokom zemljopisnom području.
- veličina; instalirani kapacitet jedne mikromreže relativno je mal, par kW do nekoliko MW, dok je nazivna snaga virtualne elektrane daleko veća.
- interes potrošača; mikromreža djeluje na zadovoljstvo lokalnih potrošača dok se virtualne elektrane bave potrošnjom samo kao fleksibilnim resursima koji sudjeluju u ukupnom iznosu trgovinske moći. [5]



Sl. 2.9. *Dobit mikromreže nad tehničkom i komercijalnom virtualnom elektranom [5]*

2.3 Upravljivi elementi i operacijske strategije mikromreže

Mikromreža može potencijalno sadržavati postrojenja za uravnotežavanje proizvodnje i potrošnje kao što su upravljiva opterećenja (električni automobil) i spremnici energije koji ili doprinose smanjivanju razmjene energije ili maksimiziraju dobit od trgovanja.



Sl. 2.10. *Mikromrežni dionici [5]*

2.3.1 Intermitentni izvori električne energije

Upravljanje intermitentnim izvorima energije je ograničeno fizičkom prirodom primarnih izvora energije i ono postaje problem kako se povećava udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji. Osim ako ne uzrokuju preopterećenje voda ili prenapone, intermitentne proizvodne jedinice nije preporučljivo ograničavati. Strategija suradnje za intermitentne izvore može se opisati kao prioritetna. Povezivanjem proizvodnje, kapaciteta za pohranu i potrošača u mikromrežu, moguća je kontrola tokova energije uz poštivanje tehničkih i ekonomskih kriterija i uz korištenja vremenske prognoze. Kontroliranjem mikromreže i optimizacijom dizajna mikromreže značajno će se povećati udio intermitentnih izvora energije na lokalnoj razini i na razini operatora prijenosnog sustava.

2.3.2 Upravljivi mikroizvori i kogeneracijska postrojenja

Upravljivi mikroizvori su oni izvori koji su upravljivi po radnoj i jalovoj komponenti snage. Mikroizvori su rijetko upravljivi i kao takvi ne koriste dispečeru EES-a u smislu vođenja i regulacije. Upravljanje kogeneracijskim postrojenjima varira sukladno načinu na koji ispunjavaju lokalnu potražnju za toplinom. Kogeneracijska postrojenja mogu proizvoditi toplinu, električnu energiju ili mogu raditi u hibridnom načinu rada. Budući da se većina mikroizvora i kogeneracijskih postrojenja temelji na rotacijskoj tehnologiji, njihova jalova izlazna snaga će biti ograničena od strane aktivne snage i prividne snage. Zbog poboljšane mogućnosti upravljanja upravljivih mikroizvora, mikromreža s više mikroizvora morati će riješiti tradicionalan problem obvezivanja izvora, a mikromrežni operator će se morati nositi sa puno izraženijim promjenama

opterećenja tj. sa opterećenjem umanjenim povremenom proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije. [5]

2.3.3 Jedinice za pohranu energije

Tehnički gledano, uređaji za pohranu energije mogu biti vođeni na temelju opterećenosti, da djeluju na uravnoteženje energije, ili cijene, ovisno o cilju rada. U isto vrijeme, mogu pružiti rezerve za uravnoteženje u rasponu od kratkoročnih do dugoročnih razdoblja. Za DC jedinice za pohranu energije kao što su npr. baterije, pravilno dizajnirano elektroničko sučelje moglo bi doprinijeti uravnoteženju jalove snage sustava, bez većih značajnih troškova. [5]

2.3.4 Operacijske strategije mikromreže

Trenutno dostupne digitalne tehnologije pružaju različite mogućnosti proizvodnje radne i jalove energije. Konačna konfiguracija i operacijske sheme mikromreže ovise o potencijalno sukobljenim interesima različitih dionika uključenih u opskrbu električnom energijom, kao što su mrežni operateri, vlasnici distribuiranih izvora energije, regulatorna tijela i drugi. Dakle, optimalno operacijsko raspoređivanje u mikromreži može imati ekonomske, tehničke i ekološke ciljeve.



Sl. 2.11. *Operacijske strategije mikromreže [9]*

U ekonomskoj strategiji, kao što je poznato, na prvom mjestu je za cilj umanjiti troškove nezavisno o mrežnim mogućnostima. Naravno, u ovoj strategiji je glavni problem fizičko

ograničenje mreže, a sama strategija ovisi o operaterima ili vlasnicima distribuiranih izvora energije. Tehnička strategija može biti vođena željama operatora sustava. Cilj joj je umanjiti gubitke, naponska odstupanja i opterećenja uređaja bez obzira na troškove proizvodnje energije iz distribuiranih izvora. Ekološka strategija za razliku od ekonomske, neovisno o količini troškova, ima za cilj upravljanje distribuiranim izvorima u obliku maksimalnog smanjenja emisija stakleničkih plinova u atmosferu korištenjem istih izvora energije. Ova strategija trenutno je vodeća u smislu podržavanja ovakvog načina proizvodnje energije. Naravno, niti jedna strategija ne može biti vođena samostalno, uzimajući u obzir sve tri strategije dobiva se optimalno rješenje bez fizičkih, financijskih i okolišnih ograničenja.

3. PROBLEMATIKA UPRAVLJANJA MIKROMREŽAMA

Pojam upravljanja mikromrežom zauzima središnje mjesto u razumijevanju iste. Ono što izdvaja mikromrežu iz distribucijskog sustava s distribuiranim izvorima energije je upravo sposobnost njihovog upravljanja, tako da se one pojavljuju u sustavu kao upravljive, koordinirane jedinice. Učinkovito gospodarenje energijom u mikromrežama ključ je postizanja prednosti nad zastarjelom mrežom. Koordinirano upravljanje velikim brojem distribuiranih izvora energije može se postići različitim tehnikama, od centraliziranog pristupa upravljanja do potpunog decentraliziranog pristupa, ovisno o udjelu odgovornosti preuzetih od centralnog kontrolera. Upravljanje s ograničenim komunikacijskim sustavima i računalnim objektima je problem u usvajanju decentraliziranih tehnika, naravno taj se problem povećava sa većim brojem distribuiranih resursa i mogućim suprotstavljenim zahtjevima njihovih vlasnika. [11]

3.1 Funkcije upravljanja

Opći pregled glavnih kontrolnih funkcija u mikromreži prikazan je u tablici 3.1.:

Tab. 3.1. *Glavne kontrolne funkcije u mikromreži*

Mrežno sučelje	• odluka o otočnom radu • sudjelovanje na tržištu
Mikromrežno kontroliranje	• regulacija napona i frekvencije • regulacija aktivne i reaktivne snage • crni start[5]
Lokalno upravljanje i zaštita	• zaštita • primarna regulacija napona i frekvencije • primarna regulacija aktivne i reaktivne snage • raspolaganje kapacitetom za skladištenje energije

Srž mrežnog sučelja jest sudjelovanje na tržištu električne energije, sa pothvatom mikromreže da uvozi i izvozi električnu energiju. Mikromrežno se upravljanje odnosi na uključivanje svih funkcionalnosti unutar mikromreže koji zahtijevaju suradnju više od dva sudionika. Funkcije unutar ove razine su sljedeće:

- predviđanje opterećenja i dostupnosti obnovljivih izvora energije
- rasterećenje i upravljanje opterećenjem
- raspoloživost proizvodnih resursa
- sekundarna regulacija napona i frekvencije
- sekundarna regulacija aktivne i reaktivne snage
- sigurnosno praćenje
- crni start

Lokalno upravljanje i zaštita obuhvaća:

- funkcije zaštite
- primarnu regulaciju napona i frekvencije

[5] Crni start predstavlja pokretanje pogona u uvjetima kad nema mrežnog napajanja. [28]

- primarnu regulaciju aktivne i reaktivne snage
- raspolaganje kapacitetom za skladištenje energije

3.2 Uloga informacijske i komunikacijske tehnologije

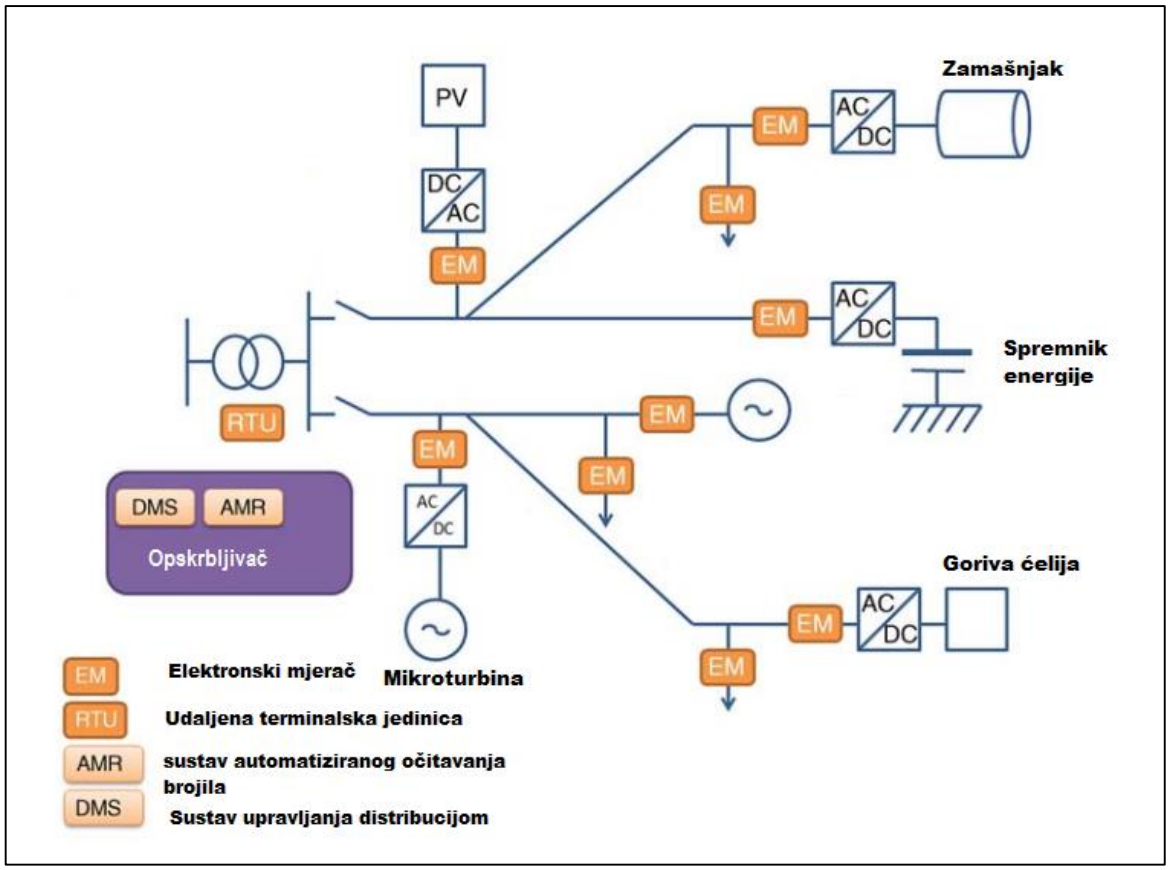
Informacijska i komunikacijska tehnologija su kritične komponente budućih energetskih mreža. Upravljanje i operacija budućih energetskih mreža, uključujući i mikromreže, trebaju biti podržane od strane sofisticiranih informacijskih sustava i naprednih komunikacijskih mreža. Trenutno je samo nekoliko tehnologija testirano i iskorišteno na distribucijskom sustavu, no očekuje se kako će se takva tehnologija u budućnosti više koristiti i biti od potrebe. Uobičajeni pristup je iskorištavanje postojećih rješenja kao polazne točke za razvijanje novih aplikacija za mikromreže. Glavna tehnološka područja su:

- Mikroprocesori; koriste se u velikoj mjeri u mikromrežama pružajući mogućnost razvijanja sofisticiranih invertera i razvijanja kontrolera upravljanja opterećenjem ili drugih aktivnih komponenata u mikromreži. Zanimljiva karakteristika novijih verzija mikroprocesora je da oni pružaju adekvatnu snagu procesora i komunikacijske sposobnosti, i to sve po niskoj cijeni.
- Komunikacija; posljednjih deset godina obilježeno je razvojem komunikacijskih sustava i mreža. Komunikacijske mreže pružaju dovoljnu propusnost i mogu ponuditi više usluga za korisnike. Očito je dakle onda da će aktivno upravljanje mikromrežom biti temeljeno na postojećoj komunikacijskoj infrastrukturi u cilju smanjenja troškova.
- Programska podrška; servisno orijentirana arhitektura predstavlja moderan trend u izgradnji informacijskih sustava, definirana je kao skup web servisa pravilno organiziranih u više slojeva sposobnih za rješavanje niza složenih problema. Jezgra ovog pristupa je internetska usluga.
- Internet energija; predstavlja primjenu tehnologije koja omogućuje izbjegavanje troškova instalacija i održavanja namjenskih uređaja za kontrolu opterećenja. Uz ovakav pristup svi zahtjevi za upravljanjem kućanstva mogu biti u obliku programske podrške izvedene na uređaju s mogućnošću obrade kao npr. pametni TV. Također, pretpostavlja se da će sljedeća generacija kućanskih aparata biti opremljena potrebnim sučeljem koje će dopustiti daljinski pristup putem kućne mreže.

3.3 Arhitektura upravljanja mikromrežom

3.3.1 Hijerarhijska razina upravljanja

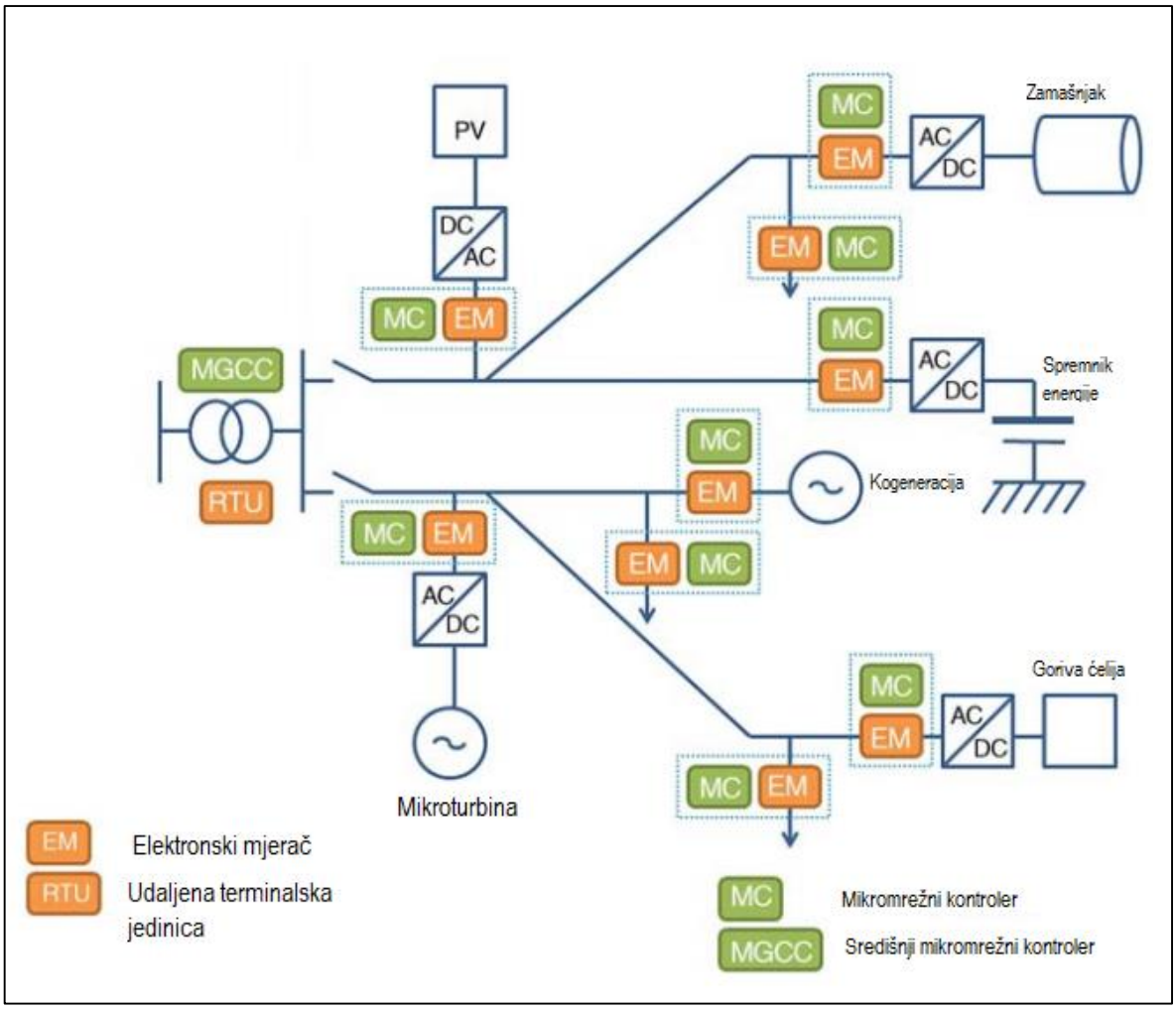
Ne postoji opća struktura hijerarhijske razine upravljanja, budući da konfiguracija ovisi o tipu mikromreže ili postojeće infrastrukture. Možemo razlikovati sustav upravljanja distribucijom (DMS, *„Distribution management system"*) i sustav automatiziranog očitavanja brojila (AMR, *„Automated meter reading system"*). Sustav upravljanja distribucijom je uglavnom odgovoran za praćenje glavnih visokonaponskih i srednjenaponskih trafostanica i kritičnih srednjenaponskih i niskonaponskih trafostanica. Sklopovlje se sastoji od glavnog servera i nekoliko udaljenih terminala ili inteligentnih elektroničkih uređaja proširenih diljem distribucijskog sustava. Obično sustav upravljanja distribucijom ne kontrolira obnovljive izvore energije. Tipične akcije upravljanja su mrežni preustroj koji se vrši prebacivanjem operacija u glavnom vodu i regulacija napona putem uključenja kondenzatora ili transformatorske preklopke. Sustav automatiziranog očitavanja brojila je odgovoran za zbirku elektroničkih očitanja mjerača i koristi se uglavnom za svrhe naplaćivanja. Pod ovim sustavom označavamo i sposobnost upravljanja teretom na lokalnoj razini, bilo izravno preko brojila ili putem kućne mreže u čijem slučaju je elektroničko brojilo računalo koje povezuje više različitih mreža i usmjeruje podatke među njima. Operator distribucijskog sustava je odgovoran za upravljanje i nadzor distribucijskog sustava ali je također odgovoran i za prikupljanje mjernih podataka o očitanoj energiji, iako u nekim zemljama očitavanje može biti obrađeno od strane neovisnog entiteta. Prikupljene podatke operater distribucijskog sustava šalje opskrbljivaču koji je tržišni sudionik.



Sl. 3.1. *Struktura upravljanja distribucijskim sustavom*

Struktura prikazana na slici 3.1. nije dovoljna za upravljanje mikromrežom jer pruža ograničene kapacitete upravljanja, posebno u tržišnom okruženju. Prema tome je važno uspostaviti novu razinu upravljanja opterećenjem i distribuiranim izvorima na lokalnoj razini koja bi ispunila sljedeće ciljeve:

- omogućavanje svim mjerodavnim čimbenicima sudjelovanje na tržištu
- prilagodljivost kako bi se omogućila integracija velikog broja korisnika
- dopuštanje integracije komponenti različitih proizvođača što bi dakle označavalo otvorenu arhitekturu
- jednostavnost instaliranja novih komponenti
- jednostavnost integracije novih funkcionalnosti



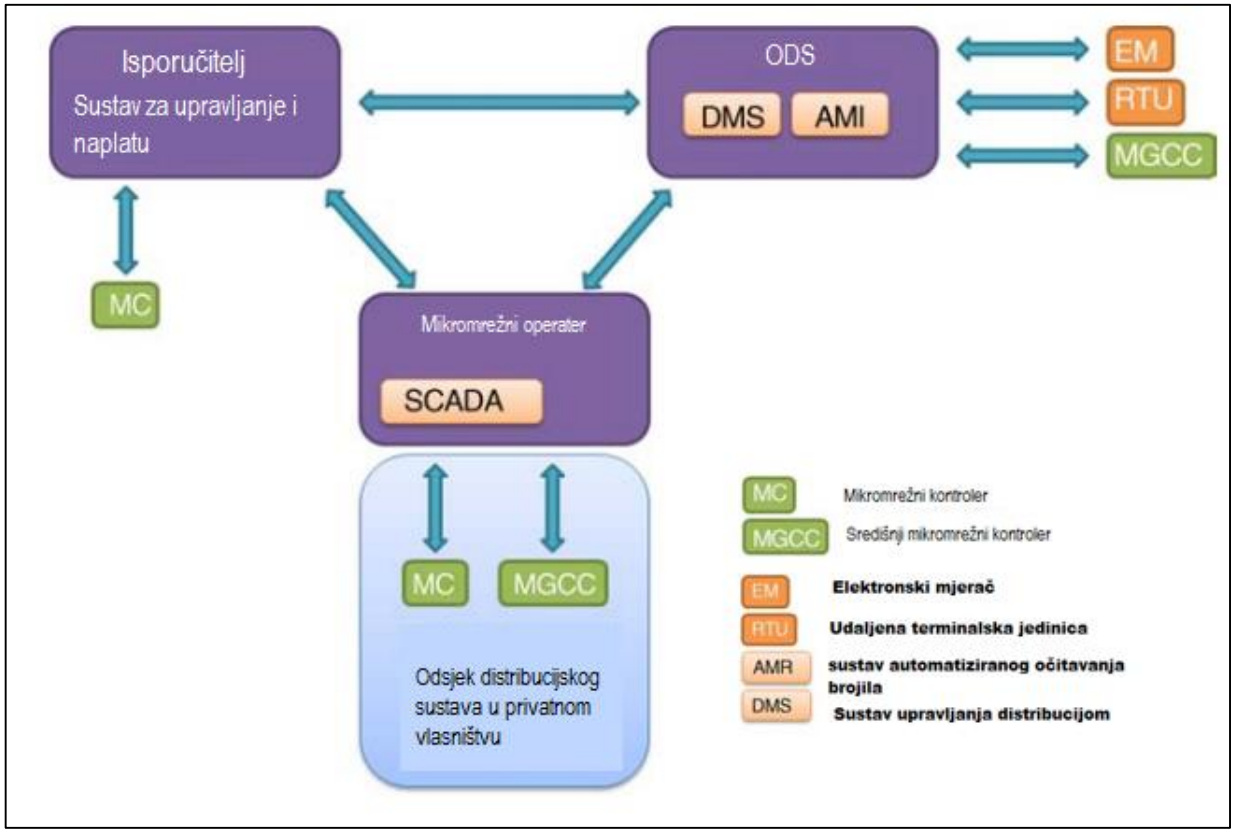
Sl. 3.2. *Tipična mikromrežna upravljačka struktura*

Korištenjem lokalne razine upravljanja, kompliciranija hijerarhijska struktura je predočena na slici 3.2. Ona obuhvaća:

- MC (mikromrežni kontroler); odgovoran je za upravljanje i nadzor distribuiranih izvora energije. MC se može koristiti kao zasebni hardverski uređaj, kao komad softvera instaliran u bilo koje elektronsko brojilo, kao elektronsko sučelje napajano distribuiranim izvorima ili kao bilo koji uređaj u polju sa dovoljnim kapacitetima obrade.
- MGCC (središnji mikromrežni kontroler); pruža glavno sučelje između mikromreže i drugih sudionika kao npr. operatora distribucijskog sustava ili isporučitelja električne energije. Može imati različite uloge, od glavne odgovornosti za maksimizaciju vrijednosti mikromreže do jednostavne koordinacije lokalnih mikromrežnih kontrolera tako što može osigurati zadane vrijednosti MC-a ili jednostavno pratiti i nadzirati njihov rad. MGCC je smješten u srednjenaponskom ili niskonaponskom razvodnom postrojenju i obuhvaća čitav niz softverskih rutina različitih funkcionalnosti ovisno o svojoj ulozi.

3.3.2 Mikromrežni operatori

Mikromrežni operator se može razlikovati ovisno o vrsti mikromreže i ulogama operatora distribucijskog sustava i isporučitelja. Mikromrežni se operatori mogu naći u različitim ulogama, tako operator distribucijskog sustava upravlja distribuiranim izvorima energije kroz postojeću infrasrukturu. Isporučitelj šalje zahtjev ODS-u a ne izravno na teren. Druga uloga ODS-a je takva da isporučitelj instalira posebnu opremu za upravljanje na terenu i izravno upravlja barem neke distribuirane izvore energije. Na slici 3.3. prikazana je specijalna konfiguracija pogodna za dio distribucijske mreže u privatnom vlasništvu, kao što je npr. aerodrom. Dakle, u ovom slučaju mikromrežni operator je posvećen samo ovom dijelu mreže.



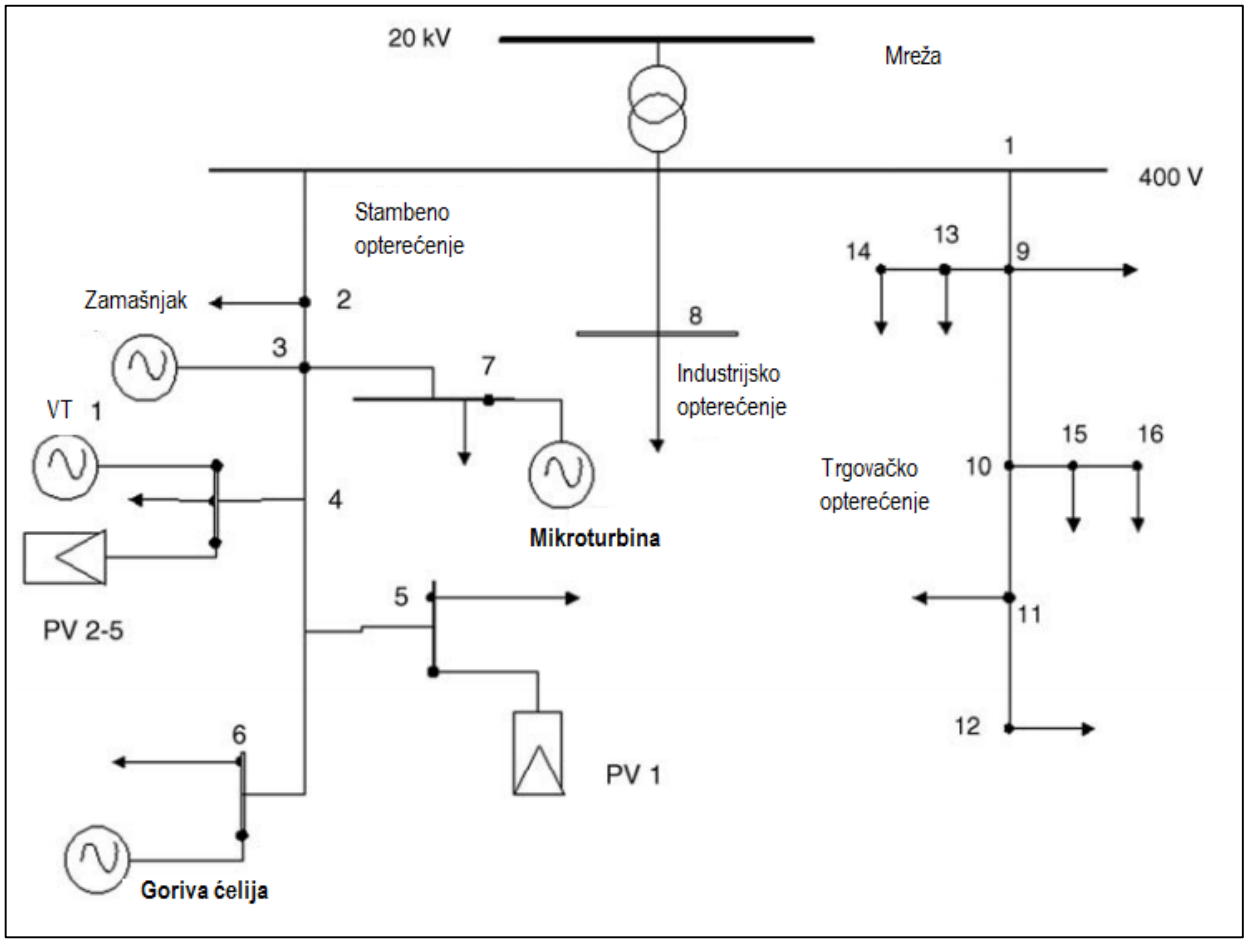
Sl. 3.3. *Konfiguracija mikromrežnog operatora*

3.4 Centralizirano i decentralizirano upravljanje

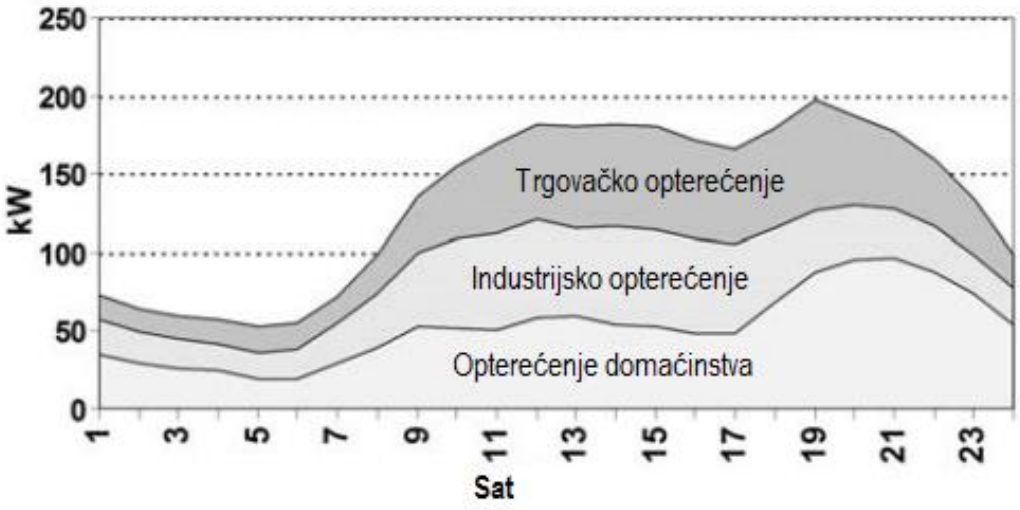
3.4.1 Centralizirano upravljanje i analiza slučaja

U centraliziranom upravljanju glavna odgovornost za maksimizaciju vrijednosti mikromreže leži u središnjem mikromrežnom kontroleru (MGCC). MGCC koristeći tržišne cijene troškova električne energije i plina, s temeljem na mrežnoj sigurnosti, određuje količinu električne energije koju mikromreža treba uvesti iz distribucijskog sustava više naponske razine

optimizirajući pri tome domaću proizvodnju i kapacitete potrošača. Osnovna značajka centraliziranog upravljanja mikromrežom je da se odluke o radu distribuirane proizvodnje donose od strane mikromrežnog operatora ili isporučitelja na razini središnjeg mikromrežnog kontrolera koji ima rutine po unaprijed zadanom raspredu koje pružaju optimalne predviđene vrijednosti mikromrežnom kontroleru. Rezultati analize slučaja na niskonaponskoj mreži su prikazani na slici 3.4. Mreža obuhvaća tri pojna voda, jedan napaja stambeni prostor (domaćinstva), jedan industrijsku radionicu i treći komercijalnog potrošača. Krivulja opterećenja za svakog potrošača i cijelu mikromrežu i jednom danu prikazana je na slici 3.5. [16]

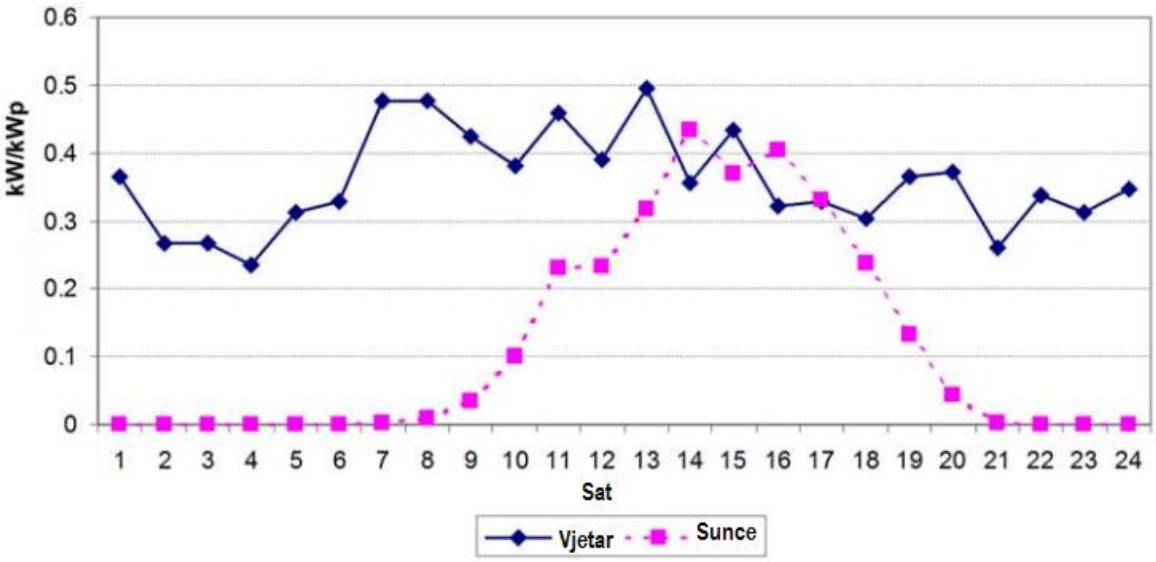


Sl. 3.4. *Analiza slučaja na niskonaponskoj mreži*



Sl. 3.5. *Krivulja opterećenja*

Ukupna potrošnja energije za ovaj dan je 3188 kWh, faktor snage je 0,85. Distribuirani izvori energije kao što su mikroturbine, gorivne ćelije, vjetroturbine i nekoliko fotonaponskih panela instalirano je na potrošačkoj strani domaćinstva. Pretpostavlja se da svi distribuirani izvori proizvode djelatnu snagu pri jednakom faktoru snage. Podaci o stvarnoj snazi vjetra i fotonaponske proizvodnje prikazani su na slici 3.6. Izlazni podaci iz obnovljivih izvora energije nisu regulirani.



Sl. 3.6. *Proizvodnja iz obnovljivih izvora energije*

3.4.2 Decentralizirano upravljanje

Ideja decentraliziranog upravljanja vrlo je popularna u današnje vrijeme, ne samo u mikromrežnim planiranjima i razvoju već i za druge funkcije elektroenergetskog sustava. Zanimljiv pristup projektiranju i razvoju decentraliziranih sustava temelji se na MAS teoriji[6] (*„Multi-agent system theory"*). Osnovna je ideja da proces autonomnog upravljanja preuzima svaki upravljiv element kao što su pretvarači i distribuirani izvori. MAS teorija opisuje koordinacijske algoritme, komunikaciju između agenta i organizaciju cijelog sustava. U decentraliziranom upravljanju ključni problem je stabilnost sustava. Svako sučelje upravlja se temeljeno samo na lokalnim mjerenjima tako da je važno imati analizu kako djeluju pojedinačni upravljački sustavi kako bi osigurali stabilnost. Ako se postigne stabilnost u kojemu su temeljne komponente napona konstantne amplitude i konstantne razlike u faznom kutu onda je sustav stabilan. Istraživanja analize stabilnosti pretpostavljaju da je učestalost odstupanja mala tako da se sve impedancije u mreži mogu pretpostaviti konstantnim. Ova pretpostavka rezultira značajnim pojednostavljenjem u analitičkoj formulaciji mikromrežne stabilnosti. [13] Pilot projekt mikromreže je Labein korisnički vod u Španjolskoj. Područje Labein spojeno je SN mrežom (30 kV) preko dva transformatora (1000 kVA i 451 kVA). [14] Kao izvore koriste fotonaponske ćelije, dizel generatore, mikroturbine i vjetroturbine a kao skladište energije zamašnjak, superkondenzator te baterije. Svrha mu je testiranje decentraliziranih strategija upravljanja u radu mikromreže ovisne o SN mreži. [7]

3.4.3 Prognoza potražnje

U međusobno povezanim ili velikim otočnim sustavima potražnja ovisi o vremenskim uvjetima, navikama i aktivnostima kupaca, dobu dana i godišnjem dobu. Predviđanja potrošnje su potrebna za narednih 48 sati. Uglavnom je točnost predviđanja visoka, 1-5% ovisno o vremenu i veličini sustava. Nesigurnost se može odrediti klasičnim metodama kao što je ponovno uzorkovanje. Razmatranje vremenske prognoze kao generalnog ulaznog podatka za razna funkcionalna predviđanja MGCC-a čini se da je opcija koja se može iskoristiti na više načina. Osim uporabe za pouzdano predviđanje proizvodnje iz obnovljivih izvora i potražnje električne energije, uloga vremenske prognoze može biti također važna za predviđanje učinkovitosti mikroturbine.

[6] MAS teorija upotrebljava se za rješavanje broja specifičnih operativnih problema kao što su tržišni problemi. Glavni element MAS teorije je agent koji djeluje u trenutnom i virtualnom okruženju bez fizičkog postojanja. U slučaju mikromreža fizički subjekt je mikroizvor a virtualno okruženje je softver koji omogućuje ponude na tržištu energije. [12]

- prognoza proizvodnje iz vjetroturbina i solarnih panela: kratkoročno prognoziranje je od primarne važnosti za integraciju energije vjetra, osobito u većim energetskim sustavima. Istraživanja prognoze proizvodnje energije vjetra je multidisciplinarno područje budući da kombinira područja kao što su meteorologija, statistika, fizikalno modeliranje i računalna inteligencija. Prognoze za obnovljive izvore energije mogu se pružiti u centraliziranom načinu rada mikromreže koristeći ulazne podatke iz vremenske prognoze i podatke ranijih mjerenja. U decentraliziranom načinu rada gdje se mora uzeti u obzir i lokalna inteligencija za upravljanje koriste se jednostavna mjerenja i vremenska prognoza s interneta. [17]
- predviđanje potražnje toplinske energije: glavni čimbenici koji utječu na potražnju za toplinom su učinak doba dana, vikenda i godišnjeg doba. Jednostavan pristup predviđanja temelji se na modelu autoregresivnog pomičnog prosjeka koji koristi za ulazne podatke samo potrebnu toplinu za grijanje. Ostali modeli koriste sezonsku razliku i temperaturu. [18] [19]

Statističke metode temeljene na strojnom učenju su među obećavajućim pristupima koji se mogu primijeniti za svrhe predviđanja u mikromrežama. Međutim, modeli za predviđanje prognoze potražnje za toplinom ili potražnje za energijom moraju biti potvrđeni sa izmjerenim podacima koji se odnose na situaciju u stvarnoj mikromreži. Paralelno sa istraživanjem modela za prognoziranje potrebno je razviti istraživanje za online procjenjivanje nesigurnosti predviđanja. Takvi pristupi su već razvijeni za predviđanje energije vjetra.

4. PREGLED PROJEKATA MIKROMREŽA U EUROPI

4.1 Terenska ispitivanja u Gaidouromandra, Kythnos Microgrid (Grčka)_ inteligentno decentralizirano upravljanje opterećenjem u izoliranom sustavu

Sustav obuhvaća 10 kW snage iz solarnih ćelija, mogućnost pohrane energije kapaciteta 53 kWh i dizel generator od 5 kW. Cilj sustava je da se 100% napaja solarnom energijom proizvedenom iz solarnih panela ili iz baterijskih spremnika tako da je dizel generator namijenjen samo kao rezerva u slučaju dulje naoblake ili nužde. Druga serija fotonaponskih ćelija od 2 kW snage montirana je na krovu zgrade sustava upravljanja. Kuća je površine oko 30 m^2, izgrađena je u središtu naselja radi smještaja pretvarača, dizel generatora, spremnika goriva, računalne opreme za nadzor i komunikacijskih hardvera. Sustav fotonaponskih ćelija snage 2 kW spojen je preko SMA pretvarača i zajedno sa 32 kWh baterijom daje snagu sustavu za praćenje i komunikaciju.

Sustav obuhvaća tri invertera koji omogućuju integraciju sustava za pohranu podataka u zaseban sustav kao i u prijenosnu i distribucijsku mrežu. Oni su spojeni u paralelnom spoju konfiguracije "nadređeni-podređeni" tvoreći jednofazni krug. Ovo omogućuje upotrebu više od jednog invertera samo kada postoji velika potražnja za energijom od strane potrošača. Svaki inverter ima maksimalnu izlaznu snagu od 3,6 kW. Inverteri u Kythnos sustavu posjeduju sposobnost djelovanja u periodičkom načinu rada i u 'droop mode' režimu rada koji omogućava paralelan rad više invertera s time da svaki inverter može kontrolirati AC sabirnicu. Rad u 'droop mode-u' daje mogućnost prelaženja informacija na prekidač za kontrolu opterećenja u slučaju da je spremnik energije prazan, a isto tako i u slučaju da se ograniči izlazna snaga FN invertera kada je spremnik energije pun.

Primarni cilj ovog projekta je bio testirati pristup decentraliziranog upravljanja mikromrežom. Regulator opterećenja osmišljen je za praćenje energetske instalacije i to uzimajući podatke mjerenja napona, struje i frekvencije kako bi se uskladilo gospodarenje energijom. Ciljevi se mogu razlikovati prema tehničkom i energetskom pristupu:

- tehnički je cilj testirati vrlo složen sustav upravljanja u stvarnom okruženju. MAS sustav temeljen na Java-i je testiran u realnom okruženju. To znači da treba pokrenuti kompleksan mjerni sustav sa svim funkcionalnostima na duži period.
- energetski ciljevi usmjereni su na povećanje energetske učinkovitosti uz minimalno korištenje dizel generatora i minimalan pomak opterećenja tijekom sati s viškom proizvedene električne energije. Cilj je potaknuti rad većine opterećenja kada postoji višak energije iz obnovljivih izvora i smanjiti ih kada nedostaje energije iz spremnika. [20] [21]

4.2 Terenska ispitivanja u Meinheimu (Njemačka)- prijelaz s mrežnog rada na otočni način rada

Ovo testno polje je ekološki orijentirano naselje u općini Wallstadt u Meinheimu. Ono se smatra kao ključni čimbenik uspjeha za održivi razvoj i za početak izgradnje svijesti potrošača i proizvođača koji imaju pozitivan stav prema inovacijama i obnovljivim izvorima energije. Odabrano naselje obuhvaća 580 kućanstava. Zemljište uključuje nekoliko privatnih manjih fotonaponskih sustava i jedno privatno kogeneracijsko postrojenje (slika 4.1.).



Sl. 4.1. *Fotonaponski paneli na zemljištu u Mainheimu*

Jedna od mjera za jačanje svijesti je ugradnja ploče sa zaslonom na ulazu u dječji vrtić na kojemu se pokazuje trenutna razina snage u stvarnom vremenu i energija proizvedena iz fotonaponskih panela (slika 4.2.).



Sl. 4.2. *Ploča na ulazu u dječji vrtić sa prikazom proizvodnje energije iz fotonapona*

Niskonaponska distribucijska mreža predstavlja tipičan stambeni prostor sa prstenastom mrežnom strukturom. Ona se napaja iz srednjenaponske mreže preko tri 20/0.4 kV, 400 kVA transformatora. Niskonaponska mreža čija je nula direktno uzemljena na SN/NN trafostanici je trofazna mreža, napon na nižoj razini je 230/400 V a na srednjoj razini 20 kV. Stanovi su spojeni na električnu mrežu podzemnim kablovima. Niskonaponska mreža u Wallstadtu ima 27 razvodnih kutija i podzemnih kablova. U sklopu više mikromrežnih projekata niskonaponska mreža je izmijenjena kako bi se pripremila za optimalni otočni način rada. Novo distribucijsko područje uključujući sva relevantna opterećenja, distribucijske generatore i spremnike energije je posluživao samo jedan transformator. Kvaliteta napajanja i mrežne karakteristike se prate od 2006. godine. Dvije su grupe tehničkih eksperimenata provedene u Wallstadtu:

- realizacija besprijekornog prijenosa energije između mrežnog načina rada i otočnog rada
- realizacija softverskih agenata koji su odgovorni za kontrolu tereta, skladištenja energije i generatore.

Da bi se dokazala izvedivost iterativnog prebacivanja energije između otočnog načina rada i mrežnog načina rada i obratno, instalira se dodatna baterija za stabilizaciju frekvencije u kombinaciji sa sustavom pretvarača koji omogućuju realizaciju otočnog rada.

Glavno postignuće ovog eksperimenta je tehnička izvedivost uspješnog prijelmrežnog načina rada i otočnog rada. Daljnji uspjeh je povećanje energetske učinkovitosti to jest smanjenje potražnje energije kao rezultat automatskog pregovaranja između agenata. Ovi rezultati su komplementarni jer tijekom otočnog rada efikasno upravljanje na strani potražnje smanjuje opterećenje i time se pomaže stabilizacija otočnog sustava. Sposobnost za rad u otočnom radu povećava sigurnost opskrbe i na taj način doprinosi ciljevima održivosti. To bi moglo biti manje važno za jake, umrežene mreže ali bi moglo biti dobro proučeno u Wallstadtu u realnim uvjetima bez ugrožavanja napajanja potrošača. Mikromrežne instalacije u Wallstadtu dalje se koriste u edukativne i demonstracijske svrhe.

4.3 Mikromreža u Bronsbergenu (Nizozemska)- otočni rad i pametno skladištenje energije

Ovaj demonstracijski slučaj postavljen je u Holiday Park Bronsbergenu u Nizozemskoj. Park obuhvaća 210 vikendica gdje je njih 100 opremljeno fotonaponskim sustavima. Snaga svih fotonaponskih sustava zajedno je 315 kW dok je vršno opterećenje u parku oko 150 kW. Prisutnost velikih količina fotonaponskih sustava uvodi posebne probleme u niskonaponskom

distribucijskom sustavu u parku među kojima su jedanaesti i trinaesti harmonik struje i napona. Ova situacija u kombinaciji s činjenicom da je ljeti dnevna potrošnja električne energije manje-više jednaka dnevnoj proizvodnji energije iz fotonapona stvara idealnu priliku istraživanju prednosti lokalne pohrane u kombinaciji s poboljšanjem kvalitete električne energije.

Fleksibilan AC distribucijski uređaj[7] predložen je za rješavanje sljedećih postojećih problema:

- nulte komponente struje- treći harmonik struje iz fotonaponskih pretvarača uzrokuje znatne struje u neutralnom vodiču trofaznog sustava što rezultira kružnim strujama u transformatoru.
- harmonici- fotonaponski pretvarači unose znatne količine harmonika u mrežu. Također, kombinacija ulaznih kapaciteta svih pretvarača zajedno sa induktivitetom distribucijskog transformatora uzrokuje da sustav pokazuje slabo prigušenu rezonanciju na oko 650 Hz.
- nesimetrija_ dobrim dijelom jednofazna opterećenja i generatori rezultiraju lošom simetrijom trofaznih napona.

Fleksibilan AC distribucijski uređaj može djelovati u kombinaciji s baterijama za pohranu energije što bi poduprlo predviđene operacije u otočnom načinu rada.

Ciljevi demonstracije:

- otočni rad mikromreže_ tijekom prosječnog ljetnog dana mikromreža treba biti sposobna za rad u otočnom režimu za razdoblje od 24 h. Na dan koji ima zračenje sunčeve energije manje od prosječnog, mikromreža možda neće biti u stanju izdržati 24h u otočnom režimu rada ali trebala bi biti u mogućnosti izdržati najmanje 4h rada. U Nizozemskoj, 4h je maksimalno trajanje prekida opskrbe za koje mrežni operator nije dužan platiti naknadu za svoje kupce.
- automatska izolacija i ponovno uključenje_ mikromreža treba biti opremljena autonomnim zaštitnim uređajem koji odspaja mikromrežu od vanjske mreže kada se dogodi kvar u vanjskom sustavu. Nadalje, sustav bi trebao biti u stanju sinkronizirati mikromrežu sa vanjskom mrežom. Interni kvarovi moraju se rješavati selektivno od strane osigurača na vodu koji je u kvaru. Kao logična posljedica tog pristupa, instalirani su pojedinačni vodovi za svaki sustav za pohranu podataka. Osigurači na ovim vodovima izolirat će odgovarajući

[7] Fleksibilan AC distribucijski uređaj ima za cilj poboljšati kvalitetu napajanja i pouzdanost cjelokupnog distribucijskog sustava na koji je priključena mikromreža. [29]

sustav za pohranu podataka u slučaju kvara unutar sustava. Nakon što se aktivira signal iz MGCC-a, uređaj za zaštitu mora ponovno spojiti mikromrežu na vanjsku mrežu. Za tu svrhu uređaj mora biti opremljen softverom za detekciju sinkronizacije. Fleksibilan AC distribucijski uređaj mora prepoznati napon vanjske mreže i podesiti napon i frekvenciju mikromreže tako da se omogući sinkrona rekonekcija. Rekonekcija se mora uspostaviti u roku od jedne minute nakon što napon i frekvencija vanjske mreže zadovolji zakonske granice.

- vanjski nedostaci_ ponašanje kratkog spoja fleksibilnog AC distribucijskog uređaja treba biti takvo da se ne isključuje za vrijeme kvara na dolazećem pojnom vodu iz vanjske mreže, pod pretpostavkom da zaštitni sustav instaliran na tom vodu djeluje kao što je navedeno i da izolira mikromrežu od istog voda. U roku od 200 ms nakon što proradi zaštita, napon unutar mikromreže treba se vratiti na normalnu vrijednost.
- unutarnji nedostaci_ fleksibilan AC distribucijski uređaj mora biti sposoban generirati struju kvara dovoljno veliku da provede 200 A struje kroz osigurač u 5s. Ako je impedancija toliko niska da fleksibilan AC distribucijski uređaj ne može dostavljati struju u svom nominalnom izlaznom naponu, napon treba smanjiti kako bi ograničili struju na vrijednost koju sustav može podnijeti za 5 s. Cilj je demonstrirati da je otočni rad mikromreže u skladu sa sigurnosnim standardima.
- harmoničko izobličenje napona_ fleksibilan AC distribucijski uređaj treba apsorbirati ili nadoknaditi harmonike unutar mikromreže u tolikoj mjeri da je svaki harmonik napona od 100 Hz do 2 000 Hz u skladu s razinom planiranja. Polazna pretpostavka za razinu planiranja je 1% odstupanja od nazivne vrijednosti za svaki neparni harmonik osim za deveti, petnaesti, dvadeset prvi, dvadeset sedmi i trideseti, 0.2% odstupanja od nazivnog napona za parne harmonike i za deveti, petnaesti, dvadeset prvi dvadeset sedmi i trideset deveti.
- upravljanje energijom i optimizacija sustava skladištenja_ ovo uključuje razvoj i testiranje tzv. baterijskog posrednika koji prati stanje baterije i može izdavati zahtjeve za redovito punjenje kako bi uravnotežili individualne galvanske ćelije i kako bi optimizirali vijek trajanja baterije.
- paralelni rad pretvarača_ za procjenu paralelnog rada pretvarača izgrađena su dva identična fleksibilna AC distribucijska uređaja. Svaki uređaj pohranjuje pola potrebne energije. Da bi mogli premostiti kratke vremenske periode sa jednim sustavom u pogonu svaki sustav mora biti u mogućnosti opskrbiti puno opterećenje mikromreže. Kontrolni sustavi

pretvarača moraju biti konstruirani tako da se postigne paralelan rad i razuman stupanj raspodjele opterećenja bez razmjene upravljačkih signala između dva sustava.

- 'crni start' mikromreže_ cilj je pokazati kako je mikromreža sposobna za 'crni start' uz pomoć baterije.

Svi tehnički sustavi korišteni u mikromreži su razvijeni na temelju arhitekture projekta 'More Microgrids' koji se pokazao vrlo prikladnim za nesmetani rad u mrežnom i otočnom načinu rada kao i tijekom rekonekcije ta dva sustava [15]. Inverteri korišteni u otočnom načinu rada moraju biti osposobljeni za aktivnu kontrolu harmonijske razine napona zbog visokog postotka elektroničkih trošila u kućanstvima. U ovom projektu se to pokazalo izvedivo. Najvažnije naučene lekcije se odnose na način na koji rad mikromreže mora biti uveden u sustav operatora distribucijskog sustava. Nove tehnologije zahtijevaju dodatnu edukaciju osoblja u planiranju, upravljanju i razvoju cijelog skupa operacijskih standarda i procedura.

5. SIMULACIJA U PROGRAMSKOM PAKETU HOMER

Programski paket Homer razvijen je od strane NREL-a (*National Renewable Energy Laboratory*-) i predstavlja optimizacijski računalni model za distribuiranu proizvodnju električne energije. Prednost programa leži u mogućnosti izračunavanja isplativosti samostalnih ili mrežnih modeliranih hibridnih sustava. Homer omogućava definiranje modela s ulaznim podacima koji opisuju raspoloživost resursa, cijene komponenata i ulazne podatke za svaku komponentu. Sve unesene podatke Homer obrađuje na način da ih iskorištava za simulaciju konfiguracije sustava i generira rezultate koje su vidljivi kao lista ostvarivih konfiguracija sortiranih po cijeni.

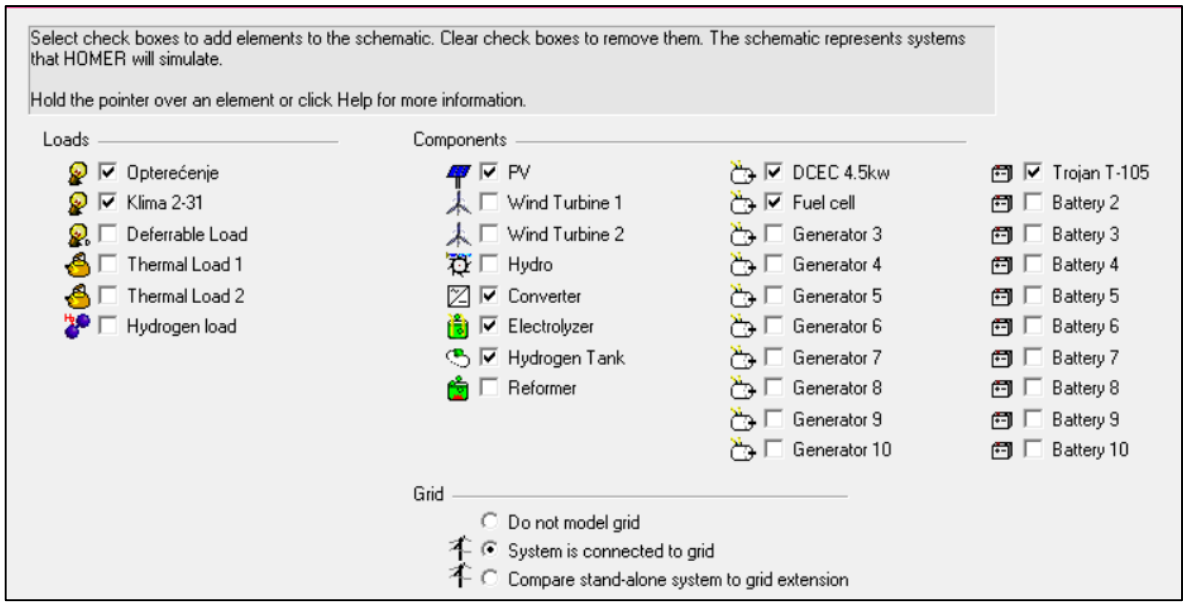
5.1 Cilj projektnog zadatka

Cilj projektnog zadatka je pronaći optimalni sustav napajanja na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Prilikom modeliranja uspoređuju se sustavi sa fotonaponskim panelima, gorivnim ćelijama te baterijom kao dodatnim izvorom energije. Uz postavljene uvjete rada te na osnovu svih unesenih podataka dobiva se optimalno rješenje sustava. Odabir optimalne veličine distribuiranih izvora energije i optimiranje njihovog rada vrlo je bitno. Kako bi opravdali investicijske troškove te kako bi postigli što bolju učinkovitost sustava vrlo je važno odabrati optimalnu snagu i kapacitet skladišta energije.

5.2 Komponente korištene u programskom paketu Homer

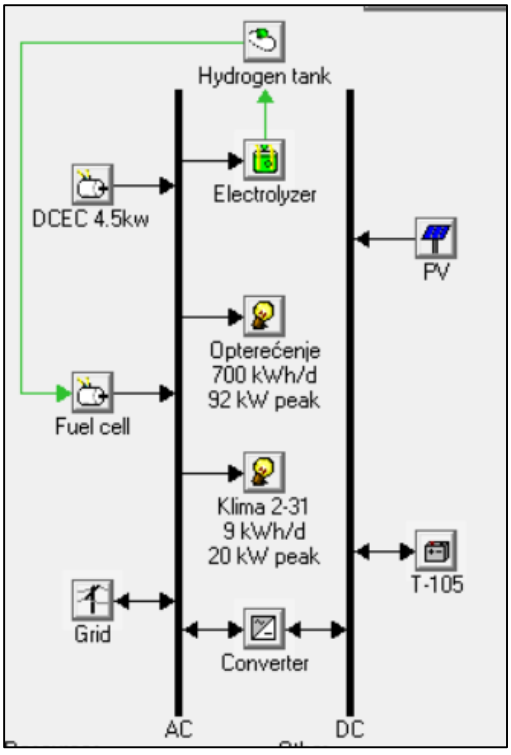
Početak analize sustava u Homeru počinje odabirom komponenti. Simulacija se odvija tako što Homer izračunava energetsku bilancu za svaki od 8760 sati u godini. On uspoređuje toplinske i električne zahtjeve tereta prema energiji koju taj sustav može opskrbiti. Homer određuje energetsku bilancu za konfiguraciju koju želimo i određuje je li moguće njeno ostvarenje.

Za ovaj projektni zadatak korištene su komponente prikazane na slici 5.1.



Sl. 5.1. *Prikaz odabira komponenti u programskom paketu Homer*

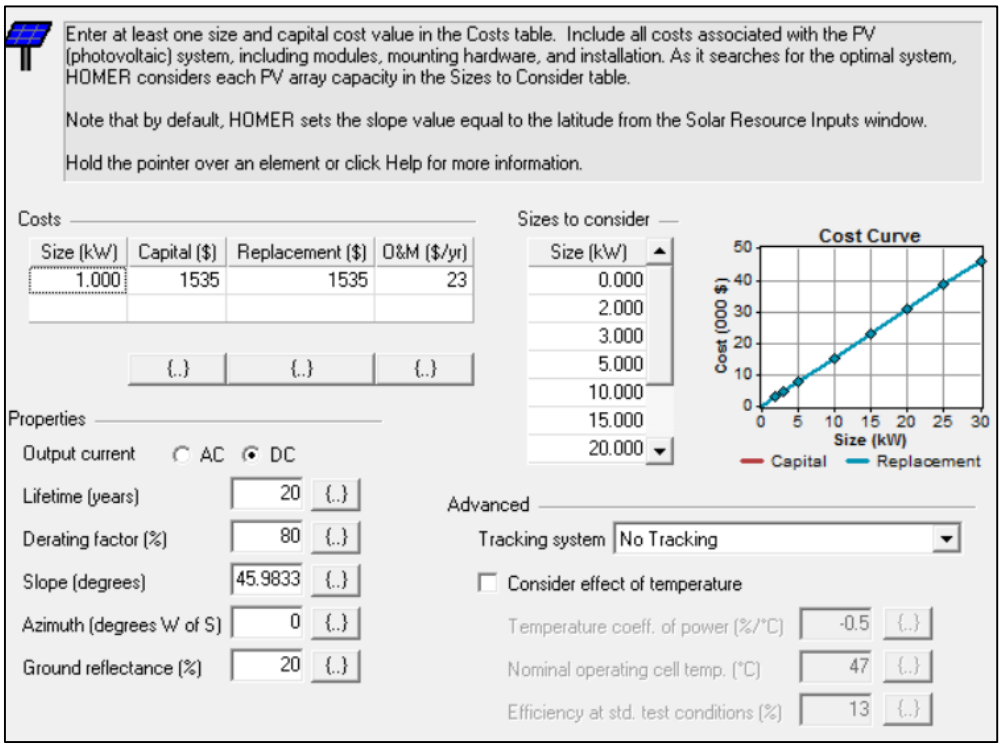
Sustav spojen u programskom paketu Homer prikazan je na slici 5.2.



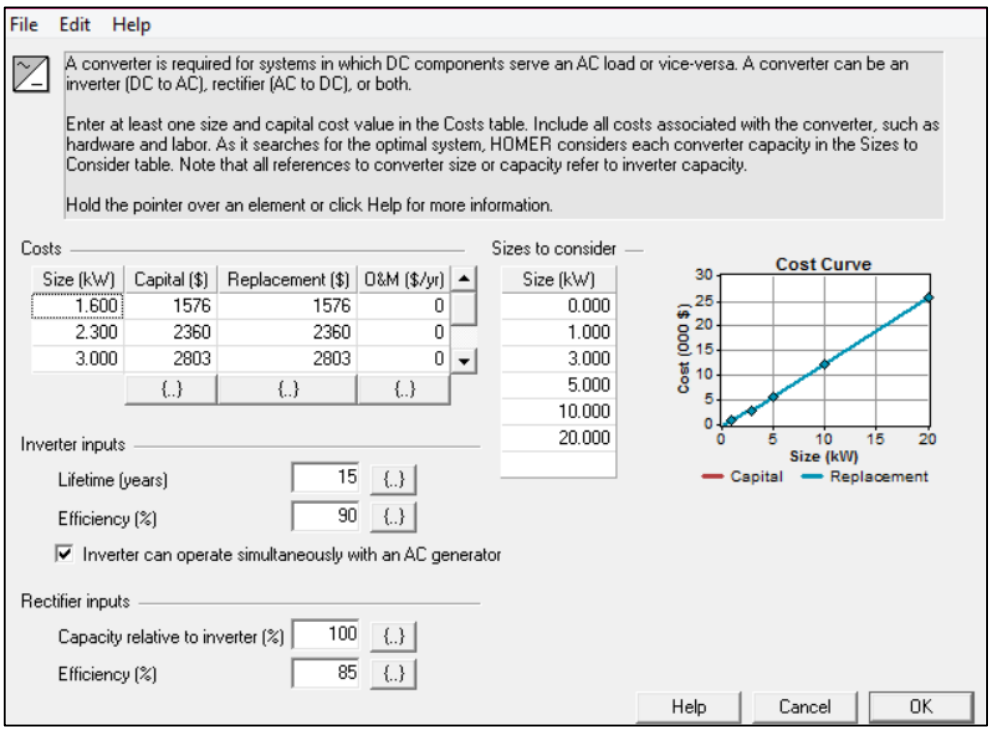
Sl. 5.2. *Prikaz spojenih komponenti sustava*

Kao što je već navedeno, svaku komponentu sustava potrebno je definirati kako bi se mogla izvršiti simulacija i kako bi se mogli dobiti potrebni podaci za proračun sustava. Homer uzima u obzir cijenu panela, troškove zamjene i troškove održavanja, uz te podatke moguće je dobiti

optimalan proračun cijelog sustava. Za bolju analizu Homer dopušta unos parametara kao što su efikasnost i kut postavljanja, te podatke ovisnosti o temperaturi.



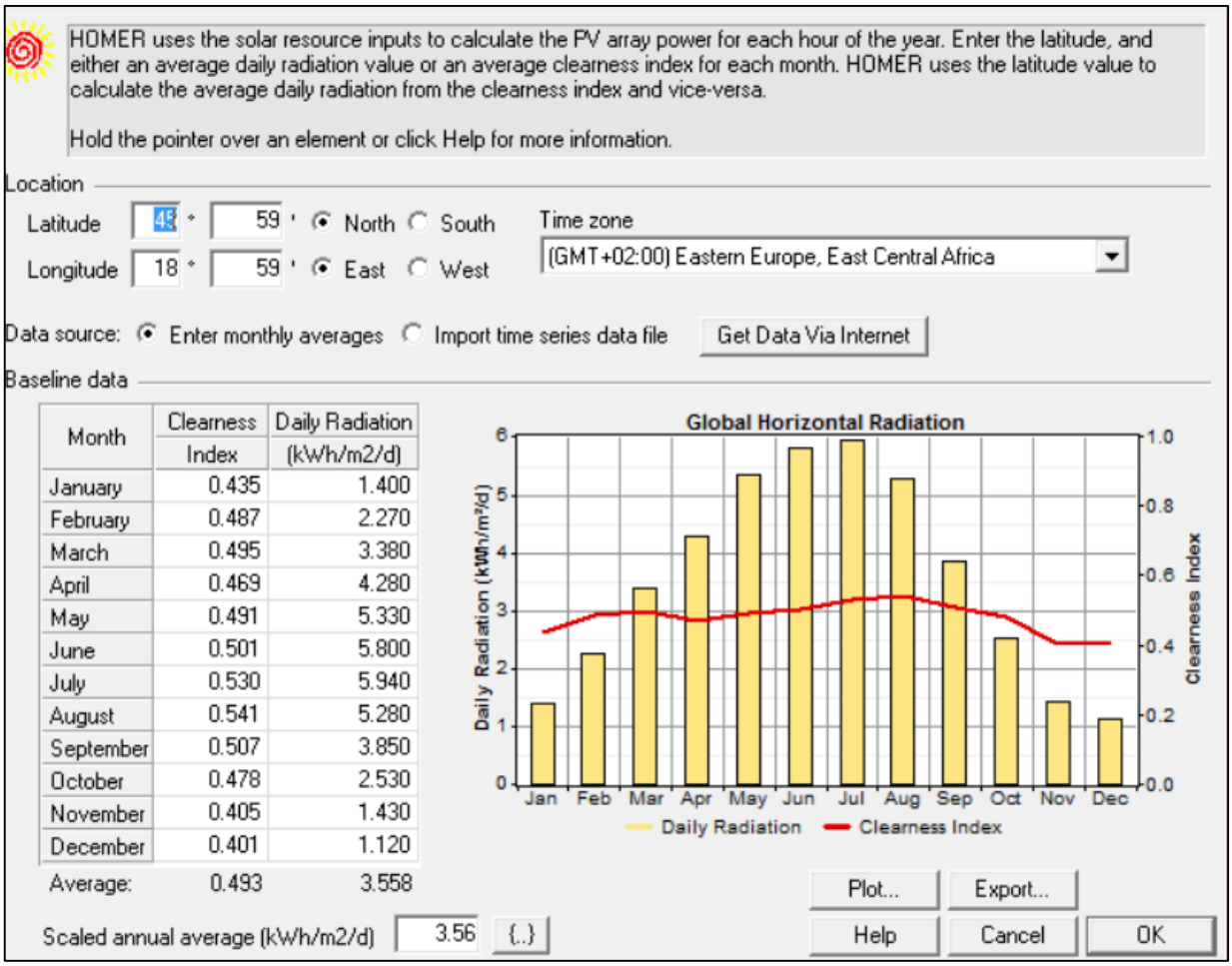
Sl. 5.3. *Unos podataka za fotonaponske panele*



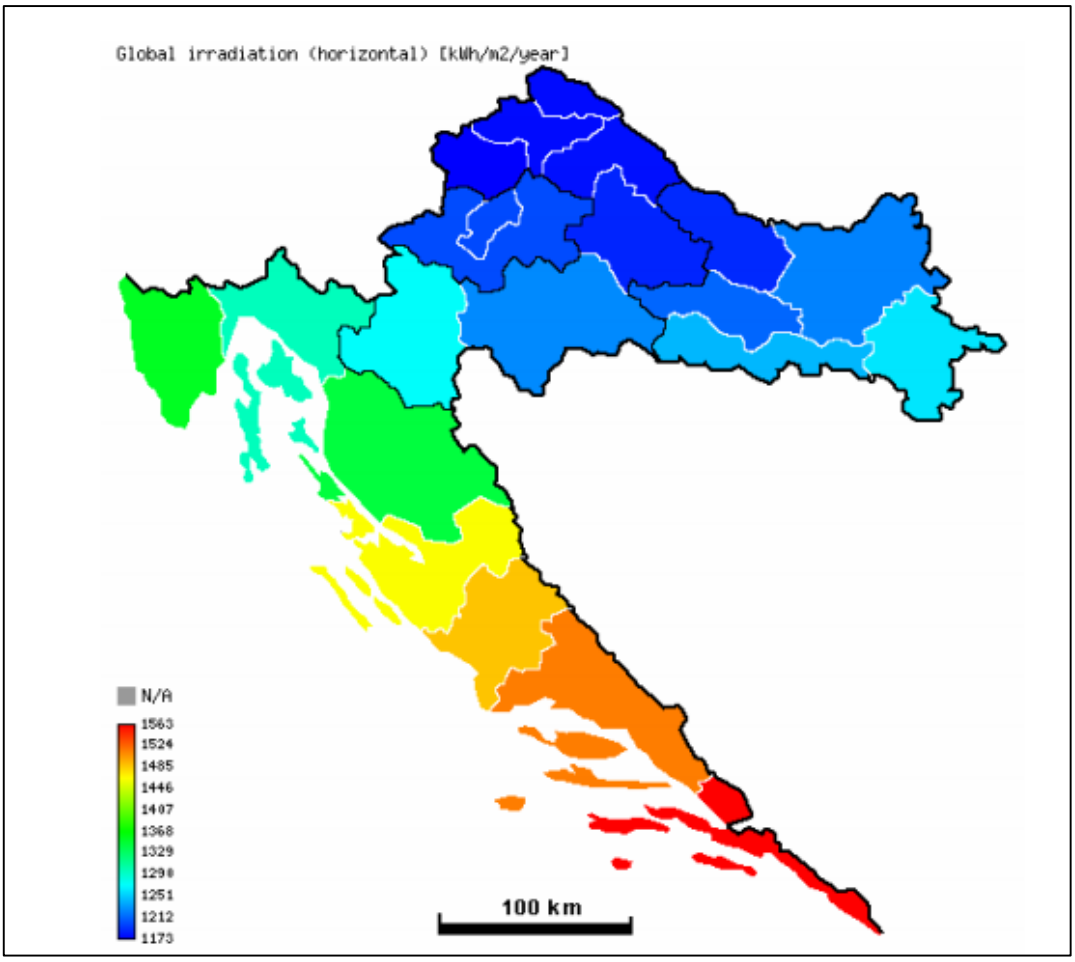
Sl. 5.4. *Unos podataka za pretvarač*

Na slici 5.4. vidljivi su podaci potrebni za pretvarač. Kao i za druge komponente, i kod ove je potrebno unijeti podatke o troškovima samog pretvarača.

Kod simulacije sustava koji sadrži fotonaponske panele vrlo je važno unijeti podatke o sunčevom zračenju [kWh/m^2/dan]. Uz te podatke, važno je unijeti i geografske podatke o lokalitetu za kojeg izvršavamo simulaciju. Podaci se mogu unijeti kao prosječni podaci po mjesecima ili uz pomoć datoteke koja sadrži mjerenja po satu ili danu. Na slici 5.5. prikazan je indeks sunčevog zračenja i prozračnosti za grad Osijek.



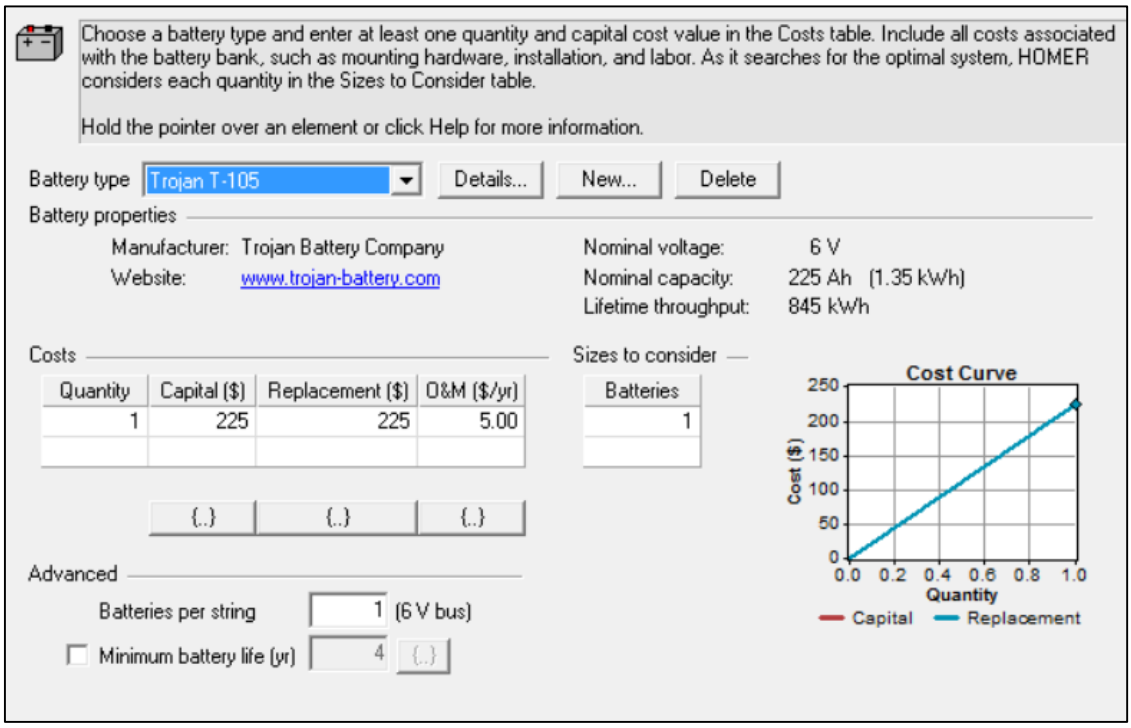
Sl. 5.5. *Sunčevo zračenje za Osijek*



Sl. 5.6. *Sunčevo zračenje na horizontalnu površinu u Hrvatskoj* [22]

Fotonaponski paneli bilježe brz razvoj, iskoristivost im je oko 15% a i cijena im opada, tako je na primjer cijena 1950. godine bila 200 $/W, a 2004. godine 2,7 $/W. Fotonaponski paneli jednostavni su za održavanje i najčešće se koriste za napajanje mjesta izoliranih od distribucijske mreže, pa ih tako možemo naći na vikendicama, koriste se za napajanje električnom energijom u telekomunikacijskim sustavima, pokretnoj prometnoj signalizaciji i kamping kućicama. Ukoliko postoji trenutni višak električne energije u odnosu na potrošnju, on se može pohraniti u bateriju ili elektrolizom proizvoditi vodik. Baterija se uglavnom koristi za kratkoročno pohranjivanje energije. Podaci za bateriju potrebni za unos u Homeru prikazani su na slici 5.7. Baterije predstavljaju jednu od najisplativijih dostupnih tehnologija skladištenja energije. Instalirana snaga baterijskog skladištenja električne energije može biti od nekoliko kilovata do nekoliko megavata. Ovisno o ciklusima punjenja učinkovitost takvih skladišta energije kreće se od 60 % do 90 %. Baterije nemaju emisiju stakleničkih plinova, jednostavne su za instalaciju i pružaju mogućnost seljenja pa kao takve primjenjuju se dosta često u urbanim sredinama. Na tržištu postoje različite tehnologije baterija, pa tako se često koriste olovne baterije s kiselinom, nikal kadmijeve baterije,

natrij sumporove baterije, natrij nikal kloridne baterije te litij ionske baterije. U ovoj simulaciji korištene su Trojan T-105 olovne baterije s kiselinom.

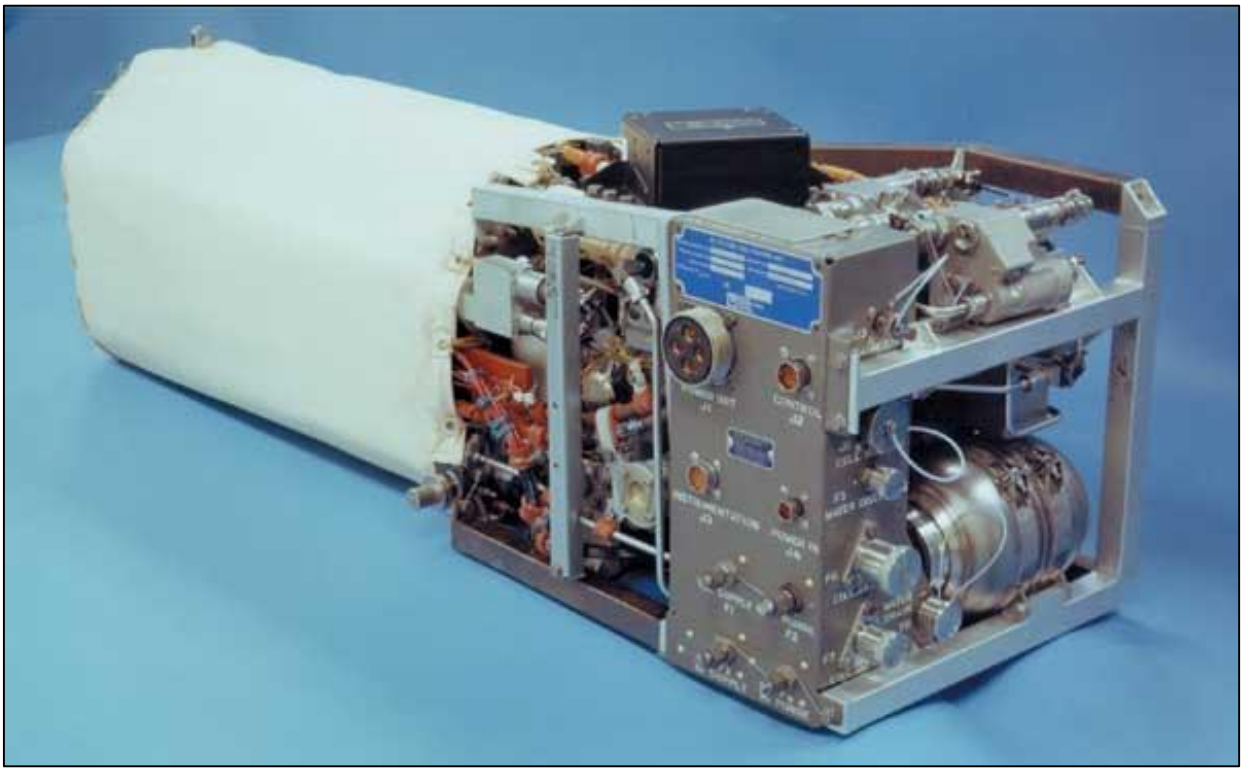


Sl. 5.7. *Podaci za bateriju*

	Olovne baterije s kiselinom	Nikal kadmijeve baterije	Natrij sumporove baterije	Natrij nikal kloridne baterije	Litij ionske baterije
Životni vijek (godine)	3 – 15	15 – 20	12 – 20	12 – 20	8 – 15
Životni vijek (broj ciklusa)	2000	1500	2000 – 4500	1000 – 2500	> 4000
Učinkovitost (%)	80 – 90	70 – 75	85 – 90	90	90 – 98
Troškovi izgradnje za instaliranu snagu (€/kW)	200 – 650	50 – 300	700 – 2000	100 – 200	700 – 3000
Troškovi izgradnje za instalirani kapacitet (€/kWh)	350 – 1000	200 – 1000	200 – 900	70 – 150	200 – 1800
Godišnji troškovi pogona i održavanja (€/kW)	12	25	20	15	25

Sl. 5.8. *Tehničke karakteristike različitih vrsta baterija* [23]

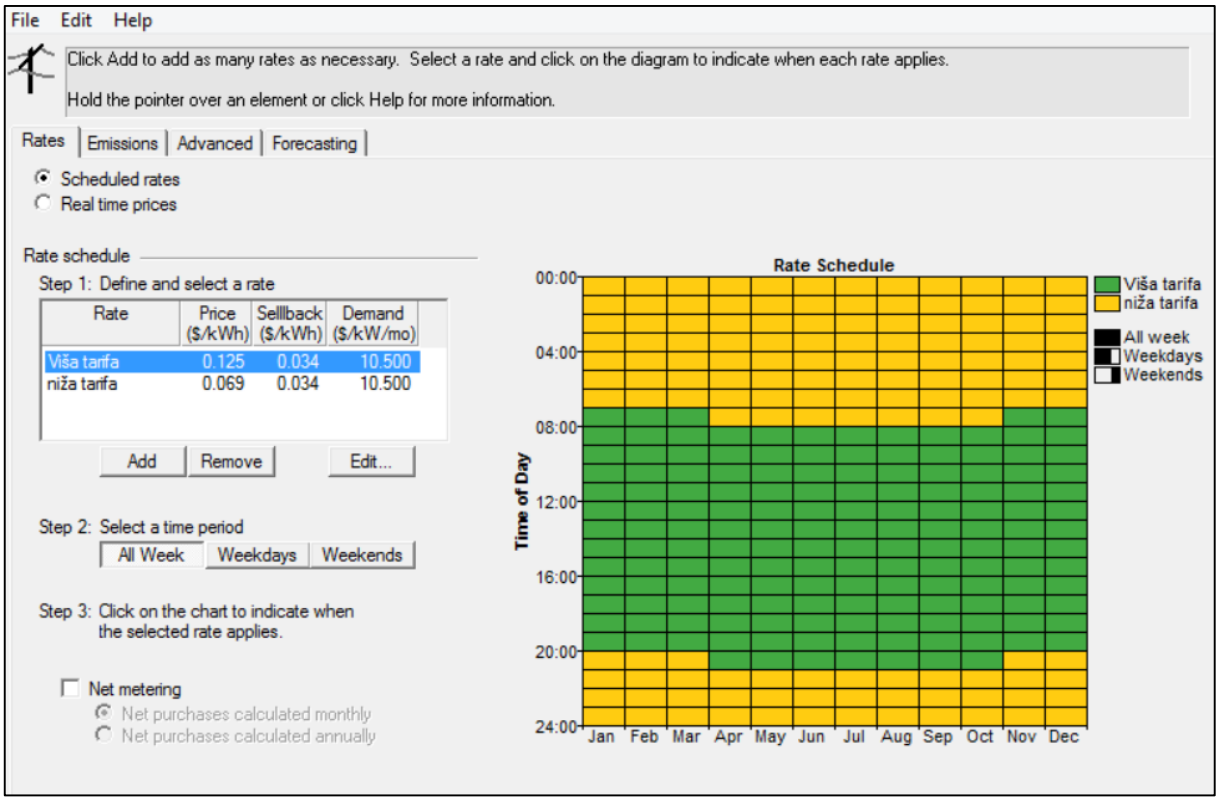
U ovoj simulaciji korišten je sustav gorivnih ćelija koji se planira instalirati na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Gorivne ćelije su elektrokemijski pretvarači energije koji iz kemijske energije izravno bez pokretnih dijelova i izgaranja proizvode električnu energiju. Gorivo može biti vodik, prirodni plin, metanol ili sintetski plin. Prednost sustava leži u njegovoj velikoj efikasnosti, tihom radu bez štetnih emisija te lakom podešavanju snage i mogućnošću proizvodnje električne i toplinske energije. No gorivne ćelije su skuplja tehnologija od postojećih konvencionalnih tehnologija. Trenutna cijena proizvodnje gorivnih ćelija je 3000 – 8000 €/kW. Po načelu su gorivne ćelije slične baterijama ali za razliku od njih one zahtijevaju stalan dotok goriva i kisika. Prednosti leže u visokoj energetskoj vrijednosti, obnovljivim i neograničenim količinama dostupnim u spojevima, produkt izgaranja je voda pa u reakciji s kisikom ne proizvodi štetne tvari, neotrovan je i ne zagađuje okoliš. Nedostaci su pak prisutni u samom procesu proizvodnje i dobivanju vodika, transportu i skladištenju te skupoj cijeni na tržištu.



Sl. 5.9. *Primjer gorive ćelije u svemirskoj letjelici iz NASA-ine space shuttle flote*

Na slici 5.10. vidljivi su podaci korišteni za mrežu. Za simulaciju u radu koristi se klasični način naplate električne energije gdje se električna energija kupuje od opskrbljivača pri čemu se koriste dvije tarife u danu a to su dnevna koja je viša i noćna tj. niža tarifa. Za zimsko računanje

vremena viša tarifa se odnosi na vremensko razdoblje od 07-21 sat, niža tarifa od 21-07 sati. Ljetno računanje vremena odnosi se na višu tarifu od 08-22 sata, i nižu tarifu od 22-08 sati. [24]



Sl. 5.10. *Tehnički podaci za mrežu*

5.3 Optimiranje mikromreže na FERIT-u pomoću programskog paketa Homer

Model mikromreže koji sadrži fotonaponske panele i gorivne ćelije simuliran je u programskom paketu Homer kako bi se dobilo optimalno rješenje koje će u budućnosti koristiti u daljnjoj izgradnji mikromreže na fakultetu. Za potrebe mjerenja korišteni su podaci o potrošnji klima uređaja i podaci o cjelokupnom opterećenju fakulteta. Trenutno instalirani fotonaponski sustav na fakultetu sadrži 40 fotonaponskih modula od 250 W povezanih u dva niza koji su zatim spojeni na pretvarač. Na trofaznu niskonaponsku mrežu 230/400 V se preko razvodne kutije povezuje pretvarač. Cjelokupan klimatizacijski sustav sadrži pet uređaja za klimatizaciju, svaki nazivne snage 4,87 kW. Mjerenja korištena u ovom radu vršila su se na tri lokacije unutar zgrade. Opterećenje fakulteta mjereno je na razvodnom ormaru s izmjenične strane mreže, proizvodnja iz fotonaponske elektrane mjerena je na razvodnom ormaru s izmjenične strane mreže i potrošnja klima uređaja mjerena je na posebnom ormaru. Pri mjerenjima dobiveni prosječni rezultati (snaga,

napon) iskazani su u 10- minutnim periodima. [25] U svim proračunima korišteni su godišnji podaci za 2014. godinu. Svi cjenovni podaci uzimaju u obzir tečajnu listu Hrvatske narodne banke gdje je 1$ jednak 6,624932 kn (15.6.2016.). [26]

Analiza slučaja

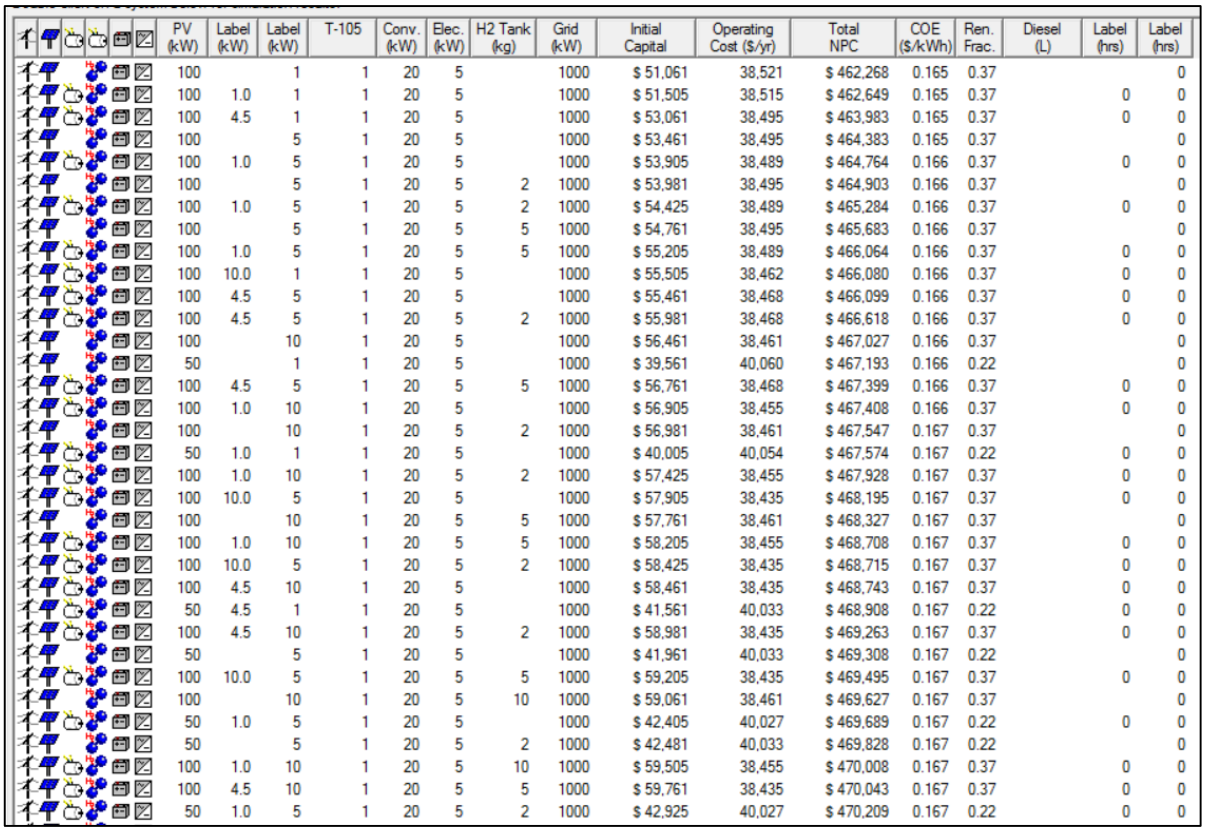
U analizi slučaju opisuju se tri rješenja sustava. U obzir se uzimaju gorivne ćelije, pretvarač, fotonaponski paneli i Trojan T-105 baterija koja spada u grupu olovnih baterija s kiselinom. Ova baterija je korištena zbog vrlo dugačkog predvidivog životnog vijeka i odličnog svojstva kratkog pražnjenja od nekoliko sekundi, uz to, takve su baterije pogodne i za dugotrajna višesatna pražnjenja. Homer ima mogućnost da od mogućih ponuđenih veličina svih komponenti odabere najpovoljniju i kao takvu ju iskoristi za daljnji proračun.

Troškovi ulaganja, zamjene i održavanja za fotonaponske panele, gorivne ćelije, pretvarač i Trojan T-105 bateriju prikazani su u tablici 5.1. Trošak nabave cijelog fotonaponskog sustava iznosi 15% nabavne cijene (1535 $) jer je sustav nabavljen preko EU projeka. [30]

Tab. 3.2. *Tablični prikaz troškova, zamjene i održavanja fotonaponskih komponenti korištenih u simulaciji*

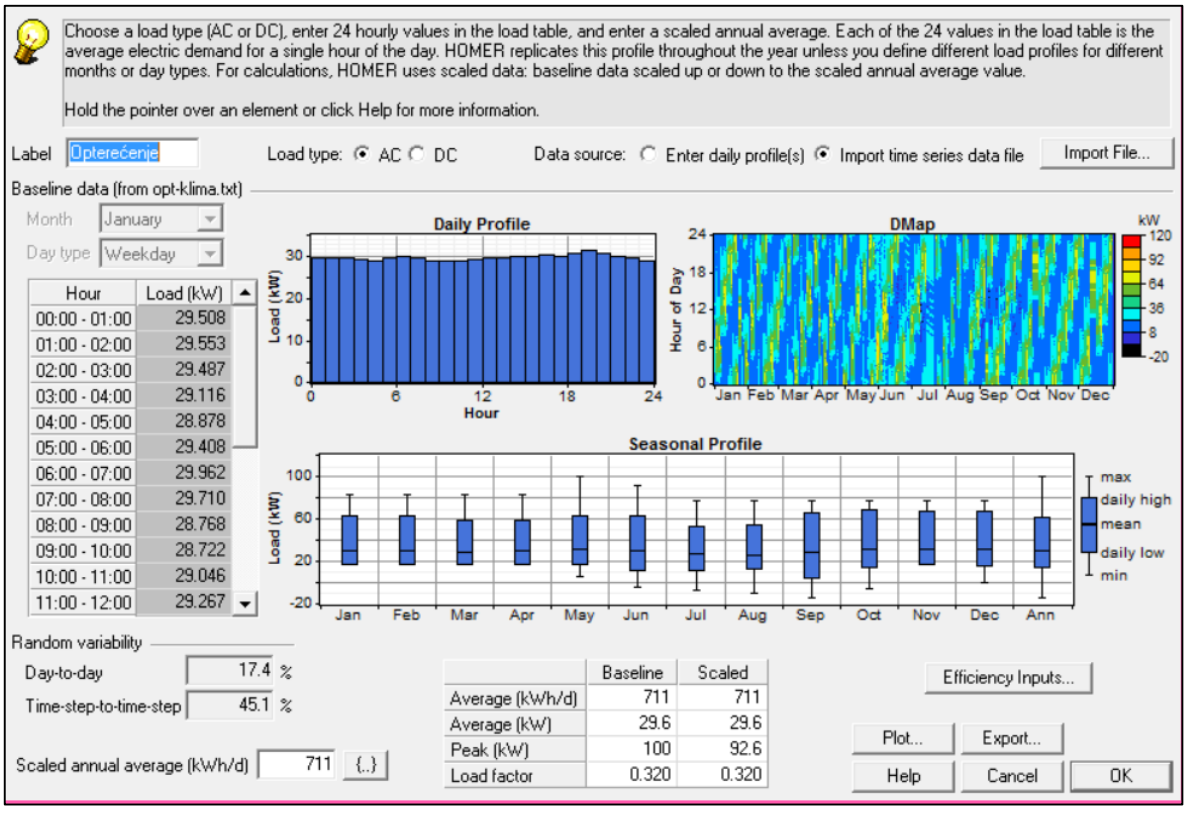
	Fotonaponski paneli	**Gorivne ćelije**	**Pretvarač**	**Trojan T-105 baterija**
Veličina [kW]	1	5	3	1
Troškovi ulaganja [$]	230,2	3000	2803	225
Troškovi zamjene [$]	230,2	2500	2803	225
Troškovi održavanja [$/h]	3,453	0,020	0	5

Prikaz svih rješenja simulacije prikazan je na slici 5.11. Na tom su prikazu sve komponente sustava koje su na početku dodane u sam program. Homer ih prikaže kao ikonice ako se one nalaze u konkretnom slučaju kao optimalno rješenje, a ako predstavljaju preskup zahvat ikonice se ne pojavljuju.



PV (kW)	Label (kW)	Label (kW)	T-105	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Label (hrs)
100		1	1	20	5		1000	$ 51,061	38,521	$ 462,268	0.165	0.37			0
100	1.0	1	1	20	5		1000	$ 51,505	38,515	$ 462,649	0.165	0.37		0	0
100	4.5	1	1	20	5		1000	$ 53,061	38,495	$ 463,983	0.165	0.37		0	0
100		5	1	20	5		1000	$ 53,461	38,495	$ 464,383	0.165	0.37			0
100	1.0	5	1	20	5		1000	$ 53,905	38,489	$ 464,764	0.166	0.37		0	0
100		5	1	20	5	2	1000	$ 53,981	38,495	$ 464,903	0.166	0.37			0
100	1.0	5	1	20	5	2	1000	$ 54,425	38,489	$ 465,284	0.166	0.37		0	0
100		5	1	20	5	5	1000	$ 54,761	38,495	$ 465,683	0.166	0.37			0
100	1.0	5	1	20	5	5	1000	$ 55,205	38,489	$ 466,064	0.166	0.37		0	0
100	10.0	1	1	20	5		1000	$ 55,505	38,462	$ 466,080	0.166	0.37		0	0
100	4.5	5	1	20	5		1000	$ 55,461	38,468	$ 466,099	0.166	0.37		0	0
100	4.5	5	1	20	5	2	1000	$ 55,981	38,468	$ 466,618	0.166	0.37		0	0
100		10	1	20	5		1000	$ 56,461	38,461	$ 467,027	0.166	0.37			0
50		1	1	20	5		1000	$ 39,561	40,060	$ 467,193	0.166	0.22			0
100	4.5	5	1	20	5	5	1000	$ 56,761	38,468	$ 467,399	0.166	0.37		0	0
100	1.0	10	1	20	5		1000	$ 56,905	38,455	$ 467,408	0.166	0.37		0	0
100		10	1	20	5	2	1000	$ 56,981	38,461	$ 467,547	0.167	0.37			0
50	1.0	1	1	20	5		1000	$ 40,005	40,054	$ 467,574	0.167	0.22		0	0
100	1.0	10	1	20	5	2	1000	$ 57,425	38,455	$ 467,928	0.167	0.37		0	0
100	10.0	5	1	20	5		1000	$ 57,905	38,435	$ 468,195	0.167	0.37		0	0
100		10	1	20	5	5	1000	$ 57,761	38,461	$ 468,327	0.167	0.37			0
100	1.0	10	1	20	5	5	1000	$ 58,205	38,455	$ 468,708	0.167	0.37		0	0
100	10.0	5	1	20	5	2	1000	$ 58,425	38,435	$ 468,715	0.167	0.37		0	0
100	4.5	10	1	20	5		1000	$ 58,461	38,435	$ 468,743	0.167	0.37		0	0
50	4.5	1	1	20	5		1000	$ 41,561	40,033	$ 468,908	0.167	0.22		0	0
100	4.5	10	1	20	5	2	1000	$ 58,981	38,435	$ 469,263	0.167	0.37		0	0
50		5	1	20	5		1000	$ 41,961	40,033	$ 469,308	0.167	0.22			0
100	10.0	5	1	20	5	5	1000	$ 59,205	38,435	$ 469,495	0.167	0.37		0	0
100		10	1	20	5	10	1000	$ 59,061	38,461	$ 469,627	0.167	0.37			0
50	1.0	5	1	20	5		1000	$ 42,405	40,027	$ 469,689	0.167	0.22		0	0
50		5	1	20	5	2	1000	$ 42,481	40,033	$ 469,828	0.167	0.22			0
100	1.0	10	1	20	5	10	1000	$ 59,505	38,455	$ 470,008	0.167	0.37		0	0
100	4.5	10	1	20	5	5	1000	$ 59,761	38,435	$ 470,043	0.167	0.37		0	0
50	1.0	5	1	20	5	2	1000	$ 42,925	40,027	$ 470,209	0.167	0.22		0	0

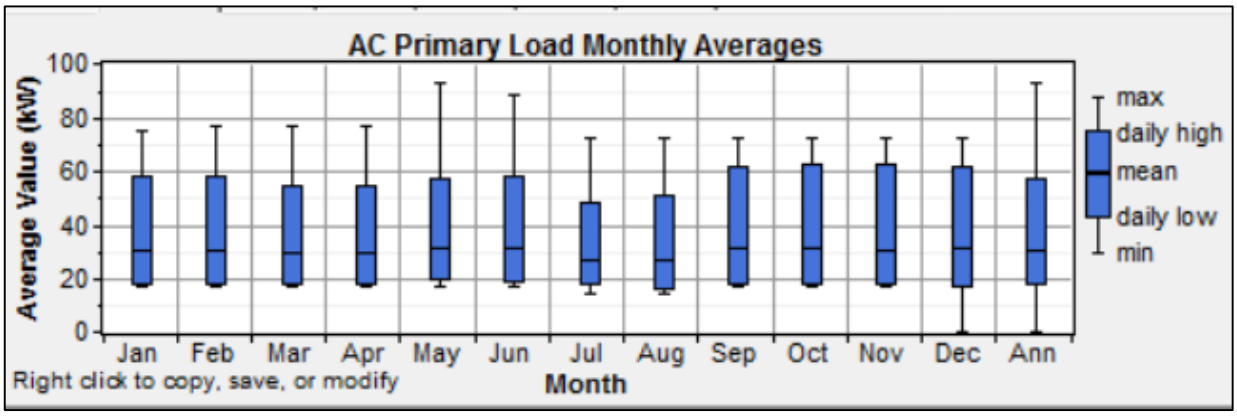
Sl. 5.11. *Prikaz rješenja simulacije*



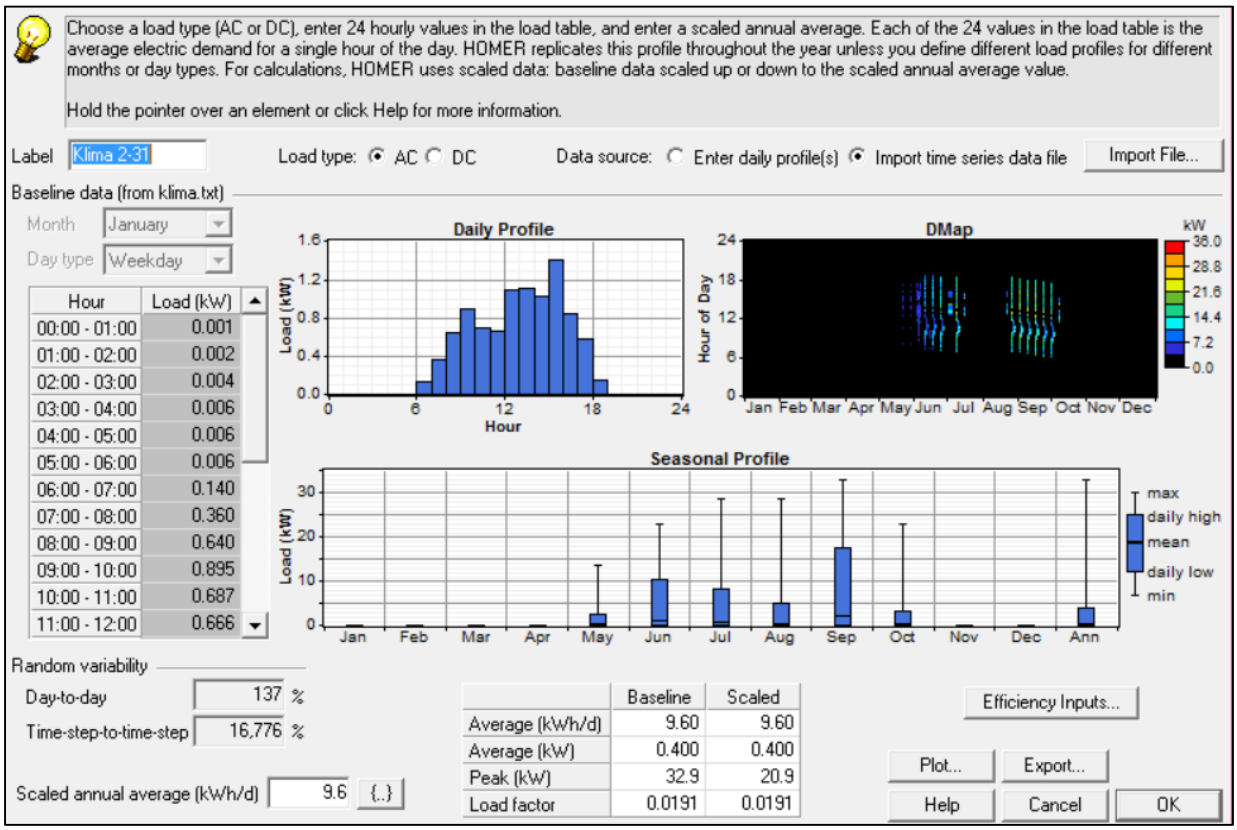
Sl. 5.12. *Prikaz godišnjeg opterećenja fakulteta*

Na slici 5.12. vidi se kako je vršno opterećenje fakulteta 92,6 kW. Ovo opterećenje zapravo predstavlja opterećenje fakulteta tijekom cijele 2014. godine umanjeno za potrošak klima uređaja.

Na slici 5.13. vidljivo je opterećenje u 2014. godini po mjesecima ali na način da se prikaže maksimalno opterećenje, minimalno opterećenje i srednja vrijednost opterećenja.



Sl. 5.13. *Prikaz opterećenja za 2014. g. po mjesecima*

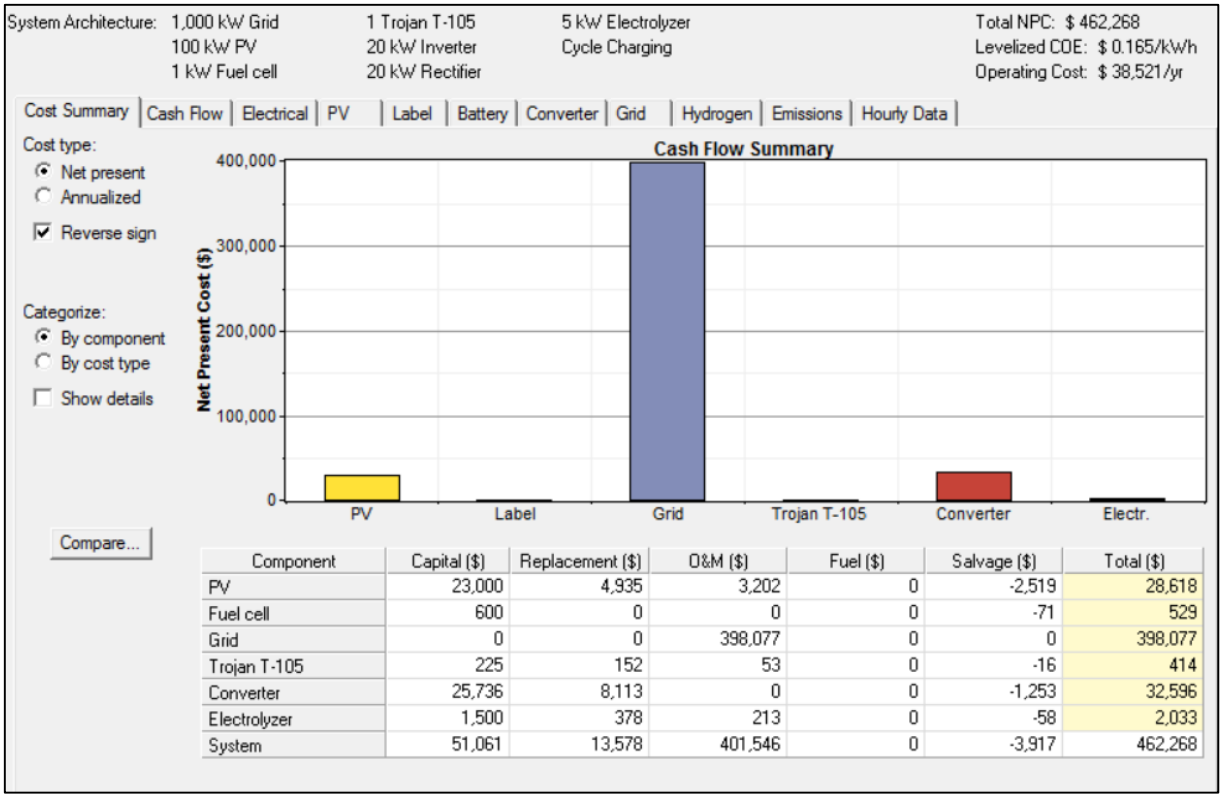


Sl. 5.14. *Prikaz godišnjeg opterećenja klime*

Vršna vrijednost klima uređaja je 20,9 kW. Vidljivo je kako klima uređaj troši najviše u ljetnim mjesecima što je i logično. Rujan ima najveću skalu potrošnje, veću od srpnja i kolovoza što se da objasniti tako što fakultet ne radi u dijelu srpnja i veći dio kolovoza.

U prvom slučaju optimalno rješenje predstavljeno je mikromrežom koja sadrži gorivne ćelije 1 kW, pretvarač 20 kW i fotonaponske panele 100 kW. Temeljni kapital ovog rješenja iznosi 51,061$, operativni troškovi iznose 38,521$ te ukupna neto cijena 426,268$. Ukupna neto cijena je cijena potrošene energije tijekom 25 godina. Da sustav fotonaponskih panela nije sufinanciran od strane EU, temeljni kapital ovog rješenja sa iznosio bi 3,229$, operativni troškovi 45,195$ te ukupna neto cijena 485,676 ali bi sustav imao pretvarač 1 kW i fotonaponske panele od 2 kW . Temeljni kapital je znatno manji zato što u tom slučaju Homer ne bi uzeo u obzir gorivne ćelije i sve komponente bi imale znatno manju snagu.

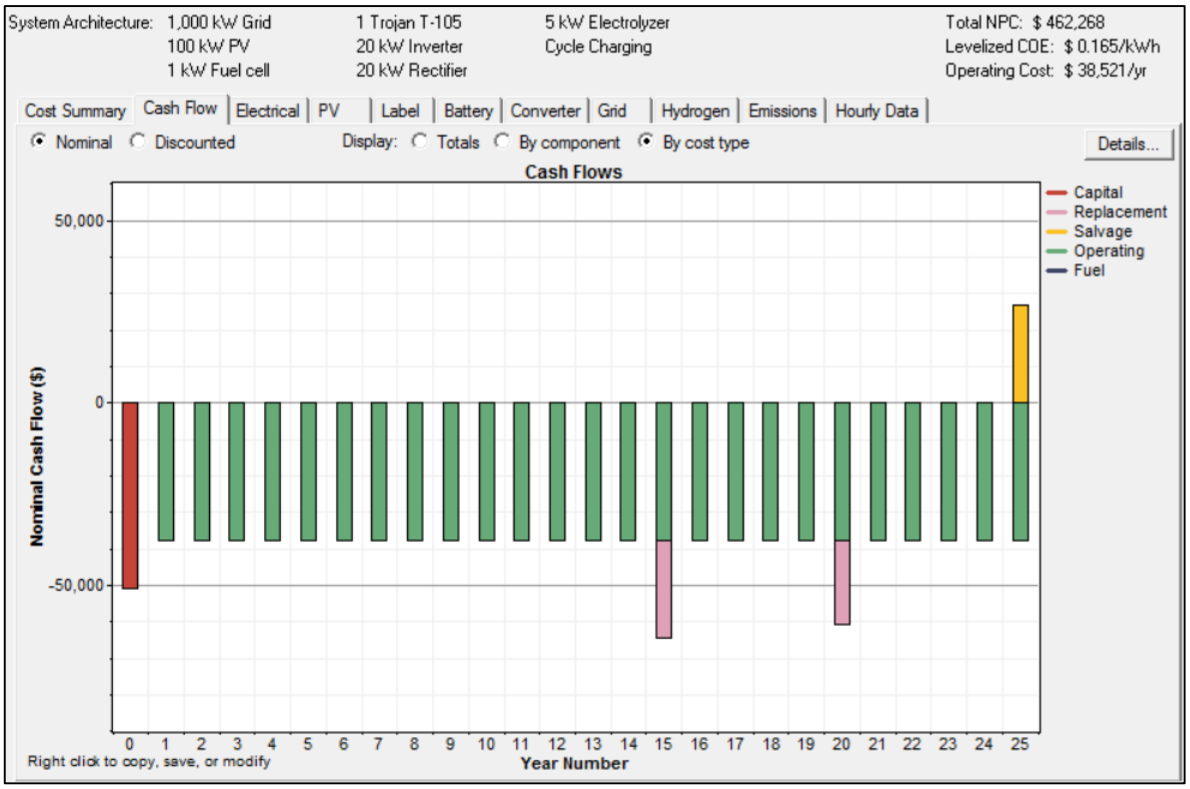
Stupac "Grid" na slici 5.15. je najviši zato što bez obzira na fotonaponske panele i gorivne ćelije mreža napaja fakultet u najvećoj mjeri jer gorivne ćelije i fotonaponski sustav nisu dovoljni za cjelokupnu opskrbu fakulteta.



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	23,000	4,935	3,202	0	-2,519	28,618
Fuel cell	600	0	0	0	-71	529
Grid	0	0	398,077	0	0	398,077
Trojan T-105	225	152	53	0	-16	414
Converter	25,736	8,113	0	0	-1,253	32,596
Electrolyzer	1,500	378	213	0	-58	2,033
System	51,061	13,578	401,546	0	-3,917	462,268

Sl. 5.15. *Ukupni troškovnik*

Na slici 5.16. vidljiv je tijek novca kroz 25 godina, početni ulog označen je crvenom bojom, troškovi zamjene ružičastom bojom, te ušteda označena žutom bojom. Slika 5.17. prikazuje troškove po komponentama sustava.

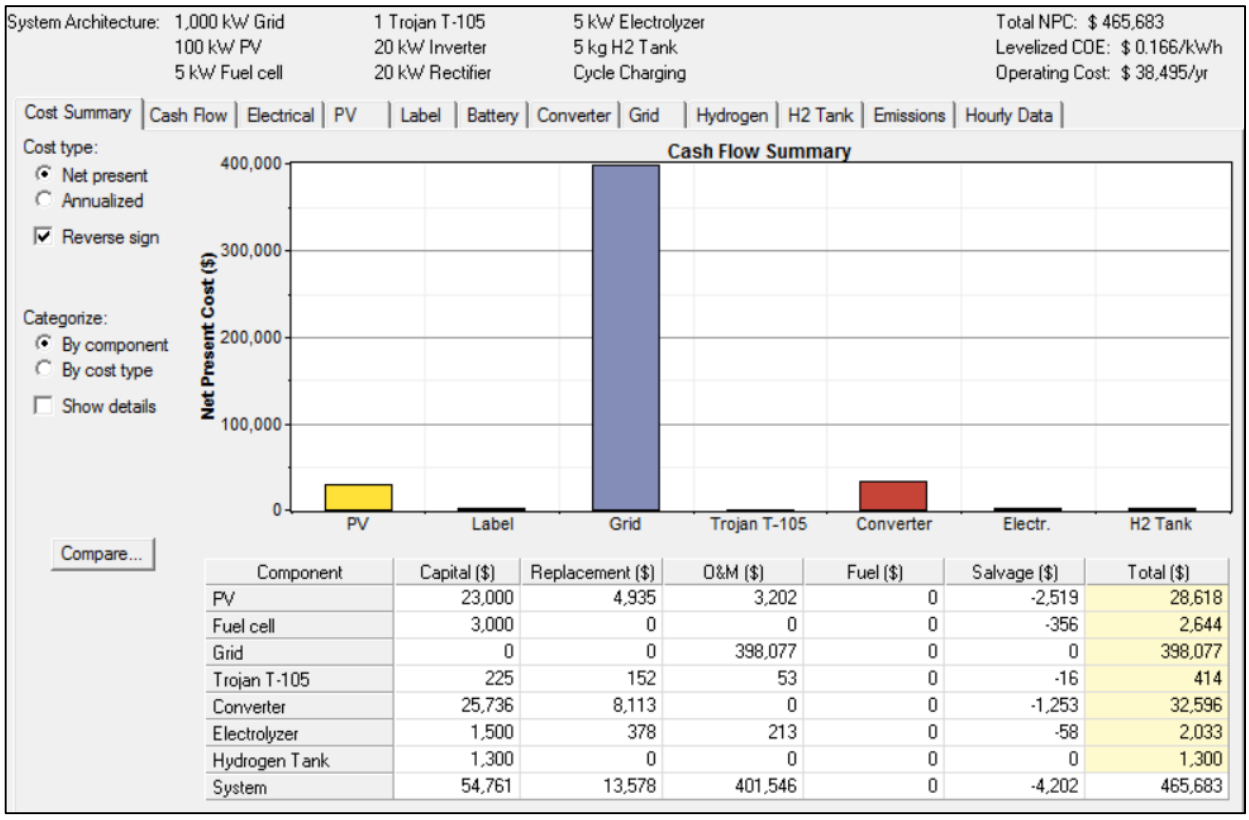


Sl. 5.16. *Tijek novca kroz 25 godina*



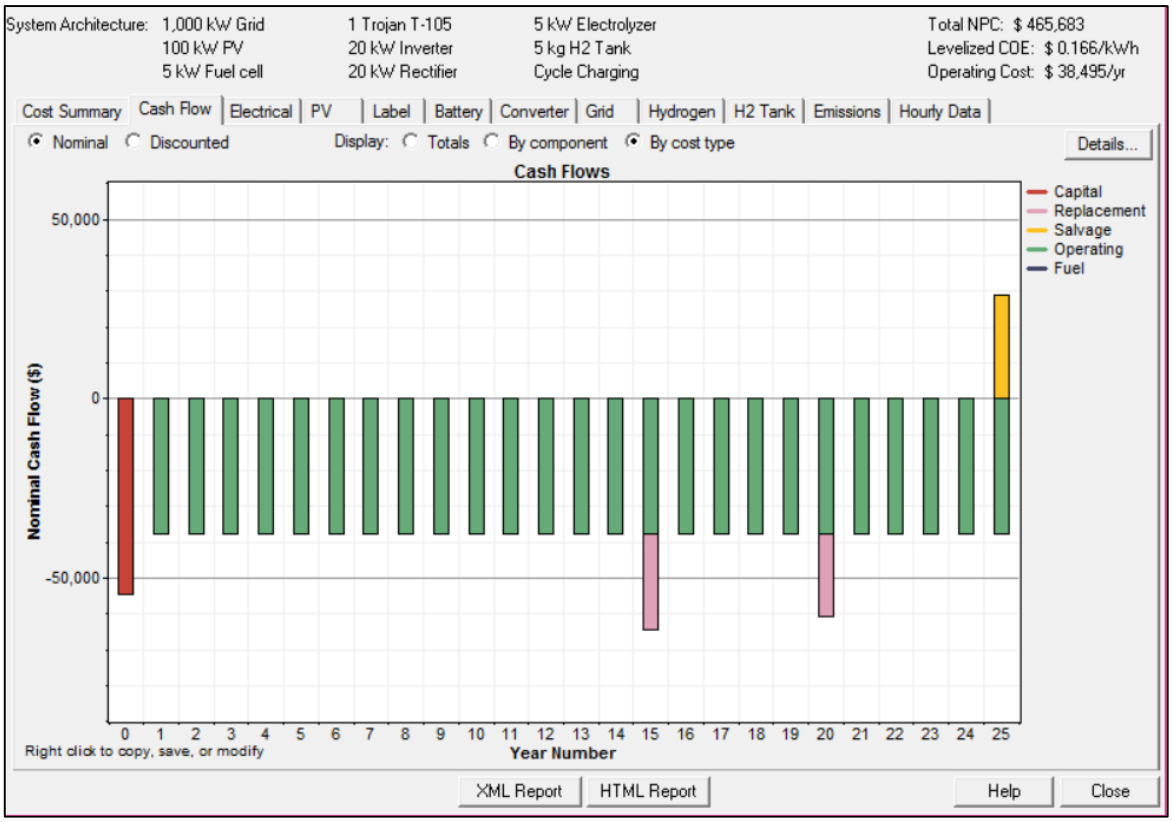
Sl. 5.17. *Tijek novca po komponentama*

U drugom slučaju gdje projekt nije sufinanciran od strane EU izabran je model mikromreže sa fotonaponskim panelima 2 kW i gorivnim ćelijama 1 kW. Temeljni kapital ovog rješenja iznosi 6,229$, operativni troškovi iznose 44,990$ te ukupna neto cijena 486,559$. Za slučaj sa istim komponentama gdje je projekt sufinanciran od strane EU temeljni kapital rješenja iznosi 54,761$, operativni troškovi iznose 38,495$ te ukupna neto cijena 465,683$ ali u ovom slučaju program uzima fotonaponski sustav sa 100 kW i 5 kW gorivne ćelije i zato je u ovom slučaju temeljni kapital veći, ali u konačnici sustav ima manje cijene operativnih troškova i neto cijenu.

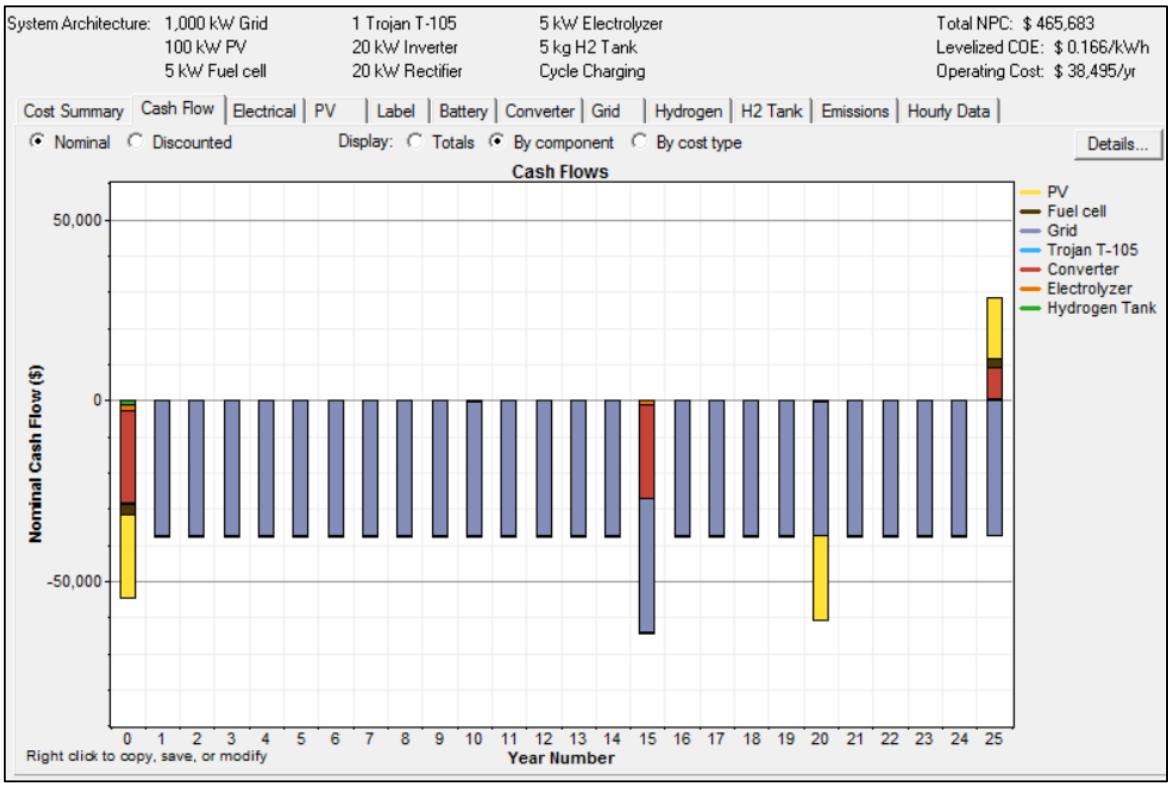


Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	23,000	4,935	3,202	0	-2,519	28,618
Fuel cell	3,000	0	0	0	-356	2,644
Grid	0	0	398,077	0	0	398,077
Trojan T-105	225	152	53	0	-16	414
Converter	25,736	8,113	0	0	-1,253	32,596
Electrolyzer	1,500	378	213	0	-58	2,033
Hydrogen Tank	1,300	0	0	0	0	1,300
System	54,761	13,578	401,546	0	-4,202	465,683

Sl. 5.18. *Ukupni troškovnik*

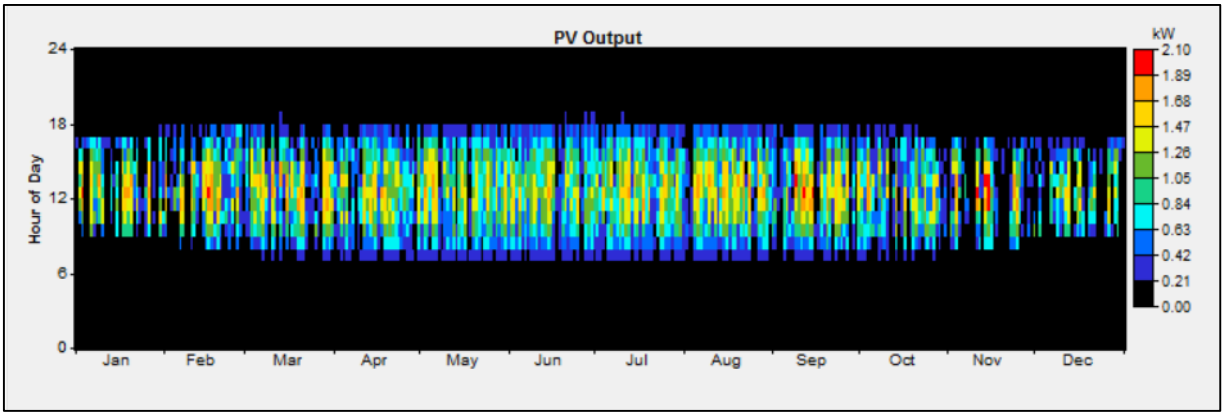


Sl. 5.19. *Tijek novca kroz 25 godina*

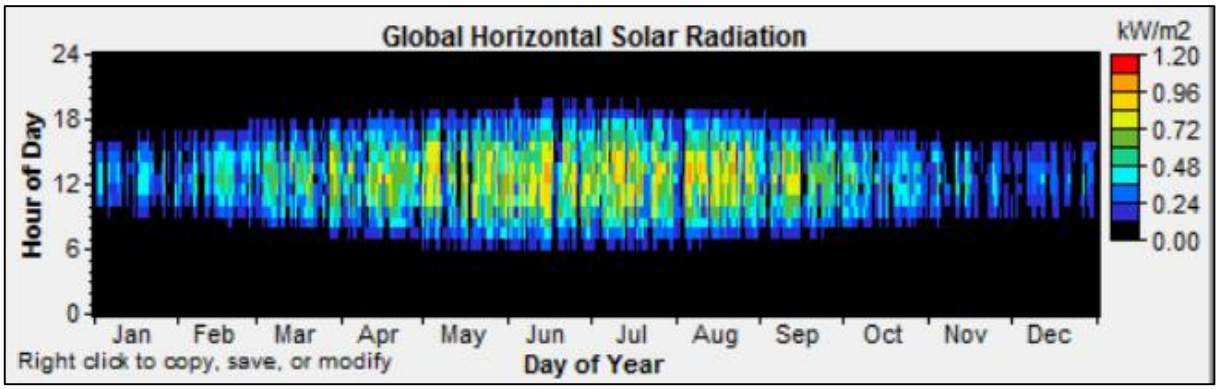


Sl. 5.20. *Tijek novca po komponentama*

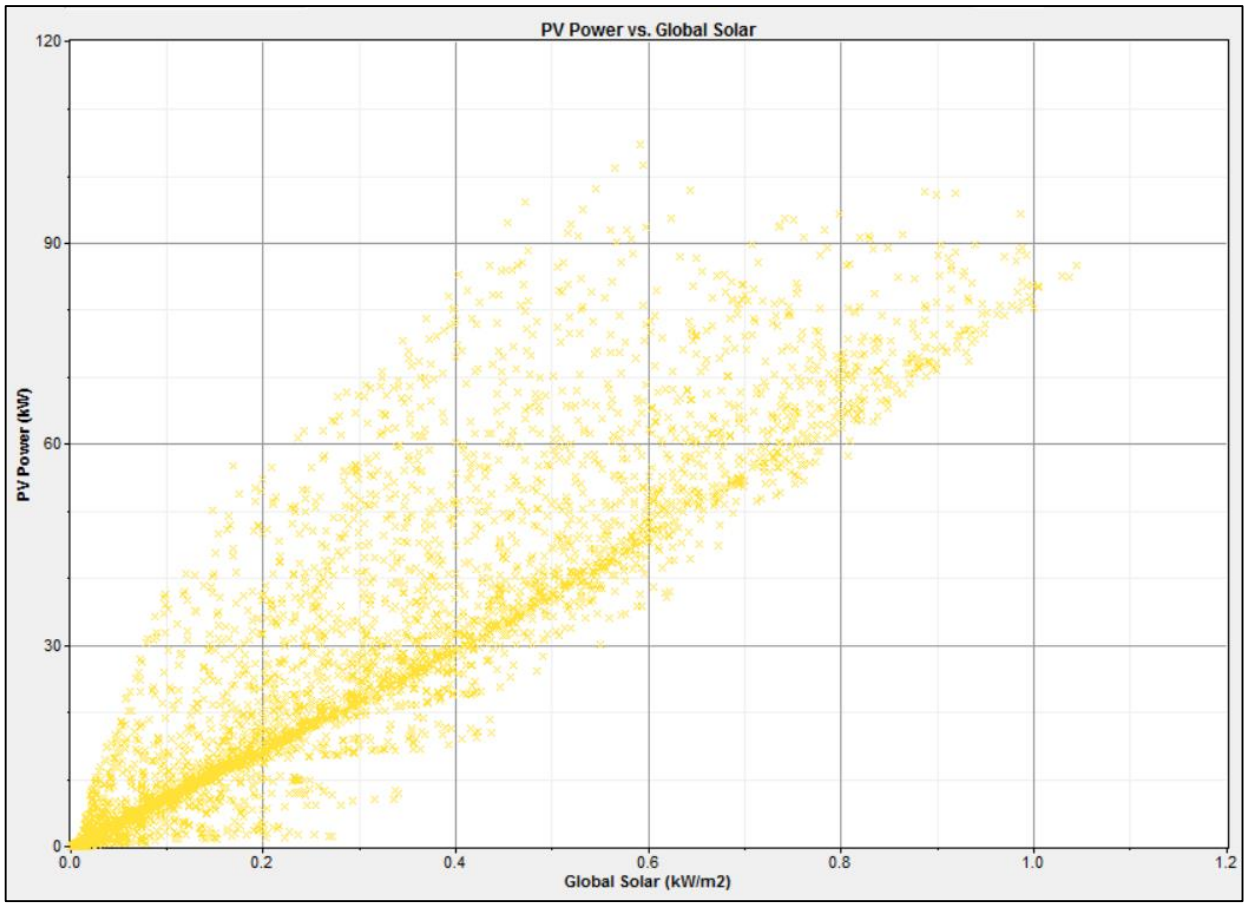
Veliki nedostatak Homera je taj što nema specificirane pojedine tipove PV modula i ne dopušta korisniku da prilikom unosa odabere koju vrstu tehnologije fotonaponskog modula želi. Razlog leži u kompliciranosti načina računanja i modeliranja ponašanja PV modula.



Sl. 5.21. *Sunčevo zračenje kroz godinu*

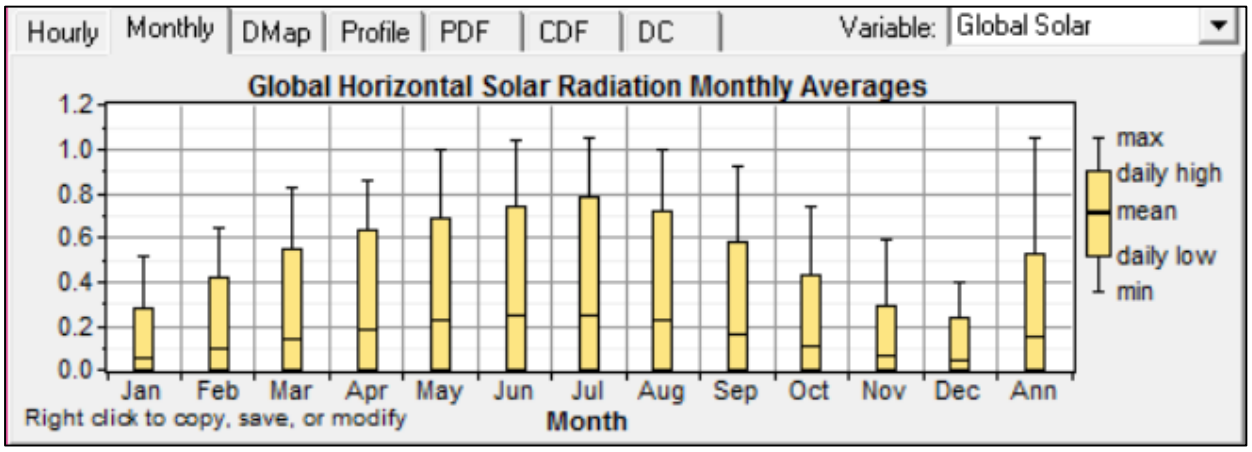


Sl. 5.22. *Zračenje na panele kroz godinu dana*

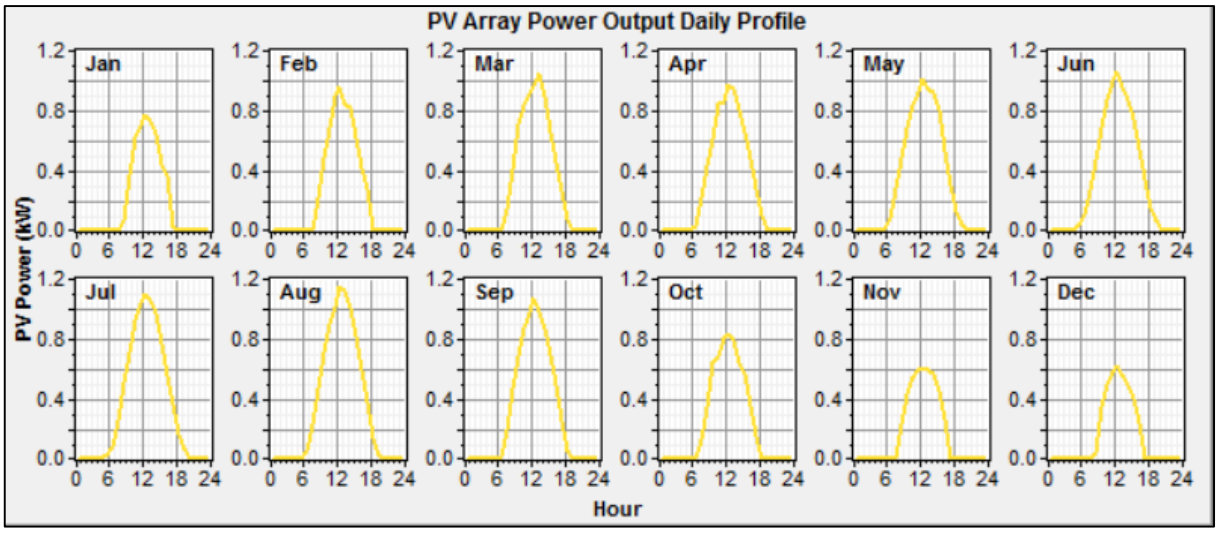


Sl. 5.23. *Odnos snage i sunčevog zračenja*

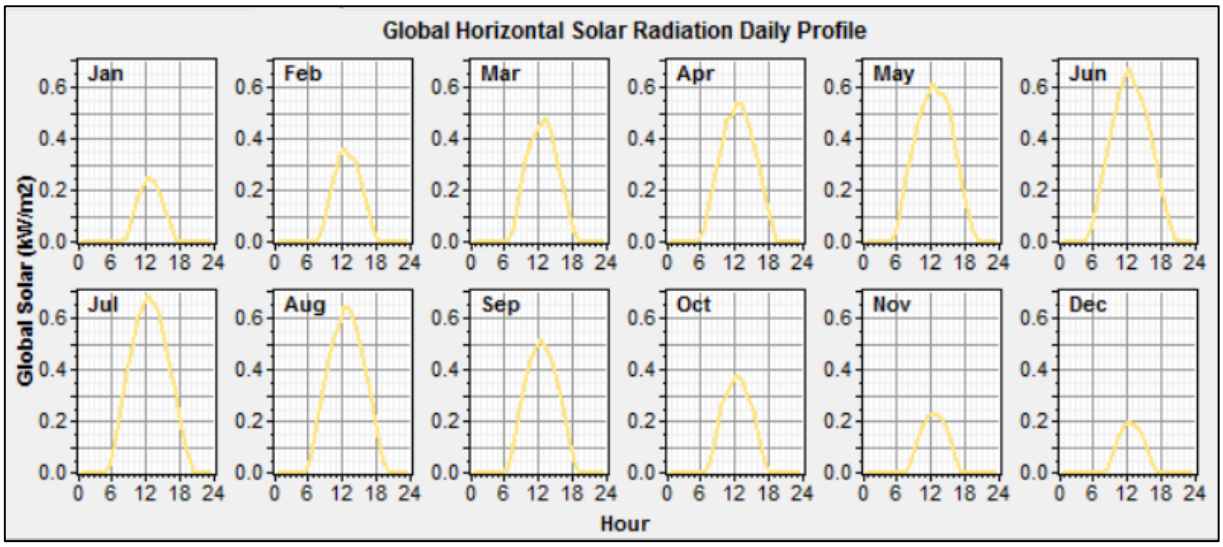
Kao što je vidljivo na slici 5.23. odnos snage i sunčeva zračenja je linearan. Sunčevo zračenje bilo je najviše u srpnju 2014. godine što je vidljivo na slici 5.26. Prikaz snage kojom rade paneli kroz mjesece u periodima kroz 24h predstavlja slika 5.25.



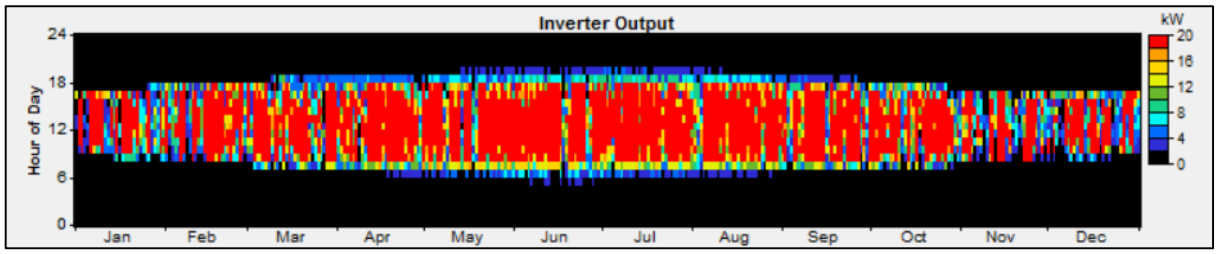
Sl. 5.24. *Prikaz temperature kroz godinu; prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti tokom dana*



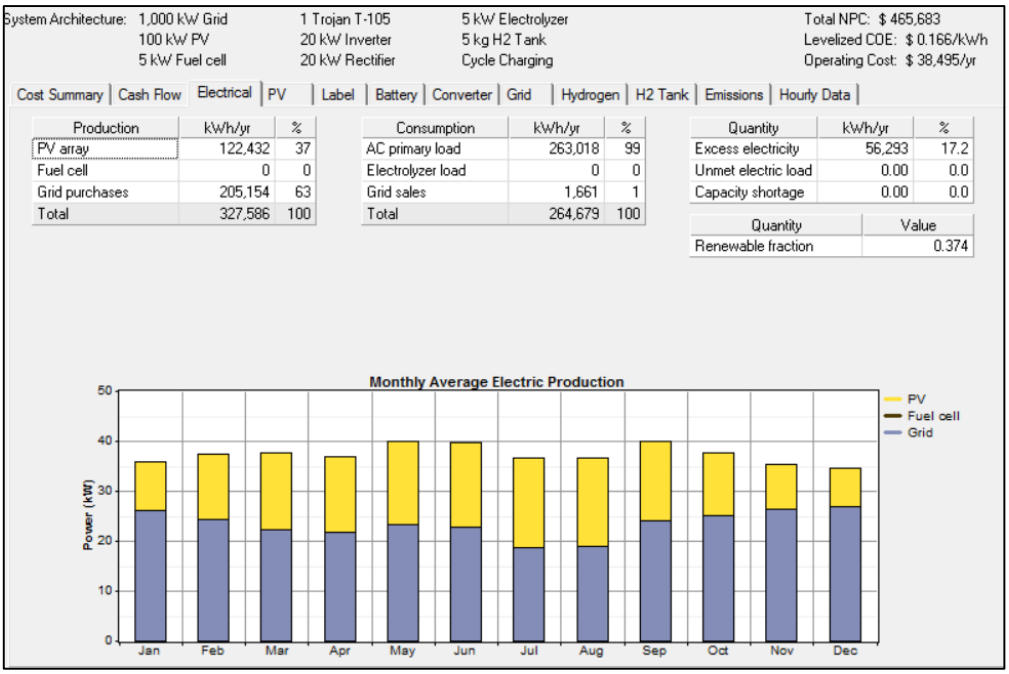
Sl. 5.25. *Prikaz snage kojom rade paneli kroz mjesece u periodima od 24h*



Sl. 5.26. *Prosječno zračenje po mjesecima u periodu od 24h*

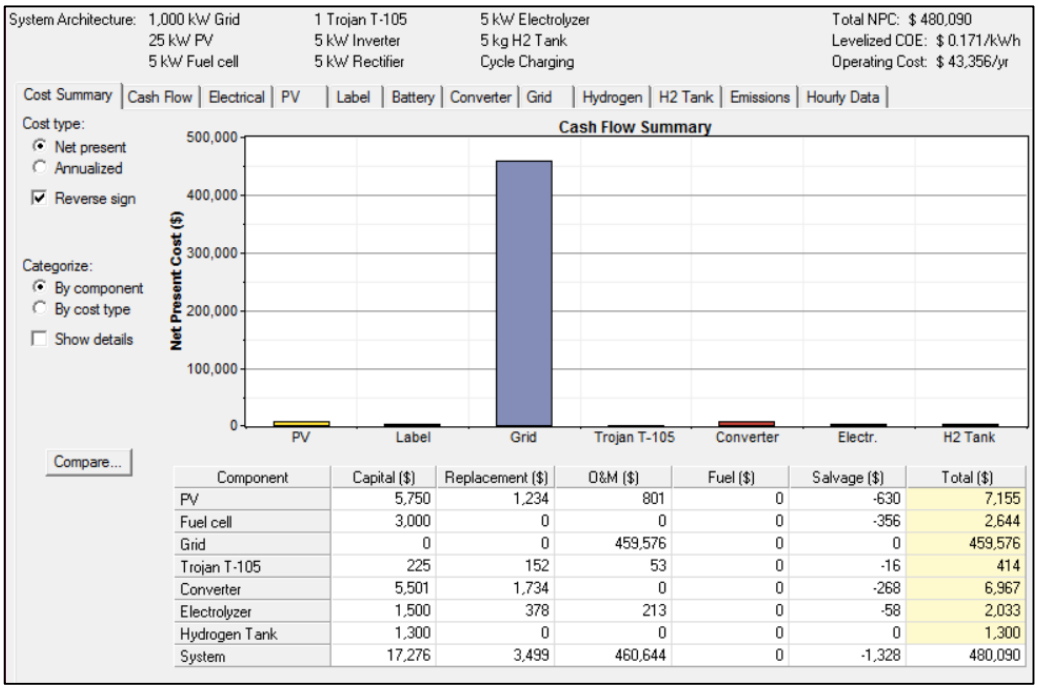


Sl. 5.27. *Prikaz rada pretvarača kroz godinu*

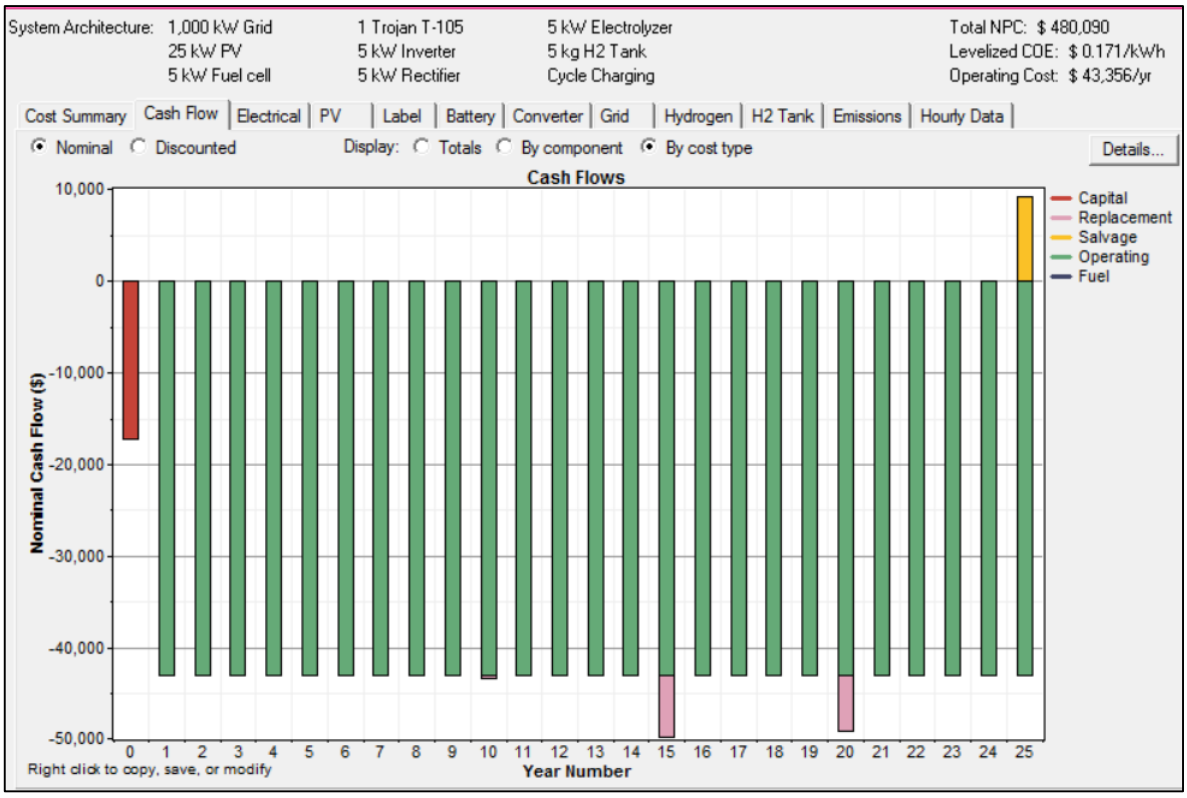


Sl. 5.28. *Snaga i energija procijenjena u Homeru*

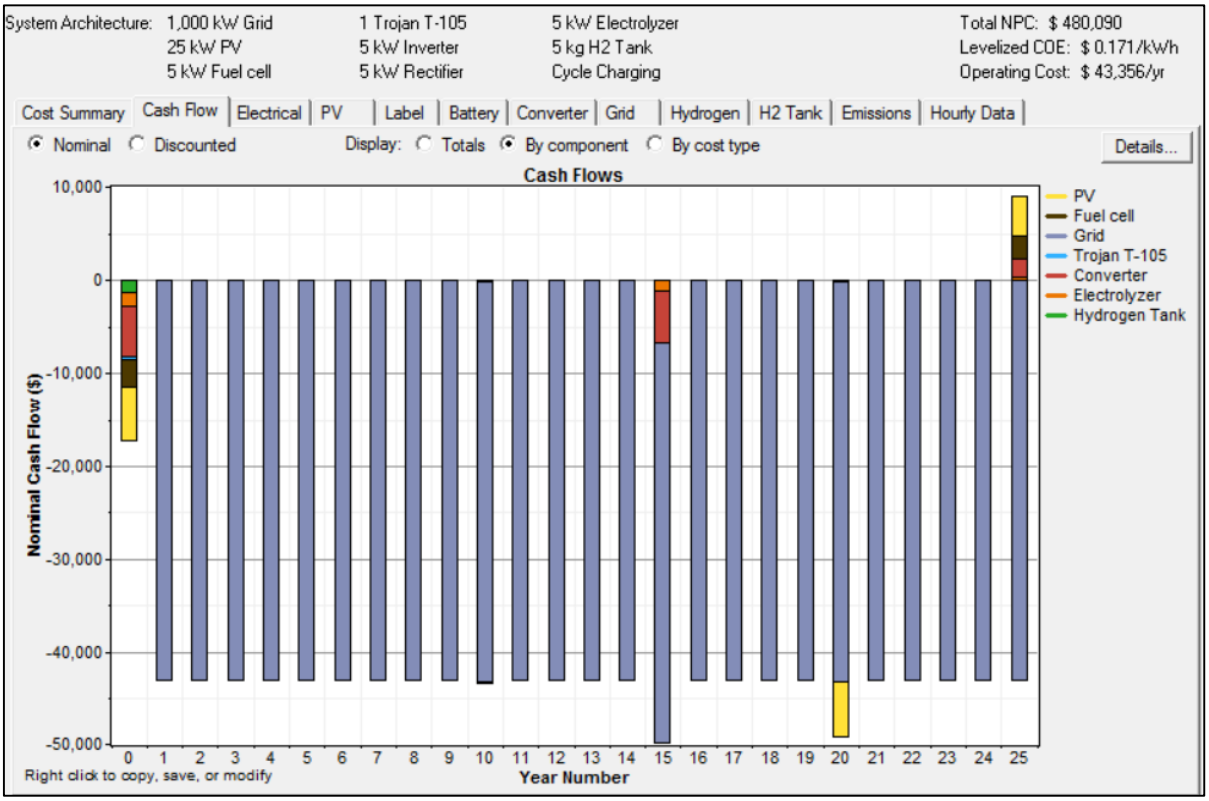
Temeljni kapital trećeg rješenja kada projekt nije sufinanciran od strane EU iznosi 18,723$, operativni troškovi iznose 44,642$ te ukupna neto cijena 495,263$. O ovom slučaju uzet je u obzir fotonaponski sustav od 5kW i gorivne ćelije od 10kW. Slučaj u kojem je projekt sufinanciran od strane EU sadrži 25 kW fotonaponski sustav i gorivne ćelije od 5 kW. Temeljni kapital iznosi 17,276$, operativni troškovi iznose 43,356$ te ukupna neto cijena 480,090$.



Sl. 5.29. *Ukupni troškovnik*

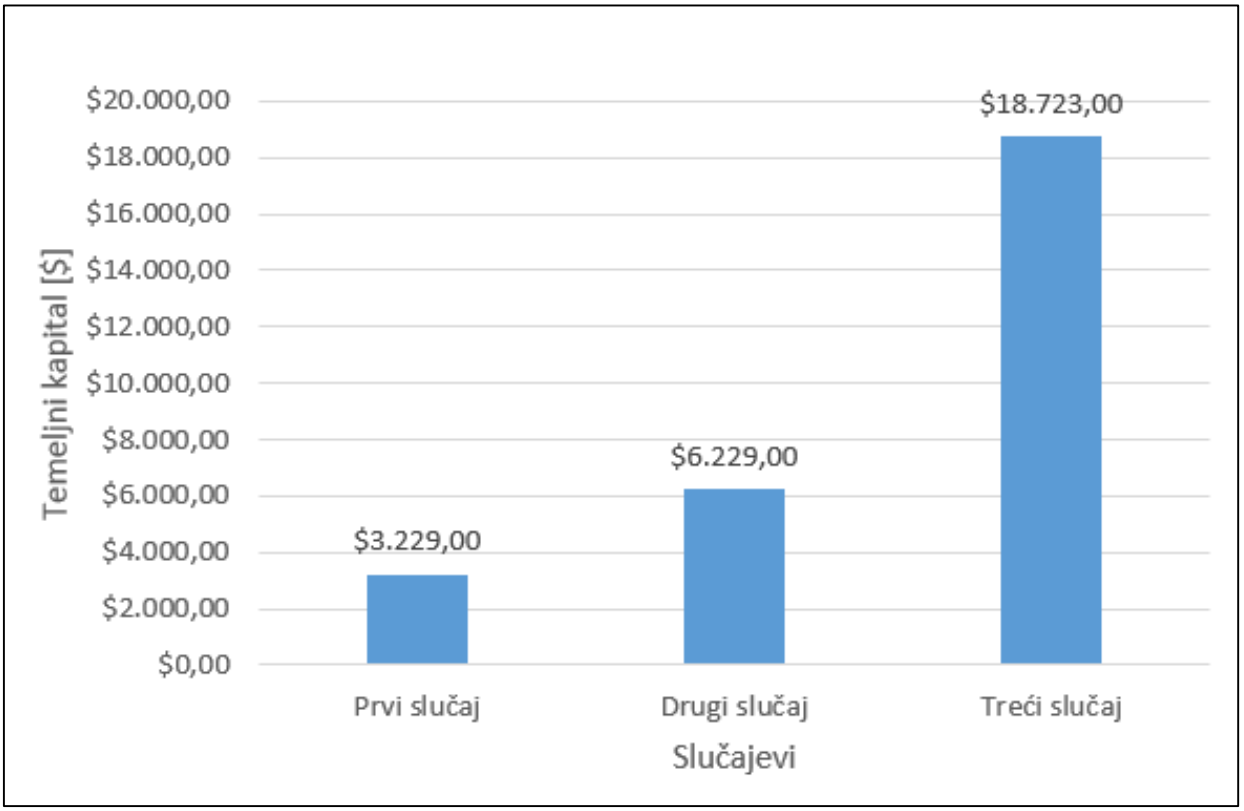


Sl. 5.30. *Tijek novca u 25 godina*



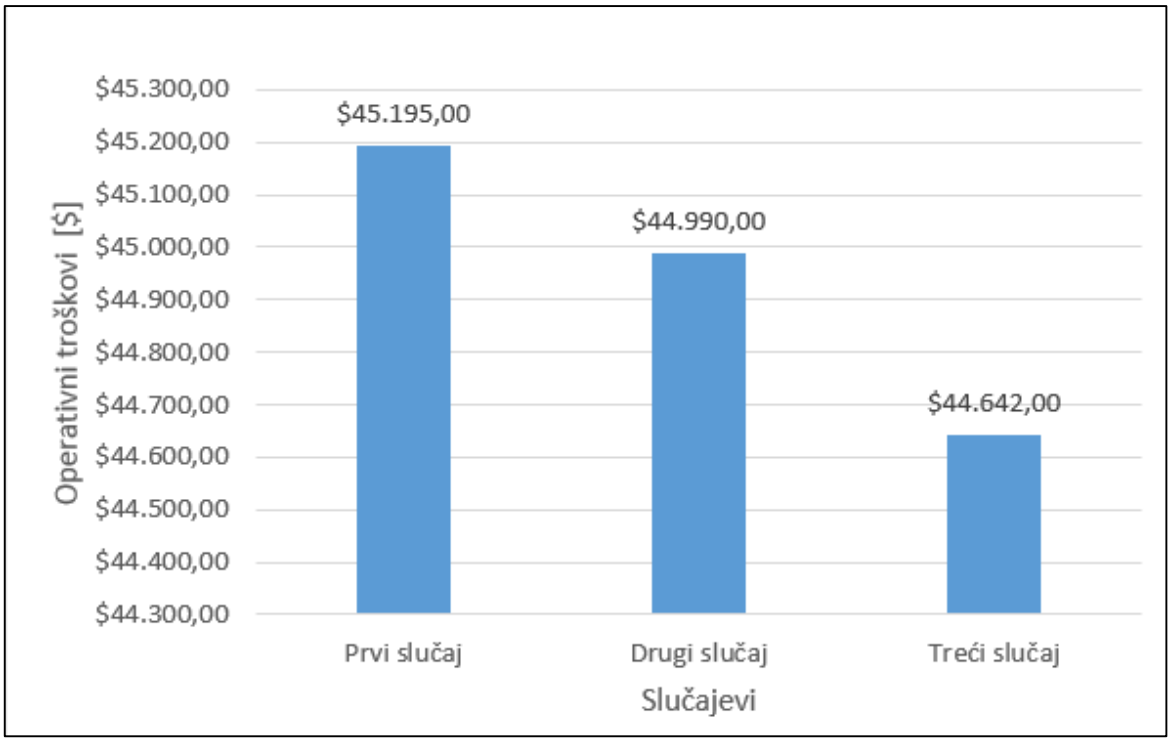
Sl. 5.31. *Tijek novca po komponentama*

Na sljedećim grafovima prikazane su ovisnosti troškova u odnosu na svaki slučaj kada projekt nije financiran od strane EU. Na prvom grafu prikazan je temeljni kapital za sva tri slučaja koji vjerno prikazuje kako prvi slučaj ima najmanje troškove investicije.



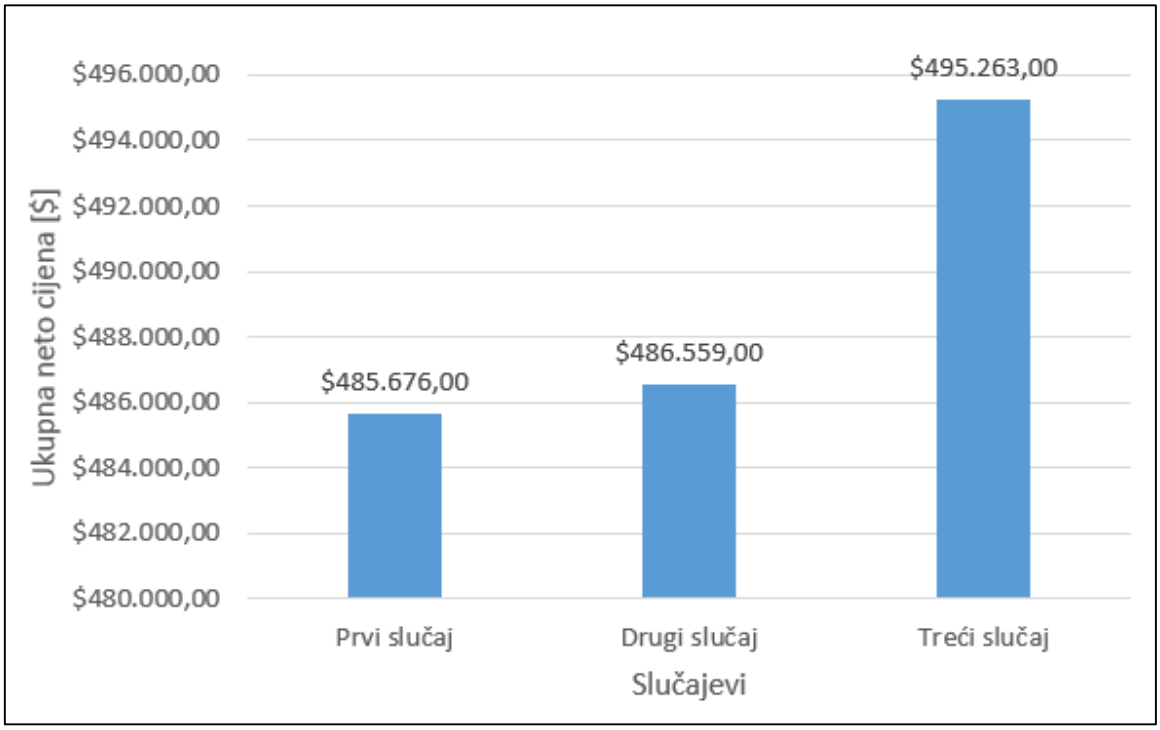
Sl. 5.32. *Graf ovisnosti temeljnog kapitala o analiziranim slučajevima*

Drugi graf prikazuje operativne troškove, to su troškovi održavanja, skladištenja, goriva, izdavanja dozvola i sl. U ovom slučaju se odvija potpuno suprotan scenarij. Naime, u prvom se slučaju javlja najveći operativni trošak dok se u trećem slučaju javlja najniži trošak. Razlika prvog i trećeg slučaja nije velika, ona iznosi 553$ pa se ne može govoriti o posebnom razlogu koji stvara takav poredak cijena.



Sl. 5.33. *Graf ovisnosti operativnih troškova o analiziranim slučajevima*

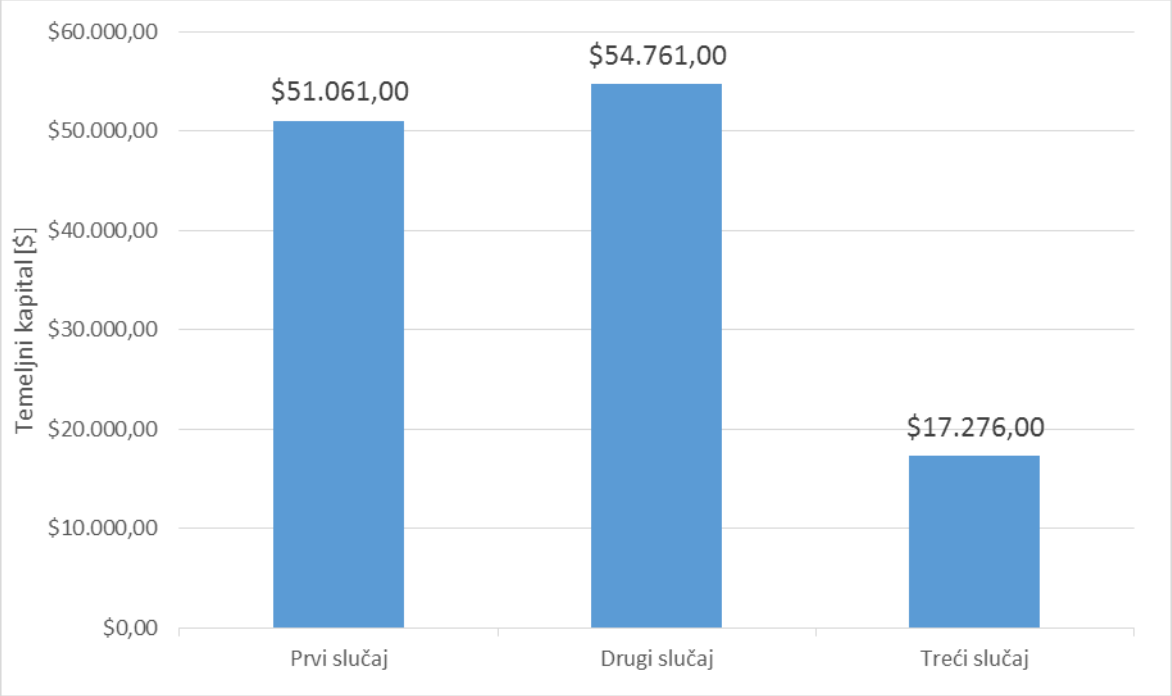
Na trećem grafu uspoređena je ukupna neto cijena za sve slučajeve. Kao što je i očekivano, najmanju cijenu zahtijeva prvi slučaj.



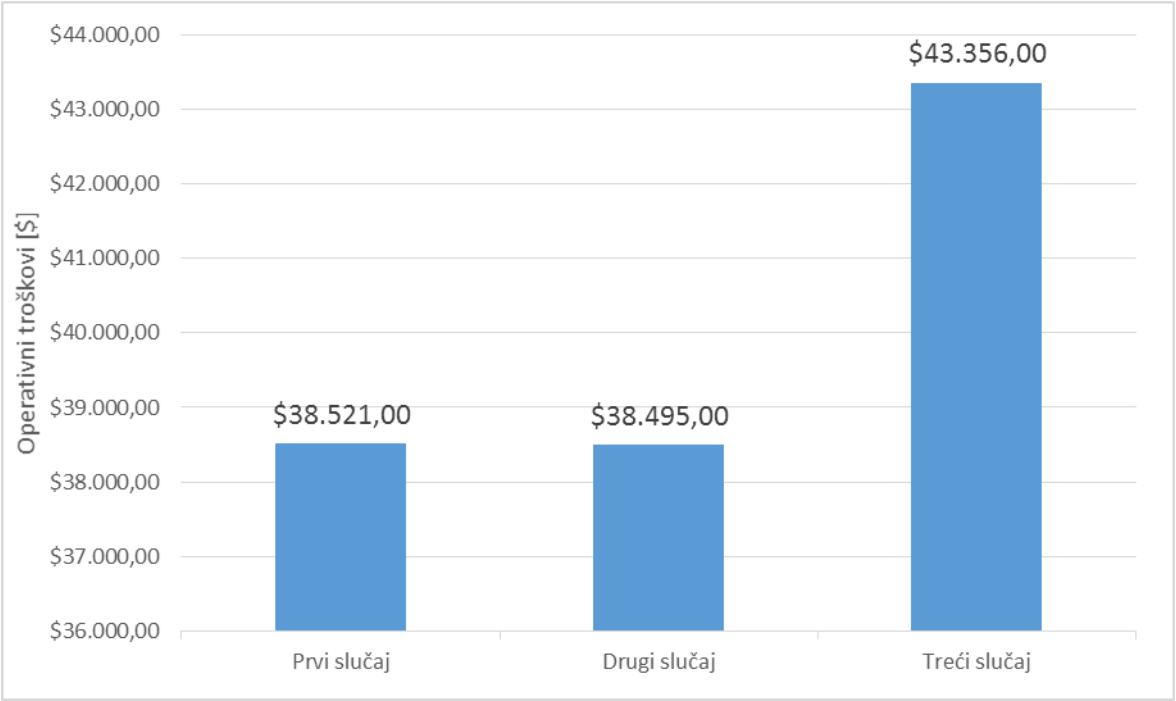
Sl. 5.34. *Graf ovisnosti ukupne neto cijene o analiziranim slučajevima*

U trećem slučaju logično je da će doći do velikog troška samim time što je program uzeo u obzir daleko veće snage gorivnih ćelija i pretvarača. Sljedeći grafovi prikazuju stvarnu situaciju sustava koji je financiran od strane EU.

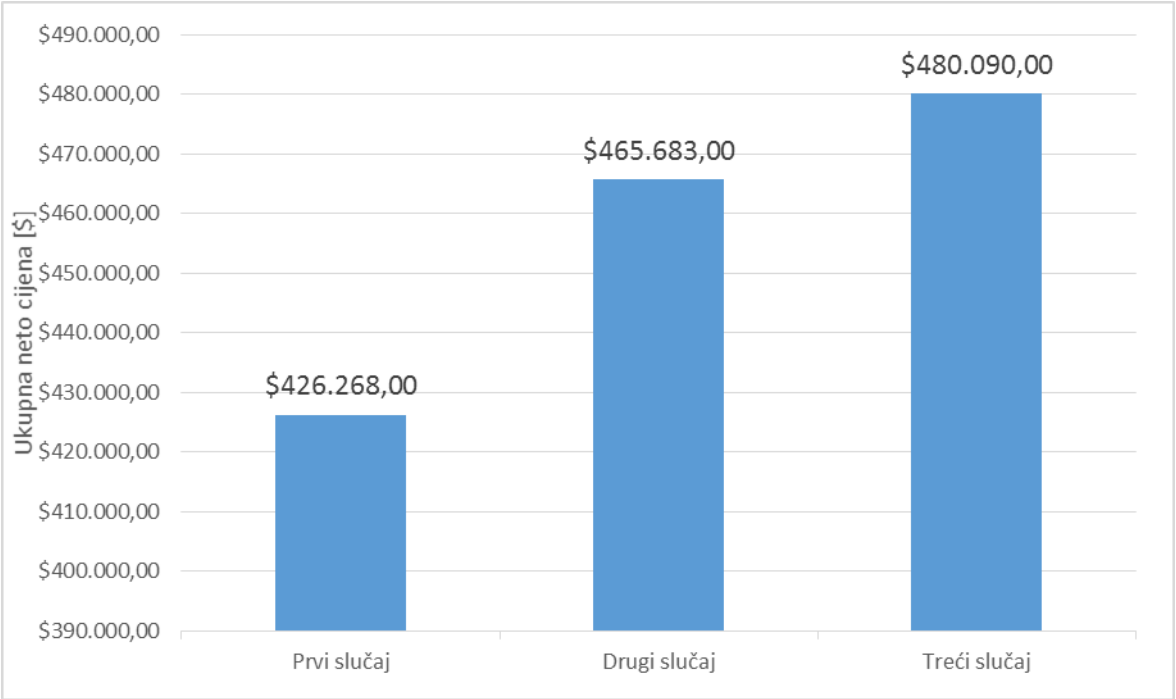
Temeljni kapital u drugom slučaju je najviši zbog toga što su komponente sustava daleko veće snage od komponenata koje je program koristio u prvom i trećem slučaju i to se vidi na slici 5.35. Ukupna neto cijena je najmanja za prvi slučaj dok je najveća u trećem slučaju iz razloga što je u prvom sustavu program izabrao 1 kW gorivne ćelije a u trećem 5 kW gorivne ćelije.



Sl. 5.35. *Graf ovisnosti temeljnog kapitala o analiziranim slučajevima financiranim od strane EU*



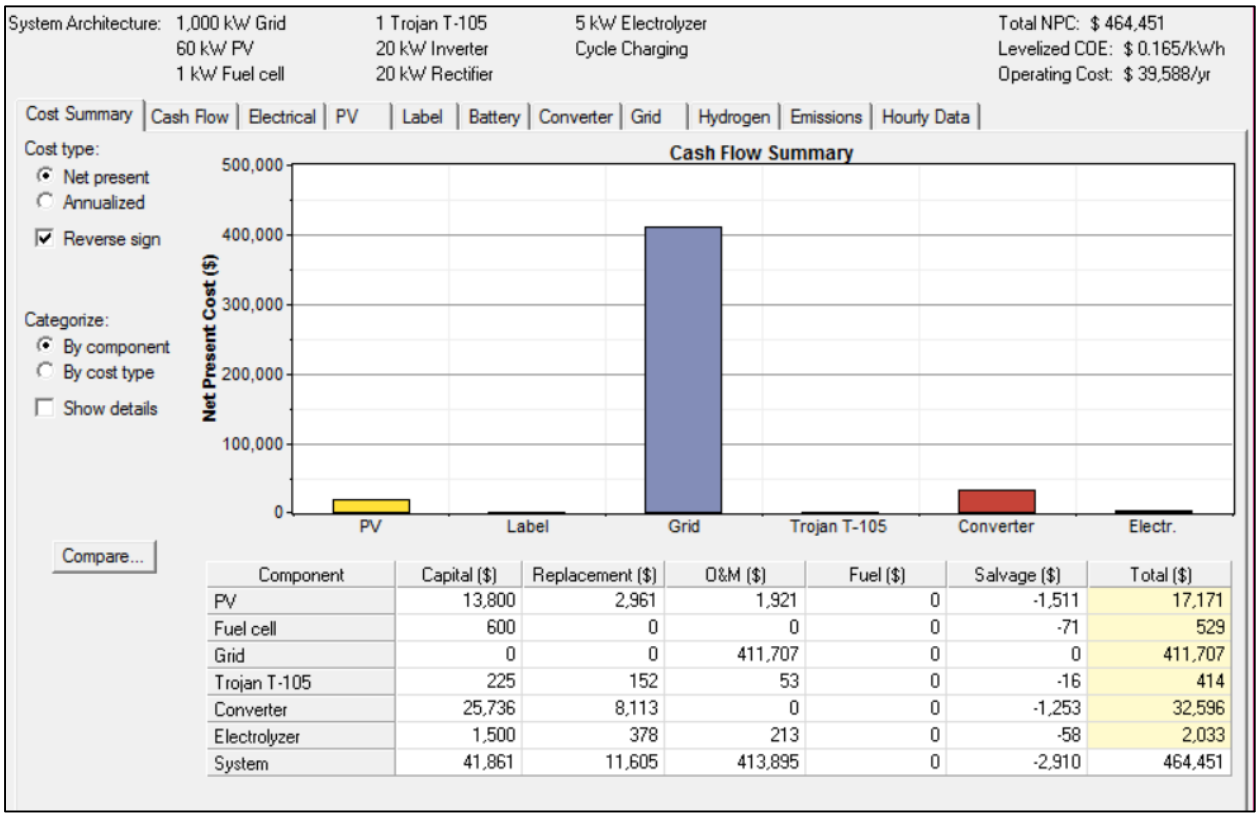
Sl. 5.36. *Graf ovisnosti operativnih troškova o analiziranim slučajevima financiranim od strane EU*



Sl. 5.37. *Graf ovisnosti ukupne neto cijene o analiziranim slučajevima financiranim od strane EU*

Ako usporedimo rezultate dobivene za slučajeve kada je sustav financiran od strane EU i kada nije, vidi se daleko veća razlika u cijenama i izboru komponenti u programu.

Za sustav koji se planira dodatno sagraditi na FERIT-u optimalno je prvo rješenje koje ima najmanju ukupnu neto cijenu i sa svim svojim karakteristikama odgovara profilu mikromreže kakvog fakultet treba uzeti u obzir. No, s obzirom kako je najavljena nadogradnja dodatnih 50 kW fotonaponskih panela, u obzir se uzima rješenje simulacije koje sadrži fotonaponski sustav od 60 kW. Temeljni kapital tog rješenja iznosi 41,861$, operativni troškovi su 39,588$ i ukupna neto cijena iznosi 464,451$. Program je uzeo u obzir fotonaponski sustav 60 kW i gorivne ćelije 1 kW. Ukupni troškovnik ovog rješenja prikazan je na slici 5.38.



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	13,800	2,961	1,921	0	-1,511	17,171
Fuel cell	600	0	0	0	-71	529
Grid	0	0	411,707	0	0	411,707
Trojan T-105	225	152	53	0	-16	414
Converter	25,736	8,113	0	0	-1,253	32,596
Electrolyzer	1,500	378	213	0	-58	2,033
System	41,861	11,605	413,895	0	-2,910	464,451

Sl. 5.38. *Ukupni troškovnik*

LITERATURA

[1] IEEE power and energy magazine, July/August 2013.

[2]http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid/role-microgrids-helping-advance-nation-s-energy-system , pristup ostvaren 31.3.2016.

[3]https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Tomislav_Alinjak_-_Kvalifikacijski_doktorski_ispit.pdf , pristup ostvaren 31.3.2016.

[4]http://www.ieee.hr/_download/repository/Cavlovic_Izazovi_optimiranja_utjecaja_obnovljivih_izvora_na_distribucijsku_mrezu.pdf, pristup ostvaren 31.3.2016.

[5] [Nikos_Hatziargyriou]_Microgrids_Architectures_an(BookZZ.org), pristup ostvaren 31.3.2016.

[6] http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76399/36-aece_2015_1_12.pdf, pristup ostvaren 31.3.2016.

[7] Primjenjivost mikromreža u distribucijskoj mreži HEP ODS-a, mr. sc. Marijana Živić Đurović, prof.dr.sc. Davor Škrlec, Bojan Kezele, Cired, 2010.

[8] https://www.cleanskies.org/infographics/microgrid/, pristup ostvaren 31.3.2016.

[9] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/KDI-JosipTosic.pdf, pristup ostvaren 31.3.2016.

[10]https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/06_Distribuirana_proizvodnja-1dio[1].pdf , pristup ostvaren 5.4.2016.

[11] Control strategies for the next generation of microgrids, Ali Mehrizi- Sani, 2011.

[12] Methods and Applications of Artificial Intelligence, G.A.Vouros, T.Panayiotopoulos, Springer, 2004.

[13] Advanced Control Architectures for Intelligent MicroGrids, Part I, Guerrero, Josep M.; Chandorkar, Mukul; Lee, Tzung-Lin; Loh, Poh Chiang, Aalborg Universitet Denmark, 2013.

[14] Pilot microgrids, www.microgrids.eu, pristup ostvaren 28.4.2016.

[15] “MORE MICROGRIDS: “Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids”, FP6, Contract no.: PL019864. 2006–2009.

[16] Papathanassiou, S., Hatziargyriou, N. and Strunz, K. (2005) A Benchmark LV microgrid for Steady State and Transient Analysis. Cigre Symposium "Power Systems with Dispersed Generation", Athens,Greece.

[17] Liu,K., Comparison of very short-term load forecasting techniques. IEEET.PowerSyst., 1996.

[18] Canu, S., Duran, M. and Ding, X., District heating forecast using artificial neural networks. Int. J. Eng., 1994.

[19] Nogales, F.J. et al., Forecasting next-day electricity prices by time series models. IEEE T. Power Syst., 2002.

[20] IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), "Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.", 2003.

[21] Lidula, N.W.A. and Rajapakse, A.D., Microgrids research: a review of experimental microgrids and test systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011.

[22] Advanced Decentralised Energy Generation Systems in Western Balkans (www.poverlab.fsb.hr), pristup ostvaren 31.3.2016.

[23] I.Strnad, „Optimalno planiranje i upravljanje mikromrežom s lokalnom virtualnom elektranom", doktorski rad, Zagreb 2016. Fakultet Elektrotehnike i računarstva Zagreb

[24] http://www.hep.hr/ods/kupci/kucanstvo.aspx, pristup ostvaren 20.5.2016.

[25] Z.Klaić, D.Šljivac, K.Fekete, Z.Kraus, Load managment scheme using air conditioning electric power consumption and photovoltaic power system generation, Journal od Energy and Power Engineering, Volume 4, Siječanj 2010.

[26] https://www.hnb.hr/temeljne-funkcije/monetarna-politika/tecajna-lista/tecajna-lista, pristup ostvaren 15.6.2016.

[27] http://www.izvorienergije.com/svijet_treba_obnovljive_izvore_energije.html, pristup ostvaren 15.6.2016.

[28] http://www2.nationalgrid.com/uk/services/balancing-services/system-security/black-start/, pristup ostvaren 15.6.2016.

[29] International journal for modern trend in science and technology, svibanj 2016.

[30] http://regphosys.eu/hr/node/10, pristup ostvaren 28.6.2016.

SAŽETAK

Mikromreže

U ovom radu opisane su najvažnije karakteristike mikromreže i njene prednosti nad klasičnim načinima proizvodnje električne energije. Praktični dio se izvodi u Homer računalnom simulacijskom programu koji uzima u obzir tehničke i ekonomske aspekte pri određivanju optimalnog sustava napajanja. Glavnina istraživanja bila je na pronalaženju najoptimalnijeg mikromrežnog sustava koji bi se instalirao na FERIT-u. Prilikom modeliranja nastojalo se pronaći što točnije podatke o investicijskim troškovima, troškovima održavanja te troškovima rada pojedinih komponenti. Svi podaci o fotonaponskim panelima odnose se na već instalirani sustav na krovu FERIT-a, a podaci o sunčevom zračenju odnose se na grad Osijek. Podaci za ostale komponente su određivane u odnosu na cijenu i tehničke karakteristike. Računalni simulacijski programi koriste u analizi izvedivosti, no stvarno ponašanje sustava nije moguće točno predvidjeti. Ipak, metode korištene u ovoj simulaciji daju kvalitetne rezultate na osnovu kojih se može donijeti odluka o izvedivosti mikromrežnog sustava na FERIT-u.

Ključne riječi: mikromreža, fotonaponski paneli, gorivne ćelije, obnovljivi izvori energije

ABSTRACT

Microgrids

This paper describes the main characteristics of microgrids and their advantages over the usual methods of electricity generation. Most of the research efforts were devoted towards finding the most reliable data on investment and maintenance expenses and costs of operation of individual parts. The data on photovoltaic panels pertain to the system already installed on the roof of FERIT, and the data on solar radiation pertains to the City of Osijek. The data for the other parts have been determined based on price and technical specifications. While the computer simulation programs are useful for the feasibility analysis, the real-life behaviour of the system cannot be predicted accurately. Still, the methods used in this simulation provide quality results based on which a decision on the feasibility of microgrid system on FERIT can be made.

Keywords: microgrid, photovoltaic panels, fuel cells, renewable energy sources

ŽIVOTOPIS

Ivona Jovanovac rođena je u Vinkovcima, Republika Hrvatska, 6. Studenog 1992. godine kao treće od troje djece. Pohađala je osnovnu školu „fra B. T. Leakovića“ u Bošnjacima, nedaleko od Županje i svih osam razreda prošla je sa odličnim uspjehom.

Nakon osnovne škole, 2007. godine upisuje Opću gimnaziju u Županji koju isto tako završava s odličnim uspjehom. Tijekom srednjoškolskog obrazovanja bila je aktivna u izvannastavnoj aktivnosti gimnazijskog zbora.

Godine 2011. upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku te se kasnije opredjeljuje za smjer elektroenergetika. Tijekom studiranja radi studentske poslove u Call centru, te kao promotor i tako produbljuje komunikacijske vještine. Znanje stranih jezika stječe tokom obrazovanja, odlično poznaje engleski jezik, a uz njega vrlo dobro zna i njemački.

Godine 2014. završava preddiplomski studij elektroenergetike te iste godine upisuje diplomski studij elektroenergetike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

Jovanovac Ivona