Ekonomika i tržište naprednih mreža i mikromreža

Palko, Kristijan

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:213605

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-27**

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 diplomski studij

Ekonomika i tržište naprednih mreža i mikromreža

Diplomski rad

Kristijan Palko

Osijek, 2017. godina

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 13.07.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Kristijan Palko
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-787, 07.10.2014.
OIB studenta:	74311528983
Mentor:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Sumentor:	Doc.dr.sc. Krešimir Fekete
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Goran Knežević
Član Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Krešimir Fekete
Naslov diplomskog rada:	Ekonomika i tržište naprednih mreža i mikromreža
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak diplomskog rada:	Dati teorijski prikaz isplativosti izgradnje i pogona naprednih mreža i mikromreža te njihovu ulogu na tržištu električne energije. U praktičnom dijelu izvršiti simulaciju (tehno-ekonomsku analizu) u programskom paketu Homer na primjeru kućne mikromreže.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	13.07.2017.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 18.07.2017.

Ime i prezime studenta:	Kristijan Palko
Studij:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-787, 07.10.2014.
Ephorus podudaranje [%]:	3%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Ekonomika i tržište naprednih mreža i mikromreža**

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

i sumentora Doc.dr.sc. Krešimir Fekete

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

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Opis zadatka 1

2. NAPREDNE MREŽE 2

2.1.Tehnologija naprednih mreža 2

2.2. Karakteristike naprednih mreža 4

2.3. Uloga na tržištu električne energije 6

2.3.1. Električna vozila 7

2.3.2. Pohranjivanje energije 9

2.3.3. Obnovljivi izvori energije 11

2.3.4. Virtualne elektrane 13

2.3.5. Pametna kuća i pametni grad 14

2.4. Informacijsko-komunikacijska tehnologija naprednih mreža 16

2.4.1. Cyber sigurnost 17

2.5. Izazovi i vizija za budućnost 18

2.6. Razvoj naprednih mreža u Hrvatskoj 18

3. MIKROMREŽE 22

3.1. Opis, ciljevi i prednosti mikromreža 23

3.2. Tehnički zahtjevi 26

3.3. Procjena troška ugradnje napredne mikromreže 27

4. ANALIZA NAPREDNIH MREŽA 30

4.1. EPRI metodologija 30

4.2. JRC metodologija 31

4.3. Analiza implementacije naprednih brojila 32

4.4. Prednosti naprednih mreža 33

4.4.1. Prednost za elektroprivredu 33

4.4.2. Socijalna prednost 34

4.4.3. Ekološka prednost 34

4.5. Troškovi uvođenja sustava naprednog mjerenja 35

5. Tehno-ekonomska analiza u optimizacijskom programu Homer Pro 37

5.1. Dnevni profil opterećenja 38

5.2. Podaci o sunčevom zračenju i brzini vjetra 40

5.3. Tehno-ekonomska analiza samostalnog sustava (engl. *off-grid*) 43

5.3.1. Dizajn i parametri sustava **43**
5.3.2. Rezultati simulacije **47**
5.4. Tehno-ekonomska analiza umreženog sustava (engl. *on-grid*) sa prodajom viška električne energije mreži **52**
5.4.1. Priključenje proizvođača ili kupca s vlastitom proizvodnjom na distribucijsku mrežu **52**
5.4.2. Stjecanje statusa povlaštenog proizvođača električne energije **55**
5.4.3. Naknada za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora **56**
5.4.4. Dizajn i parametri sustava **58**
5.4.5. Rezultati simulacije **62**
6. ZAKLJUČAK **67**
7. LITERATURA **68**
SAŽETAK **70**
ŽIVOTOPIS **71**

1.UVOD

U diplomskom radu bit će iznesena teorije naprednih mreža i mikromreža te njihova uloga na tržištu električne energije. Napredna mreža otvara vrata prema zelenijoj i održivoj svjetskoj ekonomiji. Implementacija naprednih mreža u elektroenergetski sustav je dugotrajan proces i potrebni su fleksibilni infrastrukturni i regulatorni okviri radi daljnjeg razvoja.

Napredne mreže ključne su za razvoj i korištenje obnovljivih izvora energije te dostizanja ciljeva Europske unije da do 2020. godine postignemo udio od 20 % obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji električne energije, povećanje energetske učinkovitosti za 20 % te smanjenje udjela stakleničkih plinova za 20 %.

U drugom poglavlju ukratko će se biti opisana tehnička i ekonomska obilježja naprednih mreža, njena uloga na tržištu električnom energijom, sigurnost i komunikacija te će se dati preporuke za daljnji razvoj. Treće poglavlje vezano je za koncept mikromreža te su dati ključni izazovi za bržu implementaciju, te ekonomske prednosti i tehnički zahtjevi. Osnovna analiza naprednih mreža različitim vrstama metodologija dana je u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju će biti napravljena tehno-ekonomska analiza u programskom paketu Homer Pro na primjeru mikromreže manjeg stambenog objekta. Homer Pro je optimizacijski računalni program kojem je glavna zadaća procjena isplativosti i usporedba samostalnih ili mrežnih mikroenergetskih sustava.

Dobiveni rezultati iz simulacije će se analizirati i komentirati te na temelju rezultata iznijet će se zaključak o isplativosti.

1.1 . Opis zadatka

U diplomskom radu je potrebno dati teorijski prikaz isplativosti izgradnje i pogona naprednih mreža i mikromreža te njihovu ulogu na tržištu električne energije. U praktičnom dijelu izvršiti simulaciju (tehno-ekonomsku analizu) u programskom paketu Homer Pro na primjeru mikromreže manjeg stambenog objekta.

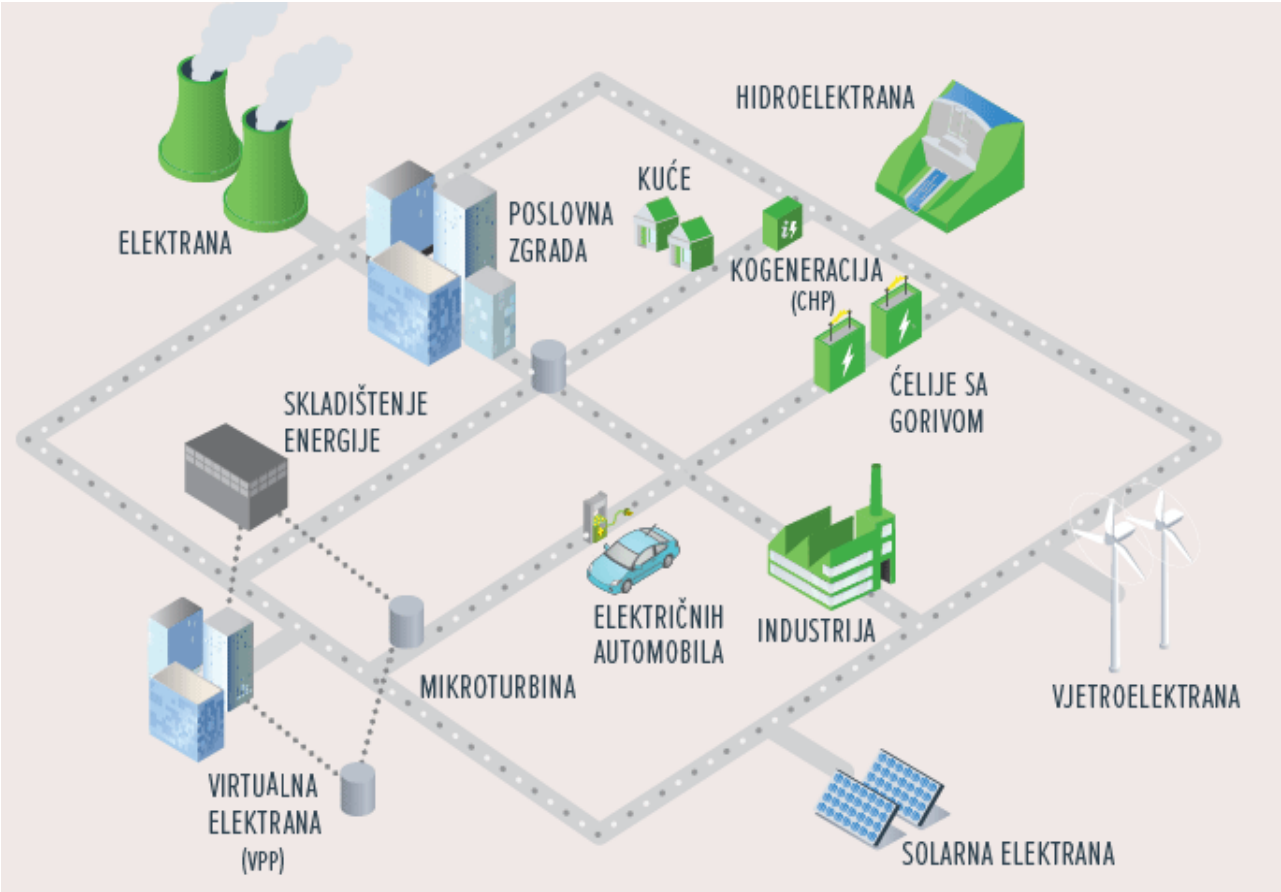
2. NAPREDNE MREŽE

2.1. Tehnologija naprednih mreža

Sve veća zabrinutost zbog štete na okoliš koju stvaraju elektrane na fosilna goriva daje obnovljivim izvorima energije sve veću prednost u proizvodnji energije. Energija iz obnovljivih izvora kao što su solarna energija i energija iz vjetroelektrana je vrlo varijabilna te je potreban sustav koji će to kontrolirati i olakšati stabilno povezivanje sa mrežom. Takvu povećanu stabilnost i fleksibilnost sustava nudi napredna mreža koja je u potpunosti spremna za prihvat varijabilne snage iz obnovljivih izvora energije.

Napredna mreža je električna mreža koja sadrži niz operativnih i energetskih mjera koje uvode u mrežu određene tehnološke inovacije uključujući sustav naprednog mjerenja, pametne uređaje, obnovljive izvore energije i energetski učinkovite resurse,[1].

Slika 2.1. prikazuje primjer napredne mreže sa različitim izvorima energije, skladišnim kapacitetima i potrošačima.



Slika 2.1. *Sustav napredne mreže* [2]

Takozvani „*Smart Grid*“ (napredna, pametna, inteligentna mreža) uštedjeti će energiju, smanjiti troškove i povećati pouzdanost isporuke električne energije od dobavljača do potrošača korištenjem dvosmjerne komunikacije koja ima mogućnost kontrolirati kućanske aparate, punjenje električnih vozila i protok električne energije od obnovljivih izvora do domova potrošača[3].

Pojam naprednih mreža obuhvaća širok raspon tehnologija i aplikacija. Neke od njih su, [1], [4] :

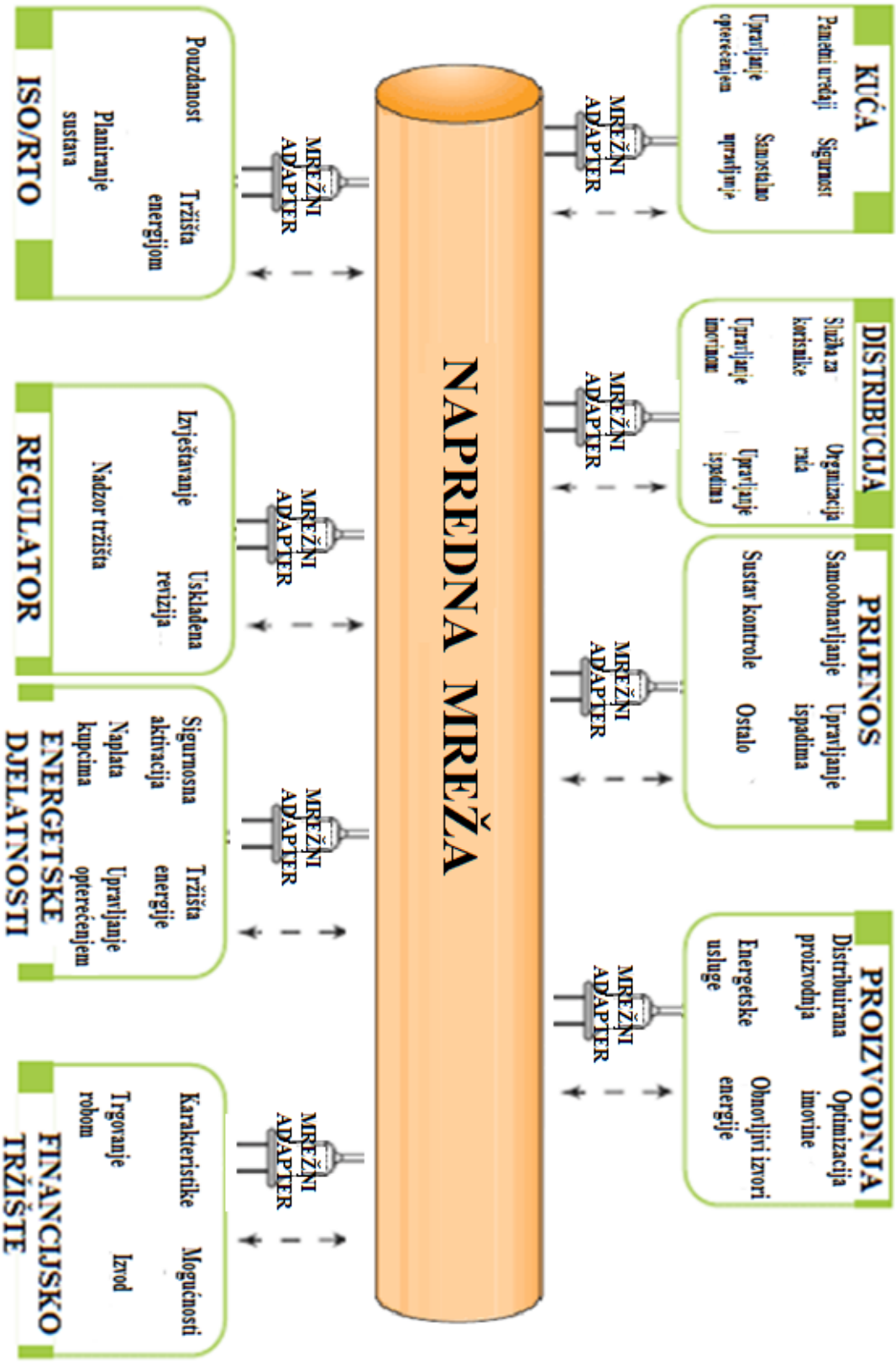
1. AMI (engl. *Advanced metering infrastructure*)-napredna mjerna infrastruktura sa dvosmjernom komunikacijom koja se sastoji od dva elementa , automatskog očitanja i sustavom upravljanja podacima.
2. SCADA (engl. *Supervisory Control And Data Acquisition*)- predstavlja računalni sustav za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka u industrijskim sustavima.
3. DMS (engl. *Distribution management system*)-sustav za upravljanje distribucijom, matematički predviđa utjecaje na prijenos i proizvodnju te tako poboljšava pouzdanost.
4. GIS (engl. *Geographic information system*)-geografski informacijski sustav dizajniran za modeliranje, dizajniranje i upravljanje infrastrukture pružajući prikaz infrastrukture koja podržava smanjenje troškova kroz planiranje i analizu.
5. OMSs (engl. *Outage management systems*)-sustav za upravljanje ispadima brzinski rješava obustavu energije i smanjuje troškove ispada i remonta.
6. IEDs (engl. *Intelligent electronics devices*)-pametni elektronički uređaji za prikupljanje i obradu podataka iz mreže i podataka od potrošača.
7. WAMS (engl. *Wide-area measurement systems*)-mjerni sustav širokog područja pruža točna, sinkronizirana mjerenja s druge strane elektroenergetskog sustava.
8. EMS (engl. *Energy management systems*)-sustav za upravljanje energijom u objektu potrošača može kontrolirati potrošnju, proizvodnju, pohranu energije i potencijalno punjenje električnih vozila.

2.2. Karakteristike naprednih mreža

Kao glavne karakteristike razvoja naprednih mreža koje ju najbolje opisuju navest ćemo prema, [1],[5],[6]:

1. Velika početna investicija-sa ekonomskog stajališta.
2. Povrat kapitala i prednosti tek nakon određenog vremena.
3. Pouzdanost, sigurnost i učinkovitost-za veću razmjenu informacija i kontrolu mreže.
4. Optimizacija mrežnih aktivnosti i resursa.
5. Implementacija i integracija distribuiranih izvora (obuhvaća i obnovljive izvore energije dobivene iz individualnih malih elektrana).
6. Razvoj i uvođenje kontrole odziva na potražnju.
7. Implementiranje pametne tehnologije za mjerenje, komunikaciju i upravljanje.
8. Integracija pametnih potrošačkih uređaja u domovima korisnika.
9. Integracija napredne pohrane električne energije pri pojavi viškova energije u mreži (u baterijama električnih vozila).
10. Potrošačima omogućiti točne i sigurne informacije i mogućnost kontrole.
11. Razvoj standarda za komunikaciju i prateće infrastrukture.
12. Rješavanje prepreka za masovniju implementaciju naprednih mreža i usluga.

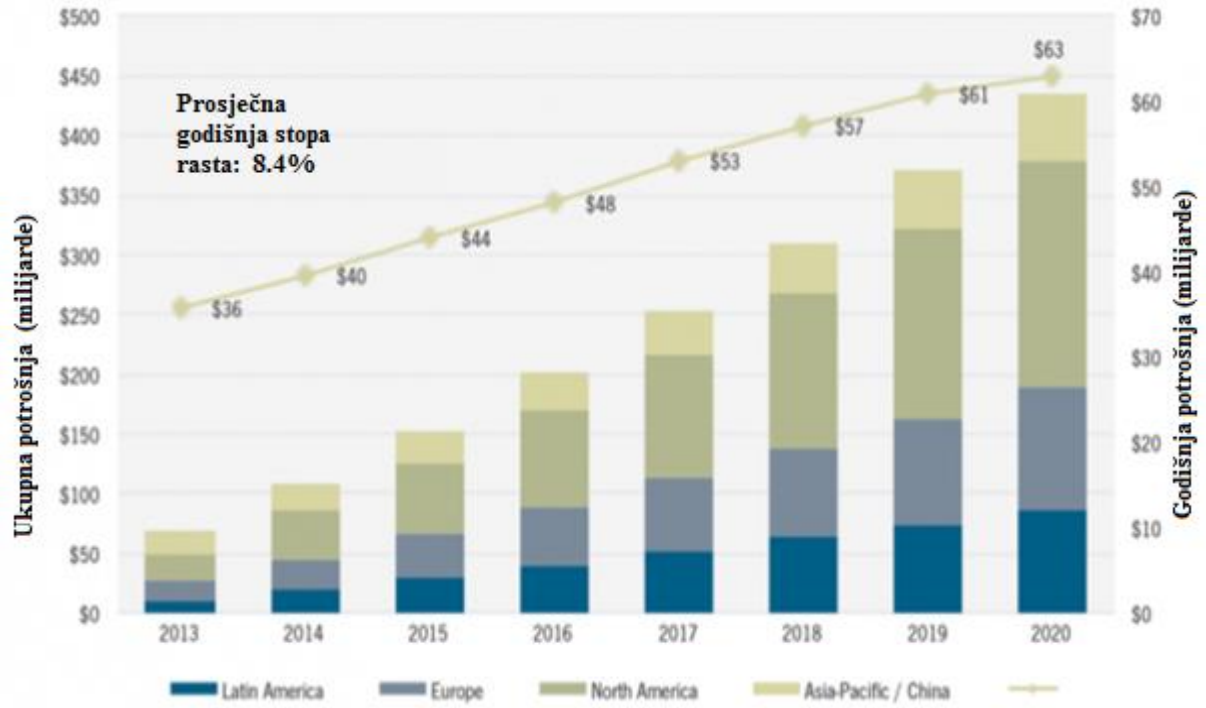
Sve te karakteristike imaju važnu ulogu u funkcioniranju napredne mreže kao cjeline što vidimo sa slike 2.2..



Sl.2.2. *Karakteristike napredne mreže* [7]

2.3. Uloga na tržištu električne energije

Značajna su ulaganja diljem Europe u nove tehnologije i modernizaciju, unatoč lošoj ekonomskoj situaciji unazad par godina, zbog svjesnosti da će to dugoročno polučiti pozitivnim financijama. Prema zadnjem izvješću GTM Research-a [9] koja je prikazana na slici 2.3. očekuje se da će ukupna potrošnja na tržištu naprednih mreža premašiti 400 milijardi $ do 2020. godine s prosječnom godišnjom stopom rasta od 8.4 %. Potrošnja u Europi se povećava sa 20 milijardi $ u 2013. godini do visokih 100 milijardi $ do 2020. godine[9].



Sl.2.3. *Prognoza rasta ulaganja u naprednu mrežu u vremenu od 2013.-2020.* **[9]**

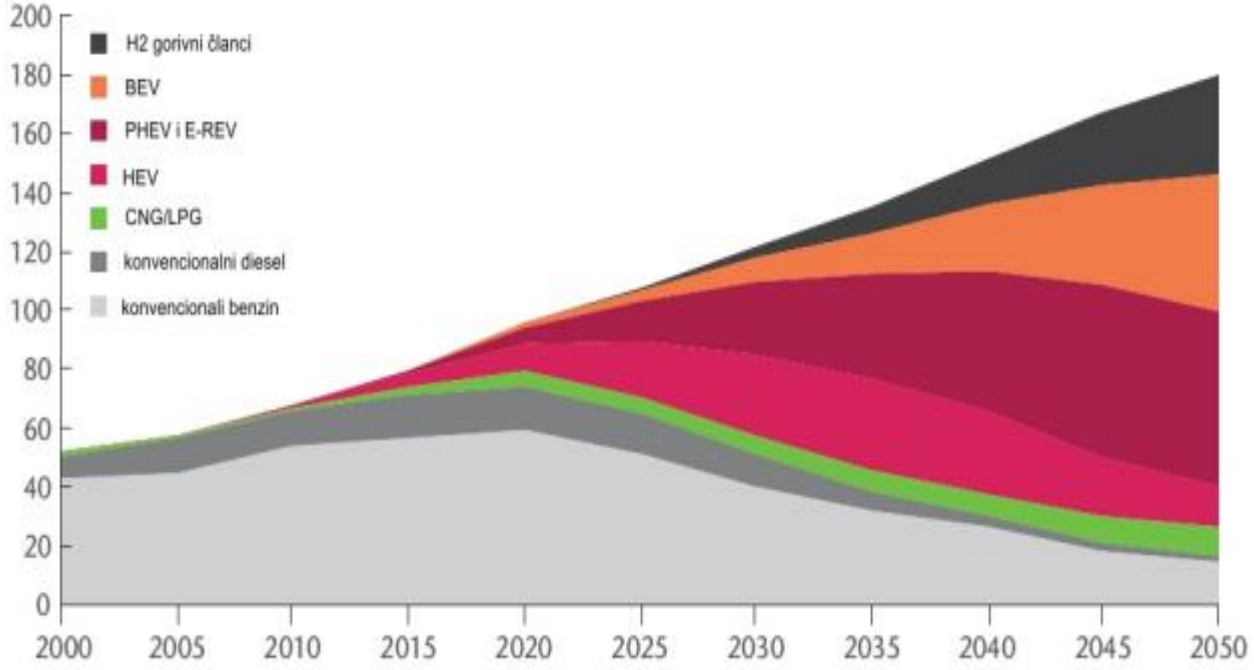
Analizom troškova razvoja i dobiti naprednih mreža za sustav električne energije te njenih korisnika i provedbom potrebnih simulacija i ispitivanja očekuje se dovesti naprednu mrežu u fazu praktične implementacije u sustav te daljnji razvoj budućih projekata[8].

Napredne mreže (engl. *Smart grid*), zapravo na inteligentan način integriraju ponašanje svih sudionika na tržištu- proizvođača i/ili kupaca u cilju osiguranja održive, ekonomski opravdane i pouzdane opskrbe[8].

Pomoću naprednih mjernih sustava mogu se odrediti radna i jalova energija (za izračun gubitaka i troškova), prate se parametri kvalitete opskrbe (bitno za investiranje u mrežu i pouzdanost), omogućeno je očitanje stvarne potrošnje (učinkovitije trošenje električne energije), omogućeno je daljinsko očitanje i upravljanje[8].

2.3.1. Električna vozila

Prvi ulazak na tržište električni automobil ostvaruje krajem 1830-e godine i uzima zamah na tržištu sve do 1940-ih godina nakon čega slijedi opadanje interesa i održivosti proizvodnje.
Razvoj tržišta i svijest za zaštitom okoliša pobuđuje ponovni interes za električna vozila čija brojka rapidno raste.



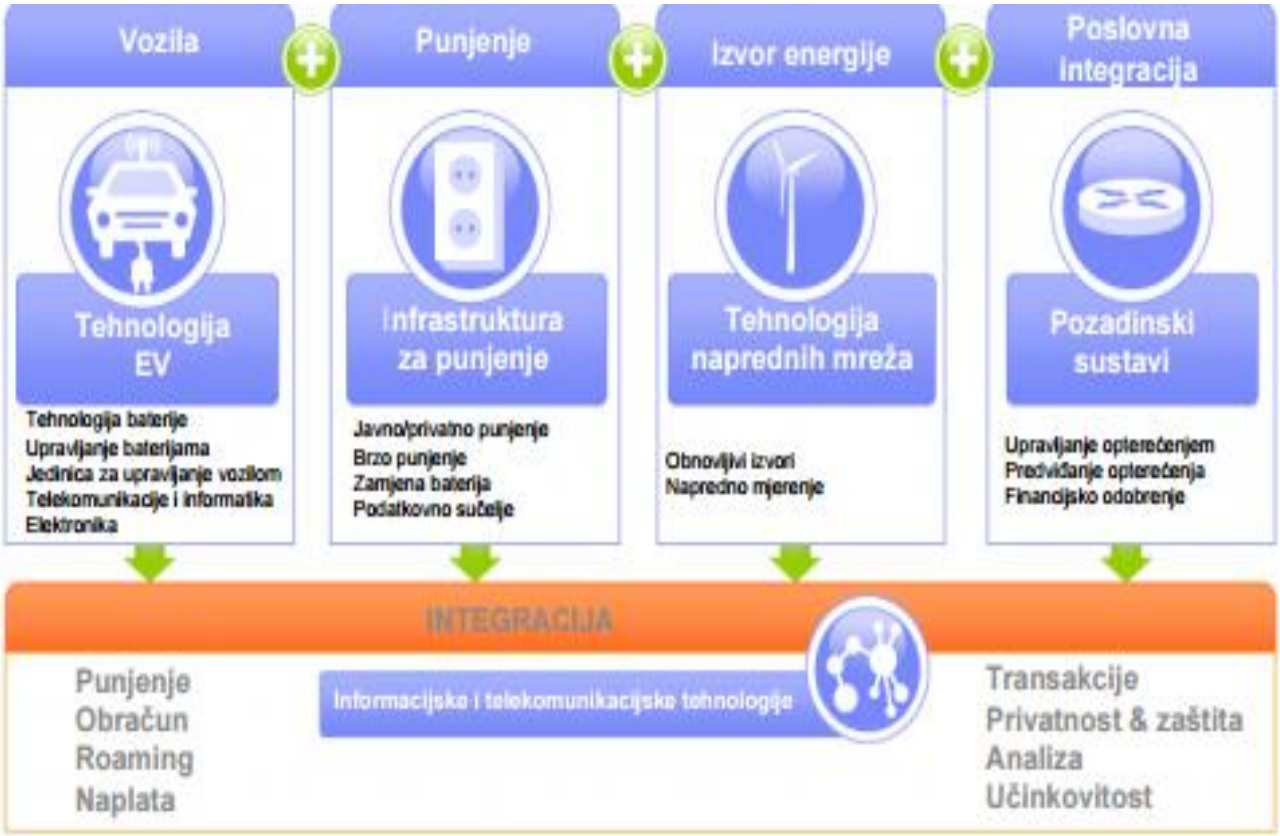
Sl.2.3.1.1. *Procjena udjela kategorija vozila do 2050. godine(u milijunima) u svijetu (izvor: IEA 2010)[*10]

Kao što vidimo prema slici 2.3.1.1. najzastupljenija električna vozila su i biti će BEV (engl. *Battery electric vehicle*) električna vozila sa baterijom (pogonski sustav sastoji se od elektromotora koji koristi električnu energiju pohranjenu u baterijama vozila), PHEV (engl. *Plug-in hybrid electric vehicle*) utična hibridna električna vozila (pogonski sustav se sastoji od električnog motora i motora sa unutarnjim izgaranjem) i HEV (engl. *Hybrid electric vehicle*) hibridno električno vozilo.
Potrebna energija za električna vozila za sobom povlači sve veće korištenje energije iz obnovljivih izvora. Sve veći razvoj električnih vozila zahtijeva pomoćne usluge i potrebitu naprednu infrastrukturu (napredno punjenje i upravljanje) zbog pojave da se električno vozilo

osim kao potrošač ponaša i kao izvor u mreži (njihove baterije mogu poslužiti kao uređaji za skladištenje energije kada ima potrebe za tim) [11].

Primjer infrastrukture naprednog punjenja povezanu sa ostalim uslugama vidimo na slici 2.3.1.2..

Značajniju prepreku za brži razvoj električnih vozila čini tehnologija (mali domet, kratak vijek baterija, manjak punionica), cijena (velika početna ulaganja u vozilo) i politički interesi (financijska korist naftnog lobija).



Sl.2.3.1.2. *Infrastruktura naprednog punjenja*[12]

Električna vozila, kao rastući trend u svijetu, sve više prepoznaju i države te mijenjaju pristup uvodeći pravne okvire i globalne standarde, te razne novčane subvencije za kupnju električnih vozila, porezne olakšice zbog manjeg utjecaja na okoliš, sufinanciranje inovacija i osiguranje infrastrukture za punjenje, poticanje korištenja električnih vozila (taksi službe, javni prijevoz, turizam).

2.3.2. Pohranjivanje energije

Pohranjivanje energije unosi potrebnu fleksibilnost na tržište električne energije omogućujući sustavu da pohranjuje energiju u periodima kada proizvođač ima višak električne energije i kada su cijene preniske ali i da sustav pohranjenu energiju vrati u mrežu kada nastupi period slabije proizvodnje i cijena bude prihvatljiva. Pohranjivanje energije je posebno korisno pri korištenju varijabilnih izvora energije, poput fotonaponskih sustava i vjetroelektrana koji ovise o promjenjivim vremenskim uvjetima, olakšavajući njenu upotrebu te također povećavajući učinkovitost i smanjenje troškova proizvodnje.

Najčešći načini skladištenja električne energije su pomoću, [13] :

1. **Baterije**- iako imaju relativno visoku korisnost (iznad 90 %), nedostaci kao visoka cijena i ograničen vijek trajanja sprječavaju bržu implementaciju.

2. **Toplinske crpke**- najnoviji način pohrane električne energije kroz ukopan hladni ili topli spremnik (na dubini od 0,5 m zbog konstantne temperature) ispunjen vodom te njeno ponovno korištenje izvlačenjem topline iz spremnika.

3. **Električna vozila**- iskorištavanje baterija iz vozila za spremanje energije tokom nižih perioda opterećenja ili kao izvor energije za vrijeme vršnih opterećenja.

4. **Komprimirani zrak**- pohrana komprimirane energije zraka u velikim izoliranim spremnicima (podzemna pećina, podvodni zračni jastuk). Potreban daljnji razvoj spremnika (punjenje i pražnjenje) i motora na stlačeni zrak (veća iskoristivost i snaga) .

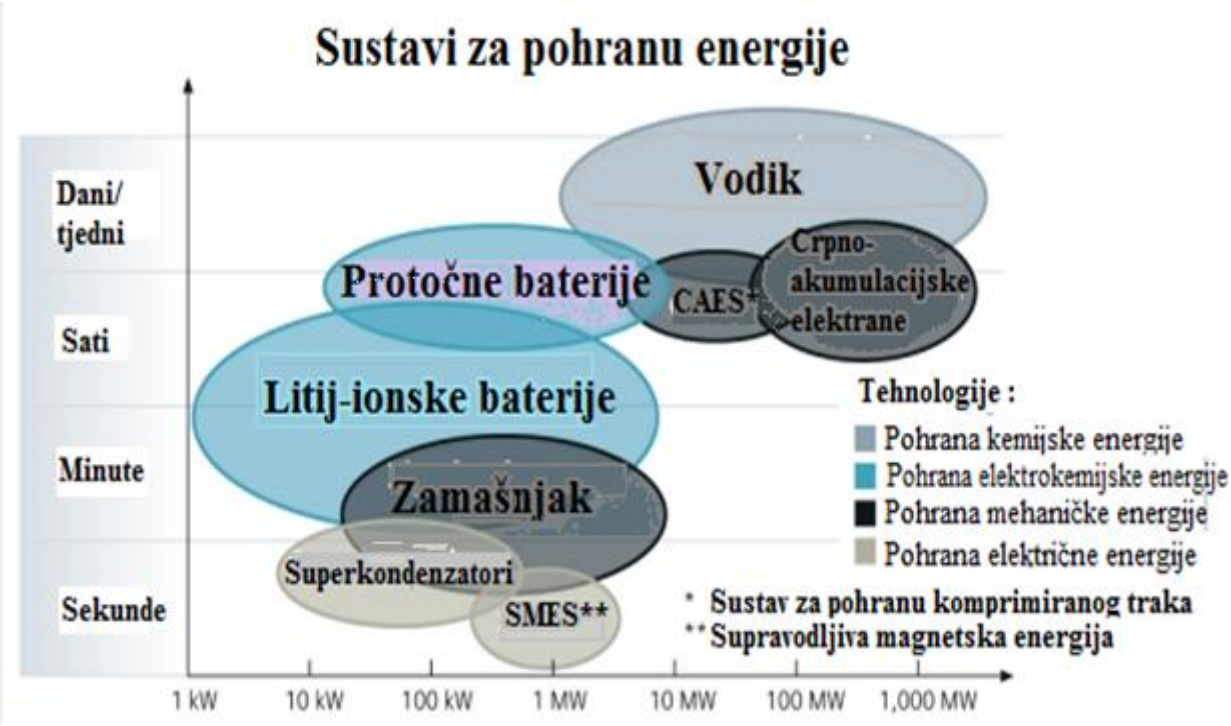
5. **Vodik**-proizvodi se koristeći električnu energiju te se komprimira ili ukapljuje u špiljama i isušenim naftnim poljima, po potrebi se pretvara natrag u električnu energiju ili toplinu. Mala učinkovitost pohrane (20-25 %) je nedostatak koji nažalost poništava njene prednosti kao što su dobre mogućnosti komprimiranja i velika gustoća energije.

6. **Zamašnjak**- teški rotirajući disk ubrza se elektromotorom koji radi i kao generator koji usporava disk proizvodeći tako struju. Zbog tehnički moguće količine spremljene energije koriste ga samo sustavi koji trebaju veliku količinu energije u kratkom razdoblju.

7. **Reverzibilne hidroelektrane**- korištenje viška energije iz drugih elektrana za pumpanje vode u spremnik te po potrebi korištenje te vode za proizvodnju energije. Najjeftiniji je način pohrane energije sa povratom 75 % potrošene energije. Pogodne za pokrivanje pri varijabilnoj potražnji električne energije.

8. **Superkondenzatori**- pohranom energije u električnom obliku i velik tehnološki napredak električnih karakteristika (povećanje gustoće pohranjene energije, mali unutrašnji otpor) te milijunskim ciklusom pražnjenja i punjenja najveću primjenu nalazi u električnim i hibridnim vozilima. Još veće tehničke mogućnosti očekuju se upotrebom nanotehnologije pri pohrani.

9. **Supravodljiva magnetska energija**-skladištenje energije u magnetskom polju izazvanom tokom istosmjerne struje u krionički ohlađenoj supravodljivoj zavojnici. Pomoću ispravljača vrši se pretvorba iz izmjenične u istosmjernu i suprotno uz minimalne gubitke. Nedostatak je visoka cijena supravodiča i hlađenje.



Sl.2.3.2.1. *Sustavi za pohranu energije po trajanju i snazi* [14]

Slika 2.3.2.1. prikazuje sustav za pohranu energije po trajanju i snazi iz koje vidimo da su litij-ionske baterije i vodik jedan od boljih sustava za pohranu energije jer daju najbolji omjer između vremena trajanja i količine snage.

2.3.3. Obnovljivi izvori energije

Europska Unija ima za cilj 20 % obnovljivih izvora energije u bruto potrošnji energije, pri čemu se u obzir uzimaju pojedinačni državni ciljevi, različite početne točke svake države, potencijal obnovljivih izvora i ekonomska situacija u državama članicama[15].

U tablici 2.3.3.1. je prikazano kako u pojedinim državama raste udio obnovljivih izvora energije u postotcima. Cilj Hrvatske do 2020. godine je udio od 20 % dok zemlje u okruženju imaju za cilj 13% Mađarska, 17% Italija, te 25% Slovenija.

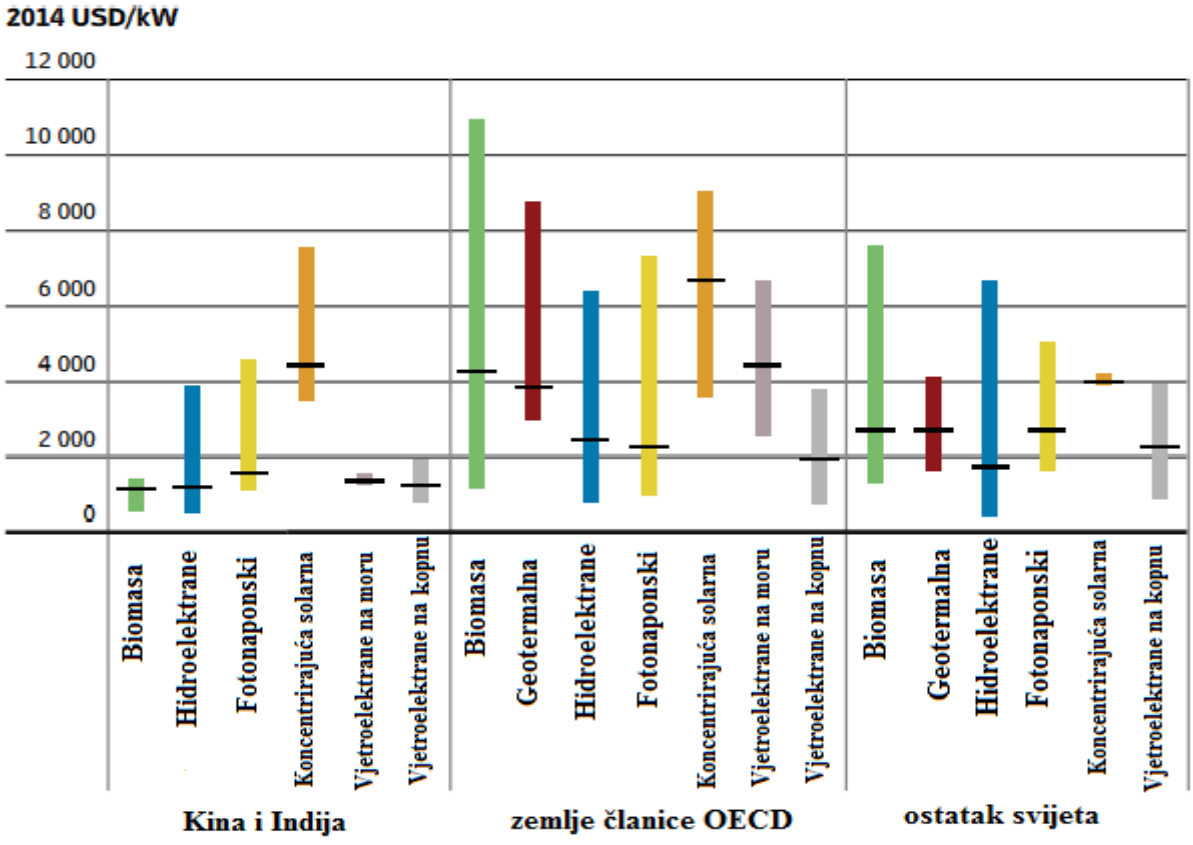
Udio energije iz obnovljivih izvora u % bruto potrošnje energije						
	2004	2007	2010	2011	2012	2020 cilj
EU 28	8.3	10.0	12.5	13.0	14.1	20
Belgija	1.9	3.0	5.0	5.2	6.8	13
Bugarska	9.6	9.4	14.4	14.6	16.3	16
Češka	5.9	7.4	9.3	9.3	11.2	13
Danska	14.5	17.9	22.6	24.0	26.0	30
Njemačka	5.8	9.0	10.7	11.6	12.4	18
Estonija	18.4	17.2	24.7	25.0	25.2	25
Irska	2.4	3.6	5.6	6.6	7.2	16
Grčka*	7.2	8.5	9.7	11.8	15.1	18
Španjolska	8.3	9.7	13.8	13.2	14.3	20
Francuska	9.3	10.2	12.7	11.3	13.4	23
HRVATSKA	13.2	12.1	14.3	15.4	16.8	20
Italija	5.7	6.5	10.6	12.3	13.5	17
Cipar	3.1	4.0	6.0	6.0	6.8	13
Latvija*	32.8	29.6	32.5	33.5	35.8	40
Litva	17.2	16.7	19.8	20.2	21.7	23
Luxemburg	0.9	2.7	2.9	2.9	3.1	11
Mađarska*	4.4	5.9	8.6	9.1	9.6	13
Malta*	0.3	0.4	0.4	0.7	1.4	10
Nizozemska	1.9	3.1	3.7	4.3	4.5	14
Austrija	22.7	27.5	30.8	30.8	32.1	34
Poljska	7.0	7.0	9.3	10.4	11.0	15
Portugal	19.2	21.9	24.2	24.5	24.6	31
Rumunjska	16.8	18.3	23.2	21.2	22.9	24
Slovenija	16.1	15.6	19.2	19.4	20.2	25
Slovačka	5.3	7.3	9.0	10.3	10.4	14
Finska	29.2	29.8	32.4	32.7	34.3	38
Švedska	38.7	44.1	47.2	48.8	51.0	49
Ujedinjeno Kraljevstvo	1.2	1.8	3.3	3.8	4.2	15
Norveška	58.1	60.2	61.2	64.6	64.5	67.5

Tablica 2.3.3.1. *Udio energije iz obnovljivih izvora u periodu 2014.-2020.*[15]

Pokretanjem investicija u obnovljive izvore energije očekuje se značajan broj novootvorenih radnih mjesta u tom sektoru ali i povezanim djelatnostima. Veliki trošak kapitala na domaćem tržištu i nestabilna energetska politika uvjetuju manja ulaganja investitora koji pak traže donošenje pravnih okvira sigurnih za ulagače te dovoljan vremenski okvir za razvoj energetskih projekata.

Kina predvodi svijet u proizvodnji i korištenju vjetroagregata, solarnih fotonaponskih ćelija i tehnologija naprednih mreža, te proizvodi skoro jednaku količinu energije iz vjetra, vode i sunca kao što proizvode sve Francuske i Njemačke elektrane. Rezultat toga je brži razvoj tehnologije koja za sobom smanjuje cijenu, povećava efikasnost i dostupnost ali traži i fokusiranje energetske politike na promoviranje i konkurentnost obnovljivih izvora[16].

Ukupni troškovi instaliranja tehnologije obnovljivih izvora energije značajno variraju od zemlje do zemlje i regije, kao i između tehnologije i inženjera kao što vidimo prema slici 2.3.3.2..



Sl.2.3.3.2. *Rasponi troškova instaliranja tehnologije obnovljivih izvora energije za 2014.g.*[17]

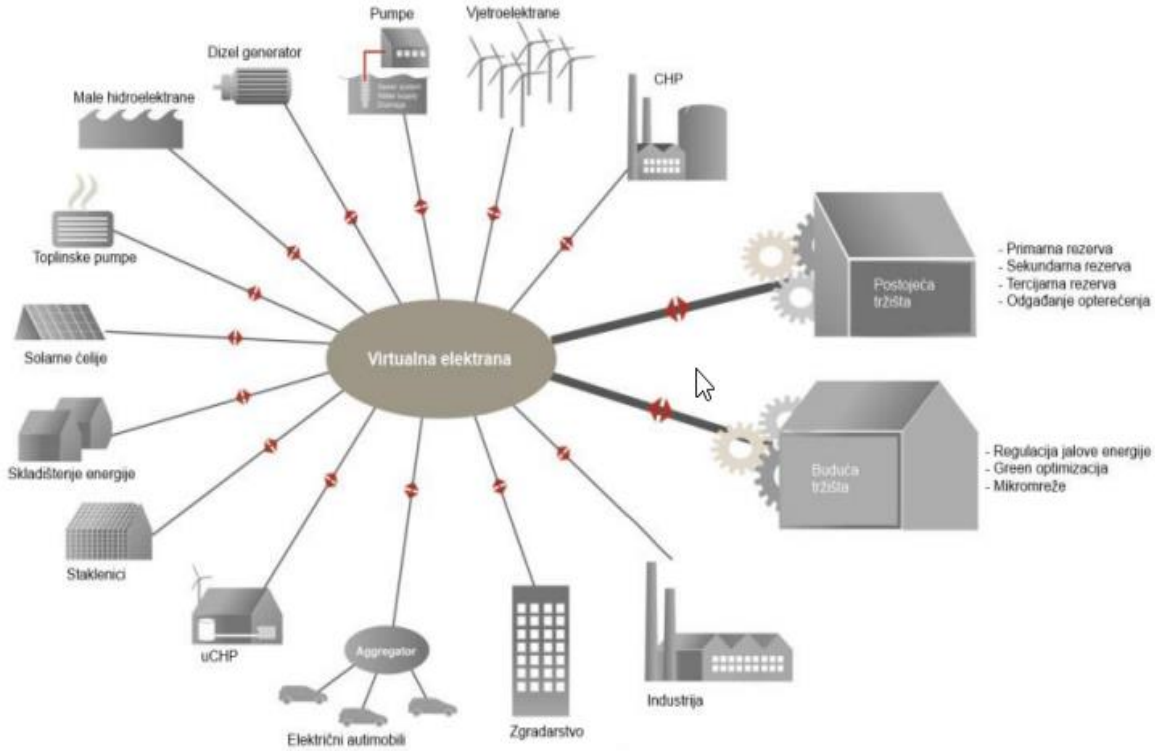
U Kini i Indiji prosječni troškovi instaliranja elektrana na biomasu, hidroelektrane i vjetroelektrane na kopnu su bili između 1240 USD/kW i 1390 USD/kW dok su troškovi sunčanih fotonaponskih elektrana bile oko 1670 USD/kW. Očekuje se dodatni pad troškova pri

proizvodnji struje do 2020. godine (kapitala, pogona postrojenja, energenata) koja zajedno sa porastom učinkovitosti i masovnijom upotrebom dovodi do ukupnog pada troškova od -41 % kod sunčanih elektrana, -37 % kod geotermalnih, -28 % kod vjetroelektrana na moru te -27 % kod vjetroelektrana na kopnu (1$=5.60 u 2014 g.)[17].

Primarni cilj korištenja obnovljivih izvora energije je sigurnost u opskrbi energije i stabilnosti tržišta električnom energijom zbog smanjenja raspoloživih rezervi fosilnih goriva.
Integriranjem obnovljivih izvora energije u mrežu se omogućuje ekološku i komercijalnu korist ali je potrebno osigurati infrastrukturu i tehnologiju koja može koristiti različite izvore energije jer mreža samo u ograničenim količinama može podnijeti nova opterećenja.
Uključenje većeg broja obnovljivih izvora energije na mrežu omogućuje sustav za upravljanje i kontrolu proizvodnje i potrošnje pazeći pritom na stabilnost sustava.
Napredna mreža ima sposobnost prilagodbe na nepredvidljive vremenske prilike i prebacivanje na pouzdani izvor energije te integraciju obnovljivih izvora u periodima minimalne i maksimalne potražnje.

2.3.4. Virtualne elektrane

Virtualna elektrana (engl. *Virtual power plant*- VPP tj. hrv.VEE) koristi infrastrukturu napredne elektroenergetske mreže kako bi povezala manje distribuirane izvore energije za proizvodnju (male hidroelektrane ili vjetroelektrane) i potrošnju (staklenici, skladišta) koji tada djeluju kao jedan proizvođač. Ovakav sustav zbog svoje fleksibilnosti može koristiti gotovo svaki izvor električne energije, omogućuje upravljanje proizvodnjom kada je potražnja najveća te korisnicima omogućuje pohranu viška proizvedene energije [45]. Shema virtualne elektrane sa mogućim elementima je prikazana na slici 2.3.4.1..
VEE aktivno sudjeluje na tržištu kao komercijalna VEE (*engl. Commercial Virtual Power Plant*-KVEE) i tehnička VEE (*engl. Technical Virtual Power Plant*-TVEE) dok po načinu upravljanja može biti centralizirana, decentralizirana i potpuno decentralizirana. Sama virtualna elektrana ne postoji u stvarnosti nego samo u računalima odnosno njihovim softverima te se na taj način upravlja cijelom mrežom. VEE ima pristup tržištu električne energije te aktivno sudjeluje pri optimiziranju zahtjeva prema prijenosnoj mreži i vlastite proizvodnje [18],[19].



Sl.2.3.4.1. *Shema virtualne elektrane* [19]

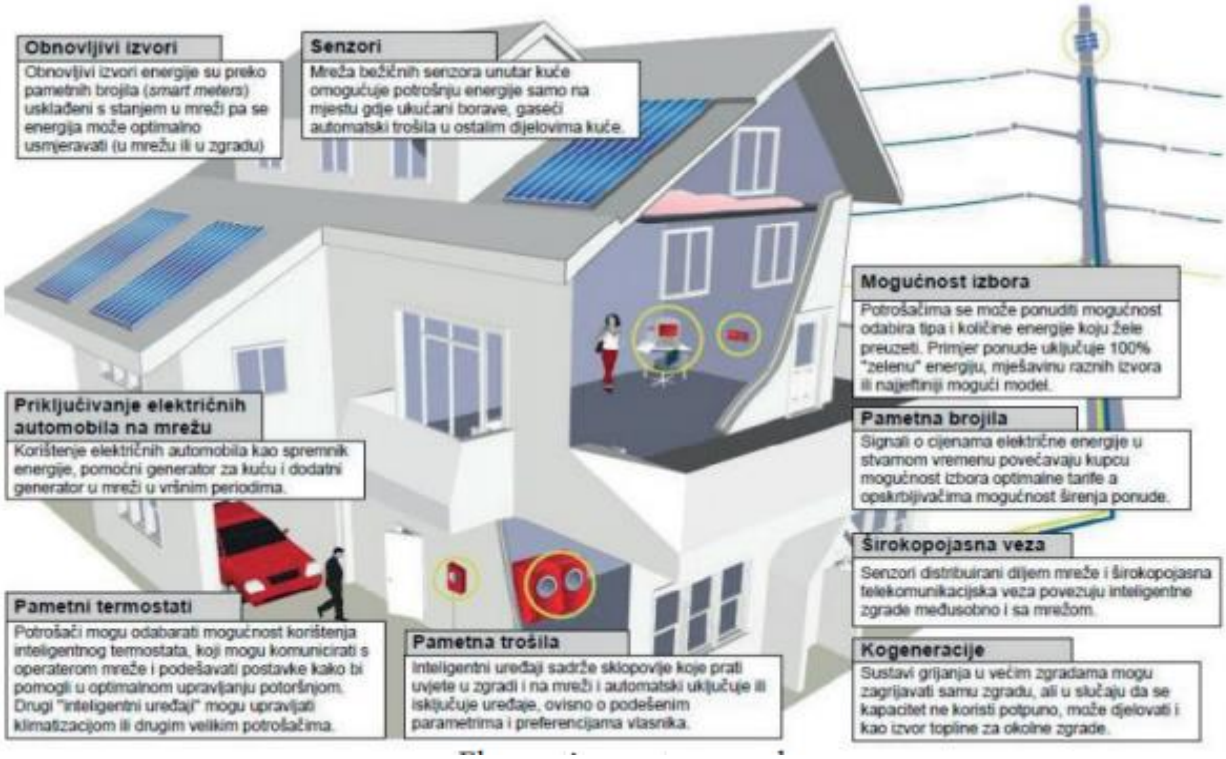
Aktivno upravljanje u VEE se odvija pomoću inteligentnih uređaja, naprednih brojila, bežičnih i žičanih veza, centralnog sustava upravljanja i potrebnih programskih aplikacija. Siguran i pouzdan rad VEE osigurava napredni sustav upravljanja i nadzora te prikupljanje i analiza podataka o proizvodnji i potrošnji, i količini uskladištene energije [18],[19].

Promjenom političkih i regulatornih okvira, rješavanjem tehničkih i ekonomskih problema te razvojem sustava upravljanja i nadzora VEE može pratiti ubrzani razvoj tržišta. Smanjenje cijene tehnologije i njeno pojednostavljenje te tehnička prilagodba sadašnjim tehnologijama otvara put ka bržoj implementaciji [18],[19].

2.3.5. Pametna kuća i pametni grad

Kuća koja je opremljena mrežno povezanim pametnim proizvodima (povezani putem Wi-Fi-a za upravljanje preko interneta, bluetooth-a za koji nije potrebna internetska veza ili sličnih protokola) za regulaciju, automatizaciju i optimizaciju funkcija kao što su temperatura, rasvjeta, sigurnost i zabava, bilo na daljinu putem pametnog telefona, tableta, računala ili posebnog sustava unutar same kuće. Osnovni elementi pametne kuće su senzori (za nadziranje), aktuatori (izvršavanje fizičkih aktivnosti), kontroleri (upravljanje sustavom), centralna jedinica, sučelje i

mreža (za upravljanje i komunikaciju), pametno brojilo i trošilo (za regulaciju proizvodnje i potrošnje) [21]. Primjer objedinjavanja proizvodnje, potrošnje i pohrane energije u pametnoj kući vidimo sa slike 2.3.5.1.. Prema SMARThome.eu [21] jedan od primarnih nedostataka koji odbija ugradnju sustava pametne kuće je složenost sustava, a slijede ga velika ulaganja koja mogu iznositi od 375-560 kuna/m^2 za minimum opreme(osvjetljenje) pa čak do >1125 kuna/m^2 za složeniju i luksuzniju opremu(osvjetljenje, grijanje, klima, razni dodaci) te mala razina sigurnosti (upadi napadača u mrežu i krađa podataka, isključenje iz mreže, promjena parametara na uređajima) [21].



Sl.2.3.5.1. *Budućnost objedinjavanja proizvodnje, potrošnje i pohrane energije u pametnoj kući* [20]

Usprkos tehnološkom napretku još nema standardnog sustava za automatizaciju svih tih uređaja. Pametna kuća omogućuje vlasnicima uštedu vremena, sigurnost, energetsku učinkovitost (niski troškovi održavanja) i praktičnost u svako doba dana, bez obzira nalazi li se netko kod kuće te šalje vlasniku podatke o potrošnji ili proizvodnji energije tako da može u svakom trenutku reagirati i prilagoditi sustav. Također, pametne kuće mogu komunicirati međusobno stvarajući tako naprednu mrežu [20],[21].

Koncept pametnih gradova (engl. *Smart city*) je skup multidisciplinarnih mjera, ideja i politika usmjerenih na poticanje razvoja ljudskih i tehnoloških resursa urbanih područja te njihove strukturirane interakcije u svrhu omogućavanja održivog gospodarskog razvoja i više kvalitete

života njegovih stanovnika. Prema procjenama Ujedinjenih naroda upravo će urbana područja generirati oko 90 posto prirodnog prirasta globalnog stanovništva, 80 posto novostvorenog bogatstva, ali i trošiti oko 60 posto ukupne svjetske potrošnje energije [22].

Projekti pametnih gradova nisu mogući, bez implementacije napredne mreže, zbog zastarjele infrastrukture i ograničenja sadašnje mreže te regulatornih okvira. Povrat troškova implementacije napredne mreže i naprednih sustava u gradski sustav je dugotrajan postupak ali dobro dizajniranom i usklađenom tehnologijom pametni gradovi donose brži povrat investicija. Unapređenjem kvalitete, učinkovitosti i interaktivnosti gradskih usluga smanjuju se troškovi i potrošnja resursa te se ispunjavaju potrebe i kvaliteta života stanovnika [24]. Omogućeno je upravljanje gradskim tokovima u realnom vremenu te je mreža spremna reagirati na nove izazove i kvarove. Prema Institutu inženjera elektrotehnike i elektronike(IEEE-engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) [23], pametan grad povezuje tehnologiju, vladu i društvo radi omogućavanja sljedećih karakteristika, [24]:

1. Smart Cities-pametni gradovi
2. Smart Economy -pametna ekonomija (konkurentnost)
3. Smart Mobility -pametna mobilnost (transport i informacijsko-komunikacijske tehnologije)
4. Smart Environment -pametan okoliš (učinkovito gospodarenje energijom i resursima)
5. Smart People -pametni ljudi (društveni i ljudski resursi)
6. Smart Living-pametno življenje (kvaliteta življenja)
7. Smart Governance -pametno upravljanje (participacija građana).

2.4. Informacijsko-komunikacijska tehnologija naprednih mreža

Razvoj naprednih mreža zahtjeva sigurnu infrastrukturu i djelotvornu informacijsku i komunikacijsku tehnologiju usklađenu sa regulativama i zakonodavstvom. Primjena informacijsko-komunikacijske tehnologije u naprednim mrežama je preduvjet za razmjenu podataka između potrošača i proizvođača na siguran, ekonomičan i ekološki način [6].

Potrebna su temeljna znanstvena istraživanja na području te tehnologije o posljedicama na ekonomiju i društvo. Zaštita i privatnost podataka svih pojedinaca i kućanstava spojenih na mrežu obvezni su za funkcioniranje i postavljanje naprednih mreža.

Ključni elementi za napredak informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT) su, [6] :

1. Jednostavna, robusna, sigurna i fleksibilna komunikacijska infrastruktura koja omogućuje praćenje, kontrolu i otpremu djelovanja na svim razinama, sve do distribucije i kupaca .
2. Zajednički informatički i podatkovni modeli moraju biti definirani na svim razinama elektroenergetskog sustava i opskrbe električnom energijom.
3. Dobro funkcioniranje ICT rješenja neophodno je za održavanje sigurnosti sistema i efikasnu interakciju tržišnih sudionika.
4. Stvarne konkurentne situacije za sve vrste proizvoda oslonjenih na strategiju s više dobavljača mogu se ostvariti samo uz dobro definirana i standardizirana ICT rješenja.
5. Standardizirana sučelja su potrebna između različitih sudionika u proizvodnji, neovisnog operatora prijenosnog sustava, operatora distribucijskog sustava, virtualnih elektrana, trgovaca i kupaca.

Razvoj informacijskih i komunikacijskih tehnologija ključan je i u funkcioniranju i pružanju drugih inovativnih usluga u naprednim mrežama:

- Pametno mjerenje
- Pametna kuća
- Pametni grad
- E-energija
- Virtualne elektrane

2.4.1. Cyber sigurnost

Sve veća potrošnja električne energije kroz postojeće prijenosne i distribucijske mreže, od kojih su neke starije i od 40 godina, zahtijeva sigurnu i zaštićenu isporuku.

Organizacijskim i tehničkim rizicima te kibernetičkom sigurnošću (engl. *Cyber security*) za napredne mreže treba promatrati i upravljati na nacionalnoj i regionalnoj razini.

Doći će do dramatične promjene u prirodi (sustav će raditi s velikim brojem osobnih podataka i profila) i složenosti sustava praćenja i kontrole mreže kako se mreža bude razvijala, što će zahtijevati organizacijske promjene i razvoj ljudi, procesa i tehnologije. Sigurnost i zaštita podataka bez iznimke treba uvrstiti u strategiju razvoja naprednih mreža. To je neophodno za daljnji razvoj naprednih mreža [33].

Nadogradnja sustava sa velikim brojem senzora i pametnih brojila povećava broj potencijalnih ranjivih mjesta za cyber napad što izaziva nepotrebne troškove i posljedice kako proizvođačima tako i potrošačima. Cyber sigurnost mora rješavati i obraniti se ne samo od napada

zaposlenika, industrijske špijunaže, ili terorista hakera nego i od korisničkih pogrešaka, kvarova na opremi i prirodnih katastrofa. Radi curenja informacija o potrošnji energije, o načinu života potrošača, o tome gdje se nalazi u određeno doba dana, o pojedinostima računa, se kao rješenje zbog sigurnosti nameće šifriranje podataka koji se šalju između potrošača i sustava te provjera autentičnosti. Potrebno je dorada sigurnosne infrastrukture, privatnosti i cloud usluga. Potrebna je i suradnja agencija za zaštitu, akademske zajednice i industrije da se odrede smjernice, standardi i prilagode postojeće metode za kibernetičku sigurnost zbog sve učestalijih napada na elektroenergetsku mrežu[33].

2.5. Izazovi i vizija za budućnost

Glavni izazovi za implementiranje napredne platforme u sustav, [6]:

1. Nadogradnja postojeće mreže na efikasan i ekonomičan način sa mogućnošću naprednog mrežnog upravljanja zbog složenosti sustava opskrbe.
2. Bolja infrastrukturna povezanost sa *off-shore* izvorima energije(vjetroelektrane na moru).
3. Održavanje stabilnosti mreže zbog integriranja obnovljivih izvora energije u mrežu.
4. Decentralizacijom sustava omogućiti usklađeni rad mikromreža sa sustavom.
5. Dijeljenje informacija između potrošača i mreže radi daljnjeg educiranja i razumijevanja naučenog.
6. Ambicija projektanata i eksperimentiranje sa novim modelima naprednih mreža.
7. Integriranje povremenih proizvođača u sustav (mikro proizvodnja kućanstva).
8. Pravni okviri regulacije i politike za daljnje inovacije i ulaganja.
9. Iskorištenje prednosti distribuirane proizvodnje i pohrane energije.

2.6. Razvoj naprednih mreža u Hrvatskoj

Glavne prepreke bržeg razvoja, kao zastarjela i nerazvijena istraživačka infrastruktura, manjak resursa za daljnja istraživanja i nedostatno znanje o tehnologiji, ograničavaju inovacije i konkurentnost [27].

Da bi se napredne mreže u Hrvatskoj transformirale u održivi model potreban je dijalog regulatora, operatora prijenosnog sustava, operatora distribucijskog sustava, industrije, investitora i potrošača.

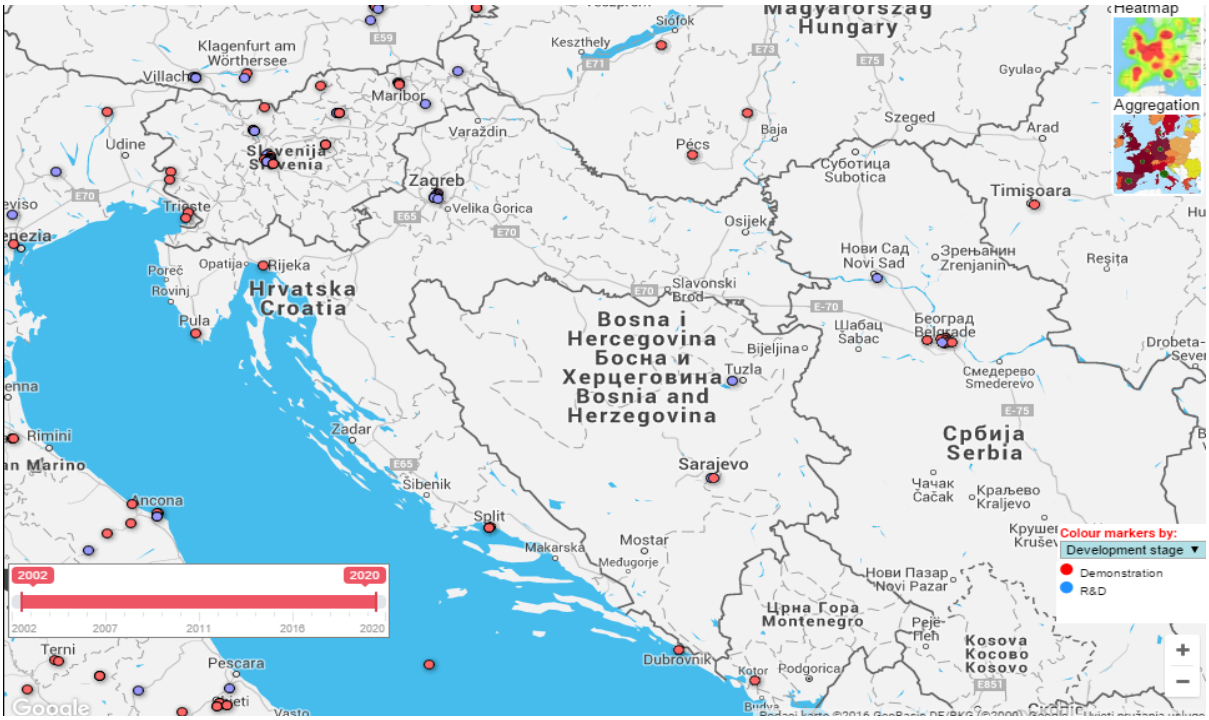
HEP uvođenjem naprednih brojila u najvećim hrvatskim gradovima (6000 brojila) te izgradnjom moderne telekomunikacijske mreže (optička mreža sa kapacitetom 8 terabita u sekundi) uvjetuje bržu implementaciju koncepta napredne mreže u Hrvatskoj [25].

Tijekom 2015. i 2016. godine pripremana je studija izvodljivosti, uključujući analizu troškova i koristi, za potrebe Pilot projekta uvođenja naprednih mreža. Studija će poslužiti za pripremu stručnih podloga pri prijavi projekta sufinanciranje sredstvima EU. Sukladno potrebama HEP ODS-a, definirana su tri funkcionalna područja napredne mreže te inicijative u sklopu pojedinog funkcionalnog područja, koje će biti implementirane u okviru Pilot projekta, [25]:

1) Napredna mjerna infrastruktura:
   – Ugradnja sumarnih brojila u TS 10(20)/0,4 kV,
   – Zamjena postojećih brojila kod krajnjih kupaca naprednima,
2) Automatizacija srednjenaponske mreže:
   – Automatizacija i sekcioniranje nadzemnih SN vodova pomoću rastavnih sklopki,
   – Automatizacija SN postrojenja u podzemnoj kabelskoj mreži pomoću integriranih sklopnih blokova,
3) Razvoj i optimizacija konvencionalne mreže:
   – Zamjena postojećih transformatora SN/NN

Ciljevi, aktivnosti i očekivani rezultati Projekta u skladu su s europskim i nacionalnim zakonodavstvom i strategijama razvoja na području električne energije. Implementacijom Pilot projekta uvođenja naprednih mreža doprinijet će se rješavanju postojećih problema vezanih uz distribuciju električne energije (smanjenje gubitaka, smanjenje prosječnog broja i trajanja prekida napajanja) te će se omogućiti povećanje udjela distribuiranih izvora i broja korisnika s pristupom naprednoj mreži. U naredne tri godine planiraju se značajna ulaganja u razvoj distribucijske mreže u iznosu od cca. 750 milijuna kuna godišnje, od čega cca. 70 milijuna kuna godišnje u napredne mreže. [25]

Popis projekata naprednih mreža u Hrvatskoj prema JRC (engl. *Joint Research Centre*)[26] prikazan je na slici 2.6.1. iz koje vidimo slabiju implementaciju projekata naprednih mreža. Projekti su većinom u većim gradovima i to: u Zagrebu imamo 3 demonstracijska i 5 istraživačko-razvojnih, u Splitu 3 demonstracijska, dok u Rijeci, Puli i Dubrovniku po 1 demonstracijsku. U fazi je prikupljanje novih podataka te praćenje napretka postojećih projekata.



Sl.2.6.1. *Projekti naprednih mreža prema JRC u Hrvatskoj od 2002.-2020. (na datum 17.04.2017.)*[26]

Najveći udio privatnih investicija u istraživanje i razvoj ostvaruju srednja i velika poduzeća sa više od 90%, dakako najveći udio pripada velikim poduzećima sa 60%. Dok mikro i mala poduzeća kaskaju za njima sa 8% što zbog nesigurnog ishoda što zbog velikog rizika i slabe javne potpore.

Prioritetna os	Alokacija ESIF (EUR)
Jačanje gospodarstva primjenom istraživanja i inovacija	664.792.165
Korištenje informacijske i komunikacijske tehnologije	307.952.676
Poslovna konkurentnost	970.000.000
Promicanje energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije	531.810.805
Klimatske promjene i upravljanje rizicima	245.396.147
Zaštita okoliša i održivost resursa	1.987.360.608
Povezanost i mobilnost	1.310.205.755
Socijalno uključivanje i zdravlje	356.500.000
Obrazovanje, vještine i cjeloživotno učenje	270.914.791
Tehnička pomoć	236.112.612
Ukupno	**6.881.045.559**

- navedeni iznosi predstavljaju 85 % ukupnog iznosa za pojedinu os
- preostalih 15 % do punog iznosa za os izdvaja se iz proračuna RH

Sl.2.6.2. *Potporna sredstva iz EU fondova za istraživanje i inovacije* [27]

Hrvatska treba definirati standarde i učiniti potrebne pripreme za masovnu primjenu naprednih mreža jer brzim razvojem i politikom europske unije ona će postati obveza za njene članice, tako i Hrvatske. To otvara put ka korištenje EU fondova i njihovoj potpori pri istraživanju i inovacijama čijim je operativnim programom Konkurentnost i kohezija 2014.-2020. za Hrvatsku odobrena sredstva u visini 6.881 milijarda eura [27].

3.MIKROMREŽE

Modernizacija elektroenergetsko sustava (od malih mikromreža do velikih prijenosnih sustava) je neizbježna kako zbog starosti tako i zbog porasta potražnje koja traži kvalitetnu i sigurnu opskrbu. Broj instaliranih mikromreža je mali ali raste u mnogim područjima širom svijeta.

Sl. 3.1. *Primjer mikromreže* [28]

Mikromreže nastoje prenositi energiju preko distribucijske mreže niskog napona iz međusobno povezanih lokalnih proizvodnih izvora energije kao što su mikro hidroelektrane, fotonaponski sustavi ili elektrane na biomasu relativno malom broju korisnika. Primjer mikromreže prikazan je na slici 3.1.. Mikromreža može biti povezana na glavnu električnu mrežu, može raditi u otočnom načinu rada a može funkcionirati potpuno neovisno od centralne električne mreže. Povećanjem sustava za pohranu energije (baterije) u mikromrežama one postaju troškovno konkurentne. Proširuje se i mijenja njihova uloga, pri pojavi povećanja potražnje za električnom energijom, padanjem cijena obnovljivih izvora, te sve većom potrebom za otpornost na prekide opskrbe i autonomiju[33].

Mikromreža je u stanju raditi dok glavna mreža ne radi, može ojačati otpornost mreže i umanjiti poremećaje u mreži ali može funkcionirati i kao mrežni izvor za brži odziv sustava i oporavak. Smanjuje gubitke energije u prijenosu i distribuciji korištenjem lokalnih izvora energije pritom povećavajući učinkovitost opskrbnog sustava [33].

3.1. Opis, ciljevi i prednosti mikromreža

Mikromreže prema krajnjem korisniku možemo podijeliti na ove kategorije, [29]:

1. Udaljeni sustavi -*off grid* mikromreže uključuju otoke, udaljena mjesta i druge mikromreže koji nisu povezani na lokalnu mrežu.
2. Poslovna/Industrija-poslovne zgrade i industrijske zone.
3. Zajednica/Poduzeća- pružaju energiju većem broju klijenata ili djelatnosti unutar zajednice, generalno osigurava ključnu imovinu u zajednici.
4. Kampus/Institucija- povezani sa lokalnom mrežom, zadržava mogućnost samostalnog rada tijekom ispada.
5. Vojna-smanjenje ljudskog rizika korištenjem obnovljivih izvora (pri transportu goriva u ratnim zonama).
6. Virtualna mikromreža-pokrivaju distribuirane izvore energije na više mjesta ali su koordinirani tako da mogu biti prikazani na mreži kao jedinstveni fizički entitet.

Homer Energy(optimizacijski računalni program kojem je glavna zadaća procjena isplativosti i usporedba samostalnih ili mrežnih mikroenergetskih sustava) izdvaja četiri kategorije mikromreža temeljene na mrežnoj vezi i veličini, [30]:

1. Velike mrežno povezane mikromreže (npr. vojna baza ili kampu)
2. Male mrežno povezane mikromreže (npr. pojedinačni sklop za podržavanje nepouzdane središnje mreže)
3. Velike udaljene mikromreže(npr. komunalne djelatnosti na otoku)
4. Male udaljene mikromreže (npr. u selima)

Mikromreža se može sastojati od sljedećih komponenti, [31] :

- proizvodne jedinice s raspodjeljivom proizvodnjom energije (engl. *dispatchable generation*) – proizvodne jedinice koje energiju proizvode trošenjem goriva i raspoloživi su prema potrebi (mikroturbine, motori s unutrašnjim izgaranjem, gorivne ćelije, diesel agregati, ...),
- proizvodne jedinice s neraspodjeljivom proizvodnjom energije (engl. *non-dispatchable generation*) – proizvodne jedinice s intermitirajućim izvorom energije (vjetroturbine, fotonaponski sustavi),

- skladišta električne i toplinske energije,
- točka zajedničkog priključka za razmjenu električne energije,
- infrastruktura za distribuciju električne i toplinske energije
- sustava gospodarenja energijom (engl. *Energy Management System* - EMS)

Mikromreža se pri svojoj implementaciji susreće sa tehničkim, financijskim i regulatornim preprekama.

Ključni pokretači jače i brže implementacije mikromreže su, [32]:

- Potreba za elektrifikacijom u udaljenim mjestima i zemljama u razvoju
- Potreba kupaca za pouzdanijom, fleksibilnijom i održivom uslugom
- Sigurnost mreže i problemi opstanka
- Komunalna potreba za optimizacijom mreže, odgoda investicija, zagušenje mreže, pomoćne usluge
- Potražnja za nižim troškovima opskrbe energijom
- Zaštita okoliša, učinkovitost i prednosti korištenja obnovljive energije
- Napredak u tehnologiji skladištenja energije

Mikromreže su u mnogim područjima suočeni sa izazovima i neodređenosti oko brojnih pitanja, uključujući, [32]:

- Politika vlade i propisi
- Komunalna davanja i dodjela ugovora
- Financiranje i upravljanje rizicima
- Povezivanje i međusobno funkcioniranje
- Planiranje resursima
- Rad sustava
- Tehnologija i trendovi opskrbe gorivom

Mikromreža i integracija distribuiranih izvora energije predstavlja niz operativnih izazova koje treba rješavati pri projektiranju kontrole i zaštite sustava tako da se održi sadašnja razina pouzdanosti i potpuno iskoristi potencijal sustava za distribuciju.

Jasno je da mikromreža sa sobom donosi mnoge pogodnosti posebice ako se energija iz obnovljivih izvora proizvodi i troši na lokalnoj razini. Mikromreža bi trebala smanjiti električne gubitke, povećati stabilnost mreže i sigurnost, smanjiti troškove kako potrošača tako i operatora distribucijskog sustava. Pogodnosti su raznolike a ovo su neke od njih, [33]:

1. ***Ekonomske***
   - **Opterećenje potrošača**- sustav automatizacije može sadržavati relativno složen mehanizam za određivanje cijena. Sustav u kojem softver za dinamičko određivanje cijena izračunava u realnom vremenu najjeftiniji izvor energije: glavnu elektroenergetsku mrežu ili lokalne izvore (krovne fotonaponske panele, integrirane vjetroelektrane u mikromreži)
   - **Mikro proizvodnja**- mnoge zemlje su uvele poticaje za ubrzanje implementacije obnovljivih izvora energije. Takvi sustavi obično uključuju subvencioniranje cijene za vlasnika sustava obnovljivih izvora energije (fotonapon, vjetar, male hidroelektrane, biomasa) da proda energiju natrag električnom poduzeću proizvedenu po cijeni višoj od tržišne.
   - **Smanjenje troškova mreže**- implementacija mikromreže na područjima velike potražnje ili područjima gdje nema električne infrastrukture može predstavljati mnogo jeftiniju alternativu nego troškovi izgradnje prijenosne infrastrukture.
2. ***Ekološke***
   - **Smanjenje stakleničkih plinova**-mikromreža se može osloniti na lokalne obnovljive izvore-drastično smanjenje gubitaka na transportnom visokonaponskom vodu (gubici koji mogu rezultirati u tonama smanjene emisije CO_2)
3. ***Tehničke***
   - **Smanjenje vršnog opterećenja**-dinamičko određivanje cijena uz kombinaciju s lokalnim izvorom energije može biti moćan alat za smanjenje ili mijenjanje opterećenja. Istraživanja pokazuju da dolazi do smanjenja vršnog opterećenja od 10 % i opće potrošnje i do 15%.
   - **Povećanje pouzdanosti sustava**- zahvaljujući potencijalima kvalitetnih lokalnih automatiziranih kapaciteta, mikromreža bi trebala poboljšati stabilnost i pouzdanost mreže.
   - **Regulacija napona**-mogućnost dobivanja energije iz mreže ili lokalno povećava kvalitetu napona električne energije pod uvjetom da je automatizacija na pravom mjestu.
   - **Smanjenje gubitaka energije**-lokalna proizvodnja smanjuje potrebu za prenošenjem energije na velike udaljenosti, tako smanjujući gubitke.[33]

3.2. Tehnički zahtjevi

Mikromreže su složeni energetski sustav koji zahtjeva specifični infrastrukturu, koordinaciju resursa i protok informacija, kao i dodatnu zaštitu i sustav upravljanja kvalitetom energije.

Skupina međusobno povezanih opterećenja i distribuiranih izvora energije ne kvalificira se kao mikromreža sama po sebi, osim ako su ispunjeni tehnički zahtjevi, među kojima su i mogućnost za rad u mreži i otočnom načinu rada, sposobnost neometanog prijelaza između dva načina rada uz minimalne prekide opterećenja pod namjernim ili nenamjernim uvjetima, pravilan prijenos i zaštita, i osiguranje kvalitete energije [34].

1. **Otkrivanje otočnog načina rada**-brzo otkrivanje otočnog načina rada je posebno važno kod mikromreža, budući da metoda upravljanja mikromrežom ovisi o načinu rada: mrežno povezan ili otočni način rada. U mrežno povezanom načinu rada frekvenciju i napon točke zajedničkog priključka određuje glavna mreža, dok u otočnom načinu rada kontroler mikromreže izvršava regulaciju frekvencije i napona kontrolirajući distribuirane izvore energije i korištenje trošila.

   Daljinska metoda otkriva otočni načina rada kroz komunikaciju sa glavnom mrežom i nadzorom statusa prekidača, dok lokalna metoda detektira način rada temeljen na mjerenju napona i frekvencije [34].

2. **Prijenos i zaštita**-trenutni sustavi distribucije električne energije su uglavnom dizajnirani i izgrađeni za jednosmjeran protok energije u radijalnim mrežama prema opterećenju. Integracija distribuiranih izvora energije u distribucijsku mrežu i mikromreža mijenjaju ovu paradigmu, komplicirajući problem zaštite distribucijskog sustava, ometajući prethodnu koordinaciju zaštite, mijenjajući tijek strujnog toka, te stvarajući kvar dvosmjernog toka snage. Strategija koordinacije zaštitu dijeli na pristup kroz vremensko stupnjevanje i pristup temeljen na komunikaciji. Pravilna zaštita je izazovan zadatak zbog značajne promjene struje kvara koja ovisi o načinu rada i vrsti priključenih distribuiranih izvora [34].

   Podjela zaštitnih sustava mikromreža dijeli u sljedeće kategorije, [34]:

   a) Prilagodljiv zaštitni sustav-automatski podešava njezine postavke zaštite mikromreže kada se razina struje kvara značajno promijeni.
   b) Diferencijalni zaštitni sustav-štiti određeno zonu u mikromreži te će raditi ako razlika između ulazne i izlazne struje u zoni prelazi unaprijed određen prag.

c) Pristupni sustav zaštite-koriste daljinske releje.
d) Naponsko baziran zaštitni sustav-praćenje napona na različitim lokacijama u mikromreži.
e) Zaštitni sustav koji mijenja razinu kratkog spoja u mreži korištenjem uređaja za ograničavanje struje kvara ili uređaja za pohranu energije.
f) Zaštitni sustav koji koristi nadstrujne zaštitne releje.

3. **Kvaliteta energije**-udio harmonika i neuravnoteženi napon su dva glavna problema s kvalitetom energije. Prisutnost elektronički napajanih uređaja (prekidač napajanja, promjenjivi frekvencijski pogoni, pretvarači) u mreži stvara harmonike kako u glavnoj mreži tako i u mikromreži. Dolazi do pregrijavanja, prekomjernog prijenosa i gubitaka, neispravnosti zaštitnih releja i isklapanja prekidača, pogreške pri komunikaciji. Neuravnoteženi napon negativno utječe na asinkrone motore, elektroenergetske pretvarače i promjenjive frekvencijske motore. Radi zaštite se definiraju standardi i norme u vezi prihvatljivih minimalnih pragova. Predložene metode za kompenzaciju neravnoteže napona su potiskivanje kružni struja, korištenje aktivnih filtara, korištenje optimalno kontroliranih shunta i serije pretvarača, filtriranje harmonika i ubrizgavanje negativnog napona ili struje. Za određivanje troška kompenzacije bitno je znati točnu konfiguraciju mikromreže [34].

3.3. Procjena troška ugradnje napredne mikromreže

Dok projekt napredne mreže može biti usredotočen na samo nekoliko nadogradnja navedenih u tablici 3.3.1., napredna mikromreža integrira sve od njih i na taj način maksimalno povećava povrat investicija. Mikromreže su način da se optimalno izgrade napredne mreže usmjerene prema potrošačima [35]. Za zajednicu i njihove građane usvajanjem naprednih mikromreža je procijenjen omjer koristi i troškova od najmanje 4 naprema 1 u roku od pet godina od ugradnje. Osim toga, potencijal za rast ograničen je samo energetskim potrebama područja u blizini. Još neke kvalitativne prednosti uključuju pravedniju i nepristranu cijenu električne energije, poboljšanje zadovoljstva potrošača, poticanje i usvajanje inovacija, snažnija konkurencija sa povećanim i kvalitetnijim maloprodajnim prinosima, i možda najvažnije, veća sigurnost s reduciranom ranjivošću na prirodne katastrofe ili napade na elektroenergetski sustav [35].

Tablica 3.3.1. prikazuje procjenu troška modernizacije distribucijske mreže po cijeni elemenata koji su potrebni za nadogradnju stambenog korisnika na naprednu mikromrežu.

Tablica 3.3.1. [35]:

Tehnologija	***Troškovi instaliranja*** [1$=5.90 kuna 2010.g.]
1. *Integrirana komunikacija*	$ 40
2. *Automatsko očitavanje i mjerenje*	$ 30
3. *Automatizacija distribucije*	$ 130
4. *Automatizacija podsustava*	$ 200
5. *Sklopovi petlje i pametni prekidači*	$ 500
6. *Distribuiranje energije mikromreže*	$ 500
7. *Pametni potrošački portal brojila*	$ 200
Ukupno	$ 1600
Kapitalni godišnji trošak	$ 200 / *godišnje*
Godišnji trošak održavanja	$ 25

Dok tablica 3.3.2. prikazuje prednosti i godišnji povrat po stambenom korisniku nakon ugradnje napredne mikromreže.

Tablica 3.3.2. [35]:

Kategorija	Neto sadašnja vrijednost / godina
1. *Poboljšana sigurnost*	$ 250
2. *Ušteda u potrošnji električne energije*	$ 100 +
3. *Vrijeme korištenja uštede, pomicanje vršne potražnje*	$ 75 +
4. *Izbjegnuti troškovi kapaciteta*	$ 120
5. *Stvaranje radnih mjesta i povećanje prihoda*	$ 300 +
6. *Smanjenje distribucije energije i tržišnih gubitaka*	$ 25
Ukupno	$ 870 + / godina
Dugoročni potencijal	
Kućanstva postaju isporučitelji el. energije	$ 1000 +
Smanjenje emisije CO_2	300 +
Energetska i državna sigurnost	neprocijenjivo

Trošak električne nepouzdanosti se prenosi na potrošače dodajući ju na cijenu svih proizvoda i usluga koje kupuju. To je nepotrebni trošak svakog kućanstva (najmanje 1000 $ godišnje) i napredna distribucijska mreža je ne može eliminirati ali ih lako može smanjiti za najmanje 25 %. Napredna mreža koja omogućava informacije o cijeni u stvarnom vremenu signalizira kućanskim uređajima, po nahođenju vlasnika, pa mogu sačuvati značajnu količinu energiju i novac. Cijene električne energije se lako može povećati i do 5 puta u toku jednog dana, osobito pri vršnim opterećenjima kada je potražnja najveća [35].

Komunalnim poduzećima je potrebna izgradnja elektrana da udovolje vršnim zahtjevima iako ti objekti mogu raditi u praznom hodu 80 % ili više vremena. Kapitalni troškovi tog nedovoljno iskorištenog rezervnog kapaciteta ugrađeni su u cijenu koju plaćaju svi potrošači.

Pojedinci i zajednica od implementacije naprednih mikromreža profitiraju kroz otvaranje novih radnih mjesta privlačenjem poduzeća i industrije koji traže pouzdanu naprednu mrežu i povećanje poreznih prihoda [35].

U globalu, uštede i poboljšanje kvalitete života koji su dio vizije napredne mreže su ograničeni samo našom maštom. Pravilno dizajnirana i razvijena napredna mreža (idealno napredna mikromreža) omogućava, [35]:

- Aktivno sudjelovanje svih potrošača
- Prihvat distribuiranje proizvodnje energije i skladišnih mogućnosti
- Brzo i ekonomsko usvajanje alternativne proizvodnje energije
- Osigurati pouzdanost mreže i kvalitetu potrebnu za digitalnu ekonomiju
- Podrška novim energetskim tržištima, i omogućujući korisnicima da prodaju višak proizvedene energije
- Optimizacija iskoristivosti i učinkovitosti aktivne mreže
- Predvidjeti i brzo ispraviti poremećaj u sustavu
- Otporniji (fleksibilniji) rad protiv napada i prirodnih katastrofa.

4. ANALIZA NAPREDNIH MREŽA

Sveobuhvatna analiza projekta napredne mreže obuhvaća ekonomsku analizu i analizu kvalitativnih utjecaja. Napredne mreže traže velike početne investicijske troškove dok se prednost očituje tek nakon određenog vremena. Velik je i rizik da financijske uštede budu manje od troškova [36].

4.1. EPRI metodologija

EPRI (engl. *Electric Power Research Institute*- www.epri.com) je neprofitna međunarodna organizacija financirana od strane komunalne industrije, osnovana 1972. i sa sjedištem u Kaliforniji.

EPRI svojim istraživanjem obuhvaća različite aspekte proizvodnje električne energije, isporuke i njegovu uporabu [36].

EPRI je razvio prvu metodologiju za ekonomsku analizu dobiti i troškova pri implementaciji naprednih mreža u sustav. Metodologija se sastoji od deset koraka koje opisuju projekat, definiraju korist i troškove, te usporedba tih definiranih koristi i troškova, [36]:

1. Opis implementiranih tehnologija i postavljanje ciljeva projekta-opisuje tehnologiju i parametre mreže te uključuje definiranje veličine mreže.

2. Grupiranje implementiranih tehnologija po funkciji/funkcionalnosti-obavlja se radi bolje razmjene informacija između potrošača i tržišta, radi bolje sigurnosti i budućih poboljšanja.

3. Opis glavnih karakteristika projekta-radi mogućnosti daljnjih poboljšanja tržišta električnom energijom, otkrivanja i popravljanja kvarova

4. Grupiranje funkcija/funkcionalnosti prema koristima-funkcije/funkcionalnosti koje obavljaju komponente mreže prema koristima koje uzrokuju.

5. Određivanje referentnog stanja-za usporedbu za sva druga stanja, na temelju podataka o potrošnji.

6. Definiranje pretpostavki za korist-

7. Kvantificiranje koristi-

-6 7, i 8 korak opisuje koristi za ekonomiju, okoliš, sustav i potrošače.

8. Određivanje monetarne vrijednosti koristi-

9. Procjena troškova-važan za izračun vremena povrata investicije.

10. Usporedba koristi i troškova-potrebno za određivanje isplativosti projekta.

4.2. JRC metodologija

JRC (engl. Joint Research Centre)[26] -zajednički istraživački centar je znanstveno-stručna komponenta Europske komisije za znanost i znanje koji zapošljava znanstvenike za provođenje istraživanja kako bi se osigurao neovisan znanstveni savjet i podrška politici EU radi kreiranja sigurnije, čistije i konkurentnije Europe [36].

JRC metoda analize po koracima je slična EPRI metodi osim nekih manjih preinaka i grupiranja te se u konačnici sastoji od sljedećih koraka, [36]:

1. Definiranje rubnih uvjeta i ulaznih parametara.
2. Ekonomska analiza troškova i koristi.
3. Analiza osjetljivosti parametara-definira opseg ulaznih parametara za koje je projekt još isplativ.
4. Rezultati analize.

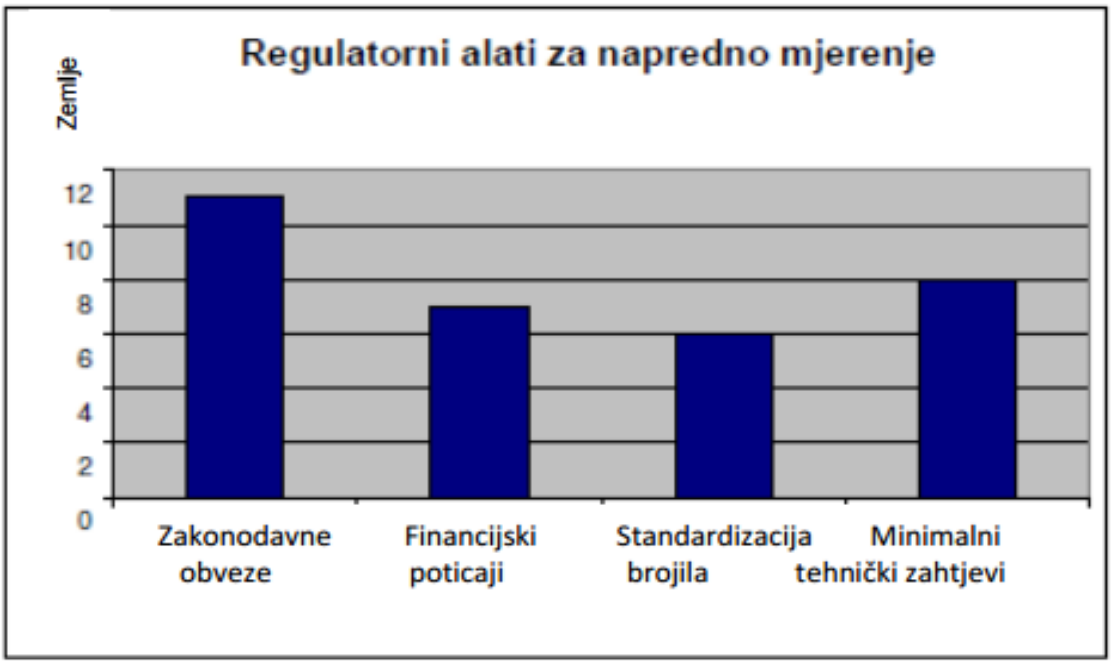
4.3.Analiza implementacije naprednih brojila

EU također ima ambiciozne planove za implementaciju naprednih brojila u domaćinstvima radi uspostavljanja napredne energetske mreže i postavili su cilj da 80% domaćinstava do 2020. ima instalirana napredna brojila dajući preko milijardu eura investicija [37].

Udruženje europskih regulatora za električnu energiju i plin svojim smjernicama pokušava osnažiti ulogu regulatora u cilju osiguranja potpore uvođenju sustava automatskog sustava očitanja (engl. *Automatic meter reading*, AMR) i automatskog sustava upravljanja brojila (engl. *Automatic meter management*, AMM)[8]. Osnovne smjernice kojima bi se regulatori trebali voditi, odnosno korake koje bi države Europske unije trebale poduzeti prije implementacije tih sustava su, [8]:

1) analiza troškova i koristi od uvođenja naprednog mjerenja,
2) upravljanje mjerenim podacima te utjecaj na proces otvaranja tržišta,
3) izrada tehničkih zahtjeva na brojila i potrebne infrastrukture,
4) definiranje politike regulatornih tijela,
5) izrada preporuke.

Regulatorni alati koji imaju važnu ulogu u implementaciji naprednih mjerenja poput zakonodavnih obveza, financijskih poticaja, standardizacije brojila i minimalnih tehničkih zahtjeva prikazani su na slici 4.3.. [8]



Slika 4.3. *Ključni regulatorni alati za napredna mjerenja* **[8]**

4.4. Prednosti naprednih mreža

Napredna mreža osigurava na razini čitavog sustava rješenje koje donosi dalekosežne beneficije kako za komunalna poduzeća tako i njihovim krajnjim korisnicima. Poduzeća koja usvoje tehnologiju naprednih mreža mogu imati značajnu korist po pitanju kapitala i troškova poslovanja, poboljšane kvalitete električne energije, povećanja zadovoljstva potrošača, i pozitivan utjecaj na okoliš. S tim mogućnostima dolaze pitanja: Koji je potencijal naprednih mreža? Kako se tehnologije uklapaju skupa? Kako iskoristiti prednosti preko aplikacija?[33]

Isporuka energije pomoću napredne mreže ne smije se temeljiti samo na omogućavanju rješenja već i na upotpunjavanju rješenja koja rješavaju poslovne i operativne nedoumice i pružaju značajnu, mjerljivu, i održivu korist za poduzeće, za potrošače, za ekonomiju, i za okoliš. Stopa rasta je neizbježna, ali napredne mreže mogu ponuditi mogućnost povećane komunalne dobiti, zajedno sa smanjenjem stope rasta[33].

Od iznimne je važnosti pri implementiranju naprednih mreža da su rješenja opipljiva, mjerljiva i smislena, [33]:

1. Poboljšanjem sigurnosti komunalne mreže, operativnih performansi, i cjelokupne produktivnosti.
2. Isporukom raste energetska učinkovitost i smanjuje emisija ugljičnih plinova.
3. Omogućiti korisnicima da upravljaju svojom potrošnjom energije i tako uštedjeti novac bez narušavanja njihovog načina života.
4. Optimizirati integraciju obnovljivih izvora energije i omogućiti šire prodiranje.

4.4.1. Prednost za elektroprivredu

Poboljšanje pouzdanosti mreže i operativne učinkovitosti moguće je podići korištenjem napredne inteligencije u mreži za isporuku praćenjem protoka energije u realnom vremenu i poboljšati kontrolu napona kako bi se optimizirala učinkovitost isporuke i eliminirali gubici i prenapajanje [33].

To će smanjiti cjelokupnu potrošnju energije i povezanih prijenosa te će doći do očuvanja krajnjih resursa i smanjenja ukupnih troškova električne energije. Softverske aplikacije, uključujući pametne uređaje i automatizaciju kućanstva, koji upravljaju opterećenjima i distribucijom na zahtjev pomažu u omogućavanju potrošača da upravljaju svojom potrošnjom energije i tako uštede novac bez narušavanja njihovog načina života potičući ih da postanu

pametni potrošači u pametnim kućama, dajući im pristup informacijama o cijeni u vremenu upotrebe i signale o cijeni u stvarnom vremenu koji će im pomoći pri uštedi za račune za struju i smanjenju njihove potrošnje energije za vrijeme vršnih sati. To također pomaže poboljšanju cjelokupne učinkovitosti sustava za isporuku i smanjenju broja elektrana i dalekovoda koji se trebaju izgraditi. Napredne mreže mogu smanjiti gubitke i do 30 % korištenjem optimalnog rada faktora snage i uravnoteženjem sustava [33].

4.4.2. Socijalna prednost

Socijalna korist je posebno važna jer su potrošači, u konačnici, ti koji financiraju ovu novu vrstu mreže. Potrošači će imati korist u vidu smanjenja računa i mnogo veće kontrole: sposobnost da koriste električnu energiju kada je najjeftinija te proizvoditi i prodavati energiju i druge usluge u mrežu kada je potrošnja i cijena visoka. Zajednica će uživati veću energetsku sigurnost, dok se sve više oslanjaju na distribuirane izvore energije u vlastitom dvorištu [33].

Najvrjednija prednost bi mogla biti prilika da se radikalno smanje skriveni troškovi električne energije na okoliš i na zdravlje ljudi.

Napredna mreža će omogućiti značajno smanjenje i u ukupnoj potrošnji energije i u vršnoj potrošnji električne energije dajući korisnicima informacije i cijene u stvarnom vremenu, što olakšava odgovor na zahtjeve za potražnjom, pružajući potrebne informacije za kontinuiranu podršku narudžbama, povećanje kapaciteta postojećih dalekovoda i smanjenje gubitaka. Mnogobrojne studije su potvrdile da dajući potrošačima informacije o korištenju energije u stvarnom vremenu oni smanjuju potrošnju za 5 % - 15 % [33].

4.4.3. Ekološka prednost

Napredna mreža će omogućiti širu implementaciju i optimalnu uključenost čistije, zelenije tehnologije u proizvodnji energije u mrežu iz lokalnih i distribuiranih izvora, uključujući solarnu energiju dobivenu sa krovova zgrada i kuća, kombiniranu toplanu-elektranu, čime se smanjuje ovisnost o ugljenu i uvoznoj nafti i promoviranje održive energetske budućnosti.

Utjecaj na onečišćenje zraka nije ravnomjerno raspoređeno: bilješke iz NAS studije govore da najvećih 10 % elektrana na ugljen proizvode 43 % svih šteta, dok najvećih 10 % elektrana na prirodni plin proizvode čak 63 % štete vezanih za onečišćenje zraka. Razvojem naprednih mreža omogućena je alternativa za te pogone[38].

Napredna mreža ima potencijal da radikalno smanji trošak štete na okoliš i na zdravlje ljudi, pritom povećavajući energetsku neovisnost i sigurnost te stvaranje novih radnih mjesta, te omogućavajući, [33]:

1. Povećano oslanjanje na čiste, obnovljive izvore energije.
2. Znatno poboljšanje učinkovitosti proizvodnje električne energije, prijevoza, i upotrebe, uključujući i sposobnost prebacivanja potražnje pri smanjenim vremenskim utjecajima i opskrbnim potencijalima.
3. Dekarbonizacija transportnog sektora.
4. Smanjenje utjecaja na vodu-vjetar, sunčevi fotonaponski sustavi i izvori na strani potražnje koriste vrlo malo ili nimalo vode pri proizvodnji energije.

4.5. Troškovi uvođenja sustava naprednog mjerenja

Popis osnovnih troškova koje je potrebno razmotriti pri analizi masovne ugradnje naprednih mjernih sustava za mjerenje potrošnje električne energije, [38]:

- **Kapitalna ulaganja** (engl. *Capital expenditures* – CAPEX) – ulaganja ili izdaci stvaranja buduće pogodnosti. Kapitalni izdaci nastaju kada se troše poslovna sredstva (novac) za kupovinu osnovnih sredstava ili povećanje vrijednosti dugotrajnoj imovini;
    1) Investicija u sustav naprednog mjerenja
    2) Investicija u informatičku tehnologiju
    3) Investicija u kućne pokaznike (ako se koriste)
    4) Proizvodnja
    5) Prijenos
    6) Distribucija
    7) Izbjegavanje investiranja u elektromehanička brojila (negativni trošak, dodaje se listi dobiti).
- **Operativni troškovi** (engl. *operating expense, operational expenditure* – OPEX) – su tekući troškovi pokretanja proizvodnje , poslovnog procesa ili sustava. OPEX sadržava troškove potrošnih materijala, plaća radnika, najam prostora ili komunalija, [38]:
    1) IT održavanje
    2) Održavanje mreže
    3) Troškovi prijenosa podataka (npr. GPRS, Radio, …)
    4) Trošak upravljanja scenarijem

5) Zamjena zbog kvara naprednih brojila (povećanje)

6) Smanjenje prihoda (kupci efikasnije koriste energiju)

7) Proizvodnja

8) Distribucija

9) Prijenos

10) Očitanje brojila

11) Pozivni centri/ odnos s kupcima

12) Troškovi obuke (radnika na instalaciji naprednog mjerenja, korisnika distribucijske mreže).

- **Pouzdanost** - troškovi obnavljanja sustava.
- **Zaštita okoline** – troškovi emisija stakleničkih plinova.
- **Energetska sigurnost** - troškovi fosilnih goriva potrošenih za proizvodnju energije, prijenos energije i rad sustava.
- **Ostalo** – troškovi programa uključivanja i informiranja kupaca, troškovi demontaže prethodno instaliranih brojila i sustava (ostatak vrijednosti). [38]

5. Tehno-ekonomska analiza u optimizacijskom programu Homer Pro

HOMER Pro (*engl. Hybrid Optimization Model for Electric Renewables Pro*) je optimizacijski računalni program korišten pri izradi ovog praktičnog dijela rada. Glavna zadaća mu je procjena isplativosti i usporedba samostalnih ili mrežnih mikroenergetskih sustava. Većina ga koristi u svrhu istraživanja i moguće je upoznavanje sa programom prije kupnje pošto je licenca besplatna ali samo na rok od 30 dana koju omogućuje proizvođač NREL*(engl. National Renewable Energy Laboratory*). Njime se prema unesenim karakteristikama odabranih uređaja i izvora energije izračunava koliko energije možemo dobiti[39,40]..

Mikroenergetski sustav je sustav koji proizvodi električnu ili toplinsku energiju i tu spada i hibridni sustav. Ti sustavi mogu potrošača opskrbljivati i električnom i toplinskom energijom, a mogu se sastojati od raznih kombinacija fotonaponskih modula, vjetroagregata, hidrogeneratora, energije biomase, mikroturbina, gorivih ćelija, baterija itd.

Veliki broj konfiguracijskih mogućnosti i nesigurnosti oko ključnih parametara, npr. veličine opterećenja, raspoloživost resursa ili cijene komponenata, otežava analizu sustava. HOMER Pro može analizirati i sustav sa promjenjivim parametrima tako da upisujemo parametre preko raspona vrijednosti[39,40]..

Programski paket HOMER Pro obavlja tri glavne zadaće:

- simulacija: simulira različite konfiguracije sustava, provjerava je li sustav izvodljiv i kolika će biti ulaganja.
- optimizacija: određuje najbolju moguću konfiguraciju sustava.
- analiza osjetljivosti: pokazuje osjetljivost izlaznih rezultata na promjene ulaznih podataka.

Homer Pro verzija programa donosi neke nove značajke naspram starije verzije programa koje nam olakšavaju dizajniranje i točniju simulaciju. Uvedeno je automatsko skidanje podataka o vjetru, sunčevom zračenje i temperaturi sa interneta na temelju odabrane lokacije izgradnje sustava. Pojednostavljen je proces dizajniranja i proširena biblioteka komponentama različitih proizvođača. Program omogućuje veći broj konfiguracijskih mogućnosti ali i bržu simulaciju. Bolji pregled rezultata simulacije. Omogućena je bolja povezanost sa MATLAB-om. Program donosi još razna poboljšanja s kojim ćete se upoznati korištenjem programa[39,40].

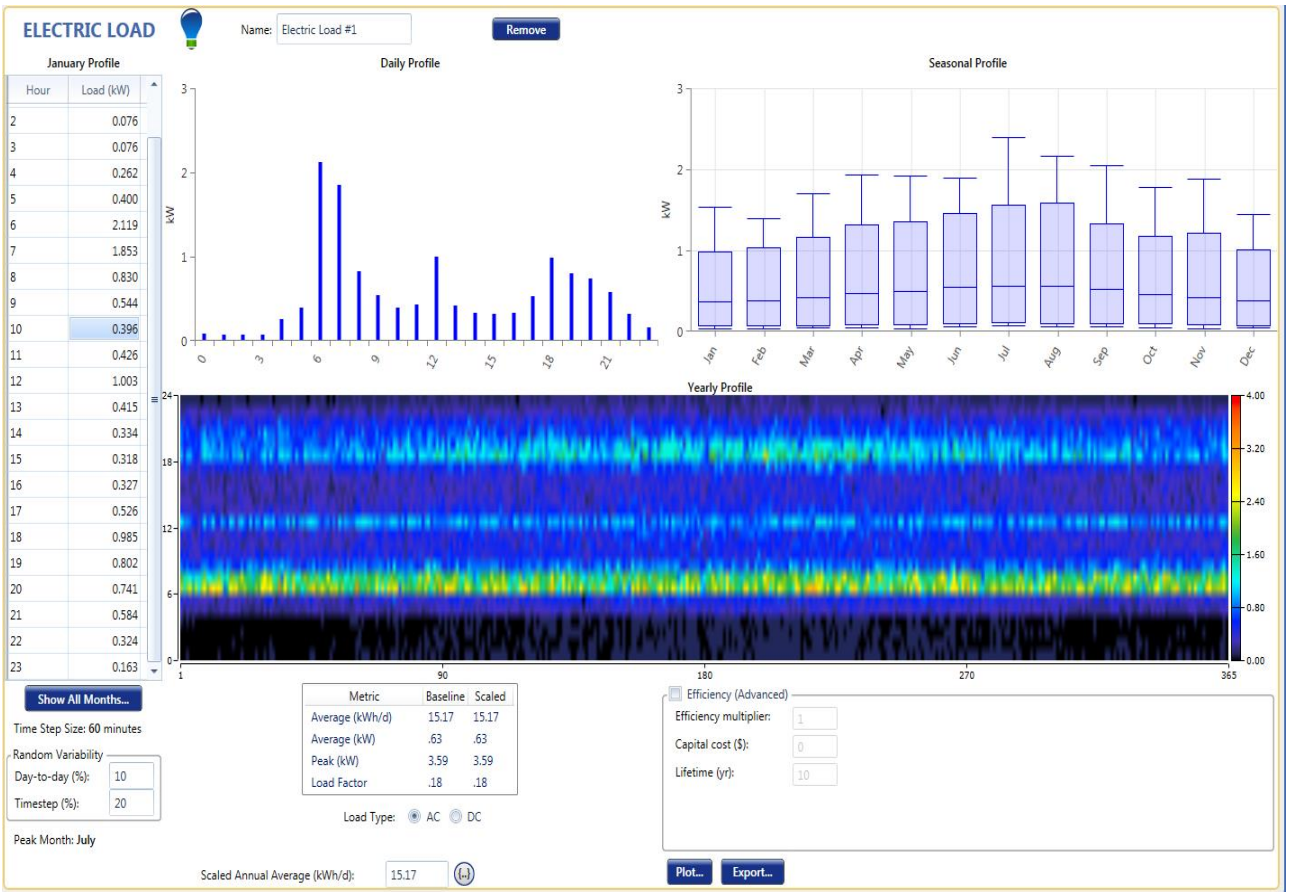
5.1. Dnevni profil opterećenja

Dnevna potrošnja peteročlanog domaćinstva u Korogu prikazana je u tablici 5.1. Prikazani su uređaji koji se najviše koriste i koji troše najviše energije.

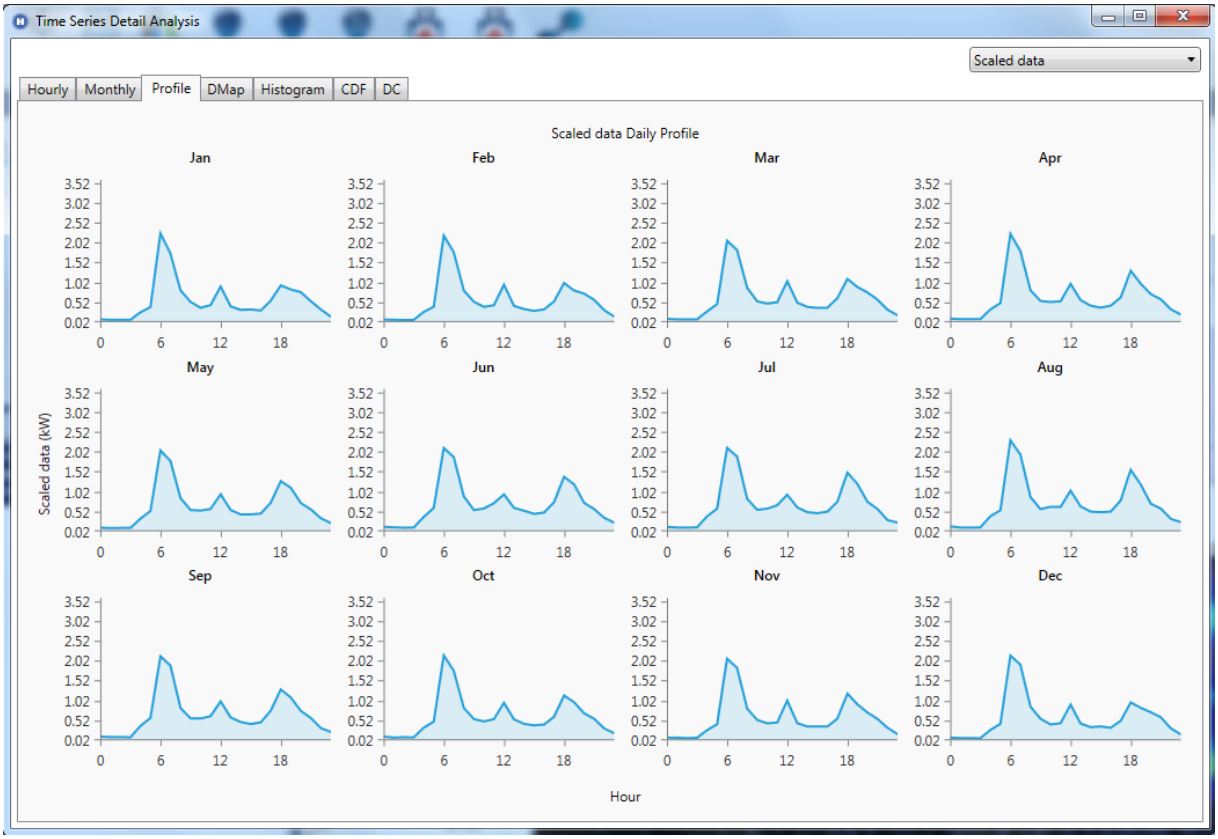
Električni uređaj	Vrijeme rada	Potrošnja po satu kW/h	Dnevna potrošnja kWh/d	Godišnja potrošnja kWh/god.
Štedne žarulje(8 kom)	4h/d	0.160	0.64	233.6
Računalo	8h/d	0.045	0.36	131.4
Hladnjak	24h/d	0.017	0.397	145
Ledenica(2 komada)	24h/d	0.057	1.37	500
Perilica rublja	1h/d	0.455	0.455	166
Bojler na struju	2h/d	2	4	1460
TV (2 kom)	4h/d	0.1	0.4	146
Krunjač kukuruza	1h/d	1.5	1.5	547.5
Hidropak	1h/d	1.2	1.2	438
Usisavač, pegla	1h/d	2.2	2.2	803
Kuhalo, fen za kosu,mikrovalna	1h/d	1.4	1.4	511
Ostali električni uređaji	1h/d	1.257	1.257	459

Tablica 5.1. *Potrošnja el. energije peteročlanog seoskog domaćinstva*

Na slici 5.2. ,nakon unosa podataka iz tablice 5.1. u program Homer Pro, prikazano je dnevno i godišnje opterećenje. Homer Pro na temelju podataka srednje potrošnje za jedan dan automatski izračunava moguću godišnju potrošnju (za svih 8760 sati) kao što je prikazano na slici 5.3..



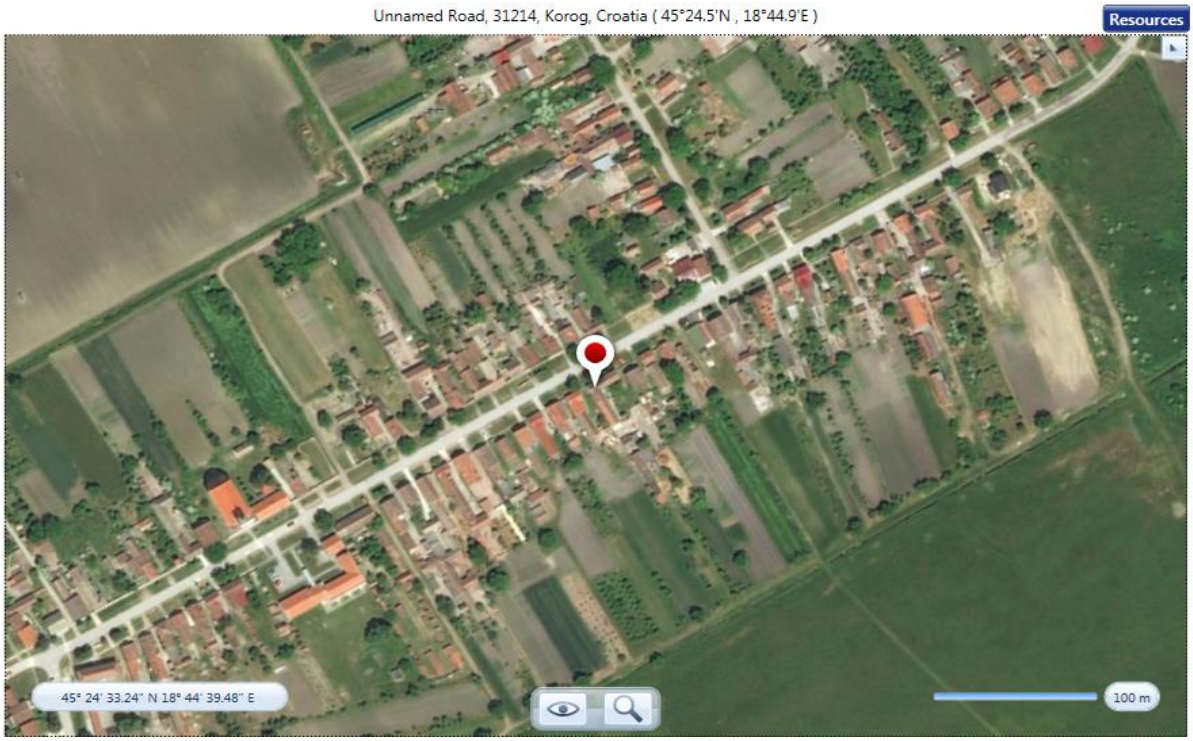
Sl.5.2. *Profil opterećenja unesen u program Homer Pro*



Sl.5.3. *Profil opterećenja unesen u program Homer Pro kroz mjesece*

Iz profila opterećenja vidimo da nam je dnevna potrošnja 15.17 kWh/dnevno dok se vršno opterećenje penje do 3.59 kW. Kao što vidimo iz dnevnog profila opterećenja najveća potrošnja je u jutarnjim satima (6.00-8.00h) kada se pale najveći potrošači (krunjač kukuruza, hidropak) dok se povećana potrošnja očekuje za vrijeme doručka, ručka i večere te u noćnim satima (18.00-21.00h). Potrošnja može najviše varirati u ljetnom periodu kada se očekuje povećana upotreba električnih aparata zbog različitih radova na domaćinstvu.

5.2. Podaci o sunčevom zračenju i brzini vjetra



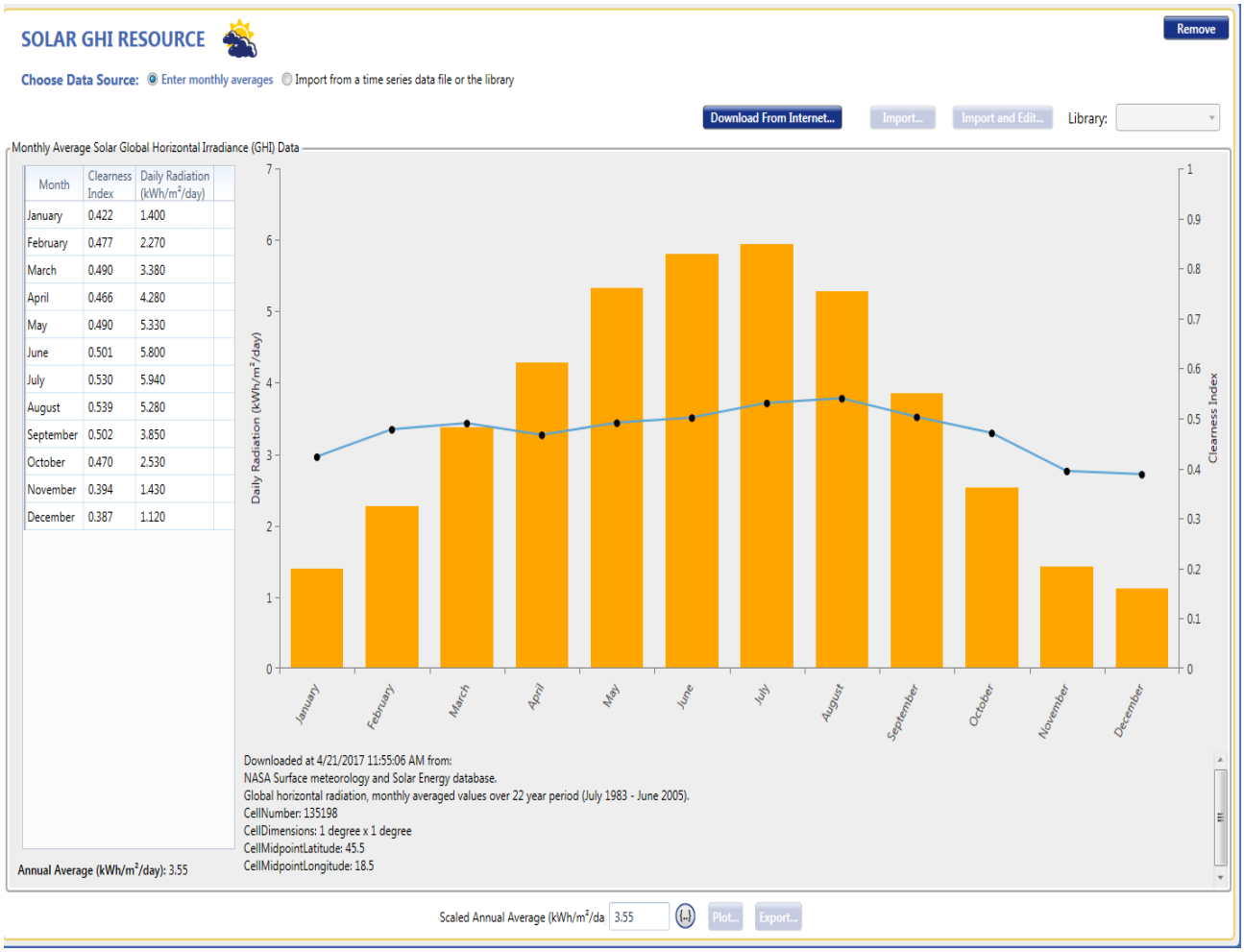
Sl.5.2.1. *Odabir lokacije stambenog objekta u Korogu za simulaciju*

Homer Pro omogućuje odabir lokacije preko satelitske karte. Omogućen je odabir točne lokacije stambenog objekta kao što je prikazano na slici 5.2.1. što je odlična karakteristika programa jer povlači točnije podatke koji su potrebni za simulaciju u programu.

Na slici 5.2.2. prikazani su osnovni podaci o intenzitetu Sunčeva zračenja koji su potrebni da bi HOMER Pro proračunao proizvodnju el. energije PV sustava, ti podaci su: zemljopisna širina i dužina, vremenska zona lokacije, globalno (ukupno) Sunčevo zračenje na horizontalnu plohu ili indeks bistrine (engl. *clearness index*).

Iz tablice vidimo kako je sunčevo zračenje u rasponu od 1.12 kWh/m^2/danu (za prosinac) do 5.94 kWh/m^2/danu (za srpanj).

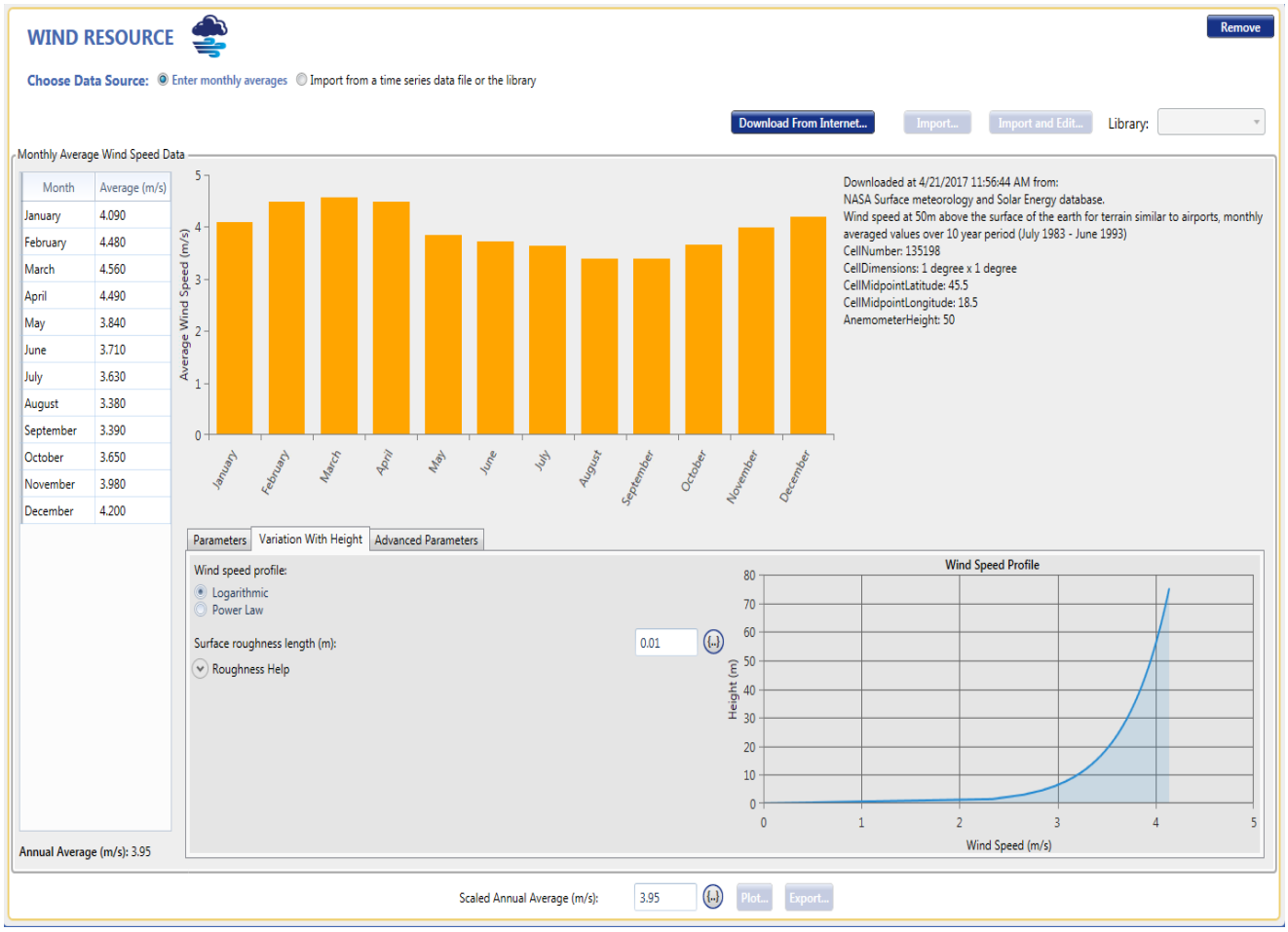
Nakon unosa svih parametara dobili smo godišnju srednju vrijednost radijacije od 3.55 kWh/m^2 za fiksni sustav i dijagram insolacije kroz cijelu godinu. Lokacija je pogodna za postavljanje fotonaponskog sustava, ali ne i idealna jer ima mjesta u Hrvatskoj gdje imamo veći broj sunčanih sati ljeti i zimi (na Jadranu) a tako i više proizvedene energije i brži povrat investicije.



Sl.5.2.2. *Prikaz intenziteta Sunčevog zračenja za područje Koroga*

Na slici 5.2.3. su prikazani osnovni podaci o brzinama vjetra za naše područje koje smo pomoću opcije u Homer Pro automatski povukli iz NASA internet baze podataka.

Kao što smo i očekivali najmanje brzine vjetra se očekuju preko ljetnih mjeseci dok se povećanje događa tijekom zimskih mjeseci. Proračunata srednja brzina vjetra je 3.95 m/s i po njemu treba odabrati vjetroagregat koji će najbolje iskoristiti niže brzine vjetra. Kvaliteta i cijena su presudne pri odabiru zbog troškova u održavanju i vijeku trajanja.

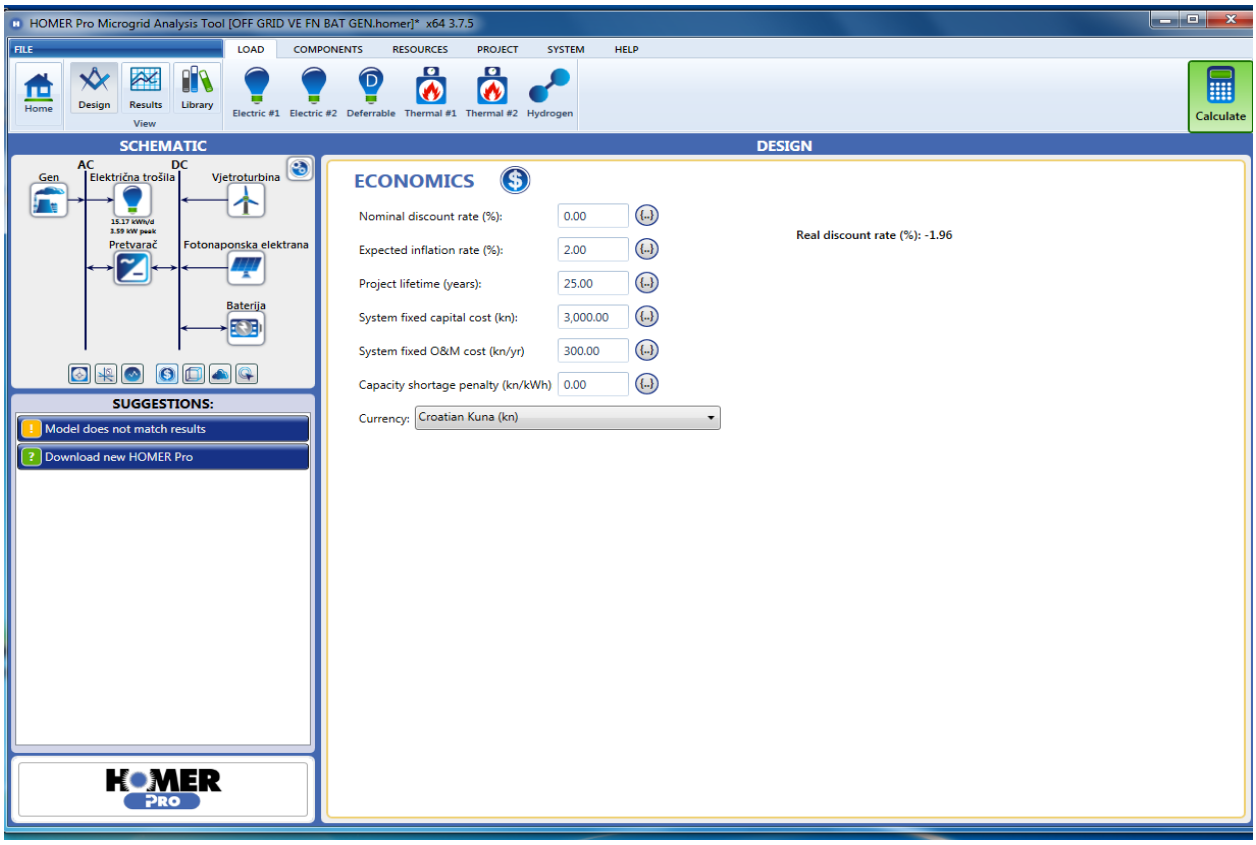


Sl.5.2.3. *Prikaz podataka o vjetru na području Koroga*

5.3. Tehno-ekonomska analiza samostalnog sustava (engl. *off-grid*)

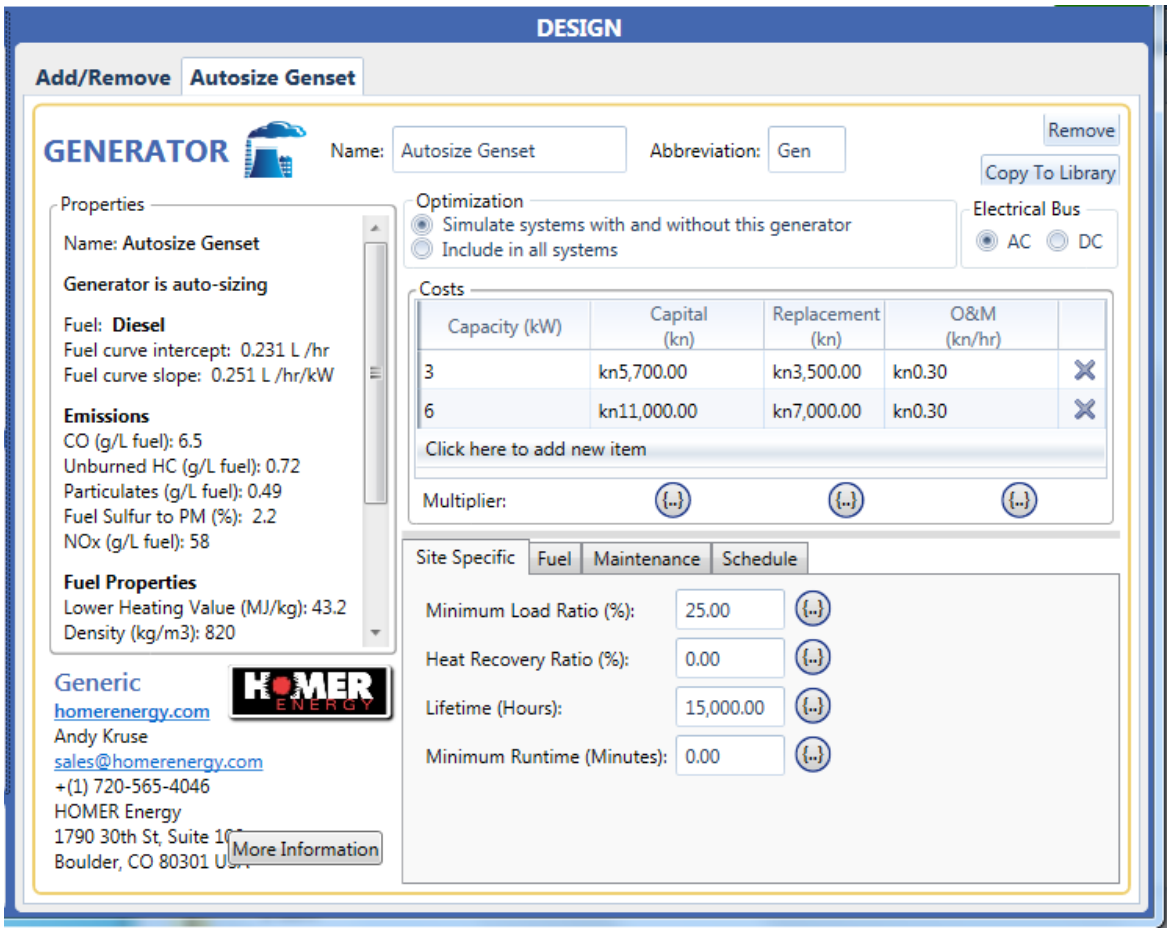
5.3.1. Dizajn i parametri sustava

Podaci o cijenama i karakteristikama komponenti unesene u Homer Pro su uneseni prema dostupnosti na hrvatskom tržištu te je također uračunato 25 % PDV-a.



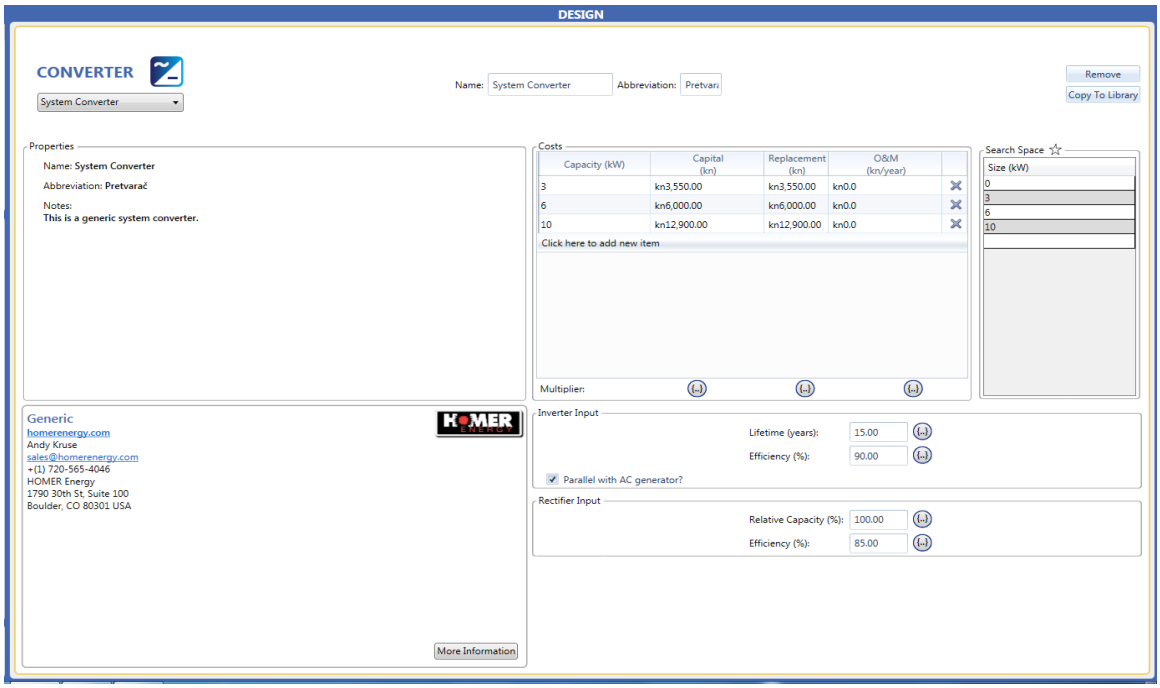
Sl.5.3.1.1. *Upravljački prozor sa shemom sustava*

Na slici 5.3.1.1. se nalazi prikaz upravljačkog prozora u kojem se odabiru i definiraju različiti parametri sustava. Prikazana je shema odabranog sustava te ekonomski parametri bitni za izračun i to inflacija u iznosu od 2 %, očekivani vijek trajanja samostalnog sustava od 25 godina, fiksni troškovi potrebni pri pokretanju projekta u iznosu od 3000 kn te troškovi za održavanje i popravke na godišnjoj razini iznose 300 kn.



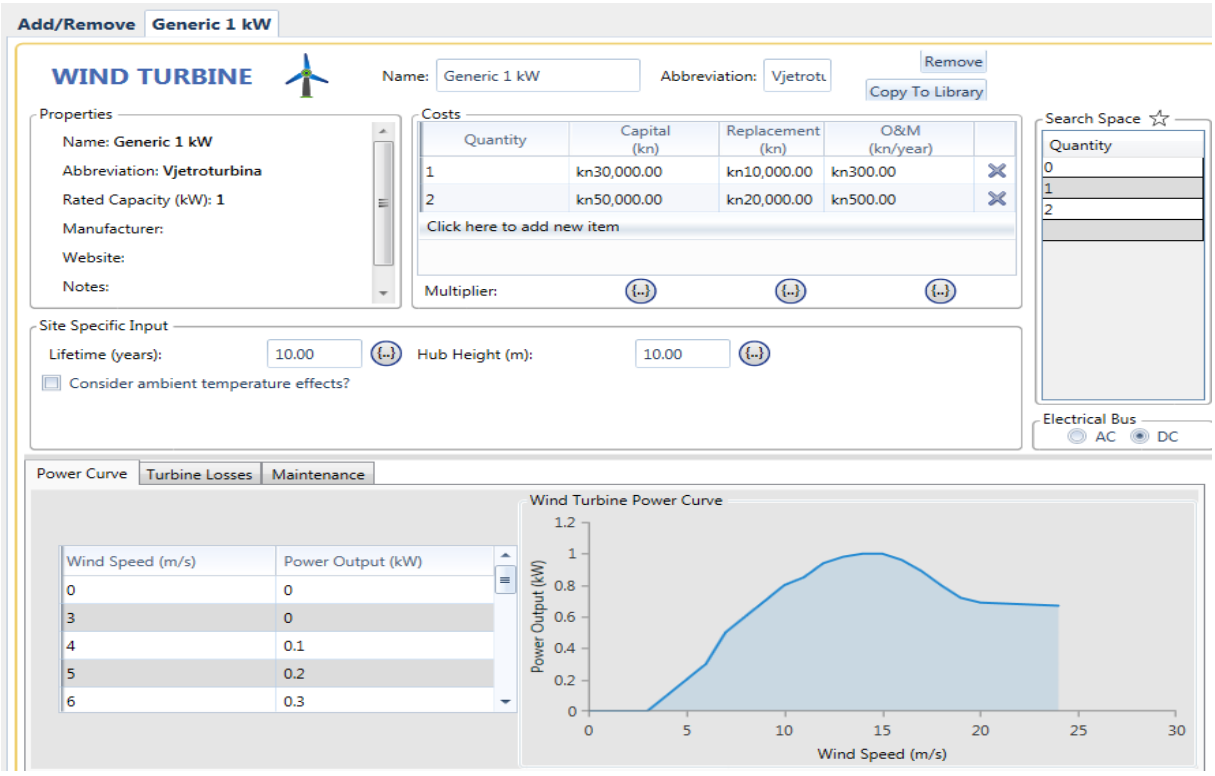
Sl.5.3.1.2. *Podaci o dizelskom generatoru*

Najbitniji podaci o dizelskom generatoru prikazani su na slici 5.3.1.2.. Potrošnju i emisiju plinova program određuje sam dok se snaga, cijena i vijek trajanja zadaje od strane korisnika. Trošak održavanja i rada je 0.30 kn/sat te ovisi o duljini korištenja agregata. Također cijena goriva je zadana prema srednjim vrijednostima unazad par godina i zaokružena na vrijednost u iznosu od 9 kn/L da se pri proračuna iskaže stvarna potrošnja i trošak dizelskog agregata.



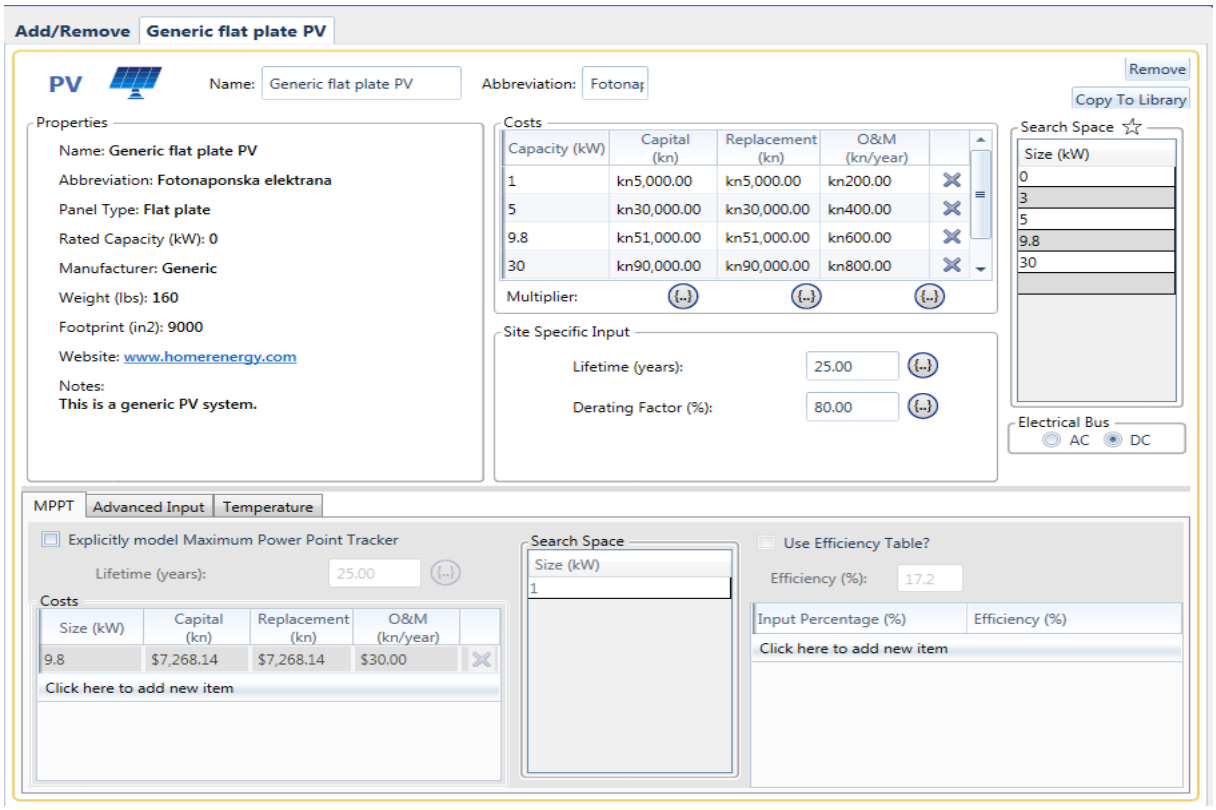
Sl.5.3.1.3. *Podaci o pretvaraču*

Dok je na slici 5.3.1.3. prozor za unos parametara pretvarača i to snage od 3-6-10 kW, cijena za svaku posebno je unesena, trošak održavanja je 0 kn, prosječan životni vijek od 15 godina (toliko traje garancija proizvođača i to je očekivano vrijeme rada te se predlaže zamjena) te efikasnost od 90%.



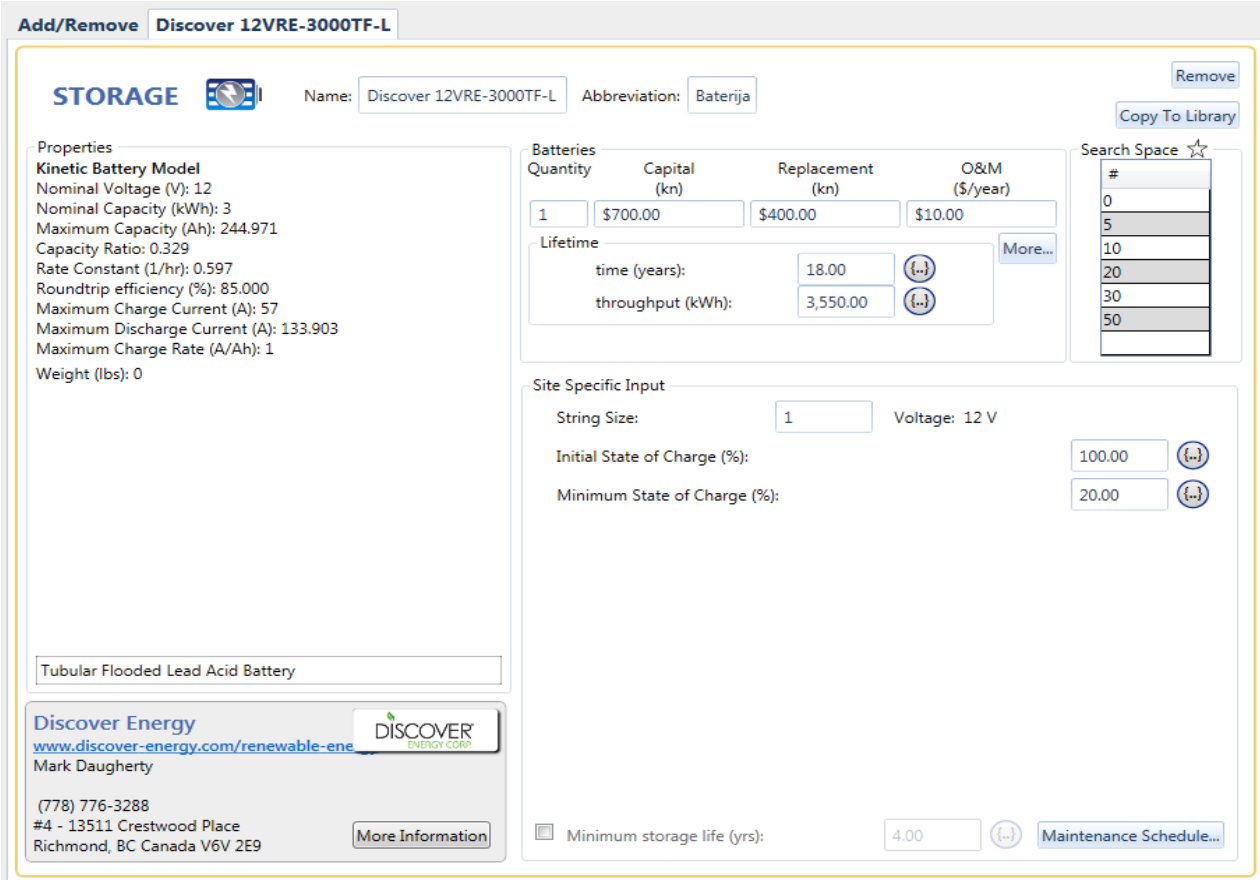
Sl.5.3.1.4. *Podaci o vjetroturbini*

Slika 5.3.1.4. prikazuje najbitnije podatke o vjetroturbini. Cijenu i troškove održavanje, vijek trajanja koji iznosi 10 godina što znači da se očekuje zamjena vjetroturbine 1-2 puta tokom životnog vijeka cjelokupnog sustava. Također je prikazana krivulja brzine i snage koju daje. Podaci o vjetroturbini su odabrani na temelju nižih brzina vjetra na lokaciji za izgradnju.



Sl.5.3.1.5. *Podaci o fotonaponskom panelu*

Na slici 5.3.1.5. su prikazani osnovni podaci koje je potrebno navesti prilikom modeliranja FN sustava: životni vijek FN sustava (modula) u trajanju od 25 godina (životni vijek FN sustava je od 20-30 godina pa je unesena srednja vrijednost), faktor gubitaka (engl. *derating factor*) je 80% (faktor koji uzima u obzir zaprljanost, gubitke žica, zasjenjivanja, prekrivenost snijegom, efekte temperature, starost, itd.), sustav praćenja kretanja Sunca (engl. *tracking system*) gdje se biraju vrste praćenja, kut nagiba PV modula β (*slope*-nagib) je 33^0 (kut nagiba prema horizontu optimalan za naše područje radi veće efikasnosti), azimut je 0^0 te koeficijent refleksije tla (engl. *ground reflectance*) je 20%. Također su prikazani investicijski troškovi za fiksni sustav, zamjenski te troškovi rada i održavanja za sustave raznih snaga. Sustav za praćenje je postavljen na ne-praćenje položaja Sunca[39].

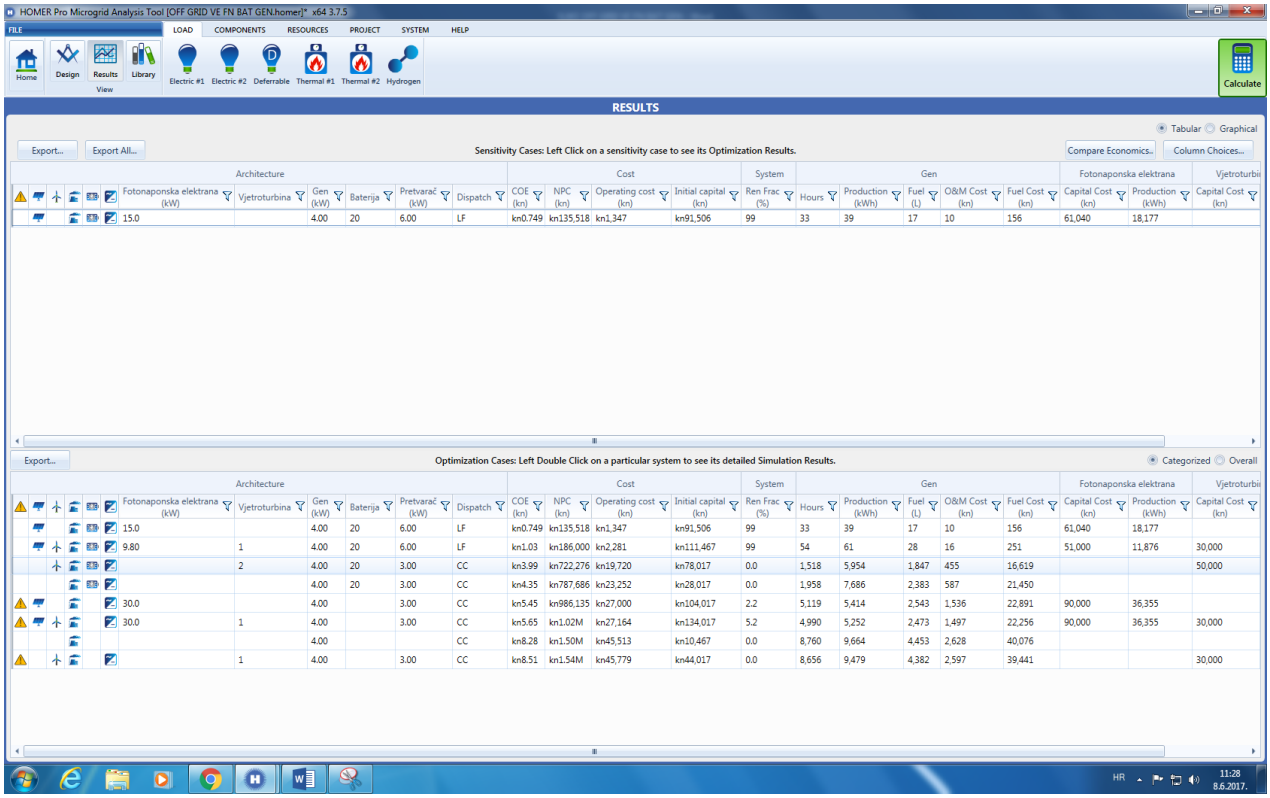


Sl.5.3.1.6. *Podaci o bateriji*

Podaci o odabranoj bateriji iz biblioteke programa, Discover 12VRE-3000TF-L, za pohranu energije su na slici 5.3.1.6.. Baterije su jedan od boljih sustava za pohranu energije jer daju najbolji omjer između vremena trajanja i količine snage. Prikazani su troškovi samih baterijskih nizova i troškovi održavanja na godišnjoj razini. Proizvođač daje garanciju od 18 godina ako se pravilno održavaju. Tu je bitan i postotak punjenja (100 %) i pražnjenja (20 %) koji utječe na vijek trajanja baterija.

5.3.2. Rezultati simulacije

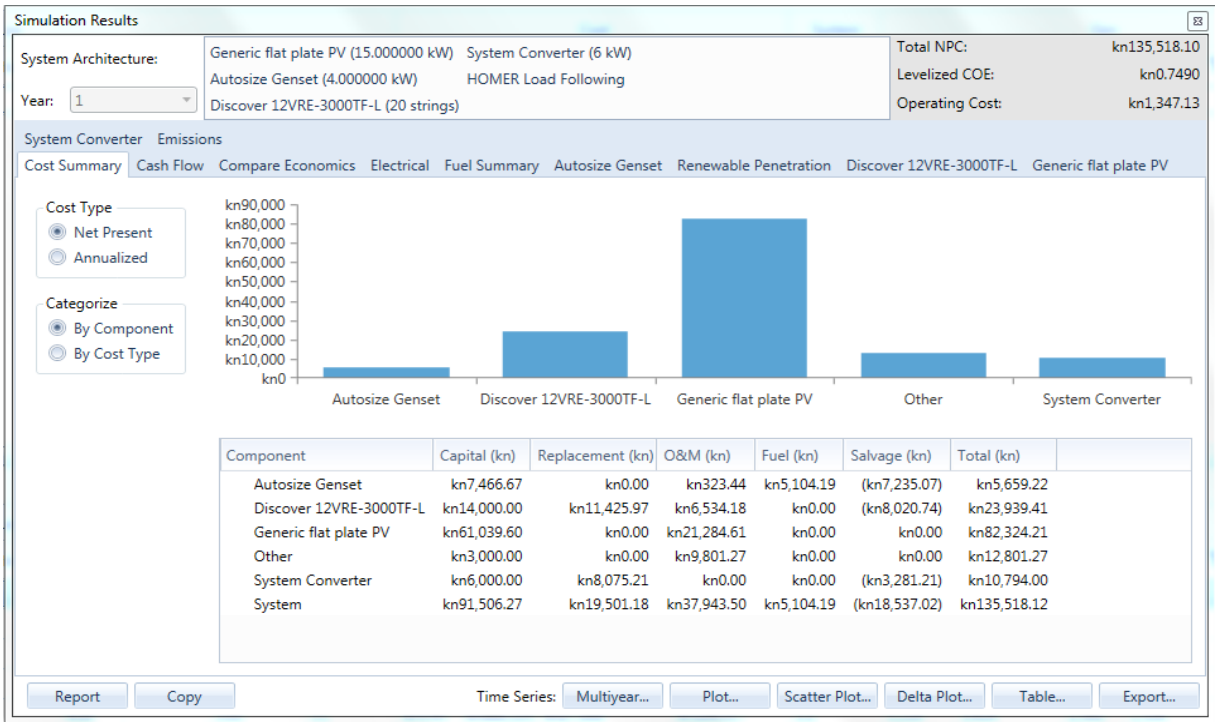
Nakon što smo unijeli sve potrebne parametre za naš slučaj krećemo sa simulacijom pritiskom na tipku „Calculate“ iz glavnog prozora. Rezultate vidimo u rubrici „Optimization Results“ kao što je prikazano na slici 5.3.2.1.. Osim općih podataka o investicijskim troškovima, cijeni proizvedene energije, moguće je pogledati detaljne podatke o troškovima, proizvedenoj energiji te radu pojedinih komponenti svakog sustava koji je modeliran prilikom simulacije[39].



Sl.5.3.2.1. *Rezultati simulacije za off-grid način rada*

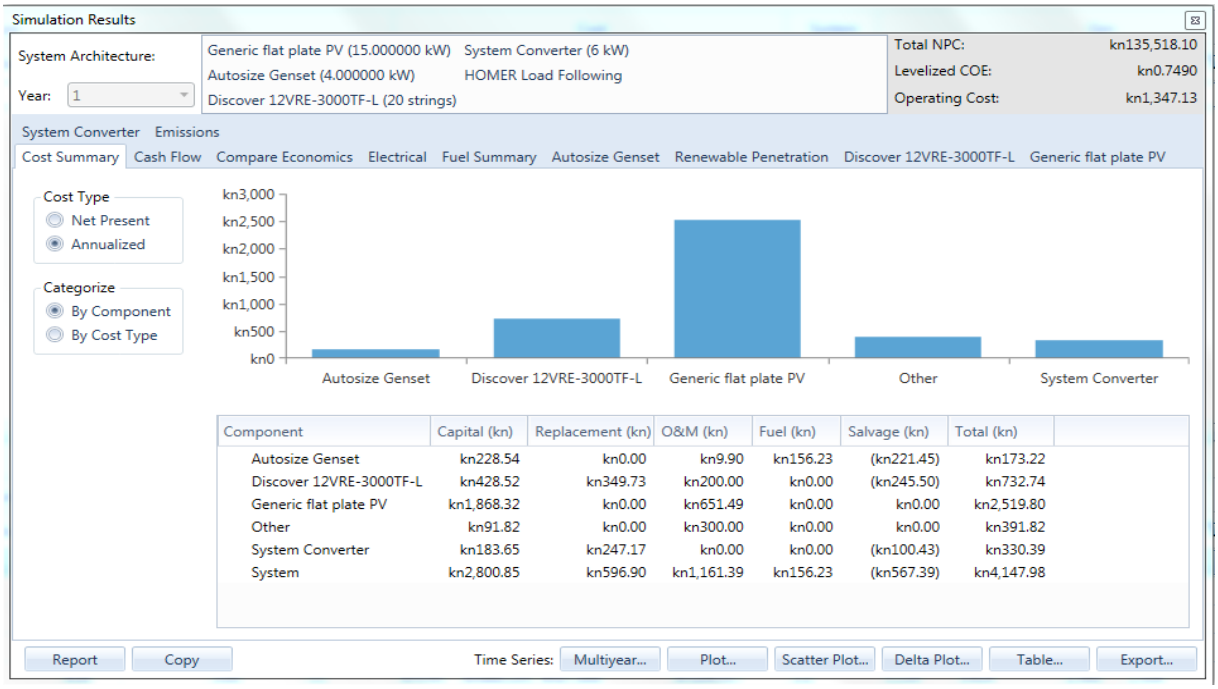
Dvostrukim klikom miša na pojedino rješenje simulacije dolazimo do izbornika sa podacima o navedenoj simulaciji (Slika 5.3.2.2. i Slika 5.3.2.3.). U izborniku „Hourly Data“ imamo mogućnost pregleda raznih unesenih i dobivenih podataka pomoću tablica, grafova. Osim toga, pritiskom na tipku „HTML Report“ dobivamo datoteku s najvažnijim grafovima i tablicama.

Na slici 5.3.2.2. i slici 5.3.2.3. vidljivo je da se najoptimalniji sustav sastoji se od 15 kW fiksnog fotonaponskog sustava, 6 kW pretvarača, 4 kW dizelskog generatora i niza od 20 Discover baterija za skladištenje energije. Također je vidljivo da u najoptimalnijem rješenju nije sadržan vjetroagregat zbog manjih brzina vjetra i velikog troška.

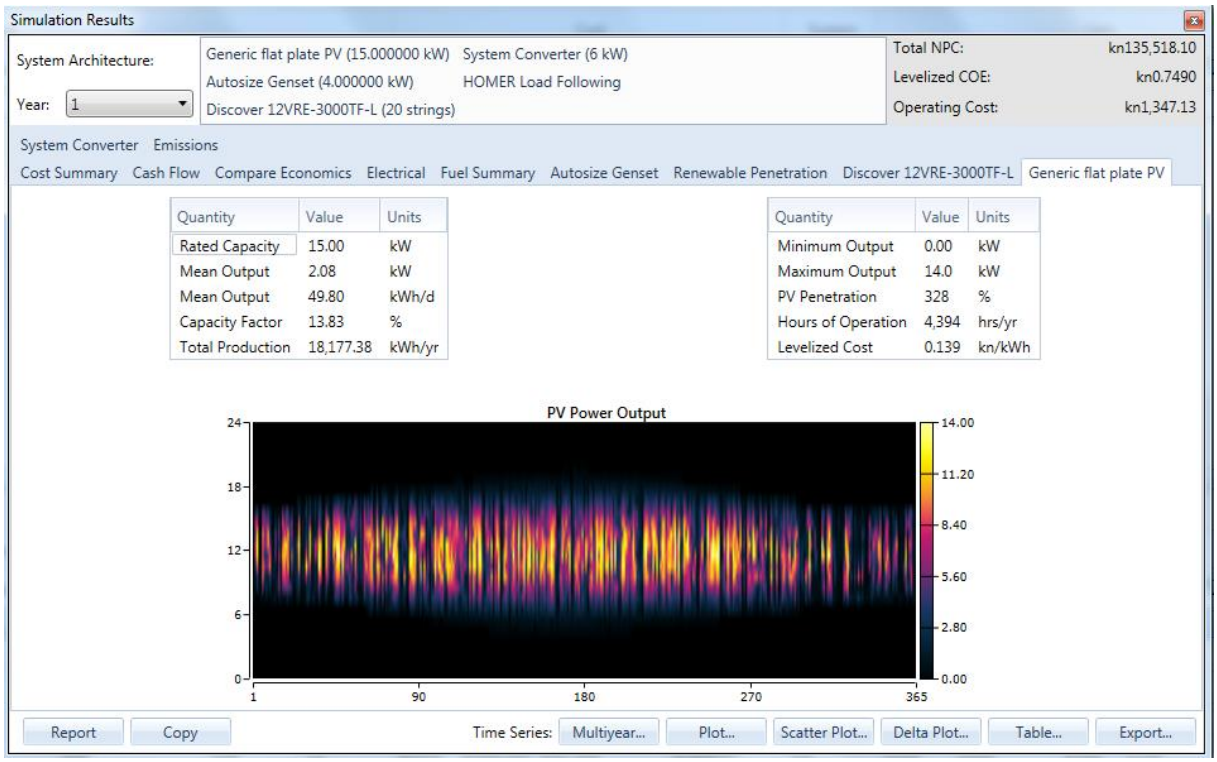


Sl.5.3.2.2. *Rezultat simulacije-prikaz za cijeli vijek trajanja sustava*

Investicijski troškovi sustava iznose 91,506.27 kuna. Prosječna cijena kWh proizvedene energije iznosi 0.749 kn/kWh. To su izračuni uz uloženi vlastiti novac, znači bez kamata. Ako se investicija financira kreditom iz banke (uz određenu kamatnu stopu) rok povrata investicije se produljuje.

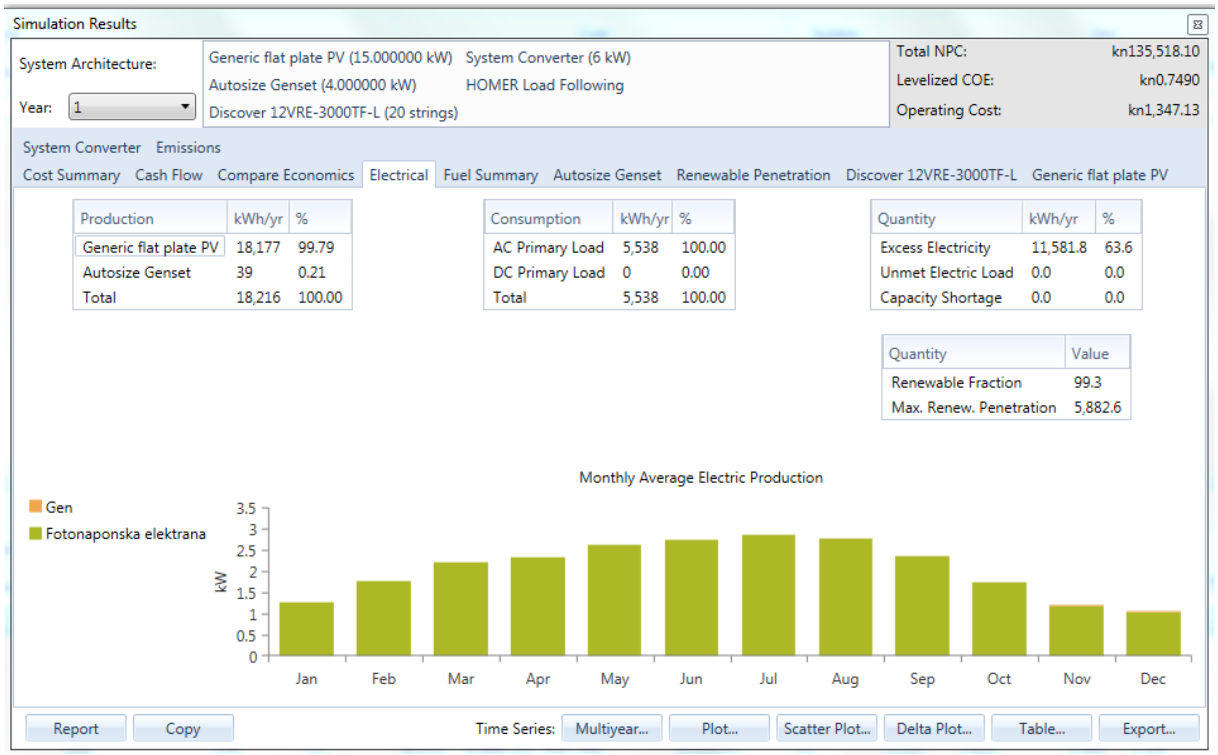


Sl.5.3.2.3. *Rezultat simulacije- prikaz na godišnjoj razini*



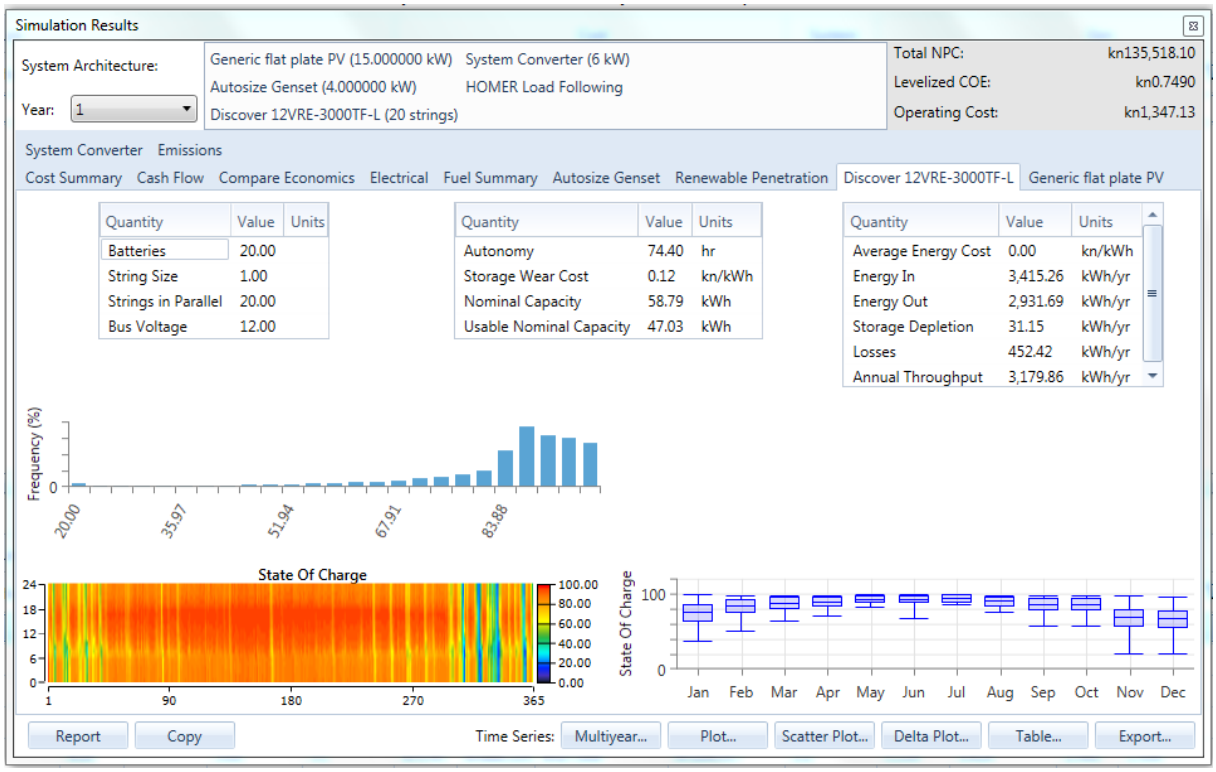
Sl.5.3.2.4. *Prikaz proizvodnje fotonaponskog sustava*

Slika 5.3.2.4. prikazuje proizvodnju fotonaponskog sustava u iznosu od 18,177.38 kWh/godišnje te radom od 4,394 sati/godišnje.



Sl.5.3.2.5. *Proizvedena električna energija*

Prikaz totalne proizvedene električne energije sustava prikazan je na slici 5.3.2.5. iz koje vidimo da je sa 99.79 % zastupljen fotonaponski sustav a samo sa 0.21 % dizelski generator.
Dizelski generator i fotonaponski sustav se međusobno dopunjuju. Fotonaponski sustav iziskuje visoke kapitalne troškove dok je dizelski generator dosta jeftiniji. Fotonaponski sustav ima zanemarive troškove poslovanja dok su kod dizelskog generatora oni poveći.
Fotonaponski sustav ovisi o vremenskim uvjetima te je proizvodnja energije varijabilna dok dizelski generator omogućava dostupnost električne energije cijelo vrijeme.
Potrebno je naći adekvatnu zamjenu za dizelski generator koji također zahtjeva korištenje fosilnih goriva a time emitira štetne plinove u okoliš te je dosta bučan.
Prikaz rada baterija opisan je na slici 5.3.2.6. sa godišnjim protokom energije. Vidljivo je da je stanje najveće napunjenosti tijekom ljetnog perioda kada je najveća proizvodnja energije a tijekom zimskog razdoblja proizvodnja opada te opada i napunjenost zbog korištenja pohranjene energije.



Sl.5.3.2.6. *Prikaz rada baterije*

Rok povratka investicije je za fiksni sustav 4.23 godine uz uloženi vlastiti novac. Rješenje ovisi o točnosti uvedenih parametara i troškova. Rješenje projektnog zadatka dobivenog HOMER Pro računalnim simulacijskim programom korektna su za off-grid sustave kao višegodišnji prosjek i mogu poslužiti za analizu izvedivosti, ali na osnovu tih rješenja nije moguće garantirati pouzdanost fotonaponskog sustava u stvarnoj realizaciji projekta [46].

5.4. Tehno-ekonomska analiza umreženog sustava (engl. *on-grid*) sa prodajom viška električne energije mreži

5.4.1. Priključenje proizvođača ili kupca s vlastitom proizvodnjom na distribucijsku mrežu

Sljedeći podaci su preuzeti sa HEP internet stranice te su javno dostupni posjetiocima stranice[41].

Ukoliko postojeći kupac želi priključiti elektranu na svoju instalaciju, treba proći postupak opisan niže u tekstu pod prvi i drugi korak.

Kupac s vlastitom proizvodnjom je postojeći ili novi korisnik mreže koji unutar svoje instalacije ima priključenu elektranu/e koju koristi za vlastite potrebe, a višak električne energije predaje u elektroenergetsku mrežu.

Preuzimanje električne energije od kupaca s vlastitom proizvodnjom se uređuje ugovorom o opskrbi krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom. Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji opskrbljivači električne energije su dužni preuzimati viškove električne energije kupaca s vlastitom proizvodnjom koji zadovoljavaju sljedeće uvjete (članak 44.):

- imaju status povlaštenog proizvođača električne energije,
- ostvarili su pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu,
- ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW,
- priključna snaga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom kao proizvođača ne prelazi priključnu snagu kao kupca.

Za preuzetu električnu energiju od strane opskrbljivača električne energije, Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji utvrđuje se minimalna vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom[41].

Prvi korak za priključenje proizvođača ili kupca s vlastitom proizvodnjom na distribucijsku mrežu je podnošenje Zahtjeva za izdavanje prethodne elektroenergetske suglasnosti na temelju kojeg HEP ODS izdaje Prethodnu elektroenergetsku suglasnost (PEES) i Ugovor o priključenju, u kojem su definirani uvjeti priključenja.
Prilikom priključenja postrojenja i instalacija proizvođača ili kupca s vlastitom proizvodnjom na srednjonaponsku mrežu, a prije izdavanja PEES, potrebno je izraditi Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja na mrežu (EOTRP).

Ugovor o priključenju sadrži iznos naknade za priključenje na mrežu te dinamiku plaćanja naknade i izgradnje priključka. Naknada za priključenje namijenjena je financiranju izgradnje priključka i stvaranju tehničkih uvjeta u mreži.

Naknada za priključenje postrojenja i instalacije proizvođača obuhvaća stvarne troškove izgradnje priključka na mrežu i stvarne troškove stvaranja tehničkih uvjeta u mreži za preuzimanje proizvedene električne energije, uključujući troškove ugradnje zaštitne opreme koja štiti mrežu od povratnih utjecaja[41].

Metodologija za utvrđivanje naknade za priključenje definirana je Pravilnikom o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i povećanje priključne snage.

Drugi korak za priključenje postrojenja i instalacija proizvođača ili kupca s vlastitom proizvodnjom na mrežu je podnošenje Zahtjeva za izdavanje elektroenergetske suglasnosti i sklapanje ugovora o korištenju mreže temeljem kojeg HEP ODS izdaje Elektroenergetsku suglasnost (EES) i sklapa s investitorom Ugovor o korištenju mreže.

Preduvjet za početak korištenja mreže je sklopljen ugovor o opskrbi s jednim od opskrbljivača na tržištu, ugovor o otkupu s jednim od otkupljivača na tržištu i sklopljen ugovor o korištenju mreže s HEP ODS-om.
Stavljanje instalacije investitora/vlasnika građevine pod napon (početak korištenja mreže) obavlja se temeljem Zahtjeva za početak korištenja mreže[41].

Prvim priključenjem postrojenja instalacije proizvođača ili kupca s vlastitom proizvodnjom počinje pokusni rad. Tijekom pokusnog rada provode se, [42]:

- ispitivanje ulaska u paralelni pogon s distribucijskom mrežom,
- ispitivanje izlaska iz paralelnog pogona i prijelaza u izolirani pogon (ako je predviđen),
- ispitivanje zaštite od otočnog rada,
- ispitivanje selektivnog djelovanja zaštite pri odstupanju od uvjeta primjerenog paralelnog pogona,
- ispitivanje rada elektrane pri graničnim pogonskim uvjetima,
- ispitivanje tokova djelatne i jalove snage i energije (proizvodnja i razmjena elektrana – distribucijska mreža),
- provjera ugovorenih nazivnih vrijednosti na pragu elektrane, osobito radne i jalove snage,
- ispitivanje pogona elektrane s obzirom na udovoljavanje uvjetima ograničenog povratnog djelovanja,
- ispitivanje utjecaja kompenzacijskih postrojenja elektrane i tvornice (ako postoje) i mreže na paralelni pogon i ograničeno povratno djelovanje,
- ispitivanje sustava pogonskih i obračunskih mjerenja, nadzora stanja, signalizacije, lokalnog i daljinskog upravljanja i regulacije,
- provjera kvalitete električne energije te
- ostala ispitivanja predviđena od isporučitelja opreme i/ili programom ispitivanja.

Nakon provedbe ispitivanja u pokusnom radu, voditelj ispitivanja mora načiniti izvješće o ispitivanjima s navedenim uočenim nedostacima te obveze njihova otklanjanja.

HEP ODS na temelju dostavljenog izvješća izdaje **Dozvolu za trajni pogon.[42]**

5.4.2. Stjecanje statusa povlaštenog proizvođača električne energije

Povlašteni proizvođač je energetski subjekt koji u pojedinačnom proizvodnom objektu istodobno proizvodi električnu i toplinsku energiju, koristi otpad ili obnovljive izvore energije na gospodarski primjeren način koji je usklađen sa zaštitom okoliša[43].

HRVATSKI OPERATOR TRŽIŠTA ENERGIJE (HROTE), [43]:

- sklapa ugovore o otkupu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije s povlaštenim proizvođačima koji imaju pravo na poticajnu cijenu,
- sklapa ugovore sa svim opskrbljivačima radi provođenja uredbe o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije koju su proizveli povlašteni proizvođači s pravom na poticajnu cijenu,
- prikuplja sredstva s naslova naknade za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije od opskrbljivača,
- prikuplja sredstva s naslova prodaje električne energije proizvedene u postrojenjima obnovljivih izvora energije i kogeneracije
- obračunava i raspodjeljuje poticajnu cijenu na povlaštene proizvođače temeljem sklopljenih ugovora.

Sredstva naknade za poticanje i sredstva prodaje električne energije koriste se za isplatu poticajne cijene koju HRVATSKI OPERATOR TRŽIŠTA ENERGIJE d.o.o. plaća povlaštenim proizvođačima za isporučenu električnu energiju sukladno tarifnim sustavima koje je donijela Vlada Republike Hrvatske [43]:

- **Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije**("Narodne novine", br. 33/2007);
- **Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije**("Narodne novine", br. 63/2012,121/2012 i 144/2012);
- **Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije**("Narodne novine", br. 133/2013, 151/2013, 20/2014, 107/2014 i 100/2015).

Povlašteni proizvođač, može steći pravo na poticajnu cijenu iz tarifnog sustava temeljem kojeg je sklopio ugovor o otkupu električne energije s HRVATSKIM OPERATOROM TRŽIŠTA ENERGIJE d.o.o.

Sukladno odredbama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovite kogeneracije (**„Narodne novine“, br. 100/2015**) povlašteni proizvođači su mogli podnijeti zahtjev za sklapanje ugovora o otkupu temeljem **Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije** ("Narodne novine", br. 133/2013, 151/2013, 20/2014, 107/2014 i 100/2015) do uključivo 31.12.2015.)

Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji („Narodne novine“, br. 100/2015) je stupio na snagu 01.01.2016. čijim podzakonskim aktima (Pravilnik o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovite kogeneracije) će biti propisane nove administrativne procedure za sklapanje ugovora o otkupu u novim modelima sustava poticanja[43].

Hrvatski operator prijenosnog sustava i **HEP-Operator distribucijskog sustava** dužni su od povlaštenog proizvođača preuzeti njegovu ukupno proizvedenu električnu energiju, dok je svaki opskrbljivač dužan, prema propisanim uvjetima, preuzeti minimalni udjel električne energije koju su proizveli povlašteni proizvođači u sustavu poticanja.

Status povlaštenog proizvođača električne energije stječe se rješenjem Hrvatske energetske regulatorne agencije, u skladu s uvjetima koje **Pravilnikom o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije** propisuje ministar gospodarstva[43].

5.4.3. Naknada za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora

Poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (OIEiK) jedan je od strateških ciljeva energetske politike EU (više u Direktivi o promicanju uporabe električne energije iz obnovljivih izvora)[44]. Direktivom se od zemalja članica traži uspostava sustava poticanja proizvodnje električne energije iz OIEiK. Svaka država članica EU postavlja svoj nacionalni cilj za proizvodnju električne energije iz OIEiK, a Hrvatska je, kao zemlja kandidat, to učinila sredinom 2007. godine, donošenjem Uredbe o minimalnom udjelu

električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnje potiče. Naknada za poticanje proizvodnje električne energije iz OIEiK naplaćuje se od svih kupaca električne energije u Republici Hrvatskoj, od 2007. godine[44].

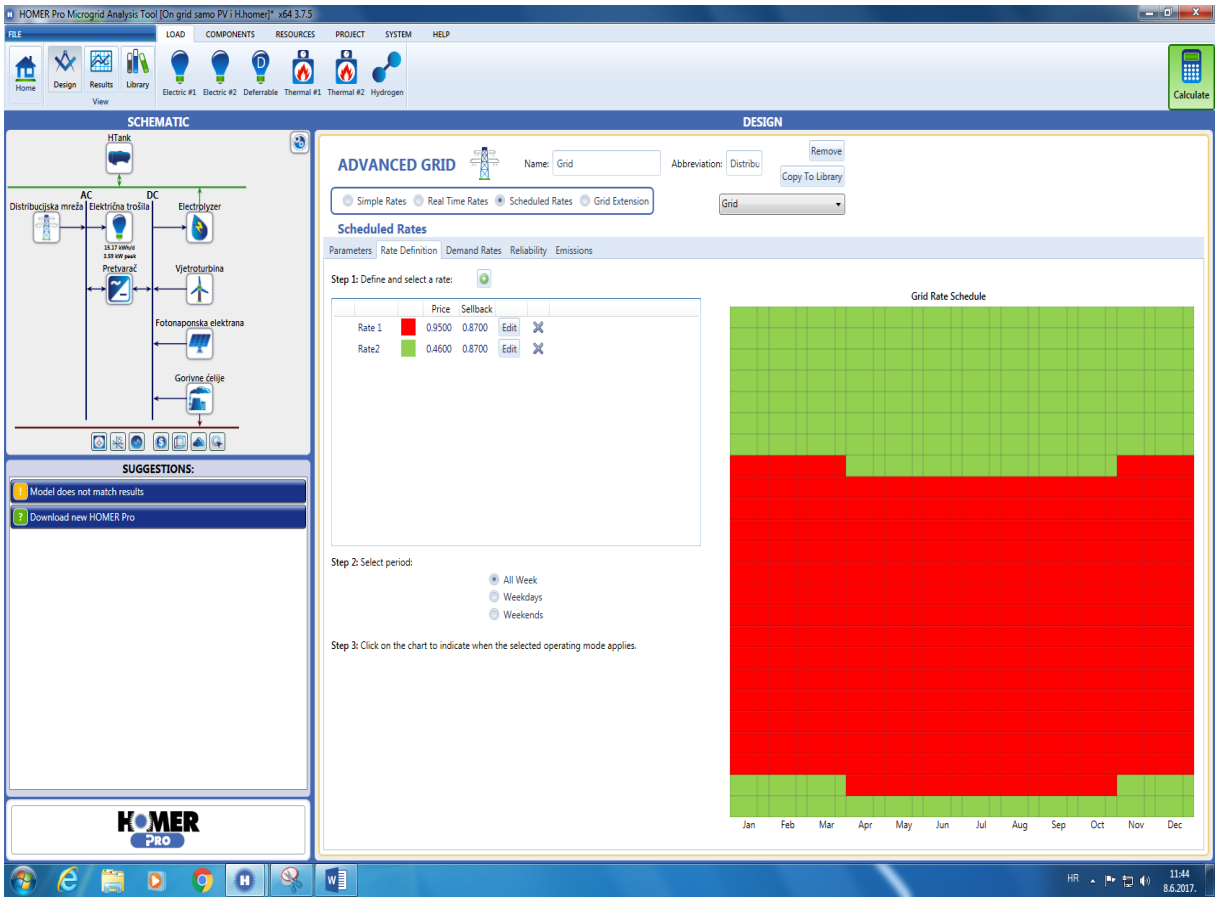
Aktualni iznos nakade za poticanje proizvodnje električne energije iz OIEiK određen je Uredbom o naknadi za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije (NN 128/13). Prema Uredbi, kupci plaćaju naknadu za poticanje proizvodnje električne energije iz OIEiK u iznosu od 0,035 kn/kWh. Za kupce električne energije koji su obveznici ishođenja dozvole za emisije stakleničkih plinova (sukladno Zakonu o zaštiti zraka) naknada iznosi 0,005 kn/kWh[44].

Naknadu prikupljaju svi opskrbljivači električnom energijom na području Republike Hrvatske. Prikupljenu naknadu svaki opskrbljivač električnom energijom prosljeđuje Hrvatskom operatoru tržišta energije (HROTE-u) koji, temeljem ugovora, povlaštenim proizvođačima isplaćuje naknadu za električnu energiju isporučenu u mrežu iz elektrana, kao što su sunčane, vjetroelektrane, bioplinske i druge elektrane s obnovljivim izvorom primarne energije.

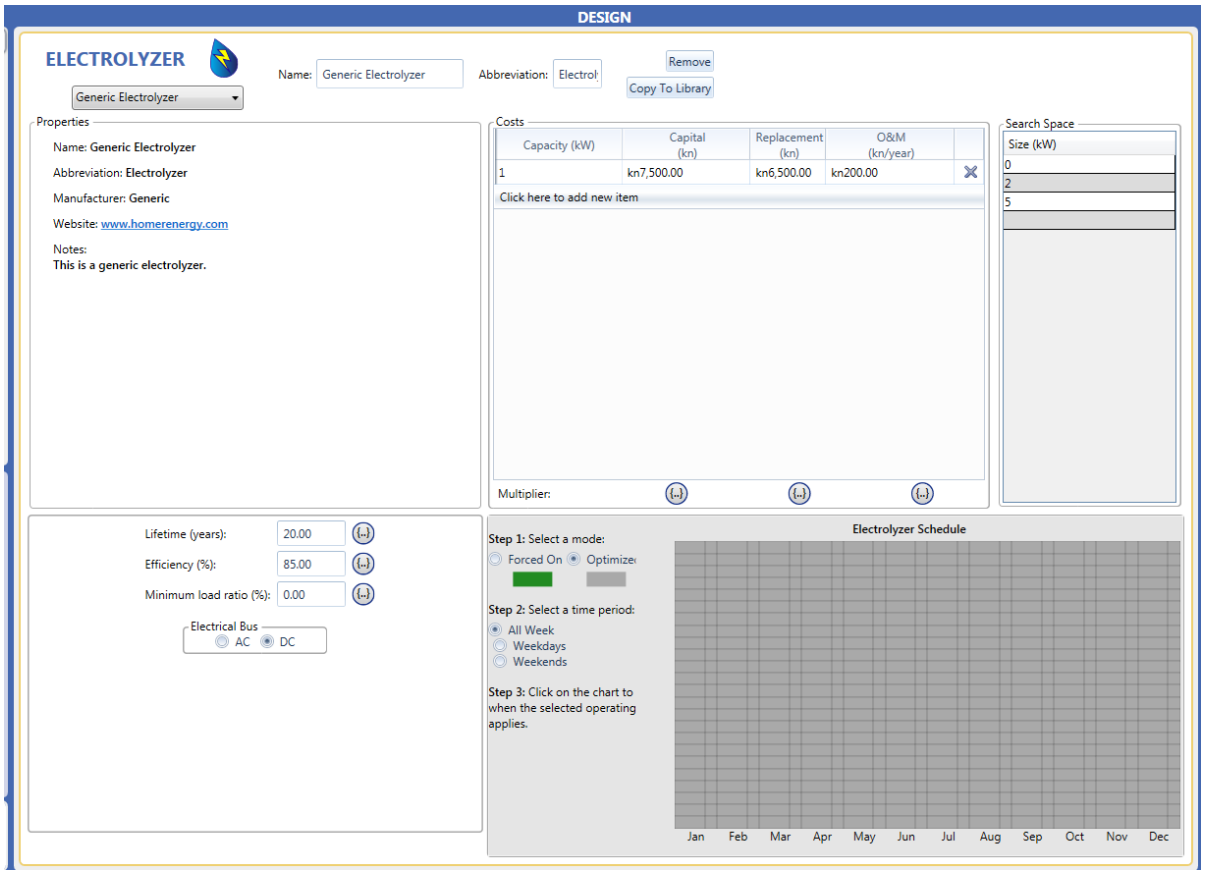
Iznos naknade vidljiv je na računima za električnu energiju, odnosno periodičnim obračunima (kod kupaca u akontacijskom sustavu), koje kupcima dostavlja njihov opskrbljivač. [44]

5.4.4. Dizajn i parametri sustava

Shema umreženog sustava prikazana je na slici 5.4.4.1.. U idućem dijelu klikom na ikonu „Grid“ otvara se izbornik u kojem se mogu definirati parametri mreže a najvažniji su ekonomske varijable, faktore emisije i raspored troškova mrežne snage. Faktore emisije je program sam odabrao. Pri proračunu u programu koristi se dvotarifno brojilo sa dnevnom (višom) i noćnom (nižom) tarifom. Uneseni su podaci za cijenu struje pri proizvodnji i cijenu pri prodaji da bi na kraju znali koliko je struje prodano i kolika nam je dobit (Slika 5.4.4.1.). Cijena struje je izračunata pomoću važećih propisa RH iz "Izmjene i dopune Tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije" te iz "Tarifne stavke za kupce kategorije kućanstvo" (u primjeni od 01.01.2016. godine) [41].

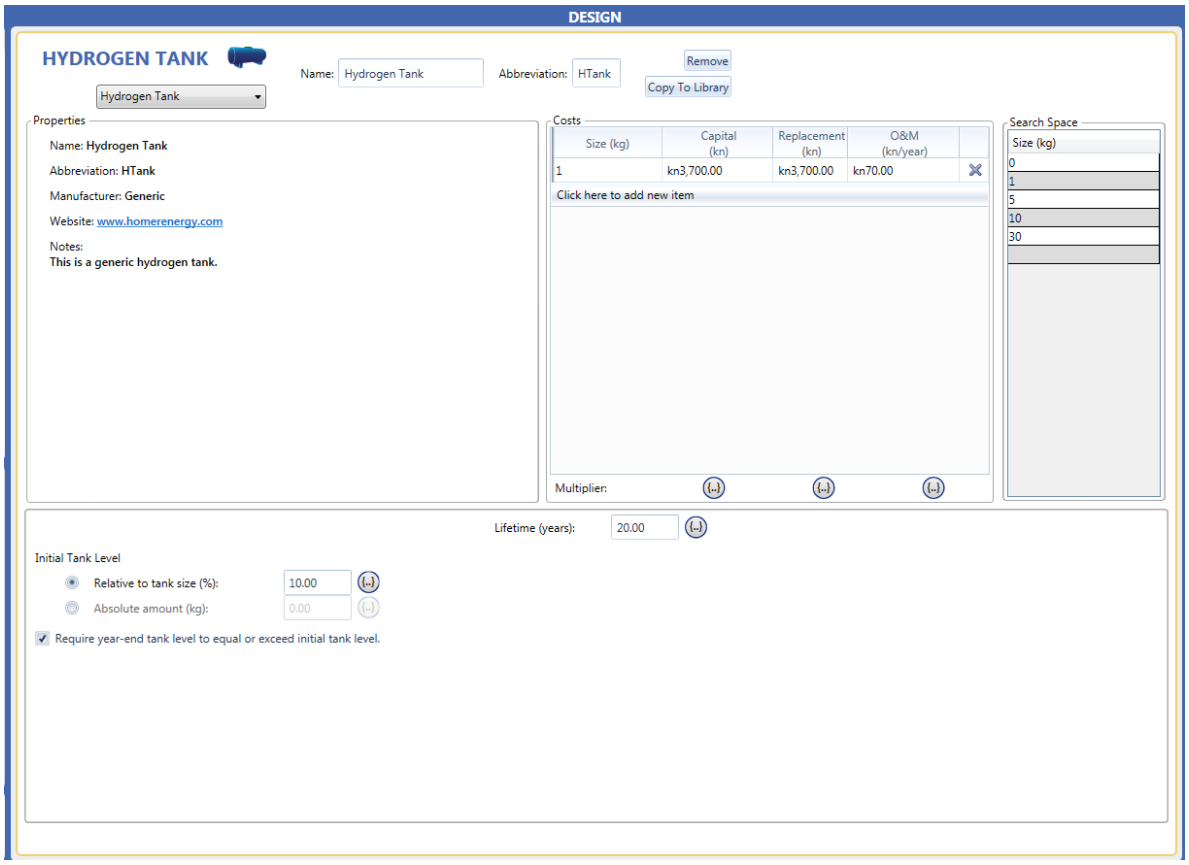


Sl.5.4.4.1. *Podaci o pristupnoj mreži*

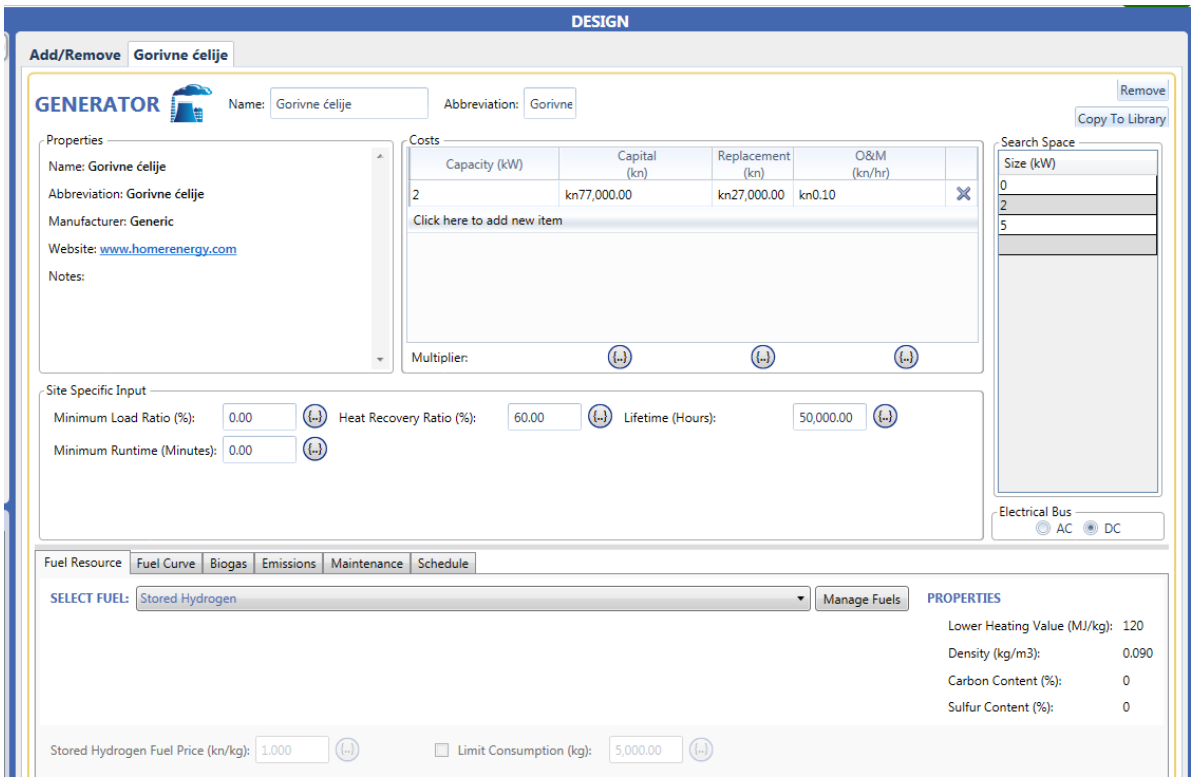


Sl.5.4.4.2. *Podaci o elektrolizeru*

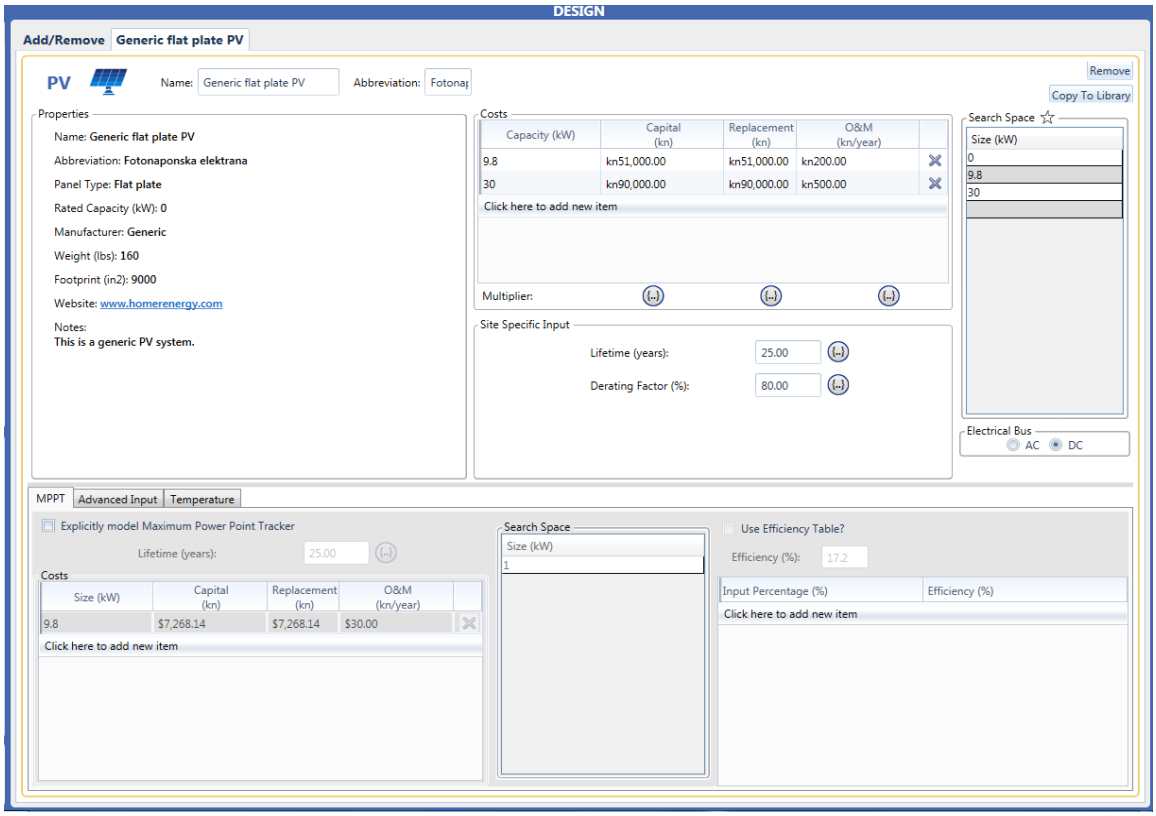
Podaci o sustavu gorivnih ćelija zajedno sa proizvodnjom vodika i komprimiranjem u spremnik dani su na slikama 5.4.4.2., 5.4.4.3. i 5.4.4.4.. Cjelokupni sustav ima brojne prednosti ali ćemo navesti samo nedostatke sustava gorivnih ćelija a to su kratka trajnost i mala pouzdanost sustava, previsoki troškovi po kW proizvedene energije, skladištenje vodika te potrebno povećanje učinkovitosti.



Sl.5.4.4.3. *Podaci o spremniku vodika*

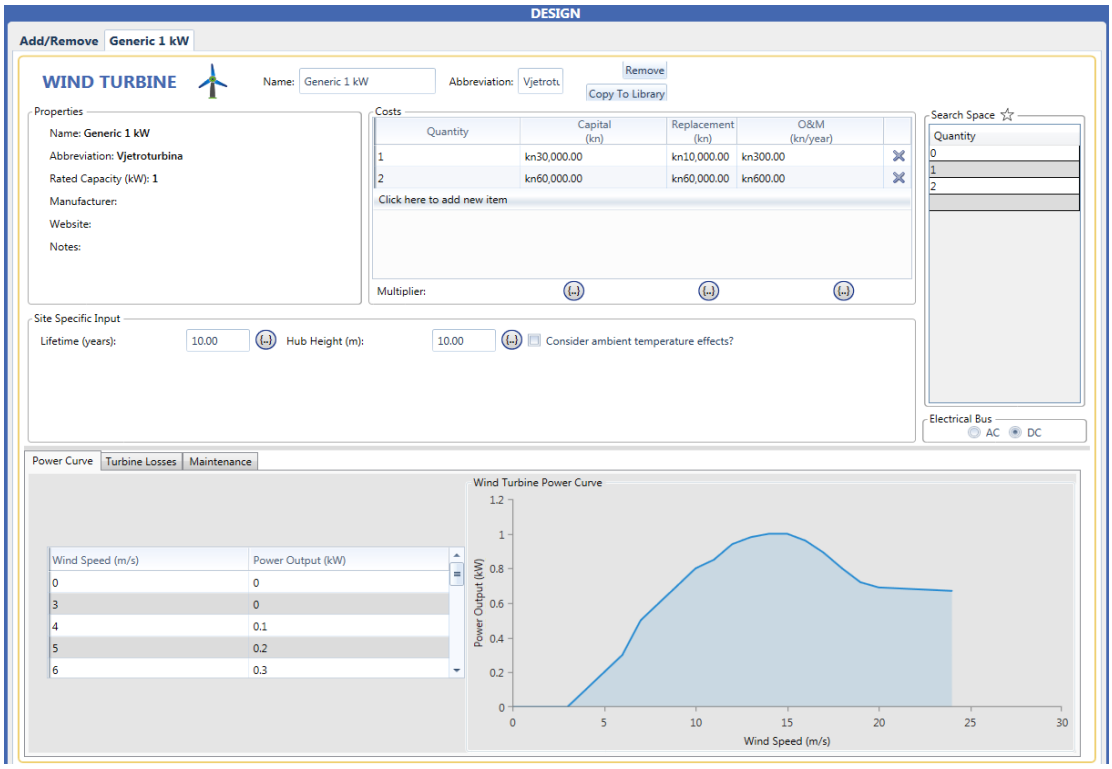


Sl.5.4.4.4. *Podaci o gorivnim ćelijama*



Sl.5.4.4.5. *Podaci o fotonaponskom sustavu*

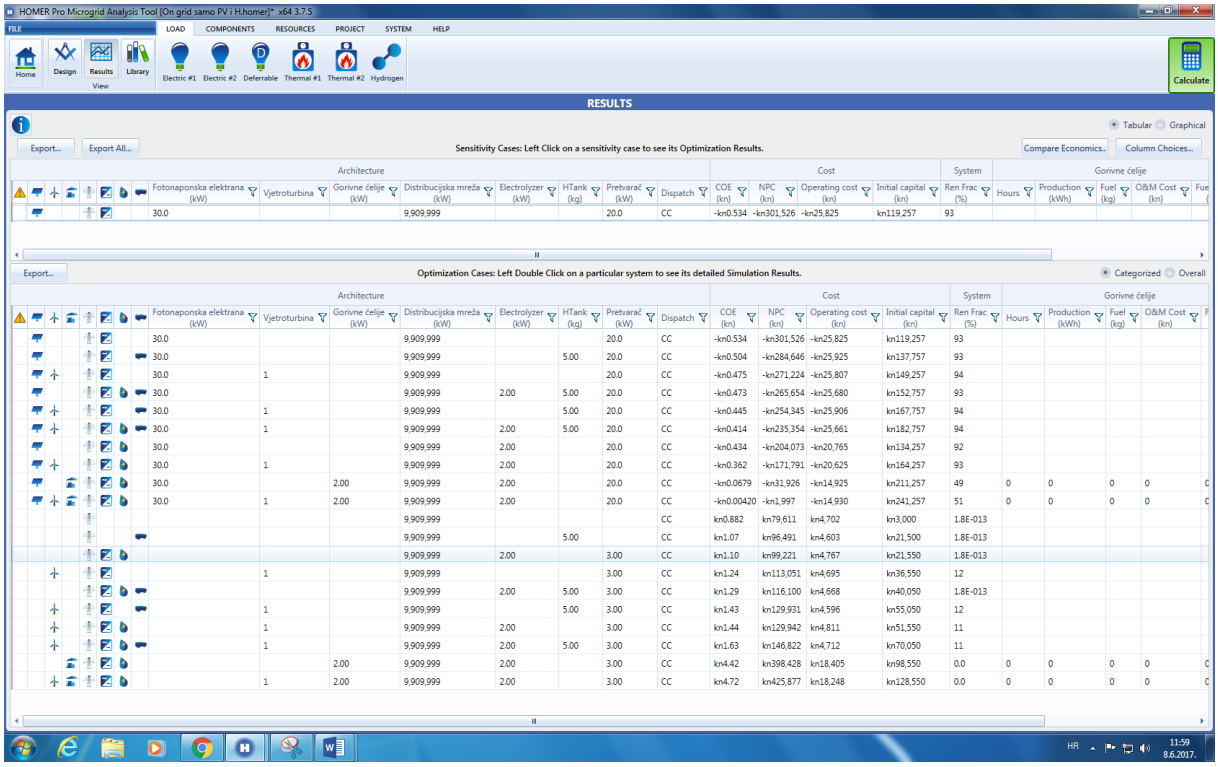
Najbitniji podaci o fotonaponskom sustavu i vjetroturbini dani su na slikama 5.4.4.5 i 5.4.4.6..



Sl.5.4.4.6. *Podaci o vjetroturbini*

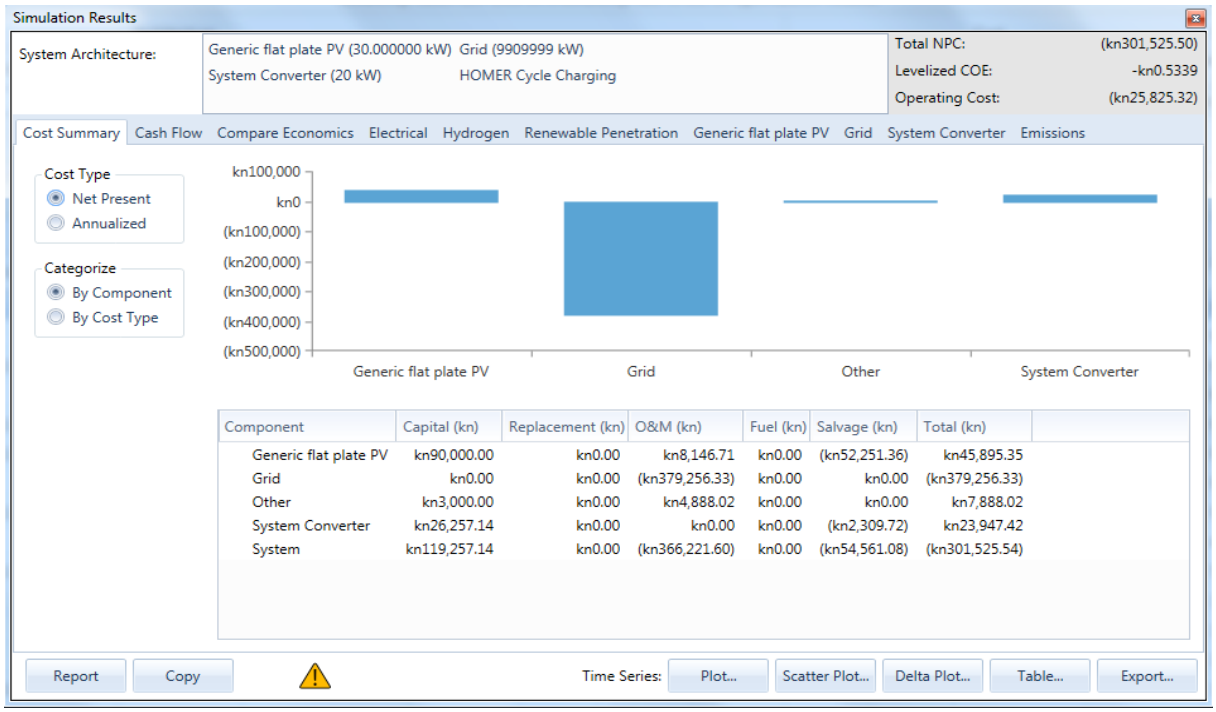
5.4.5. Rezultati simulacije

Nakon što smo unijeli sve potrebne parametre za naš slučaj krećemo sa simulacijom pritiskom na tipku „Calculate“ iz glavnog prozora. Rezultate vidimo u rubrici „Optimization Results“ kao što je prikazano na slici 5.4.5.1.. Osim općih podataka o investicijskim troškovima, cijeni proizvedene energije, moguće je pogledati detaljne podatke o troškovima, proizvedenoj energiji te radu pojedinih komponenti svakog sustava koji je modeliran prilikom simulacije.



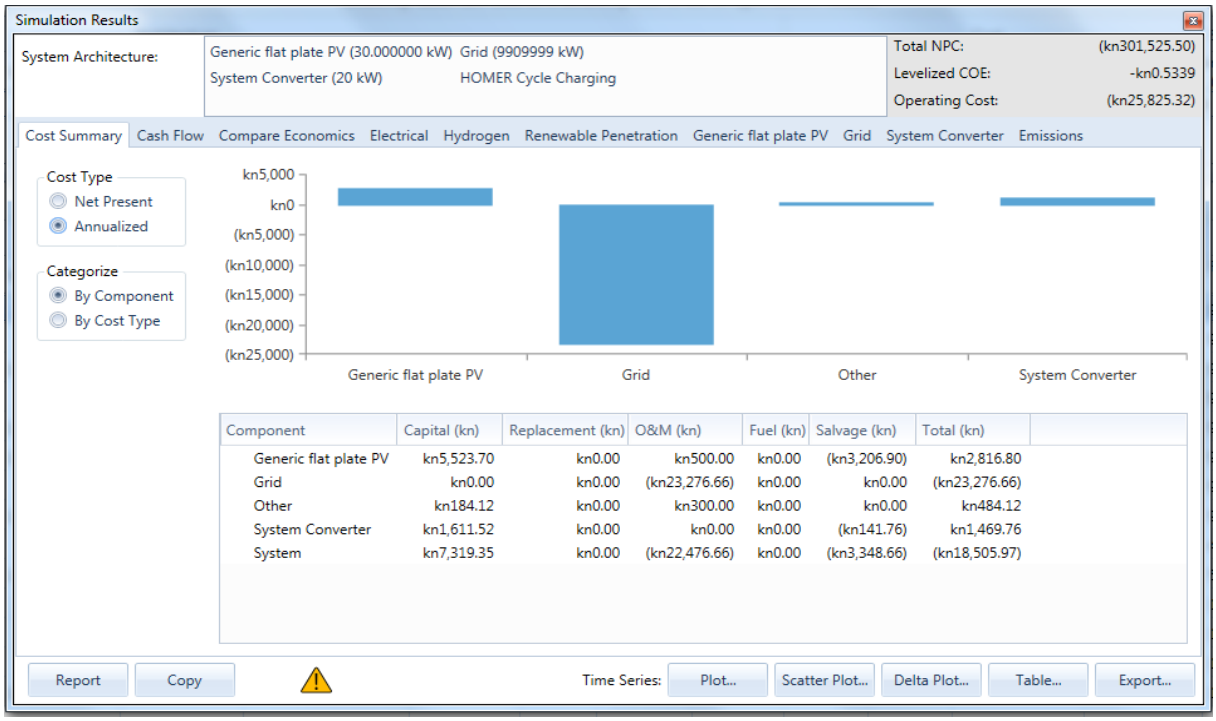
Sl.5.4.5.1. *Rezultati simulacije za on-grid način rada sustava*

Dvostrukim klikom miša na pojedino rješenje simulacije dolazimo do izbornika sa podacima o navedenoj simulaciji (Slika 5.4.5.2. i Slika 5.4.5.3.). U izborniku „Hourly Data“ imamo mogućnost pregleda raznih unesenih i dobivenih podataka pomoću tablica, grafova. Osim toga, pritiskom na tipku „HTML Report“ dobivamo datoteku s najvažnijim grafovima i tablicama[39]. Na slici 5.4.5.2. i slici 5.4.5.3. vidljivo je da se najoptimalniji umreženi sustav sastoji od 30 kW fiksnog fotonaponskog sustava i 20 kW pretvarača spojenih na mrežu. Također je vidljivo da u najoptimalnijem rješenju nisu sadržane druge komponente koje smo uzeli za razmatranje (vjetroturbina, gorivni članci).

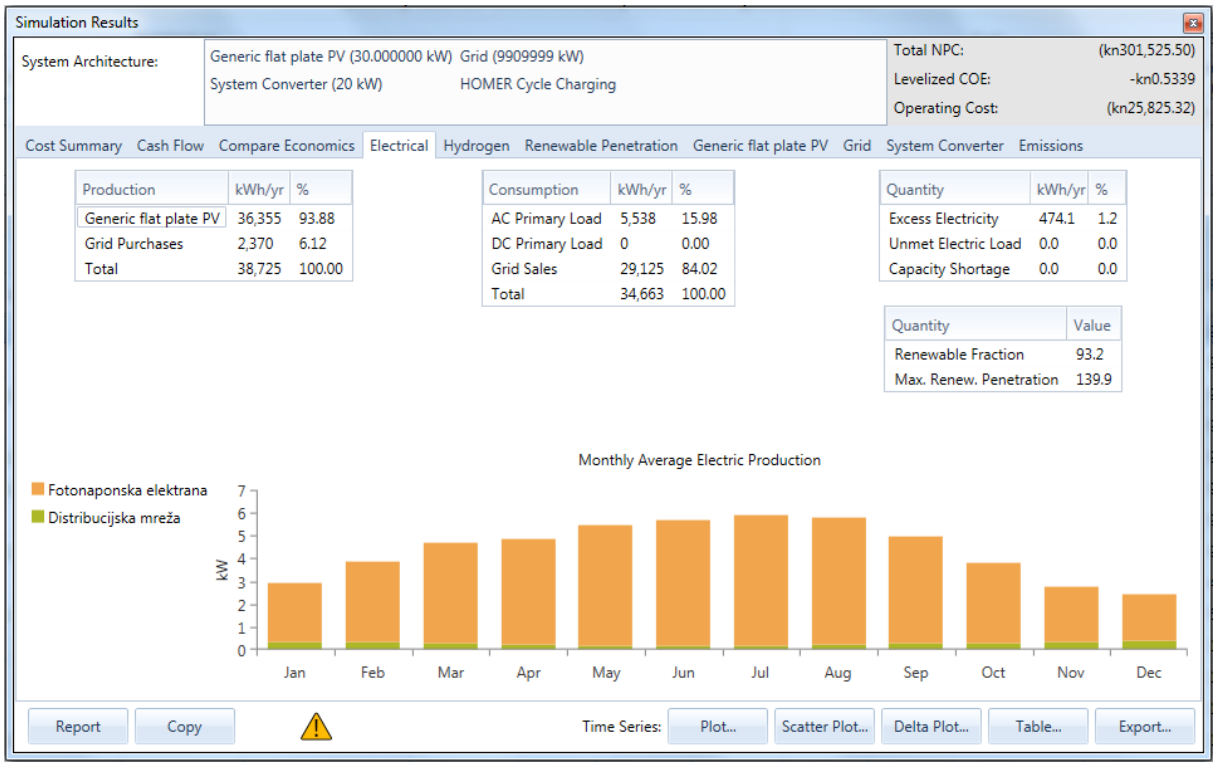


Sl.5.4.5.2. *Rezultat simulacije-prikaz za cijeli vijek trajanja sustava*

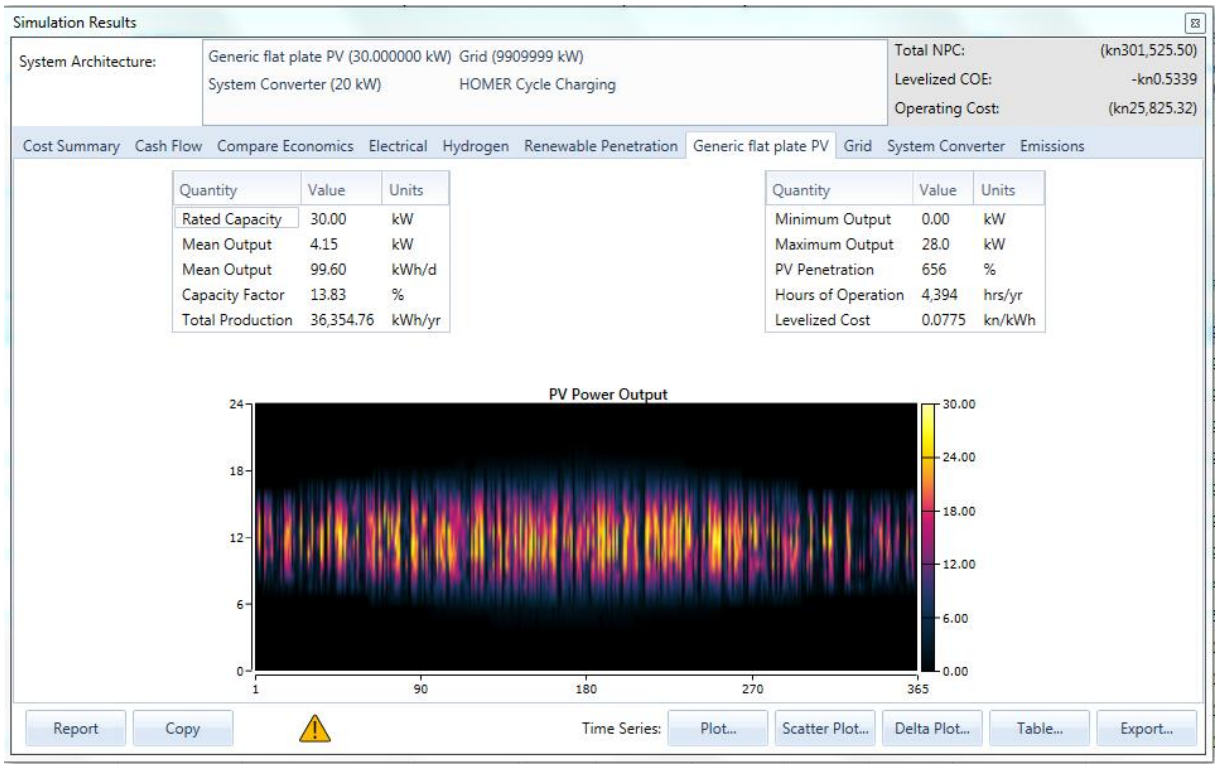
Investicijski troškovi sustava iznose 119,257.14 kuna. Prosječna cijena kWh proizvedene energije iznosi -0.5339 kn/kWh. Negativna vrijednost je rezultat toga što je više energije prodano u mrežu nego kupljeno. To su izračuni uz uloženi vlastiti novac, znači bez kamata. Ako se investicija financira kreditom iz banke (uz određenu kamatnu stopu) rok povrata investicije se produljuje.



Sl.5.4.5.3. *Rezultat simulacije- prikaz na godišnjoj razini*

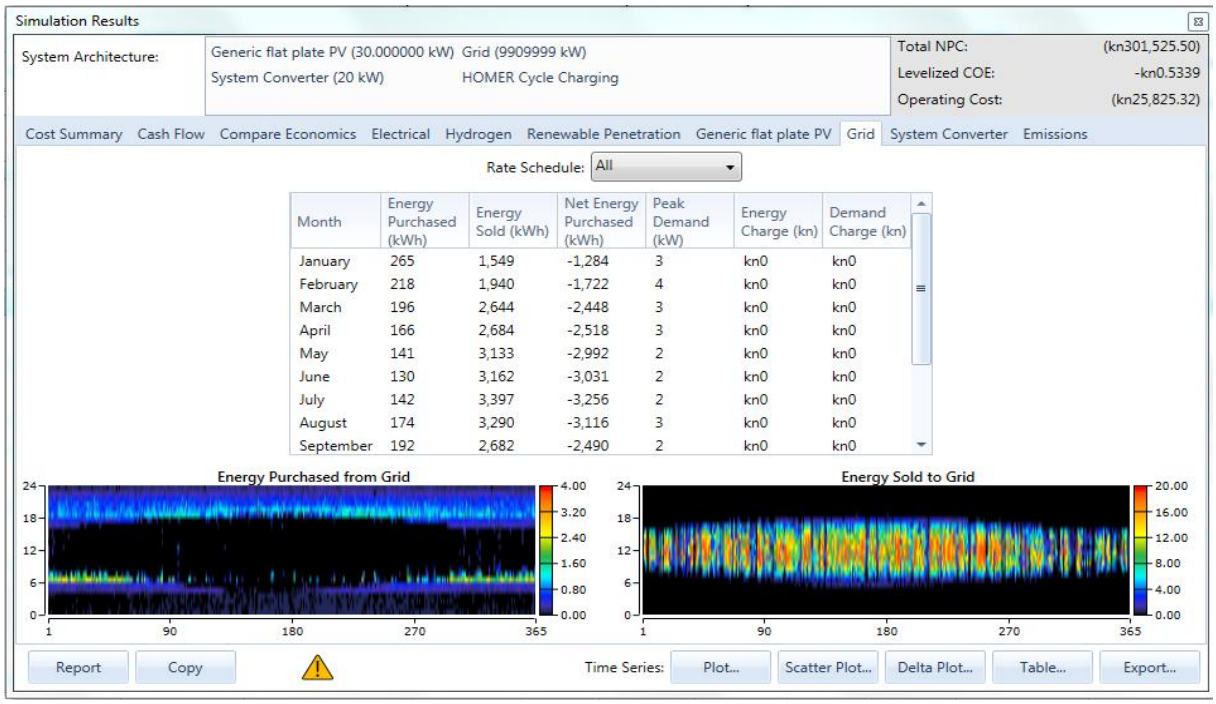


Sl.5.4.5.4. *Proizvedena električna energija*



Sl.5.4.5.5. *Prikaz proizvodnje fotonaponskog sustava*

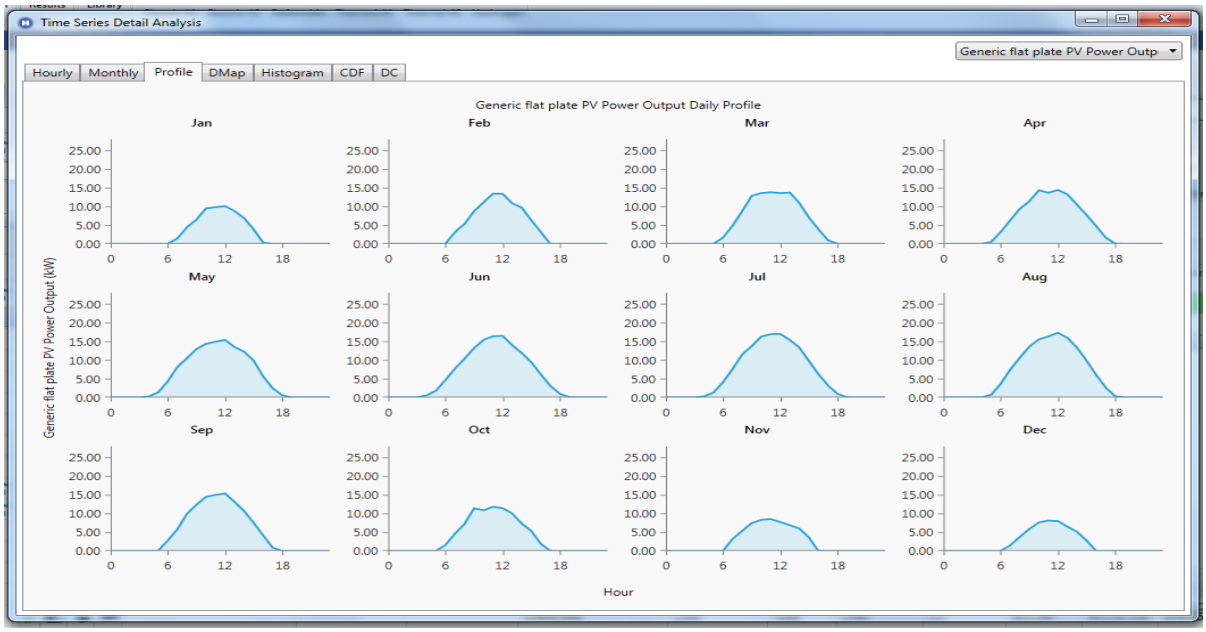
Slika 5.4.5.5. prikazuje proizvodnju fotonaponskog sustava u iznosu od 36,354.76 kWh/godišnje te radom od 4 394 sati/godišnje.



Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge (kn)	Demand Charge (kn)
January	265	1,549	-1,284	3	kn0	kn0
February	218	1,940	-1,722	4	kn0	kn0
March	196	2,644	-2,448	3	kn0	kn0
April	166	2,684	-2,518	3	kn0	kn0
May	141	3,133	-2,992	2	kn0	kn0
June	130	3,162	-3,031	2	kn0	kn0
July	142	3,397	-3,256	2	kn0	kn0
August	174	3,290	-3,116	3	kn0	kn0
September	192	2,682	-2,490	2	kn0	kn0

Sl.5.4.5.6. *Prodaja i kupnja energije*

Na slikama 5.4.5.6. i 5.4.5.7. dat je prikaz dnevne proizvodnje energije iz fotonaponskog sustava te prodaja i kupnja energije. Vidljivo je povećanje prodaje energije u ljetnom periodu što je i očekivano. Dok se kupnja energije poveća u zimskom periodu. Tu vidimo ovisnost proizvodnje električne energije o vremenskim uvjetima.



Sl.5.4.5.7. *Prosječna dnevna proizvodnja struje*

Rok povratka investicije je za fiksni umreženi sustav 5.12 godine uz uloženi vlastiti novac. Rješenje ovisi o točnosti uvedenih parametara i troškova. Rješenje projektnog zadatka dobivenog HOMER Pro računalnim simulacijskim programom korektna su za on-grid sustave kao višegodišnji prosjek i mogu poslužiti za analizu izvedivosti, ali na osnovu tih rješenja nije moguće garantirati pouzdanost fotonaponskog sustava u stvarnoj realizaciji projekta[46].

6. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu je iznesena teorije naprednih mreža i mikromreža te njihova uloga na tržištu električne energije. Svi ti teorijski podaci nam pomažu boljem razumijevanju o načinu rada naprednih mreža i mikromreža koji su nam bitni za tehno ekonomsku analizu.

Simulacijskim programom Homer Pro smo proveli tehno ekonomsku analizu samostalnog (off-grid) i umreženog sustava (on-grid) i njihovu isplativost na području Korođa za realnu lokaciju. Analizom i usporedbom simulacija smo otkrili najisplativiji način korištenja na našem području. Rezultati simulacije prednost daju umreženom sustavu zbog mogućnosti prodaje i kupnje električne energije. Zbog prodaje električne energije isplativije je sagraditi fotonaponski sustav veće snage. Iako je početna investicija bila veća ona se i brže vratila.

Iz dobivenih rješenja u Homer Pro vidimo ukupne troškove, procjene i način kako bi trebao raditi sustav ali ne i pouzdanost da će tako biti i u stvarnoj realizaciji projekta. Rezultate treba uzeti sa rezervom pošto su moguće pogreške pri unosu podataka te su moguća manja odstupanja pri zadavanju cijena pojedinih komponenti od stvarnih tj. moguć je odabir drugih proizvođača koji možda imaju manje cijene ali upitne kvalitete.

Analiza nije razmatrala druge tehnologije kao što su korištenje toplinske energije za grijanje ili biomasa koji se mogu ukomponirati u naš sustav. Daljnji rad mogao bi uzeti u obzir te tehnologije, budući da ih HOMER PRO model može ocijeniti i njima.

7. LITERATURA

[1] en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid#Research (pristupio 05.12.2016)

[2] www.comsar.com/sr/projects-technologies/pametne-mreže (pristupio 05.12.2016)

[3]www.obnovljivi.com/svijet/smart-mreza-sad-a-kostati-ce-milijarde-i-ustedjeti-trilijune (pristupio 05.12.2016)

[4] www.reportlinker.com/ Smart Grid IT Systems 2014, New York (05.12.2016)

[5] www.ho-cired.hr/savjetovanje/SO2-09,SO3,SO4 (05.12.2016)

[6] Kapetanović, T., Botting, D.: Smartgrids ; strateški dokument implementacije, EU, 2008.

[7] fourfact.se/index.php/weblog/arkiv/2008/02/ (pristupio 05.12.2016)

[8] Jakaša, T., Vočina, S.J., Drobić, Dž.:¨Regulatorni okvir kao važan pokretač uvođenja naprednih mjernih sustava i napredne mreže˝, CIRED, Umag 2010.

[9] www.greentechmedia.com/articles/read/smart-grid-market-to-surpass-400-billion-worldwide-by-2020 (pristupio 05.12.2016)

[10] Škrlec, D.,prof.dr.sc.: ˝Elektroenergetska infrastruktura za prihvat hibridnih i električnih vozila˝, Zagreb, 2011.

[11] elen.hep.hr (pristupio 05.12.2016)

[12] www.koncar-ket.hr/docs/koncarketHR/documents/66 (pristupio 05.12.2016)

[13] hr.wikipedia.org/wiki/Skladištenje_energije_iz_električne_mreže (pristupio 05.12.2016)

[14] www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/energy-and- efficiency/smart-grids-and-energy-storage-bottled-sunlight.html (pristupio 05.12.2016)

[15] www.obnovljivi.com/aktualno/2704-udio-obnovljivih-izvora-energije-u-potrosnji-energije-na-14-u-eu-2012-godine (pristupio 05.12.2016)

[16] www.obnovljivi.com/aktualno/3043-ekonomija-proizvodnja-obnovljivih-stvara-energetsku-sigurnost (pristupio 31.01.2017)

[17] www.irena.org/publications/RE_Power _Costs_report_2014 (pristupio 31.01.2017)

[18] www.obnovljivi.com/virtualne-elektrane (pristupio 31.01.2017)

[19] Tošić, J. :“Integracija virtualne elektrane u distribucijsku mrežu“ i „Komercijalne i tehničke virtualne elektrane kao dio EES-a“; savjetovanje, Siemens, Trogir, 2012..g.

[20] Mesarić, P. : Integracija obnovljivih izvora energije s pametnim sustavima trošila u sklopu pametnih zgrada; Nobilis-Čakovac, 2004.

[21]http://www.smarthome.eu/how-much-does-a-smart-home-system-cost(pristupio 31.01.2017)

[22] www.croenergo.eu/Pametni-gradovi-Nesto-bez-cega-ne-mozemo-28325, Zagreb, 2015. (pristupio 31.01.2017)

[23] http://smartcities.ieee.org/about.html
[24] en.wikipedia.org/wiki/Smart_city (pristupio 31.01.2017)
[25] www.hep.hr/ods/dokumenti/Planovi_razvoja (pristupio 04.05.2017)
[26] http://ses.jrc.ec.europa.eu/ses/project-maps (pristupio 02.02.2017)
[27] www.strukturnifondovi.hr/Mogućnosti financiranja iz Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014. - 2020. ,Zagreb, kolovoz 2015.] (pristupio 02.02.2017)
[28]Mesarić P.:Brosura-integracija-obnovljivih-izvora-energije-s-pametnim-sustavima-trošila-u-sklopu-pametnih-zgrada;Nobilis, Čakovec 2004.
[29]Schnitzer, D.:Microgrids for Rural Electrification:A critical review of best practices based on seven case studies, United Nations Foundation, February 2014
[30] http://www.homerenergy.com
[31] M.Živić-Đurović, Određivanje objektne funkcije ekonomične raspodjele opterećenja proizvodnih jedinica unutar mikromreže, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2012.
[32] www.microgridinstitute.org/about-microgrids (pristupio 05.02.2017)
[33]Borlais, S.: Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions; CRC Press, 2012.
[34] Lawrence Berkeley National Laboratory: Value Streams in Microgrids: A literature Review, USA, October 2015.
[35] www.galvinpower.org/report/The Value of Smart Distribution and Microgrids 2010. (pristupio 05.02.2017)
[36] [Pongrašić M., Tomšić Ž.: Ekonomska analiza dobiti i troškova implementacije naprednih mreža; Zagreb,2014.]
[37] www.obnovljivi.com/svijet/130-prilika-za-pametne-mreze-smart-grids
[38] [Z.Lipošćak, M.Bošković, Pristup izradi studije masovne ugradnje naprednog mjerenja, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, SO6-18, Sveti Martin na Muri, 2012.]
[39]Palko, K.: 'Solarni sustavi sa praćenjem položaja Sunca'; završni rad,Osijek,2013.
[40] www.homerenergy.com/version_history.html(pristupio 15.06.2017)
[41] www.hep.hr/elektra/kupci/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/1545(pristupio 15.06.2017)
[42] www.hep.hr/ods/pristup-mrezi/prikljucenje-na-mrezu-28/proizvodjaci-185/185
[43] www.hrote.hr/povlasteni-proizvodjac (pristupio 15.06.2017)
[44] www.hep.hr/elektra/kupci/cesta-pitanja/1528#1541(pristupio 15.06.2017)
[45] www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci(pristupio 13.07.2017.)
[46] www.ieee.hr/_download/repository/DR08ICvrk.pdf

SAŽETAK

Tema ovog rada jest ekonomika i tržište naprednih mreža i mikromreža. Rad je podijeljen na dva dijela, na teorijski dio i na praktični dio. Teorijski dio se sastoji od upoznavanja naprednih mreža i mikromreža, njihovim tehničkim i ekonomskim karakteristikama. Opisana je osnovna analiza naprednih mreža različitim vrstama metodologija.

U praktičnom dijelu radu će se kao realna lokacija za tehno ekonomsku analizu koristiti selo Korođ i njegove geografske koordinate i podaci o ozračenosti. Praktični dio je rađen u simulacijskom programu Homer Pro u kojem su analizirani dobiveni rezultati za samostalni (off-grid) i umreženi (on-grid) sustav.

Cilj tehno ekonomske analize je bio prikaz isplativosti izgradnje i pogona naprednih mreža i mikromreža na zadanu lokaciju.

Ključne riječi: napredne mreže, mikromreža, obnovljivi izvori energije, Homer Pro

ABSTRACT:

The theme of this work is the economics and market of smartgrids and microgrids. The work is divided into two parts, on the theoretical part and on the practical part. Theoretical part is composed of introduction of smartgrids and microgrids, their technical and economic characteristics. The basic analysis of smartgrids is described in different types of methodologies.

In the practical part of the work will be as viable locations for a techno economic analysis used Korođ village and its geographic coordinates and information about radiation exposure. The practical part was developed in the Homer Pro simulation program, which analyzed the results for an off-grid and on-grid system.

The aim of the technical economic analysis was to show the cost-effectiveness of the construction and operation of smartgrids and microgrids at the given location.

Keywords: smartgrid, microgrid, renewable energy sources, Homer Pro

ŽIVOTOPIS

PALKO KRISTIJAN

Rođen je u Osijeku 26. prosinca 1986. U Vinkovcima završava osnovnu školu "Vladimira Nazora" te zatim upisuje prirodoslovno-matematički smjer u "Gimnaziji Matije Antuna Reljkovića Vinkovci", koji završava 2006. godine.

2006. godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku kojeg završava 2014. godine kada istovremeno upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika.

Tečno govori engleski jezik te posjeduje znanje osnova mađarskog jezika. Informatički je pismen te se izvrsno služi programskim paketom Microsoft Office.

U Osijeku, 14.07.2017. Palko Kristijan

Potpis: