Integracija solarnih fotonaponskih sustava na pametnim otocima

Dodić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:574278

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mario Dodić

Zagreb, 2019. godine

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

INTEGRACIJA SOLARNIH FOTONAPONSKIH SUSTAVA NA PAMETNIM OTOCIMA

Mentor:

doc. dr. sc. Goran Krajačić, dipl. ing.

Mario Dodić

Zagreb, 2019. godine

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se, prije svega, svom mentoru doc. dr. sc. Goranu Krajačiću na pruženim savjetima, pomoći, korisnim primjedbama te na iskazanom razumijevanju i strpljenju.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji, zaručnici Heleni te svim prijateljima i kolegama na pruženoj podršci tijekom studija i tijekom pisanja ovog rada.

Mario Dodić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Mario Dodić** Mat. br.: 0035194082

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Integracija solarnih fotonaponskih sustava na pametnim otocima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Integration of solar photovoltaic systems on the smart islands**

Opis zadatka:

U 2017. godini u Europskoj uniji pokrenute su dvije inicijative za razvoj pametnih otoka, Deklaracija o pametnim otocima te Deklaracija o čistoj energiji za EU otoke. Obje inicijative su popraćene razvojnim strategijama, programima i projektima koji nastoje promovirati korištenje informacijsko komunikacijske tehnologije za povećanje integracije obnovljivih izvora energije u otočne energetske sustave. Zbog varijabilnosti proizvodnje energije iz solarnih fotonaponskih sustava postavljaju se ograničenja na njihovu integraciju u elektroenergetske sustave. Primjenom informacijsko komunikacijskih tehnologija te „pametnih" uređaja moguće je osigurati da potražnja električne energije slijedi proizvodnju te se na taj način može maksimizirati integracija intermitentnih izvora u energetske sustave. Na primjeru otoka Unije u Kvarnerskom zaljevu potrebno je:

a) analizirati potrošnju energenata po kućanstvima te potrošnju električne energije na cijelom otoku,
b) odrediti karakteristike tipičnog kućanstva na otoku te predložiti pametne uređaje koji se mogu koristit u tom kućanstvu,
c) odrediti kapacitete dizalica topline, toplinskih spremnika, fotonaponskog sustava i baterija za tipično kućanstvo na otoku,
d) provesti analizu integracije fotonaponskih elektrana u energetski sustava otoka Unija kroz četiri scenarija: 1. fotonaponski sustavi bez pametnih komponenti u kućanstvima, 2. fotonaponski sustavi s pametnim uređajima za grijanje, hlađenje i potrošnu toplu vodu, 3. fotonaponski sustavi s baterijama i 4. kombinacija sustava razmatranih pod 1., 2. i 3.

Pri izradi i analizi scenarija voditi računa da se postigne maksimalna samodostatnost sustava (maksimalno pokrivanje potrošnje energije po kućanstvima) te minimalna cijena sustava za kućanstvo (minimalni trošak energije).

Potrebni podaci mogu se dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: 7. ožujka 2019.

Datum predaje rada: 9. svibnja 2019.

Predviđeni datum obrane: 15., 16. i 17. svibnja 2019.

Zadatak zadao: Doc. dr. sc. Goran Krajačić

Predsjednica Povjerenstva: Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA V
POPIS OZNAKA VI
SAŽETAK VIII
SUMMARY IX
1. UVOD 1
1.1. Deklaracija o pametnim otocima i zakon o otocima 3
1.2. Otok Unije 4
1.3. Anketa među stanovnicima 6
2. METODE I MODELI 9
2.1. Modeliranje potrošnje električne energije u kućanstvima 9
2.1.1. Rasvjeta 10
2.1.2. Grijanje 11
2.1.3. Hlađenje 12
2.1.4. Potrošna topla voda (PTV) 12
2.1.5. Kućanski uređaji 13
2.1.6. Štednjak 14
2.2. Godišnja potrošnja električne energije u kućanstvima 14
2.3. Karakteristično kućanstvo 16
2.4. Projektiranje toplinskog i rashladnog opterećenja 17
2.5. EnergyPLAN 17
3. ODABIR SUSTAVA 19
3.1. Odabir uređaja za grijanje, hlađenje i PTV 19
3.2. Određivanje kapaciteta fotonaponskog sustava, spremnika i baterija 23
3.3. Pametni uređaji 28
3.3.1. Sensys upravljački uređaj i light gateway 28
3.3.2. Mobilna aplikacija 29
3.3.3. Senzor vrata i prozora 30
3.3.4. Senzor kvalitete zraka i CO_2 31
3.3.5. Pametno brojilo 32
4. IZRADA SCENARIJA 33
4.1. 1. scenarij: Fotonaponski sustavi bez pametnih komponenti u kućanstvima 33
4.2. 2. scenarij: Fotonaponski sustavi s pametnim uređajima za grijanje, hlađenje i PTV 33
4.3. 3. scenarij: Fotonaponski sustavi s baterijama 34
4.4. 4. scenarij: Kombinacija sustava iz prethodnih scenarija 36
5. REZULTATI 37
5.1. Referentni model po kategorijama 37
5.2. Referentni model i krivulje u EnergyPLAN-u 43

5.3. Rezultati 1. scenarija: Fotonaponski sustavi bez pametnih komponenti u kućanstvima 48
5.4. Rezultati 2. scenarija: PV sustavi s pametnim uređajima za grijanje, hlađenje i PTV 51
5.5. Rezultati 3. scenarija: Fotonaponski sustavi s baterijama 55
5.6. Rezultati 4. scenarija: Kombinacija sustava iz prethodnih scenarija 58
5.7. Usporedba scenarija 60
6. ZAKLJUČAK 63
LITERATURA 65
PRILOZI 67
DODATAK 68
6.1. *Microsoft Excel* - Modeliranje godišnje potrošnje električne energije po kategorijama 68
6.2. *EnergyPLAN* – rezultati scenarija 69
6.3. Brojila električne energije za kućanstva za 2017. godinu 70

POPIS SLIKA

Slika 1. Klasičan elektroenergetski sustav [3] 2
Slika 2. Elektroenergetski sustav u viziji budućnosti kao pametna mreža [4] 3
Slika 3. Položaj otoka Unije na karti [7] 4
Slika 4. Prikaz kretanja cijene PV panela i instalirane snage od 1975. [9] 5
Slika 5. Pogled na naselje otoka Unije [8] 6
Slika 6. Proizvodnja el. energije u zadruzi 7
Slika 7. Potrošnja električne energije za otok Unije, 2017. godina [12] 9
Slika 8. Potrošnja električne energije za otok Unije, 2018. godina [12] 9
Slika 9. Dijagram toka modeliranja u softveru *EnergyPLAN* [15] 18
Slika 10. Nimbus Flex 40 S Net s pripadajućim dijelovima [19] 19
Slika 11. Izgled aplikacije na mobilnom uređaju [19] 20
Slika 12. Sensys upravljački uređaj i light gateway [19] 20
Slika 13. Shema dizalice topline [19] 21
Slika 14. Nimbus dizalica topline s toplinskim spremnikom [19] 22
Slika 15. PV panel spojen u sustavu s dizalicom topline [19] 23
Slika 16. Scenariji iz analize u Portugalu [20] 24
Slika 17. Početna i optimizirana potrošnja PTV te višak PV za tipičan jesenski tjedan, B3 scenarij [20] 25
Slika 18. Baterija proizvođača Tesla [16] 26
Slika 19. Toplinski spremnik proizvođača Ariston [17] 27
Slika 20. Izgled Sensys upravljačkog uređaja [19] 28
Slika 21. Tjedno programiranje [19] 28
Slika 22. Prikaz svih uparenih uređaja u servisnom centru [19] 29
Slika 23. Različita sučelja na aplikaciji [19] 30
Slika 24. Senzor vrata i prozora [21] 31
Slika 25. Senzor kvalitete zraka i CO_2 [22] 31
Slika 26. Pametno brojilo [23] 32
Slika 27. Prebacivanje opterećenja (engl. *Load shifting*) [18] 34
Slika 28. PV sustav kao izvor električne energije za kućanstvo i punjenje baterija tijekom dana [16] 35
Slika 29. Baterije kao izvor električne energije za kućanstvo tijekom noćnih sati [16] 35
Slika 30. Proračunata potrošnja električne energije po mjesecima 40
Slika 31. Proračunata potrošnja električne energije po kategorijama 40
Slika 32. Potrošnja električne energije po brojilima za otok Unije za 2017. godinu 41
Slika 33. Godišnja satna potrošnja električne energije za kućanstva za 2017. godinu 45
Slika 34. Godišnja satna potrošnja električne energije za grijanje za 2017. godinu 45
Slika 35. Godišnja satna potrošnja električne energije za PTV za 2017. godinu 46
Slika 36. Godišnja satna potrošnja električne energije za hlađenje za 2017. godinu 47
Slika 37. Ukupno satno sunčevo zračenje na horizontalnu površinu 47
Slika 38. Prosječno mjesečno opterećenje za 2017. godinu 48
Slika 39. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 1. scenarij 49
Slika 40. Prosječno opterećenje električne energije iz uvoza i PV sustava u kućanstvima za 1. scenarij 50
Slika 41. Vlastita potrošnja i solarni dio u potrošnji iz PV sustava za 1. scenarij 50
Slika 42. Prosječna godišnja potrošnja električne energije po mjesecima za 1. scenarij 51
Slika 43. Godišnje fleksibilno opterećenje po satima za 2. scenarij 52
Slika 44. Proizvodnja iz PV sustava i fleksibilno opterećenje za dva dana u siječnju 52

Slika 45. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 2. scenarij 53
Slika 46. Solarni dio za 1. i 2. scenarij 54
Slika 47. Vlastita potrošnja za 1. i 2. scenarij 54
Slika 48. Prosječno opterećenje električne energije iz PV sustava u kućanstvima za 1. i 2. scenarij 55
Slika 49. Pohranjivanje viška proizvedene električne energije u baterije [24] 55
Slika 50. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 3. scenarij 56
Slika 51. Uvoz električne energije za 3. scenarij 57
Slika 52. Pohranjena električna energija u baterijama za 3. scenarij 57
Slika 53. Proizvodnja električne energije iz PV sustava i punjenje baterija za 3. scenarij 58
Slika 54. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 4. scenarij 59
Slika 55. Uvoz električne energije za 3. i 4. scenarij 60
Slika 56. Udio električne energije iz PV sustava i uvoza za sva 4 scenarija 60
Slika 57. Solarni dio za sva 4 scenarija 61
Slika 58. Punjenje i pražnjenje baterija kroz godinu za scenarij potpuno energetski neovisnih kućanstava 62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Rasvjeta za jednu prosječnu kuću 10
Tablica 2. Kućanski uređaji 13
Tablica 3. Koeficijenti za proračun godišnje potrošnje električne energije u kućanstvima 14
Tablica 4. Dnevna potrošnja karakterističnog kućanstva 16
Tablica 5. Godišnja potrošnja električne energije za karakteristično kućanstvo po mjesecima 42
Tablica 6. Godišnji podaci o energiji po scenarijima 44

POPIS OZNAKA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	OPIS
A_p	m^2	prosječna površina prozora i vrata
A_z	m^2	prosječna površina svih vanjskih zidova
$E_{hl,ob}$	kWh	dnevna potrošnja el. energije za hlađenje po objektu
$E_{hl,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za hlađenje
$E_{št,ob}$	kWh	procijenjena dnevna potrošnja el. energije za štednjak po objektu
$E_{št,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za štednjak
$E_{PTV,os}$	kWh	potrebna el. energija za PTV po osobi
$E_{PTV,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za PTV
E_{bat}	kWh	kapacitet baterija po jednom objektu
E_{buf}	kW	maksimalna apsorbirana snaga jednog toplinskog spremnika
$E_{el,god}$	MWh	godišnja potrošnja el. energije u kućanstvima
$E_{god,x}$	kWh	ukupna godišnja potrošnja el. energije za stalno naseljena ili sezonska kućanstva
E_{god}	kWh	ukupna godišnja potrošnja el. energije u sektoru kućanstvo
$E_{gr,eg,ob}$	kWh	dnevna potrošnja el. energije za grijanje (el. grijalice) po objektu
$E_{gr,kl,ob}$	kWh	dnevna potrošnja el. energije za grijanje (klima) po objektu
$E_{gr,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za grijanje
$E_{gr,kl,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za grijanje na split-klima uređaje
$E_{gr,eg,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za grijanje na električne uređaje
E_{karakt}	kWh	ukupna godišnja potrošnja el. energije karakterističnog kućanstva
$E_{mj,n}$	kWh	ukupna mjesečna potrošnja el. energije za stalno naseljena ili sezonska kućanstva
$E_{mj,x}$	kWh	ukupna mjesečna potrošnja el. energije određene kategorije
E_{prosj}	kWh	ukupna godišnja potrošnja el. energije prosječnog kućanstva
$E_{ras,ob}$	kWh	dnevna potrošnja el. energije za rasvjetu po objektu
$E_{ras,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za rasvjetu
$E_{uk,x}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije pojedine kategorije
$E_{ur,ob}$	kWh	dnevna potrošnja el. energije za uređaje po objektu

$E_{ur,uk}$	kWh	ukupna dnevna potrošnja el. energije za uređaje
$E_{ur,x}$	kWh	procijenjena dnevna potrošnja el. energije pojedinog uređaja
$f_{št}$	-	faktor korištenja štednjaka za sezonska kućanstva
f_{ur}	-	faktor korištenja uređaja
P_{PV}	kW_p	kapacitet PV po jednom objektu
$P_{ras,n}$	kW	snaga pojedine vrste žarulje
U_p	W/m^2K	prosječni koeficijent prolaza topline za vrata i prozore
U_z	W/m^2K	prosječni koeficijent prolaza topline za zidove
V_{PTV}	l	kapacitet spremnika PTV po jednom objektu
V_{buf}	l	kapacitet toplinskog spremnika po jednom objektu
V_v	m^3	potrebna količina tople vode po osobi
c_v	kj/kg°C	specifični toplinski kapacitet vode
n_{dan}	-	broj dana u određenom mjesecu
n_{ob}	-	broj objekata
n_{os}	-	broj osoba u kućanstvu
n_{ras}	-	broj žarulja po objektu
t_{ras}	h	vrijeme rada žarulje u jednom danu
$x_{gr,hl}$	-	koeficijent grijanja ili hlađenja
x_{gr}	-	udio klima ili el. grijalica u grijanju (0-1)
$x_{pop,x}$	-	koeficijent popunjenosti kućanstva
$x_{ur,x}$	-	prosjek pojedinog uređaja po objektu
Φ_{hl}	W	projektno rashladno opterećenje
Φ_{gr}	W	projektno toplinsko opterećenje
ρ_v	kg/m^3	gustoća vode
$\vartheta_{proj,hl}$	°C	vanjska projektna temperatura zraka za hlađenje
$\vartheta_{proj,gr}$	°C	vanjska projektna temperatura zraka za grijanje
$\vartheta_{un,hl}$	°C	unutarnja projektna temperatura zraka za hlađenje
$\vartheta_{un,gr}$	°C	unutarnja projektna temperatura zraka za grijanje
ΔT	°C	razlika temperature
η	-	iskoristivost bojlera

SAŽETAK

Cilj ovog rada bio je provesti analizu integracije solarnih fotonaponskih elektrana u energetski sustav otoka Unija u Kvarnerskom zaljevu kroz četiri scenarija. Scenariji su analizirani u programskom paketu *EnergyPLAN.* Analiza se odnosi na kućanstva na otoku koja su podijeljena na stalno naseljena i sezonska. Stalno naseljenih je 47 i u njima živi 88 stanovnika, a sezonskih je 245 te u ljetnoj sezoni na otoku boravi i do 800 turista. Prije analize scenarija, odrađeno je modeliranje potrošnje električne energije po kategorijama u kućanstvima, odabir kapaciteta fotonaponskih elektrana, baterija, dizalica topline i toplinskih spremnika. U svakom scenariju je kapacitet fotonaponskih elektrana 500 kW_p.

Prvi scenarij je s fotonaponskim sustavima bez pametnih komponenti u kućanstvima, na postojeće stanje je dodan fotonaponski sustav. U drugom scenariju je dodan fotonaponski sustav s pametnim uređajima za grijanje, hlađenje i potrošnu toplu vodu. Ovaj scenarij analizira kompletnu elektrifikaciju kućanstava, za razliku od prvog scenarija u kojemu je postojeće stanje, odnosno dio kućanstava koristi električnu energiju za grijanje, hlađenje i potrošnu toplu vodu (PTV). Sva kućanstva imaju dizalice topline, pametne uređaje u kućanstvima, a stalno naseljena kućanstva imaju i dodatni toplinski spremnik koji pohranjuje višak proizvedene električne energije u obliku toplinske energije. Treći scenarij je kao prvi uz baterije koje pohranjuju višak električne energije. Četvrti scenarij je kao drugi uz baterije koje pohranjuju višak električne energije. Napravljena je i usporedba scenarija gdje se prikazalo koji je scenarij najbolji u odnosu na udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji električne energije. U rezultatima scenarija je prikazano koliko električne energije se pokrije fotonaponskim sustavom, koliko se uvozi i izvozi te koliki je udio vlastite potrošnje električne energije iz fotonaponskog sustava.. Za treći i četvrti scenarij nema izvoza električne energije jer se višak pohranjuje u baterijama. Na kraju je izračunato da su kapacitet fotonaponskog sustava od 1500 kW_p i kapacitet baterija od 1,5 MWh potrebni kako bi sva kućanstva bila potpuno energetski neovisna.

Dijagrami i rezultati su dobiveni pomoću programskog paketa *EnergyPLAN* i *Microsoft Excel*.

Ključne riječi: otok Unije, fotonaponska elektrana, modeliranje, scenarij

SUMMARY

The aim of this graduate thesis was to analyze the integration of solar photovoltaic power plants into the energy system of the island Unije, located in the Kvarner Bay. For this purpose, four different scenario analysis were preformed in the EnergyPLAN program package. All the analyses refer to the households, on the island, that are divided into two different categories namely, permanently populated and seasonal households. The former category is comprised of 47 buildings with 88 inhabitants, while the latter category has 245 buildings, with up to 800 tourists in the summer months. Modeling of electricity consumption by categories in households, as well as sizing the capacity of photovoltaic plants, batteries, heat pumps and heat storage tanks was done before scenario analysis. Each scenario has a photovoltaic capacity of 500 kWp.

In the first scenario, just photovoltaic systems are added to the existing state. While, the second scenario includes also smart appliances for heating, cooling, and domestic hot water preparation. This scenario analyzes the impact of complete electrification of households. That is opposite to the first scenario, where the assumption is that traditional technologies are also used for these purposes. Important assumptions, made in the second scenario, are that all households have heat pumps and smart household appliances. Moreover, for permanently populated households, it is assumed that they also have an additional heat storage tank, used for storing excess electricity, in the form of heat energy. The third and fourth scenarios are similar to the first and second one, respectively. The only difference is that in these scenarios also batteries, that store excess electricity, were added. A scenarios were also compared to show which scenario is the best compared to the proportion of renewable energy sources in total electricity consumption. Scenario results show how much electricity is covered by the photovoltaic system, how much is imported and exported, and what proportion of its own electricity consumption is consumed from the photovoltaic system. For the third and fourth scenario there is no electricity export because the surplus is stored in the batteries. Finally, it was calculated that the capacity of a photovoltaic system of 1500 kWp and a battery capacity of 1,5 MWh would be needed of making the households fully independent of the national grid.

Diagrams and results were obtained using the program package EnergyPLAN and Microsoft Excel.

Key words: island Unije, photovoltaic systems, modeling, the scenario

1. UVOD

Za male otoke koji nisu povezani s kopnom, uključivanje intermitentnih izvora energije, kao što su vjetar ili sunce, u elektroenergetski sustav (EES) je ograničeno čak i kada postoji velik potencijal za proizvodnjom električne energije iz obnovljivih izvora. To je zbog tehničkih ograničenja sustava da preuzme višak ili nadoknadi nedostatak tj. zbog razlike između proizvodnje i potrošnje električne energije. U tim slučajevima, instalirana snaga vjetroelektrana ili fotonaponskih solarnih elektrana je limitirana [1].

Kod kopnenih sustava taj problem ravnoteže između proizvodnje i potrošnje se može riješiti na nekoliko načina, kao što su:

- Trženje između viška i manjka električne energije interkonekcijom među državama
- Fleksibilnost EES-a jedne države koja najviše ovisi o plinskim elektranama i velikim skladištima energije u obliku reverzibilnih hidroelektrana
- Baterije za pohranu koje se mogu puniti u slučaju pojave viškova električne energija i tako smanjivati potrebu za izvozom energije. U trenucima kada je proizvodnja iz obnovljivih izvora energije niska, a potreba za električnom energijom visoka, moguće je povući energiju pohranjenu u baterijama
- Tehnologije proizvodnje, pohrane i korištenja vodika
- Pretvorba električne energije u toplinsku energiju i naknadno pohranjivanje toplinske energije [2]

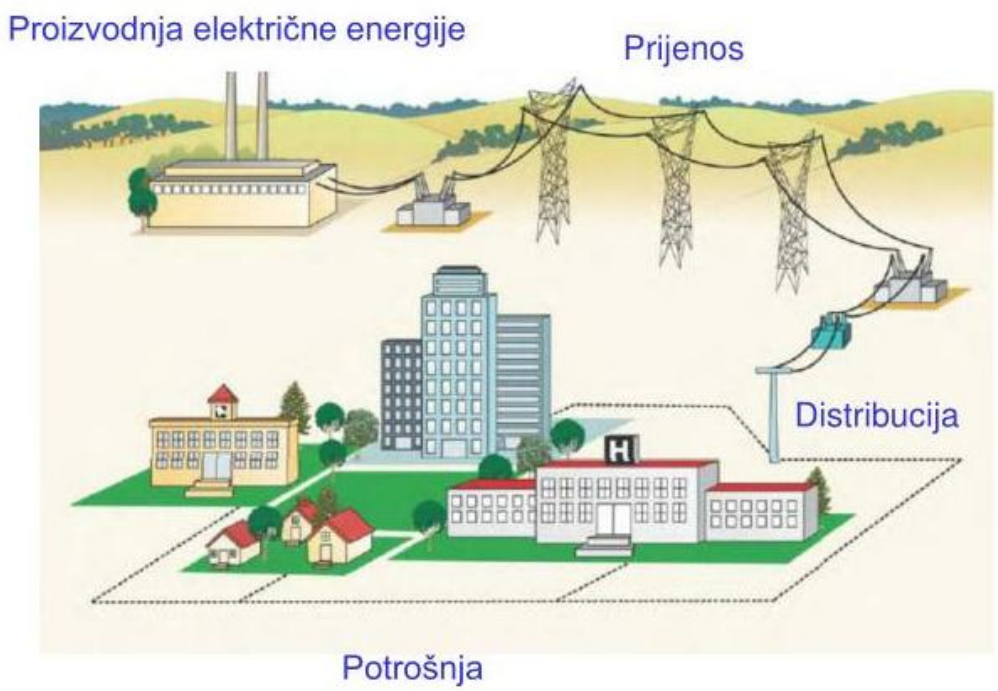
Otoci su izolirani od kopna te je njihov EES u pravilu loše povezan s kopnom. Ako su povezani podmorskim kabelom može doći do problema opskrbe prilikom oštećenja kabela. Kabel i trafostanica su također ograničeni nazivnim kapacitetom, stoga može doći do problema prilikom vršnog opterećenja koje se događa u ljetnim mjesecima kada na otocima boravi velik broj turista.

Kako ne bi došlo do prekida opskrbe, za otok bi bilo najbolje da ima vlastiti neovisni EES koji bi zadovoljavao njihove potrebe za električnom energijom. S obzirom na nedostatke obnovljivih izvora energije, taj problem bi se mogao riješiti skladištenjem električne energije u obliku baterija ili preko toplinskih spremnika koji bi mogli pokriti dio potrebne toplinske energije. Također, primjenom informacijsko-komunikacijskih tehnologija preko pametnih mjernih uređaja (eng. *smart meter*) može se osigurati dvosmjerna komunikacija koja bi

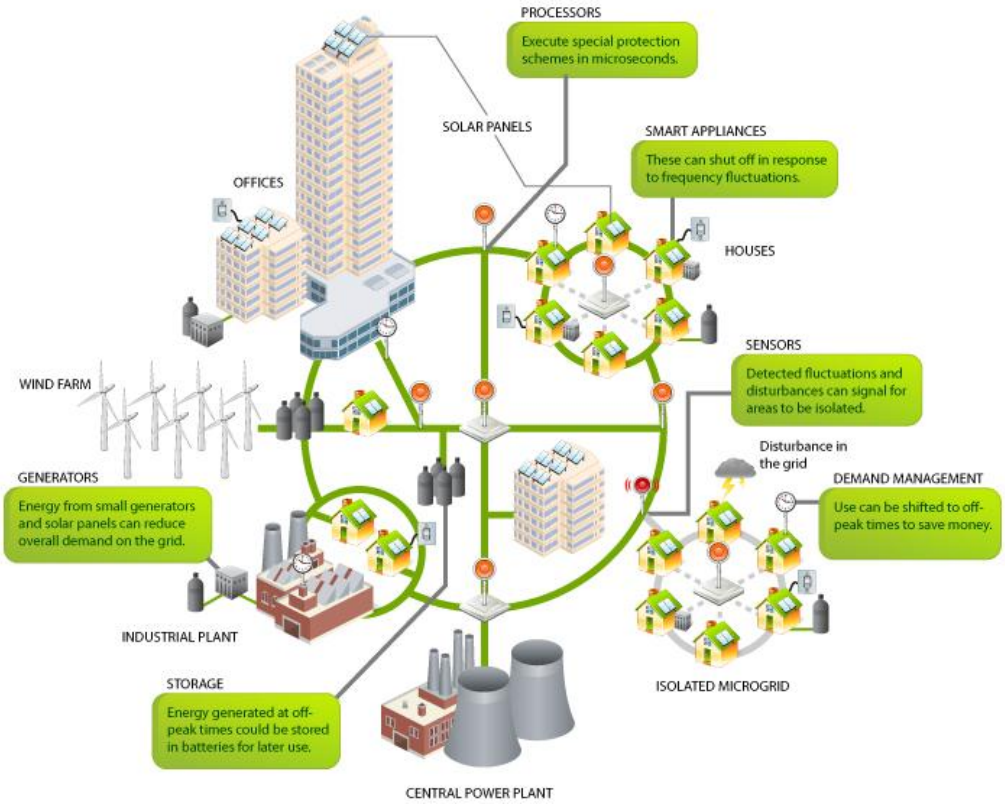
osigurala balans između proizvodnje i potrošnje električne energije, za razliku od dosadašnjeg EES-a koji ima jednosmjeran tok snaga i energija te nije predviđen niti napravljen za prihvat proizvodnih objekata (Slika 1).

Pametna mreža (eng. *smart grid*) predstavlja skup tehnologija koje omogućavaju bolju integraciju obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav te uvodi određene tehnološke inovacije koje omogućavaju da mreža ima dvosmjernu komunikaciju. Također, omogućava razvoj novih usluga kao što je elektrifikacija prometa [4].

Slika 2 prikazuje viziju kako bi pametna mreža i EES budućnosti bili integrirani.



Slika 1. Klasičan elektroenergetski sustav [3]



Slika 2. Elektroenergetski sustav u viziji budućnosti kao pametna mreža [4]

1.1. Deklaracija o pametnim otocima i zakon o otocima

Deklaracija o pametnim otocima je inicijativa otočnih jedinica lokalne samouprave i drugih dionika na otocima koja uključuje nove smjernice za europske otoke s ciljem razvoja pametnih, uključivih i uspješnih otočnih zajednica za inovativnu i održivu Europu. Potpisana je u Europskom parlamentu 27. ožujka 2017. godine. Deklaraciju je potpisalo preko 200 europskih otoka, a otok Unije je jedan od njih [5].

Pametni otok je definiran kao otok koji se uspješno prilagođava klimatskim promjenama kroz pametne načine integriranog upravljanja infrastrukturom, prirodnim resursima i okolišem kao cjelinom, uz korištenje informacijsko-komunikacijskih tehnologija. Inicijativa je da se otok razvija kao specifični ekosustav koji bi uspostavljao ravnotežu između dostupnosti resursa i gospodarskih aktivnosti [5].

U deklaraciji je navedeno 10 točaka (ciljevi deklaracije):

1) Aktivno sudjelovanje u prilagodbi i izbjegavanju klimatskih promjena na lokalnoj razini
2) Katalizator bržeg korištenja naprednih tehnologija

3) Smanjenje fosilnih goriva i povećanje obnovljivih izvora energije
4) Promoviranje održive mobilnosti na otocima (elektromobilnost)
5) Smanjenje nedostatka vode primjenom pametnih načina upravljanja vodnim resusrsima
6) Postati područje bez odlaganja otpada principom cirkularne ekonomije
7) Očuvati kulturni i prirodni kapital otoka
8) Diverzificirati ekonomiju iskorištavanjem unutarnjih specifičnosti otoka u stvaranju novih i inovativnih lokalnih poslova
9) Ojačati socijalnu uključenost i edukaciju građana
10) Poticati prelazak na alternativne održive načine obalnog i morskog turizma [5]

U Republici Hrvatskoj od 1. siječnja 2019. godine na snazi je Zakon o otocima (NN 116/18) koji promovira pametne otoke i definira pametni otok kao otok koji se uz korištenje odgovarajućih alata i inovativnih rješenja razvija ekološki, društveno, tehnološki i ekonomski održivo, gradeći pritom kružno gospodarstvo i povećavajući samodostatnost i otpornost na klimatske promjene. U zakonu je navedeno 10 točaka, kao i u Deklaraciji o pametnim otocima, te se potiče umrežavanje civilnog društva na otocima kroz financijske potpore [6].

1.2. Otok Unije

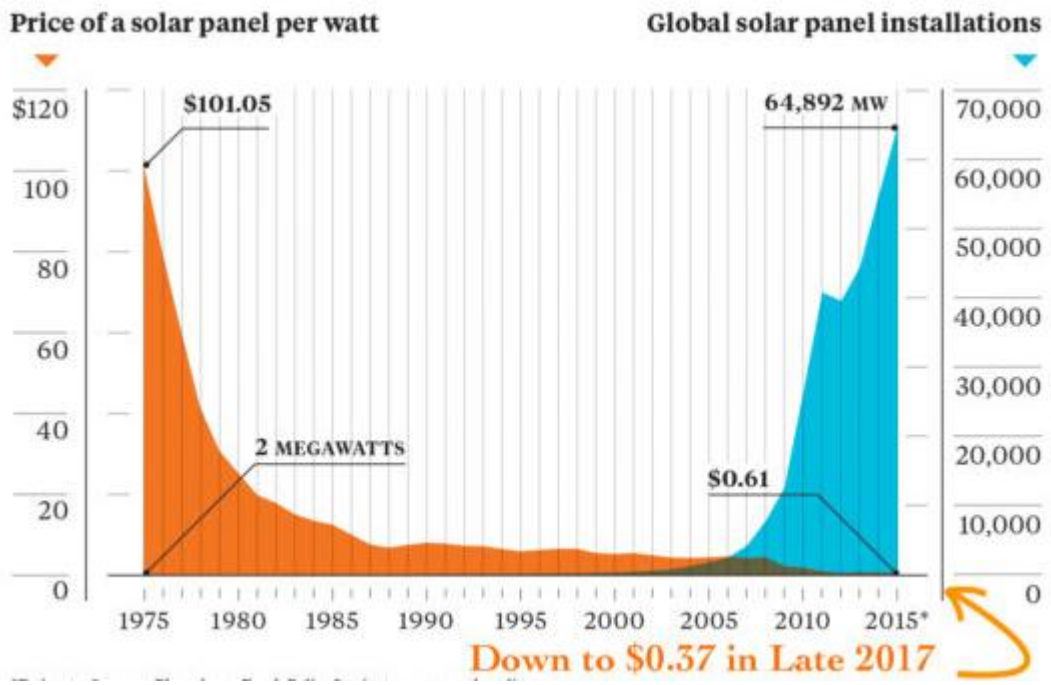
Unije su mali otok (Slika 3) u Primorsko-goranskoj županiji, a prema administrativnom-teritorijalnom ustroju pripadaju gradu Malom Lošinju. Najzapadniji su hrvatski otok sa stalnim stanovništvom, a spadaju u Cresko-Lošinjsku otočnu skupinu. Na Unijama se nalazi samo jedno naselje, istog imena kao i otok [8].



Slika 3. Položaj otoka Unije na karti [7]

Površina Unija je 16,88 km^2, a dužina obalne crte je oko 38 km. Na 20. je mjestu po veličini među hrvatskim otocima. Na otoku je stalno naseljeno 88 stanovnika u 47 kućanstava, prema popisu stanovništva iz 2011. godine, dok je stambenih objekata 292. Te objekte popunjavaju ljetni turisti kojih bude između 800 i 900. Najveći broj stanovnika otok je imao 1921., čak 783. Stanovništvo se bavi turizmom, maslinarstvom i ovčarstvom. Unije zbog svojeg smještaja imaju vrlo povoljnu mediteransku klimu, sličniju sjevernodalmatinskim otocima nego kvarnerskim. Struja je na otok stigla 7. listopada 1979.godine. Zimske temperature su znatno više nego na ostalim kvarnerskim otocima, dok je ljeti prilično vruće, ali podnošljivo zbog laganih vjetrova [8].

Hrvatska ima velik broj sunčanih sati godišnje, međutim neke zemlje koje imaju osjetno manji broj imaju više instaliranih PV panela. Otok Unije ima godišnju prosječnu osunčanost od 2560 sati, stoga je ugradnja fotonaponskih sustava važan korak prema energetskoj neovisnosti otoka [8]. Cijena PV panela je drastično pala u posljednjih 40 godina (Slika 4), a stručnjaci predviđaju daljnji pad (21¢/watt u 2040. godini [9]).



Slika 4. Prikaz kretanja cijene PV panela i instalirane snage od 1975. [9]



Slika 5. Pogled na naselje otoka Unije [8]

Na otoku nema klasičnog sustava vodoopskrbe nego se kućanstva opskrbljuju vodom iz vlastitih cisterni u kojima se skuplja kišnica. Uz crkvu, uz školu i uz zgradu mjesnog odbora su i tri veće cisterne. Prema zakonu, otočani imaju povoljniju cijenu, subvencioniranu na određenu količinu. Postoji samo jedan iskopani bunar s tehnološkom vodom koji zadovoljava samo sanitarne standarde. Kanalizacije također nema, koriste se septičke jame bez dna koje propuštaju vodu u krško podzemlje. Ljeti kada su kapaciteti popunjeni, otpadne vode se ispuštaju u Unijski zaljev [8].

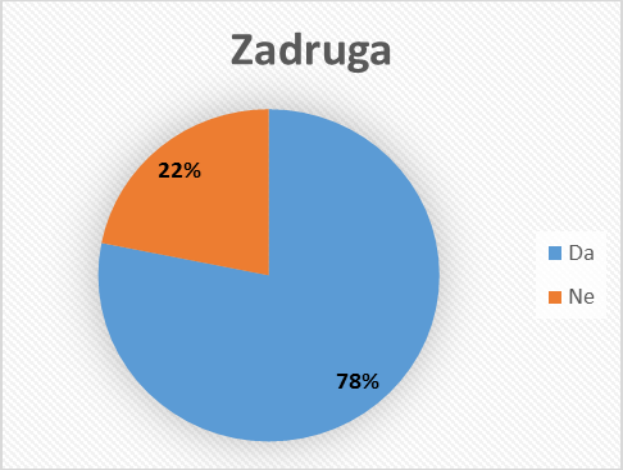
1.3. Anketa među stanovnicima

Za postizanje preglednosti stanja i potreba na otoku te mogućnosti pokrivanja tih potreba, provodi se RenewIslands metodologija [10]. Metodologijom se utvrđuju energetske mogućnosti otoka, a već se provodila na Mljetu i Lošinju. Primjerena je manjim izoliranim otocima kojima je potreban vlastiti EES. Sastoji se od pet osnovnih koraka: mapiranje potreba otoka, mapiranje izvora koji se nalaze na otoku, razvoj scenarija s raspoloživim tehnologijama, modeliranje scenarija i evaluacija scenarija [11].

Za potrebe Renewislands metodologije napravljena je i anketa potrošnje energije u kucanstvima na otoku. Anketu među stanovnicima je provela „Regionalna energetska agencija Kvarner“ u suradnji s „Fakultetom strojarstva i brodogradnje“ za potrebe izrade studije o održivom razvoju otoka Unije. Ukupno su ispitane 32 osobe, odnosno 32 objekta u kojima ukupno tijekom godine borave 94 osobe. U 7 anketiranih objekata, korisnici su naveli da ih

koriste samo sezonski tijekom ljeta. Anketa je detaljno obrađena u ranijem diplomskom radu [11], stoga će se u ovom radu prikazati samo neki podaci iz ankete koji su nužni za razumijevanje proračuna. Metodologija je također provedena u tom diplomskom radu [11], a s obzirom na to da je u ovom radu fokus isključivo na električnoj energiji, neće se provesti RenewIslands metodologija nego proračun i scenariji o potrošnji električne energije.

U anketi su stanovnici dali odgovore na pitanja: broj korisnika u objektu, vrsta vanjskih zidova, toplinska izolacija zidova, vrsta izolacije zidova, izvedba krova, izolacija krova, ima li grijanja/hlađenja te koje energente koriste za grijanje i pripremu potrošne tople vode, koja rasvjetna tijela koriste, koje uređaje koriste i u kojim količinama, da li koriste telefon ili internet. Na kraju ankete, stanovnici su se izjašnjavali da li žele sudjelovati u zadruzi s ostalim stanovnicima u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora te je velika većina potvrdno odgovorila (Slika 6). Taj podatak je bitan kako bi se mogla provesti analiza energetski neovisnog otoka jer su stanovnici ključan nositelj promjena, bez njihovog učešća nije moguće postići korak prema obnovljivim izvorima energije.



Slika 6. Proizvodnja el. energije u zadruzi

Podaci iz ankete su se koristili za procjenu potrošnje električne energije po kućanstvima na otoku. U anketi su stanovnici također naveli tehničke podatke o kući, kao što su površina kuće, prozora i vrata, zidova, debljina zida te koliko se površine grije. Ti podaci su dobro poslužili za modeliranje toplinskog opterećenja.

Cilj ovog rada je prikazati kako integracija solarnih fotonaponskih sustava utječe na energetski sustav otoka Unije te kako se može povećati utjecaj obnovljivih izvora energije uvođenjem toplinskog spremnika i baterija za pohranu električne energije. Analizirat će se

nekoliko scenarija koji će se usporediti kako bi se prikazalo koja je opcija najbolja u odnosu na udio električne energije iz obnovljivih izvora.

U prvom dijelu rada je modelirana potrošnja električne energije po kategorijama u programu *Microsoft Excel.* Izračunata je ukupna godišnja potrošnja električne energije, a kućanstva su podijeljena na sezonska i stalno naseljena. U drugom dijelu rada su napravljeni proračuni u programu *EnergyPLAN*. Prvo je odrađena validacija modela za bazni scenarij s 2017. kao baznom godinom. Zatim je analizirano četiri scenarija: fotonaponski sustavi bez pametnih komponenti u kućanstvima, fotonaponski sustavi s pametnim uređajima za grijanje, hlađenje i potrošnu toplu vodu, fotonaponski sustavi s baterijama i kombinacija sustava iz prva tri scenarija.

2. METODE I MODELI

2.1. Modeliranje potrošnje električne energije u kućanstvima

Da bi se izračunala trenutna potrošnja električne energije u kućanstvima, potrebno je imati okvirne podatke o potrošnji, dok se detaljniji podaci procjenjuju [13] [14]. Prema podacima iz HEP-a, potrošnja električne energije 2010. godine na cijelom otoku iznosila je 590 MWh [11] dok su noviji podaci za 2017. godinu 503 MWh, a za 2018. godinu 525 MWh [12]. Tako je potrošnja u kućanstvima 2017. godine iznosila 377,755 MWh (Slika 7), a 2018. godine 388,896 MWh (Slika 8).

Godina: 2017

Kategorija: Javna rasvjeta		
Broj potrošača po kategoriji Javna rasvjeta	*1*	
Ukupno kwh po kategoriji Javna rasvjeta		*14.979 kwh*
Kategorija: Kućanstvo		
Broj potrošača po kategoriji Kućanstvo	*274*	
Ukupno kwh po kategoriji Kućanstvo		*377.755 kwh*
Kategorija: Poduzetništvo		
Broj potrošača po kategoriji Poduzetništvo	*35*	
Ukupno kwh po kategoriji Poduzetništvo		*110.273 kwh*
Ukupno godina 2017	*310*	*503.007 kwh*

Slika 7. Potrošnja električne energije za otok Unije, 2017. godina [12]

Godina: 2018

Kategorija: Javna rasvjeta		
Broj potrošača po kategoriji Javna rasvjeta	*1*	
Ukupno kwh po kategoriji Javna rasvjeta		*14.480 kwh*
Kategorija: Kućanstvo		
Broj potrošača po kategoriji Kućanstvo	*279*	
Ukupno kwh po kategoriji Kućanstvo		*388.896 kwh*
Kategorija: Poduzetništvo		
Broj potrošača po kategoriji Poduzetništvo	*23*	
Ukupno kwh po kategoriji Poduzetništvo		*121.267 kwh*
Ukupno godina 2018	*303*	*524.643 kwh*

Slika 8. Potrošnja električne energije za otok Unije, 2018. godina [12]

Vidi se da je potrošnja manja nego 2010. godine, stoga će se za proračun kao referentna godina uzeti 2017., u kojoj potrošnja iznosi $E_{el,god} = 377{,}755$ MWh. Preko podataka iz ankete, određenih faktora i procjena će se napraviti matematički model u kojem će se modelirati godišnja potrošnja električne energije u sektoru kućanstva. Kućanstva su podijeljena u dvije kategorije: stalno naseljena i sezonska. Stalno naseljenih kućanstava je 47 i za njih je izračunata potrošnja za svih 12 mjeseci u godini. Sezonskih je 245 iz ankete, međutim po zadnjim podacima o potrošnji je vidljivo da ih je manje (Dodatak – Brojila električne energije za 2017. godinu). Za proračun je uzeta procjena od 220 sezonskih kućanstava te je za njih izračunata potrošnja od travnja do listopada.

Potrošnja jednog kućanstva je podijeljena u šest karakterističnih kategorija: rasvjeta, grijanje, hlađenje, kućanski uređaji, potrošna topla voda (u daljnjem tekstu PTV) i kuhanje (štednjak). Detaljno će se opisati proračun za svaku kategoriju. Izračunata je maksimalna dnevna vrijednost električne energije za jedno prosječno kućanstvo, a zatim se uvođenjem koeficijenata računala dnevna potrošnja svih kućanstava te na kraju mjesečna i godišnja vrijednost.

2.1.1. Rasvjeta

U anketi su korisnici naveli koje vrste i koliki broj žarulja imaju u kućanstvu. Po tim podacima se računao prosjek po jednom kućanstvu (Tablica 1).

Rasvjeta	Snaga jedne žarulje	kom/objektu	h/objektu dnevno
Žarna nit	0,06 kW	9	3
Fluorescentna	0,02 kW	0,94	3
Štedna	0,01 kW	1,81	3

Tablica 1. Rasvjeta za jednu prosječnu kuću

Maksimalna dnevna potrošnja električne energije za rasvjetu se računa preko jednadžbe:

$$E_{ras,ob} = (P_{ras1} \cdot n_{ras1} + P_{ras2} \cdot n_{ras2} + P_{ras3} \cdot n_{ras3}) \cdot t_{ras} \quad (1)$$

gdje je $E_{ras,ob}$ maksimalna dnevna potrošnja električne energije za rasvjetu po jednom objektu u kWh, $P_{ras,n}$ snaga pojedine vrste žarulja u kW, $n_{ras,n}$ broj pojedine vrste žarulja po jednom objektu, a t_{ras} vrijeme rada žarulje u jednom danu u h.

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za rasvjetu se računa preko jednadžbe:

$$E_{ras,uk} = E_{ras,ob} \cdot n_{ob} \quad (2)$$

gdje je $E_{ras,uk}$ ukupna dnevna potrošnja električne energije za rasvjetu za sve objekte u kWh, a n_{ob} broj objekata.

2.1.2. Grijanje

U anketi se 81% kućanstava izjasnilo da koristi grijanje, ostali koji su se izjasnili da ne koriste grijanje su sezonska kućanstva. Samo 25% kućanstava se izjasnilo da ima split-klima uređaje za grijanje/hlađenje. Od kućanstava koja su se izjasnila da koriste grijanje, 42% se grije na električnu energiju (ostali se uglavnom griju na drva), a taj podatak nam je bitan za analizu potrošnje električne energije. Od toga, 73% otpada na split-klima uređaje, dok 27% otpada na klasične električne grijalice. Stoga se posebno računala potrošnja kućanstava koje koriste grijalice te ona koja koriste split-klima uređaje za grijanje.

Maksimalna dnevna potrošnja električne energije za grijanje za split-klima uređaje se procijenila na sljedeći način: prosječna snaga uređaja je 1 kW, a pretpostavlja se da radi 8 h dnevno pa se dobije

$$E_{gr,kl,ob} = 8 \text{ kWh}$$

Za električne grijalice se uzela vrijednost

$$E_{gr,eg,ob} = 25 \text{ kWh}$$

jer se samo električna energija pretvara u toplinsku, dok klima uređaji imaju prosječni koeficijent učinkovitosti (eng. *COP-Coefficient of performance*) od 3 do 4.

S obzirom na to da se samo 42% kućanstva grije na električnu energiju, potrebno je taj postotak uračunati u ukupnu dnevnu potrošnju električne energije za grijanje:

$$E_{gr,kl,uk} = E_{gr,kl,ob} \cdot n_{ob} \cdot x_{gr,kl} \cdot 0{,}42 \quad (3)$$

$$E_{gr,eg,uk} = E_{gr,eg,ob} \cdot n_{ob} \cdot x_{gr,eg} \cdot 0{,}42 \quad (4)$$

gdje je $E_{gr,kl,uk}$ ukupna maksimalna dnevna potrošnja električne energije za grijanje na split-klima uređaje za sve objekte u kWh, $E_{gr,eg,uk}$ ukupna maksimalna dnevna potrošnja električne energije za grijanje na električne grijalice za sve objekte u kWh, $E_{gr,kl,ob}$ maksimalna dnevna potrošnja električne energije za grijanje na split-klima uređaje po objektu u kWh, $E_{gr,eg,ob}$ maksimalna dnevna potrošnja električne energije za grijanje na električne grijalice po objektu u kWh, $x_{gr,kl} = 0{,}73$ je udio kućanstava koja se griju na split-klima uređaje, a $x_{gr,eg} = 0{,}27$ je udio kućanstava koja se griju na električne grijalice.

2.1.3. Hlađenje

Kao što je već napisano u poglavlju grijanja, samo 25% kućanstava ima split-klima uređaje, pa je s tim podatkom računata potrošnja električne energije za hlađenje.

Maksimalna dnevna potrošnja električne energije za hlađenje se procijenila na isti način kao za grijanje preko split-klima uređaja: prosječna snaga uređaja je 1 kW, a pretpostavlja se da radi 8 h dnevno pa se dobije

$$E_{hl,ob} = 8 \text{ kWh}$$

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za hlađenje je

$$E_{hl,uk} = E_{hl,ob} \cdot n_{ob} \cdot 0{,}25 \tag{5}$$

gdje je $E_{hl,uk}$ ukupna maksimalna dnevna potrošnja električne energije za hlađenje u kWh, $E_{hl,ob}$ maksimalna dnevna potrošnja električne energije za hlađenje po objektu u kWh, a 0,25 je postotak kućanstava koja koriste split-klima uređaje.

2.1.4. Potrošna topla voda (PTV)

Potrebna električna energija za PTV po osobi se računala po sljedećoj jednadžbi:

$$E_{PTV,os} = (V_v \cdot c_v \cdot \rho_v \cdot \Delta T \cdot \eta)/3600 \tag{6}$$

gdje je $E_{PTV,os}$ potrebna električna energija za PTV po osobi u kWh, V_v je potrebna količina vode po osobi u m^3, c_v je specifični toplinski kapacitet vode u kJ/kg℃, ρ_v je gustoća vode u kg/m^3, ΔT je razlika temperature u ℃, a η je iskoristivost bojlera.

U anketi se 94% kućanstava izjasnilo da koristi električnu energiju za PTV, stoga se taj faktor treba uračunati u ukupnu potrošnju električne energije za PTV. Također, za stalno naseljena kućanstva je računat prosjek od 2 osobe, a za sezonska prosjek od 3 osobe po kućanstvu.

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za PTV je

$$E_{PTV,uk} = E_{PTV,os} \cdot n_{ob} \cdot n_{os} \cdot 0{,}94 \tag{7}$$

gdje je $E_{PTV,uk}$ ukupna dnevna potrošnja električne energije za PTV u kWh, n_{os} broj osoba u kućanstvu, a 0,94 je postotak kućanstava koja koriste električnu energiju za PTV.

2.1.5. Kućanski uređaji

U anketi su se korisnici također izjašnjavali kakve uređaje imaju u kućanstvu. Po tim podacima izračunao se prosjek po kućanstvu i procijenjena potrošnja (Tablica 2).

Kućanski uređaji	Ukupno uređaja	Prosjek po objektu	kWh/danu
TV	30	0,94	0,1
Računalo	19	0,59	0,2
Perilica rublja	27	0,84	1
Perilica suđa	9	0,28	1
Hladnjak	41	1,28	1
Ledenica	38	1,19	2
Friteza	10	0,31	0,1

Tablica 2. Kućanski uređaji

Kod kućanskih uređaja je teško izračunati koliko troše jer potrošnja ovisi o energetskom razredu aparata, navikama ukućana, broju ukućana itd [14]. U gornjoj tablici je navedena dnevna potrošnja koja je u praksi manja za otok Unije jer u stalno naseljenim kućanstvima žive prosječno 2 osobe. Stoga je procijenjen faktor korištenja uređaja f_{ur} =0,7 jer su manja kućanstva i ne koriste se svi uređaji svakodnevno, dok je za sezonska kućanstva f_{ur} =0,35 (pretpostavlja se da većina turista ne koristi dio tih uređaja, npr. perilica suđa, perilica rublja). Faktori su procijenjeni na temelju podataka o prosječnom kućanstvu [14] te nisu nužno ispravni. Uvođenjem pametnih mjernih uređaja će se moći preciznije i točnije odrediti potrošnja pojedinog uređaja, za razliku od dosadašnje procjene.

Formula po kojoj se računala potrošnja je

$$E_{ur,ob} = (\sum_{x=1}^{7} E_{ur,x} \cdot x_{ur,x}) \cdot f_{ur} \quad (8)$$

gdje je $E_{ur,ob}$ maksimalna dnevna potrošnja električne energije za uređaje u kWh po objektu, $E_{ur,x}$ procijenjena dnevna potrošnja pojedinog uređaja (ukupno 7 uređaja) u kWh, f_{ur} je faktor korištenja uređaja, a $x_{ur,x}$ prosjek pojedinog uređaja po jednom objektu.

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za uređaje za sva kućanstva je

$$E_{ur,uk} = E_{ur,ob} \cdot n_{ob} \quad (9)$$

2.1.6. Štednjak

Potrošnja električne energije za štednjak je izdvojena iz ostalih uređaja jer ne koriste sva kućanstva električnu energiju. Većina ih koristi UNP, a neka koriste drva. Samo 28% kućanstava koristi električnu energiju za štednjak, stoga se u proračun mora uvrstiti faktor 0,28. Dodatno, za sezonska kućanstva je uvršten faktor $f_{št}$ =0,3 jer većina turista ne koristi štednjak (za stalno naseljena $f_{št}$ =1). Faktor je procijenjen i nije nužno ispravan jer ne postoje detaljniji podaci o potrošnji.

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za štednjak

$$E_{št,uk} = E_{št,ob} \cdot n_{ob} \cdot f_{št} \cdot 0{,}28 \tag{10}$$

gdje je $E_{št,ob}$ maksimalna dnevna potrošnja električne energije za štednjak u kWh, $f_{št}$ faktor korištenja štednjaka, a 0,28 broj kućanstava koja koriste električnu energiju za štednjak.

2.2. Godišnja potrošnja električne energije u kućanstvima

Nako što su izračunati svi potrošači električne energije, potrebno je izračunati godišnju potrošnju električne energije. Potrošnja u prethodnim poglavljima je izračunata za maksimalno dnevno opterećenje pa se moraju uvesti dodatni koeficijenti za godišnju razinu. Sljedeća tablica pokazuje potrebne podatke za proračun:

Mjesec	Koef.grij./hl., $x_{gr,hl}$	Koef. popunj. (kućanstva), x_{pop1}	Koef. popunj. (sezonski), x_{pop2}	Dani u mjesecu, n_{dan}
1	1	1	0	31
2	0,8	1	0	28
3	0,6	1	0	31
4	0,3	1	0,1	30
5	0,5	1	0,2	31
6	1	1	0,5	30
7	1	1	1	31
8	1	1	1	31
9	0,5	1	0,5	30
10	0,3	1	0,2	31
11	0,8	1	0	30
12	1	1	0	31

Tablica 3. Koeficijenti za proračun godišnje potrošnje električne energije u kućanstvima

Kao što je vidljivo iz tablice, sezonska kućanstva se koriste od travnja do listopada. Koeficijent popunjenosti je određen brojem turista. Koeficijenti su odabrani iz analize dolazaka ljudi katamaranom na otok [11]. Primjerice za srpanj i kolovoz je koeficijent 1 a to znači da su kapaciteti popunjeni 100%, u slučaju otoka Unije za proračun je određeno 800 turista. Za stalno naseljena kućanstva je tijekom cijele godine koeficijent 1.

Koeficijent grijanja i hlađenja je određen procjenom vanjske temperature pa su tako najhladniji mjeseci prosinac i siječanj određeni koeficijentom 1. U poglavlju izrade scenarija se izračunala satna potrošnja električne energije za grijanje i hlađenje, ovi koeficijenti su samo procjena. Grijanje je za period od listopada do ožujka, a hlađenje od travnja do rujna. Za sezonska kućanstva nije računato grijanje jer se ne koristi s obzirom na ljetnu sezonu.

Detaljni proračun se napravio za svaku kategoriju po mjesecima, zasebno za stalno naseljena kućanstva i sezonska. Zbog preglednosti, ovdje će se prikazati jednadžbe po kojima se se računalo, a detalji će biti priloženi na kraju rada.

$$E_{god} = E_{god1} + E_{god2} \tag{11}$$

gdje je E_{god} ukupna godišnja potrošnja električne energije u sektoru kućanstvo za otok Unije u kWh, E_{god1} je ukupna godišnja potrošnja električne energije za stalno naseljena kućanstva u kWh, a E_{god2} je ukupna godišnja potrošnja električne energije za sezonska kućanstva u kWh.

$$E_{god,x} = \sum E_{mj,n} \tag{12}$$

gdje je $E_{god,x}$ ukupna godišnja potrošnja električne energije za stalno naseljena ili sezonska kućanstva u kWh, a $E_{mj,n}$ ukupna mjesečna potrošnja električne energije za stalno naseljena ili sezonska kućanstva u kWh, n=12 (broj mjeseci).

$$E_{mj,n} = \sum E_{mj,x} \tag{13}$$

gdje je $E_{mj,x}$ ukupna mjesečna potrošnja električne energije određene kategorije u kWh.

$$E_{mj,x} = E_{uk,x} \cdot x_{pop,x} \cdot n_{dan} \tag{14}$$

gdje je $E_{uk,x}$ ukupna maksimalna dnevna potrošnja električne energije pojedine kategorije u kWh, $x_{pop,x}$ koeficijent popunjenosti kućanstva, a n_{dan} broj dana u određenom mjesecu.

Za grijanje i hlađenje ide množenje dodatnim koeficijentom $x_{gr,hl}$

$$E_{mj,gr(hl)} = E_{uk,x} \cdot x_{pop,x} \cdot n_{dan} \cdot x_{gr,hl} \quad (15)$$

2.3. Karakteristično kućanstvo

Iz podataka o godišnjoj potrošnji svih kućanstava može se izračunati prosjek potrošnje jednog kućanstva. S obzirom na to da je fokus na stalno naseljenim kućanstvima, računat će se samo njihov prosjek. Međutim, razlikovat će se pojmovi prosječno i karakteristično kućanstvo. Prosječno kućanstvo je **prosjek** ukupne potrošnje električne energije sveden na jedno kućanstvo i to je sadašnje stanje, dok je karakteristično kućanstvo ono za koje je pretpostavka da isključivo troši električnu energiju te kako će u budućnosti sva kućanstva koristiti **isključivo** električnu energiju. Kao što je navedeno u anketi, kućanstva koriste i ostale energente, kao što su UNP ili drvo, stoga će karakteristično kućanstvo imati veću potrošnju, jer će prelazak s ostalih energenata na električnu energiju dovesti do porasta.

Kategorija	Dnevna potrošnja, kWh
Rasvjeta	1,62
Grijanje (split-klima)*	8
Hlađenje**	8
Uređaji	3,52
PTV	2,94
Štednjak	2

Tablica 4. Dnevna potrošnja karakterističnog kućanstva
(*računato za razdoblje listopad-ožujak **računato za razdoblje travanj-rujan)

Karakteristično kućanstvo je ono s potrošnjom po jednom objektu (Tablica 4), s izuzetkom grijanja na grijalice jer se računalo grijanje i hlađenje na split-klima uređaje. Jednadžbe se neće ponavljati jer su navedene u prethodnim poglavljima. Grijanje je računato za razdoblje od listopada do ožujka, a hlađenje za razdoblje od travnja do rujna.

Godišnja potrošnja po mjesecima se računala jednako kao i u prethodnim poglavljima, ali bez koeficijenata za grijanje/hlađenje, PTV i štednjak na električnu energiju jer se pretpostavlja da će sva kućanstva preći na električnu energiju.

2.4. Projektiranje toplinskog i rashladnog opterećenja

Za odabir kapaciteta ogrijevnog i rashladnog uređaja u kućanstvu, mora se izračunati projektno toplinsko i rashladno opterećenje. Projektna opterećenja označavaju onaj toplinski tok koji je potrebno dovesti da bi se postigla unutarnja projektna temperatura. U ovom radu će se izračunati samo transmisijski gubici od grijanog prostora prema vanjskom okolišu. Prvo se iz *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* očitaju vanjske projektne temperature za naselje koje se računa. S obzirom da je otok Unije najbliži Malom Lošinju, očitani su podaci za Mali Lošinj.

U anketi je navedeno da se grije samo 37% površine, pa se i taj faktor mora uračunati. Jednadžba za projektiranje toplinskog opterećenja je

$$\Phi_{gr} = \left[\left(A_z - A_p\right) \cdot U_z + A_p \cdot U_p\right] \cdot \left(\vartheta_{un,gr} - \vartheta_{proj,gr}\right) \cdot 0{,}37 \tag{16}$$

gdje je Φ_{gr} projektno toplinsko opterećenje u W, $\vartheta_{proj,gr}$ $v$anjska projektna temperatura zraka za grijanje u °C, $\vartheta_{un,gr}$ unutarnja projektna temperatura za grijanje u °C, U_z prosječni koeficijent prolaza topline za zidove u W/m^{2}K, U_p prosječni koeficijent prolaza topline za prozore u W/m^{2}K, A_z prosječna površina svih vanjskih zidova u m^2, A_p prosječna površina prozora i vrata u m^2, a $\vartheta_{un,gr}$ unutarnja projektna temperatura za grijanje u °C.

Jednadžba za projektiranje rashladnog opterećenja je

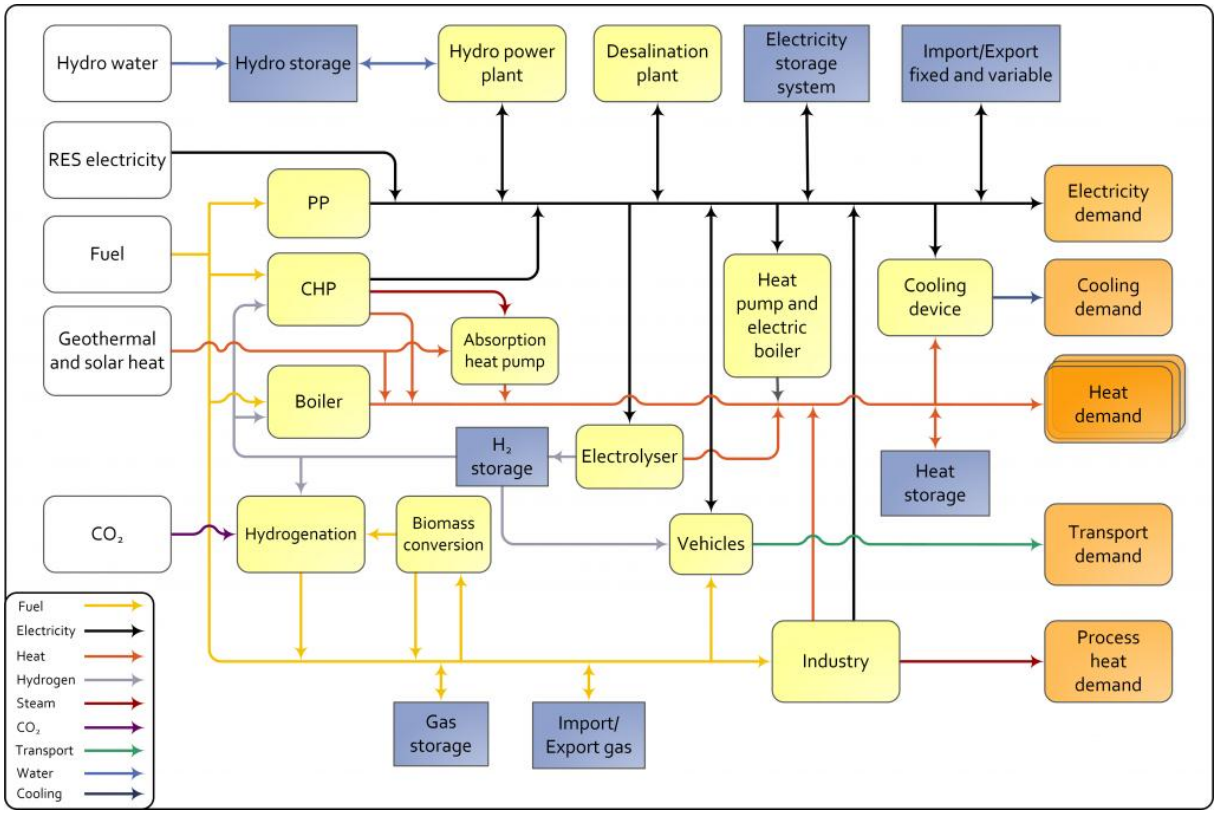
$$\Phi_{hl} = \left[\left(A_z - A_p\right) \cdot U_z + A_p \cdot U_p\right] \cdot \left(\vartheta_{proj,hl} - \vartheta_{un,hl}\right) \tag{17}$$

gdje je Φ_{hl} projektno rashladno opterećenje u W, $\vartheta_{proj,hl}$ vanjska projektna temperatura zraka za hlađenje u °C, a $\vartheta_{un,hl}$ unutarnja projektna temperatura za hlađenje u °C.

2.5. EnergyPLAN

U drugom dijelu rada za izradu različitih scenarija koristit će se softver *EnergyPLAN*, a podaci će se prikazivati preko programa *Microsoft Excel*. *EnergyPLAN* simulira rad nacionalnih energetskih sustava na satnim vrijednostima od 8784 koraka (za svaki sat u godini), uključujući sektore električne energije, grijanja, hlađenja, industrije i transporta. Ulazni podaci modela su potrošnja energije, obnovljivi izvori, instalirana snaga postrojenja, fiksni i varijabilni troškovi. Izlazi su energetske bilance i godišnje proizvodnje energije, potrošnja goriva, uvoz/izvoz električne energije i ukupni troškovi sustava [15].

Model ima sučelje prilagođeno korisniku, postoji niz treninga i uputa i distribuira se kao besplatan program. Glavna svrha *EnergyPLAN* modela je analiza energetskog, ekološkog i ekonomskog utjecaja različitih energetskih strategija. Ključni je cilj modelirati različite opcije kako bi se one mogle usporediti jedna s drugom, a ne modelirati jedno „optimalno“ rješenje na temelju definiranih preduvjeta. Koristeći ovu metodologiju, moguće je ilustrirati nekoliko opcija za energetski sustav, a ne samo jedno rješenje. To bi moglo klasificirati *EnergyPLAN* kao "simulacijski" alat, a ne kao alat za optimizaciju, iako postoji određena optimizacija unutar modela [15]. Slika 9 prikazuje dijagram toka i način modeliranja u softveru *EnergyPLAN*.



Slika 9. Dijagram toka modeliranja u softveru *EnergyPLAN* [15]

3. ODABIR SUSTAVA

3.1. Odabir uređaja za grijanje, hlađenje i PTV

Nakon što su izračunata projektna opterećenja, potrebno je odabrati uređaj za grijanje, hlađenje i PTV. S obzirom na to da se ide prema novim tehnologijama, odabrat će se dizalica topline za grijanje, hlađenje i PTV.

Odabrana je dizalica topline zrak/voda *Nimbus Flex 40 S Net* od 4 kW proizvođača Ariston. Dizalica obuhvaća vanjsku jedinicu, unutarnju jedinicu, spremnik za PTV od 180 litara, vanjski senzor te uređaje za spajanje na internet (Slika 10). Energetska učinkovitost ove dizalice je A++. Zahvaljujući *Light Gateway* uređaju uvijek je spojena na internet. Spremnik za PTV ima ugrađen grijač kako bi se omogućio komfor korisniku ako je potrebno brzo zagrijati vodu [19].



Slika 10. Nimbus Flex 40 S Net s pripadajućim dijelovima [19]

Također, pomoću aplikacije (Slika 11) se može pratiti i kontrolirati dizalica topline bez obzira gdje se nalazili. Praćenjem potrošnje se mogu postići značajne uštede energije. Aplikacija upozorava korisnika na probleme te je spojena sa servisnim centrom koji može udaljenim putem riješiti poteškoće.

Pametne tehnologije su ključ prema energetski održivom otoku. Osim što omogućavaju kontrolu i praćenje podataka, prate navike potrošača te raznim algoritmima određuju u kojem režimu će uređaj raditi, što smanjuje potrošnju i povećava energetsku efikasnost te komfor potrošača. U poglavlju 3.3 će se navesti pametni uređaji za korištenje u kućanstvu.



Slika 11. Izgled aplikacije na mobilnom uređaju [19]



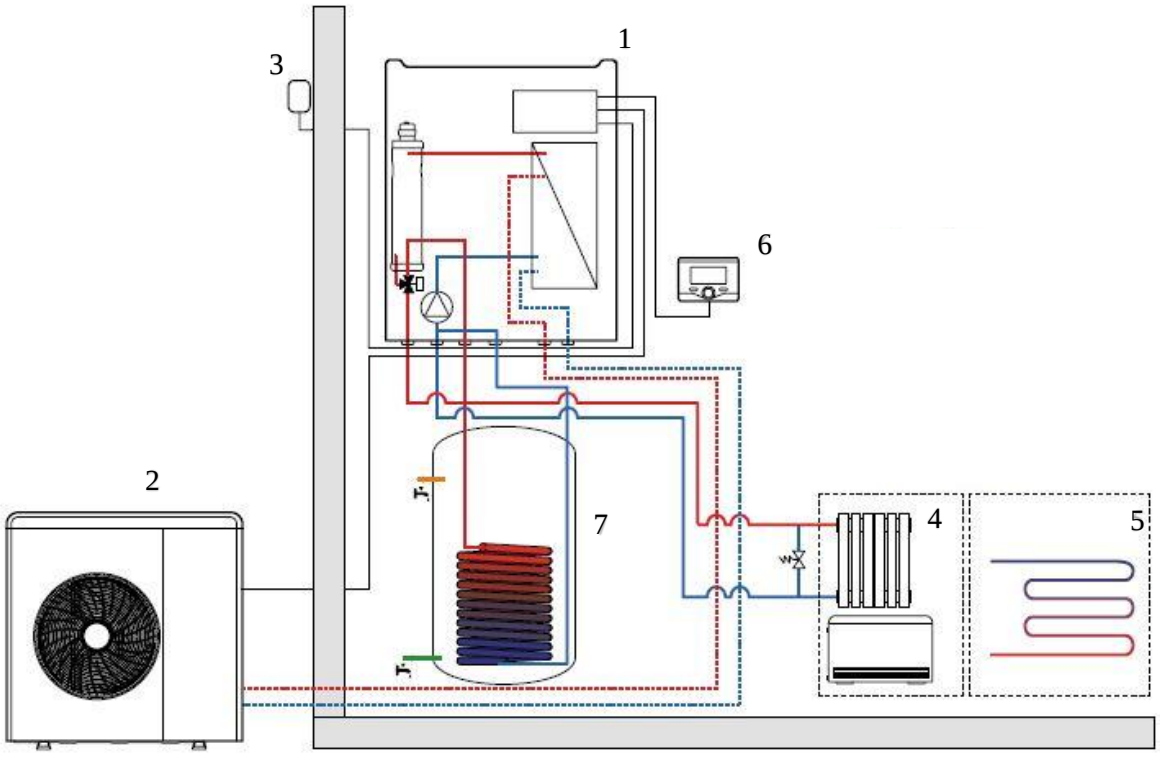
Slika 12. Sensys upravljački uređaj i light gateway [19]

Dizalica topline ima sljedeće funkcije, koje se mogu mijenjati na zaslonu *Sensys*-a:

- Auto – maksimalna ušteda energije, dizalica odabire najpovoljniji režim rada s obzirom na vanjske uvjete
- Green – uređaj radi isključivo u režimu dizalice topline, grijanje vode do 65 °C
- Boost – smanjuje vrijeme grijanja vode, uređaj radi istovremeno u režimu dizalice topline i električnog grijača vode [19]

Zahvaljujući DC inverterskom kompresoru, može se optimalno regulirati frekvencija i snaga umanjujući cikluse isključivanja/uključivanja.

Sljedeća slika prikazuje shemu spajanja dizalice topline.



Slika 13. Shema dizalice topline [19]

Legenda:

1 – unutarnja jedinica

2 – vanjska jedinica

3 – vanjski senzor

4 – visokotemp. grijanje/klima uređaj

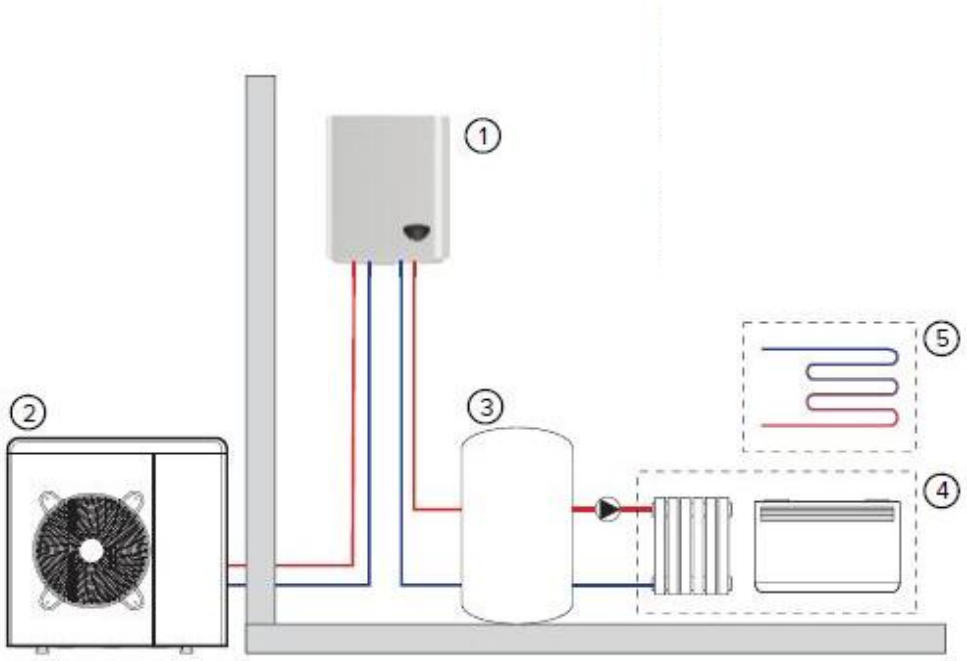
5 – nisokotemp. grijanje

6 – Sensys upravljački uređaj

7 – spremnik PTV

Kao dodatni pribor još postoje sljedeće mogućnosti:

1) *Buffer* funkcija - izvedba s toplinskim spremnikom (*bufferom*) koji omogućava veću fleksibilnost s dovoljnom količinom tople vode (Slika 14). Smanjuje rizik od smrzavanja vanjske jedinice jer je u njemu topla voda potrebna za cirkulaciju sustava. Čak i ako se radi o kratkim vremenskim razdobljima, istovremeno se može dobiti i klimatizacija i topla voda [19].

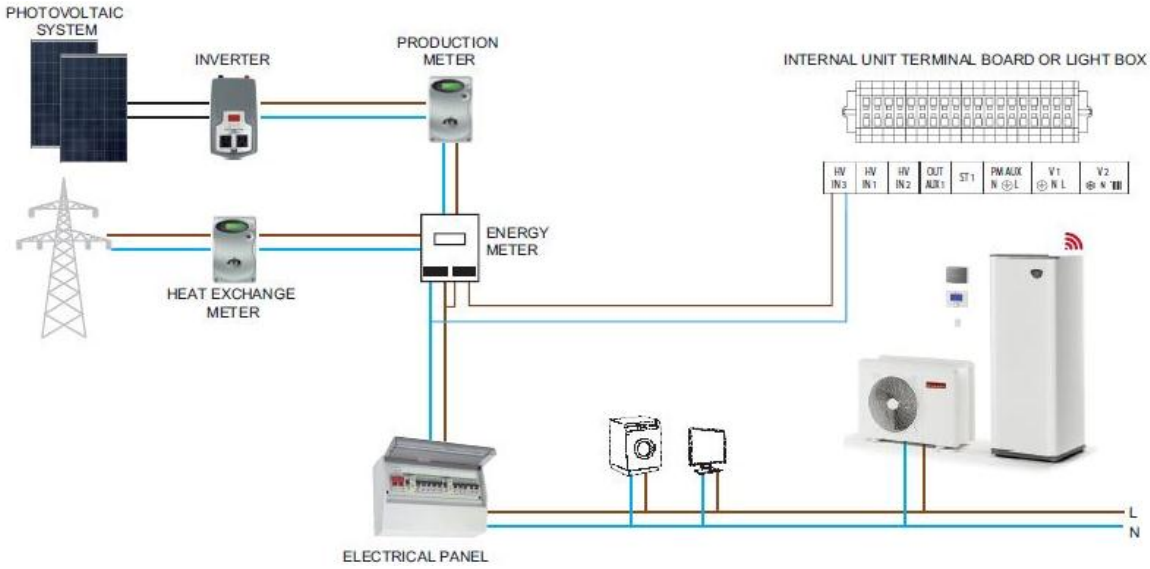


Slika 14. Nimbus dizalica topline s toplinskim spremnikom [19]

Legenda:

1 – unutarnja jedinica
2 – vanjska jedinica
3 – toplinski spremnik (*buffer*)
4 – visokotemp. grijanje
5 – nisokotemp. grijanje

2) PV funkcija – dizalica topline koristi i optimizira električnu energiju proizvedenu fotonaponskim (PV panel) sustavom (Slika 15) i pohranjuje ga u obliku toplinske energije u spremniku PTV ili toplinskom spremniku (dakle, u dijelu PTV u sustavu). Postavljena temperatura spremnika PTV/toplinskog spremnika se automatski povećava za 20℃ u usporedbi s normalnim radom. Funkcija se uključuje automatski kada se signal izmjenične struje 230 V pošalje od mjerača energije fotonaponskog sustava (komponenta izvan sustava) na kontrolnu ploču dizalice topline [19].



Slika 15. PV panel spojen u sustavu s dizalicom topline [19]

3.2. Određivanje kapaciteta fotonaponskog sustava, spremnika i baterija

U prethodnom poglavlju se spomenula mogućnost spajanja dizalice topline s toplinskim spremnikom i/ili fotonaponskim sustavom. U ovom poglavlju će se razmotriti koje su opcije integriranja takvog sustava te kako ga dimenzionirati. Analiza se temelji na modelu koji je već napravljen i detaljno objašnjen za slično kućanstvo u Portugalu [20]. Optimalan kapacitet fotonaponskog sustava prema tom modelu je od 1 do 2,5 kW_p.

Električni sustavi PTV u kućanstvu su vrlo bitan alat u upravljanju potražnje energije, jer mogu „pomicati“ razdoblja vršnih opterećenja, stoga mogu povećati vlastitu fotonaponsku potrošnju. Pravilnom optimizacijom i regulacijom, integracija dizalice topline, spremnika i fotonaponskog sustava može povećati efikasnost procesa, omogućiti kućanstvu energetsku neovisnost i smanjiti vršna opterećenja mreže. Također, na strani potražnje energije moći će se uštediti tako što će se energija pohranjivati u razdobljima jeftinije električne energije. Širenjem proizvodnje obnovljivih izvora energije potrošač će ujedno biti i proizvođač (eng. *prosumer*) [20]. Međutim, problem obnovljivih izvora energije je njihova intermitentnost – nestalni su, uzrokuju nestabilnosti u mreži te je ključni zadatak kako ih pravilno integrirati u elektroenergetski sustav.

Nekoliko pojmova se javlja u modelu za integraciju PV, dva su bitna za daljnje razumijevanje: odziv na potražnju i vlastita potrošnja [20].

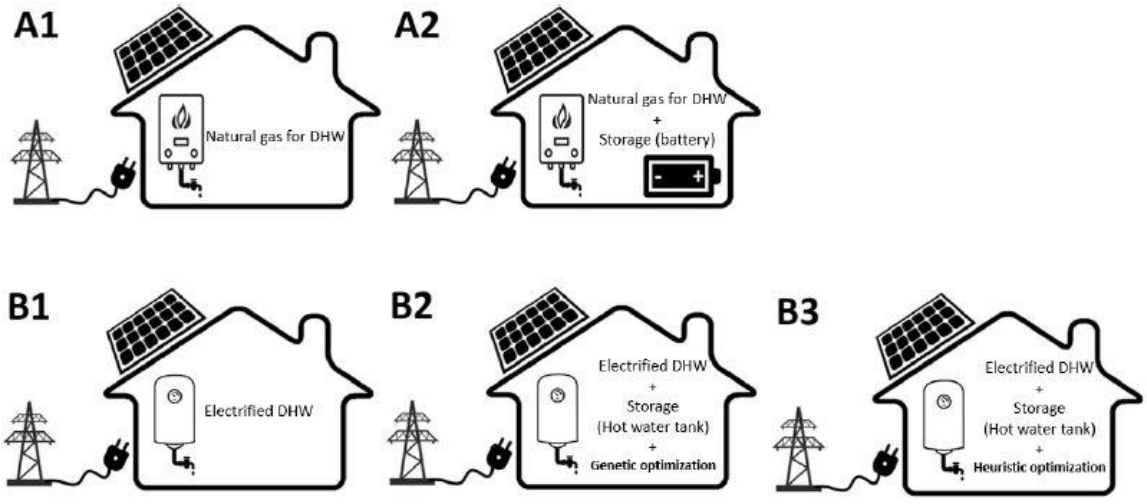
Odziv na potražnju (eng. *Demand Response*, u daljnjem tekstu DR) se definira kao trenutno reguliranje potražnje energije od strane korisnika kao odziv na signal cijene, npr. tržišne cijene

ili tarife, ili od treće strane kao posrednika koji ima ugovor s korisnikom. Po definiciji, DR se može koristiti za pomicanje opterećenja s više tarife na nižu tarifu [20].

Vlastita potrošnja (eng. *Self Consumption*, u daljnjem tekstu SC) obnovljivih izvora energije se definira kao omjer vlastite potrošnje energije proizvedene iz obnovljivih izvora u kućanstvu i ukupno proizvedene energije [20].

Toplinski spremnik (*buffer*) u integraciji s PV sustavom za SC povećava prednosti DR, npr. sposobnost usklađivanja ponude i potražnje, rješavanje problema s promjenjivošću proizvodnje obnovljivih izvora energije te omogućavaju povećanje penetracije obnovljivih izvora. Uz poboljšanje fleksibilnosti mreže, DR također smanjuje operativne troškove vršnih elektrana.

Model je obuhvatio nekoliko scenarija. S obzirom na to da je u nekima plinski bojler, za ovaj rad će se promotriti samo scenariji s električnim bojlerom jer se ide na kompletnu elektrifikaciju otoka. Stoga će se opisati scenariji B1 i B3 sa donje slike (Slika 16).



Slika 16. Scenariji iz analize u Portugalu [20]

B1 – plinski bojler zamijenjen s električnim, cijelo kućanstvo je elektrificirano. Sva potrošnja se pokriva iz PV sustava ili iz mreže ako nema dovoljno PV kapaciteta. Ako postoji višak proizvodnje PV, prodaje se u mrežu.

B3 – višak električne energije proizveden PV sustavom se pohranjuje u *buffer* kao toplinska energija, ako je *buffer* pun onda se višak prodaje u mrežu. Energija iz *buffera* ima prioritet u odnosu na kupnju iz mreže [20].

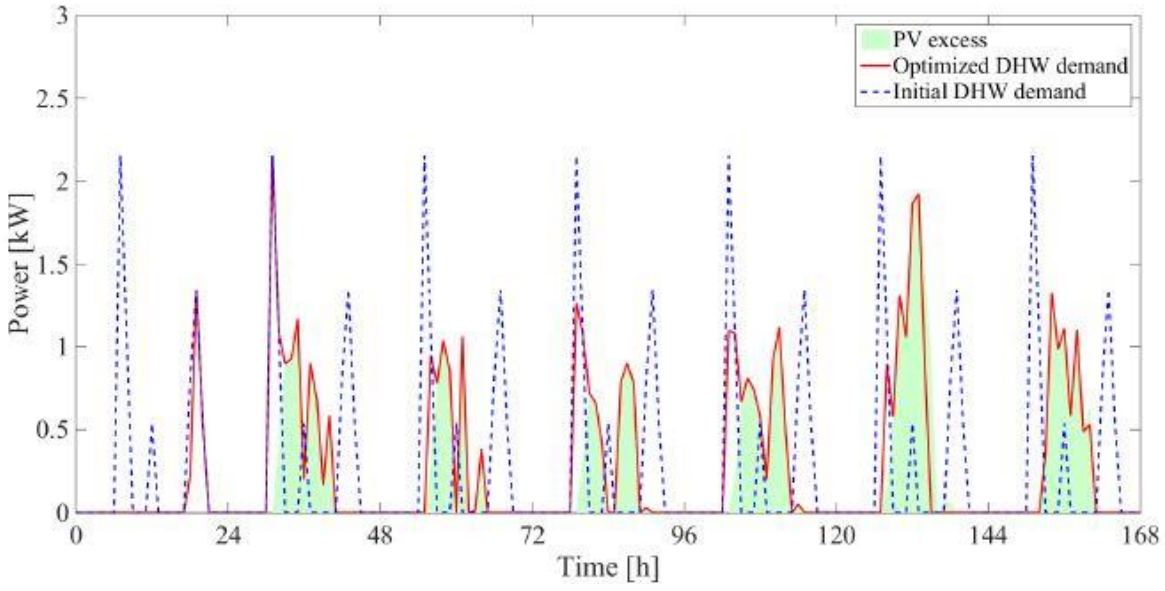
Evaluacija scenarija se procijenjivala s dva faktora: solarni dio (eng. *Solar fraction*) i prosječni trošak energije (eng. *Levelized Cost of Energy*, u daljnjem tekstu LcoE).

Solarni dio je definiran kao omjer SC i ukupne potrošnje električne energije u kućanstvu, izražava se u postotku (%).

LcOE je definiran kao omjer utrošenog novca (investicijski trošak i trošak energije kroz radni vijek, uz uračunatu diskontnu stopu) i ukupne potrošnje energije, izražava se u EUR/kWh.

Podaci za proračun su odabrani u skladu s regulativom u Portugalu, a slični podaci su odabrani i za otok Unije: 40 l/dan tople vode po osobi, ukupno 120 l/dan za kućanstvo u Portugalu [20], ulazna i izlazna temperatura za PTV su 15℃ i 50℃ (5,5 kWh/dan), izlazna temperatura *buffera* je 60℃ .

Iz analize [20] je vidljivo da je najbolji scenarij B3, gdje je najniži LcOE za PV sustav od 2,5 kW_p, dok je solarni dio u tom scenariju 56,9%. Dakle, najniži trošak uz najveću vlastitu potrošnju iz obnovljivih izvora je uz električni bojler s *bufferom* u koji se pohranjuje višak električne energije proizveden iz PV sustava u obliku toplinske energije. *Buffer* u kombinaciji s regulacijom na strani potrošnje daje vrlo dobre rezultate u vidu smanjenja troška energije za veće PV sustave i povećanja vlastite potrošnje energije.



Slika 17. Početna i optimizirana potrošnja PTV te višak PV za tipičan jesenski tjedan, B3 scenarij [20]

Iz gornje slike (Slika 17) je vidljivo kako se pomiče vršna potrošnja za PTV upotrebom B3 scenarija, vršna opterećenja nisu više statična. *Buffer* je omogućio fleksibilnost te zahtjevi ne moraju bit konstantni.

S obzirom da je najviše ljudi na otoku kroz ljetne mjesece (najviše sunca za proizvodnju PV i najviša potrošnja energije), odabrat će se slični sustavi kao na prethodnom portugalskom primjeru. Kapacitet PV za sezonska kućanstva će biti nešto niži jer se koriste samo pola godine.

Kapacitet PV za stalno naseljena kućanstva:

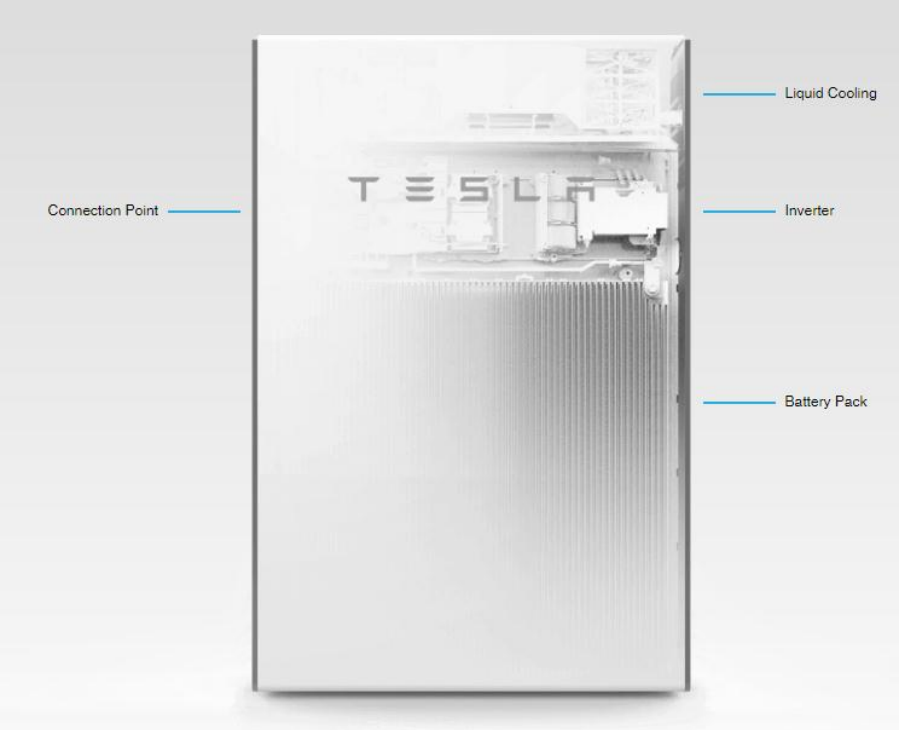
$$P_{PV} = 2{,}5 \text{ kW}_\text{p}$$

Kapacitet PV za sezonska kućanstva:

$$P_{PV} = 1{,}75 \text{ kW}_\text{p}$$

Kapacitet baterije za 3 kućanstva:

$$E_{bat} = 13{,}5 \text{ kWh (4,5 kWh za jedno kućanstvo)}$$



Slika 18. Baterija proizvođača Tesla [16]

Slika 18 prikazuje bateriju kapaciteta 13,5 kWh, snage 5 kW, koja bi pohranjivala električnu energiju za 3 kućanstva. Ukupno bi se instaliralo 90 baterija ukupnog kapaciteta 1,215 MWh.

Toplinski spremnik za stalno naseljena kućanstva:

$$V_{buf} = 80 \text{ L}$$

$$E_{buf} = 8{,}6 \text{ kW (za } \Delta\vartheta_{buf} = 35℃ \text{)}$$

Gdje je E_{buf} maksimalna apsorbirana snaga jednog spremnika. Slika 19 prikazuje toplinski spremnik kapaciteta 80 litara koji bi bio ugrađen u stalno naseljenom kućanstvu u integraciji s dizalicom topline i PV sustavom. Maksimalna apsorbirana snaga za razliku temperatura 35 ℃ iznosi 8,6 kW [17]. Ukupno za sve toplinske spremnike na otoku maksimalna apsorbirana snaga iznosi 400 kW.



Slika 19. Toplinski spremnik proizvođača Ariston [17]

Spremnik PTV:

$$V_{PTV} = 180 \text{ L}$$

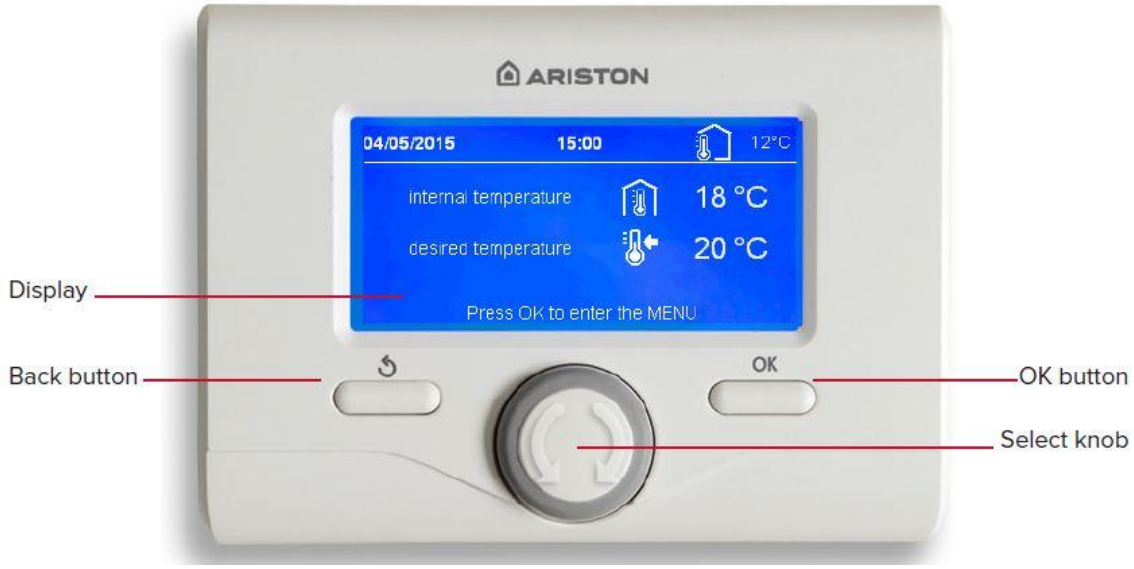
$$\vartheta_{PTV} = 15/50℃$$

Slika 10 prikazuje i spremnik za PTV koji je dio dizalice topline.

3.3. Pametni uređaji

3.3.1. Sensys upravljački uređaj i light gateway

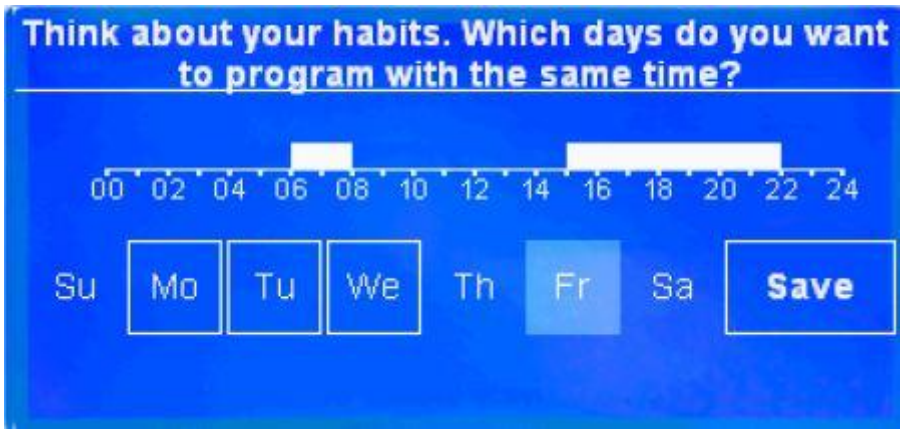
Pomoću upravljačkog termoregulacijskog uređaja mogu se mijenjati postavke i načini rada dizalice. Uređaj je interaktivan i jednostavan za korištenje, kako je prikazano na sljedećoj slici. Ima samo tri tipke s kojima se upravlja sustavom.



Slika 20. Izgled Sensys upravljačkog uređaja [19]

Neke mogućnosti koje se mogu podesiti:

TJEDNO PROGRAMIRANJE – može se odabrati temperatura grijanja za bilo koje doba dana u tjednu, ovisno o potrebama



Slika 21. Tjedno programiranje [19]

PODEŠAVANJE TEMPERATURE PTV – može se podesiti temperatura za točno određeno vrijeme kad je potrebno za tuširanje ili se podesiti *comfort* funkcija za toplu vodu u bilo koje vrijeme

U kombinaciji s *light gateway* uređajem može se povezati na internet.

3.3.2. Mobilna aplikacija

U poglavlju 3.1 se spomenula mogućnost povezivanja na internet preko aplikacije Ariston Net. Prvi korak je registracija korisničkog računa skidanjem aplikacije na mobilni uređaj i povezivanje s dizalicom topline preko postavki mobilnog uređaja. Nakon što su mobilni uređaj i dizalica povezani, preko aplikacije se izvrši prvo spajanje na kućnu mrežu i dizalica se aktivira. Nakon toga, dizalicom se preko aplikacije može upravljati s bilo koje lokacije.

Upravljanjem preko aplikacije postiže se fleksibilnija i ekonomičnija potrošnja. Primjerice, prije dolaska s posla može se uključiti dizalica koja će zagrijati prostor i toplu vodu kako bi se osigurao maksimalan komfor.

Također, nakon povezivanja dizalice na internet, servisni centar ima pristup monitoriranju dizalice (Slika 22) te u slučaju kvara ili greške na dizalici može udaljenim putem riješiti poteškoću (ukoliko nije veći kvar koji je potrebno riješiti intervencijom kod korisnika).



Slika 22. Prikaz svih uparenih uređaja u servisnom centru [19]

Aplikacija ima širok spektar mogućnosti, sve što se može podesiti na *Sensysu*, može se i udaljenim putem preko aplikacije.

Početna stranica pokazuje koje su podešene temperature za grijanje i PTV (Slika 23 - lijevo). Na početnoj stranici se može mijenjati način rada (ljeto, zima...) kao i temperature za grijanje (crveno polje) i PTV (plavo polje).

Potrošnja energije i izvještaj proizvodnje energije iz obnovljivih izvora (Slika 23 - sredina) omogućava u svakom trenutku pristup potrošnji energije, razdvojeno koliko se iskoristilo, a koliko se potrošilo. U slučaju da je prisutan solarni fotonaponski sustav, može se vidjeti proizvodnja energije.

Postavljanjem funkcije praznici (Slika 23 - desno) i odabirom datuma povratka s praznika, sustav radi u *antifreeze* načinu tijekom svih dana, ne dozvoljavajući smrzavanje sustava. Na zadani dan, sustav se pali kako bi kuća bila zagrijana te kako bi se postigao maksimalan komfor.



Slika 23. Različita sučelja na aplikaciji [19]

3.3.3. Senzor vrata i prozora

Senzor detektira otvaranje i zatvaranje ulaznih vrata i prozora. Ako je prozor otvoren, neće dozvoliti paljenje sustava hlađenja kako bi se smanjili nepotrebni troškovi. Postavljanje senzora na ulazna vrata omogućava paljenje svijetla automatski kada se uđe u kuću. Također, senzori mogu djelovati i kao alarm [21].



Slika 24. Senzor vrata i prozora [21]

3.3.4. Senzor kvalitete zraka i CO_2

Energetski učinkoviti digitalni senzori mjere CO_2, a također mogu mjeriti temperaturu i vlažnost. Putem prekidača moguće je modificirati 4 mjerna područja: relativna vlažnost, apsolutna vlažnost, točka rosišta i omjer miješanja. Imaju i dodatnu funkciju s LED ekranom u boji koji signalizira kvalitetu zraka [22].



Slika 25. Senzor kvalitete zraka i CO_2 [22]

3.3.5. Pametno brojilo

Pametno brojilo (eng. *smart meter*) je elektronički uređaj koji mjeri potrošnju električne energije i šalje te podatke dobavljaču električne energije. Obično bilježe satnu potrošnju energije te šalju izvještaj minimum jednom dnevno. Pametna brojila omogućuju dvosmjernu komunikaciju između brojila i središnjeg sustava. Takva napredna mjerna infrastruktura (AMI) razlikuje se od automatskog očitavanja brojila (AMR) po tome što omogućuje dvosmjernu komunikaciju između brojila i dobavljača. Komunikacija s mjernog uređaja na mrežu može biti bežična ili putem fiksnih žičnih veza kao što je mrežni prijenosnik (PLC) [23].

Prednost dvosmjerne komunikacije je što se može pratiti potrošnja energije i vidjeti koje su mogućnosti za uštedu. Primjerice, može se vidjeti u koje vrijeme je jeftinija električna energija koja je isplativija za kupnju, a kada se može vlastita električna energija prodavati natrag u mrežu [23]. Pametno brojilo je ključno u integraciji obnovljivih izvora energije jer bez povratne informacije o potrošnji se ne mogu znati navike potrošača te kada je potrebna veća količina energije.



Slika 26. Pametno brojilo [23]

4. IZRADA SCENARIJA

Kao što je zadano u zadatku diplomskoga rada, potrebno je provesti analizu integracije fotonaponskih elektrana u energetski sustav otoka Unija kroz četiri scenarija. Prvo će se prikazati referentni model za 2017. godinu. Scenariji će se odnositi na implementaciju fotonaponskih elektrana u energetski sustav otoka Unije u kombinaciji s pametnim uređajima, toplinskim spremnikom i baterijama. U svakom scenariju će se dodati PV sustav od 500 kW_p, a pretpostavlja se da se višak energije u prva dva scenarija izvozi, a u trećem i četvrtom pohranjuje u baterijama.

4.1. 1. scenarij: Fotonaponski sustavi bez pametnih komponenti u kućanstvima

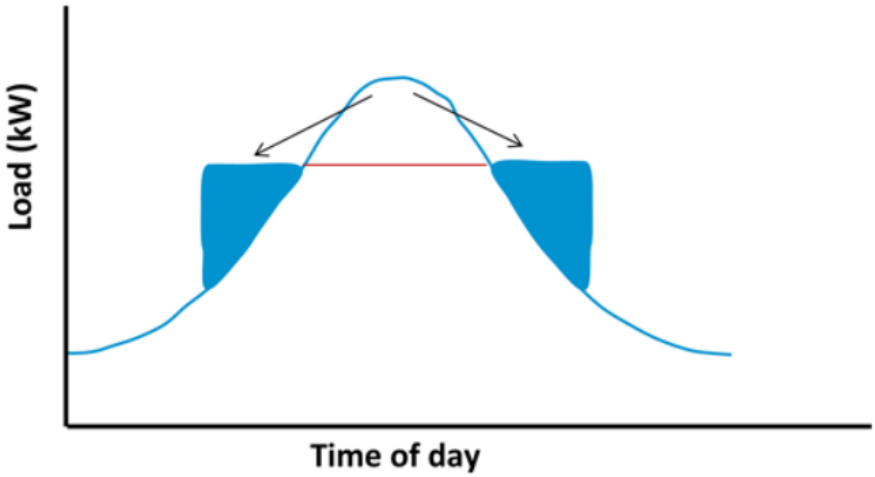
Nakon što se odradi referentni model koji treba pokazati ispravnost metodologije i krivulja, u ovom scenariju će se dodati PV sustav od 500 kW_p za proizvodnju električne energije. Promotrit će se kako sustav djeluje na pokrivanje opterećenja, te koliki je višak proizvedene električne energije. Potrošnja i potreba za električnom energijom je ista kao u referentnom modelu jer su svi sustavi u kućanstvima ostali isti, samo se dodala fotonaponska elektrana od 500 kW_p koja će proizvoditi električnu energiju. Na otoku se trenutno nalazi jedna montažna trafostanica 10(20)/0,4 kV, instalirane snage 400 kW, stoga se postavlja ograničenje od 400 kW za izvoz viška proizvedene električne energije.

4.2. 2. scenarij: Fotonaponski sustavi s pametnim uređajima za grijanje, hlađenje i PTV

U ovom scenariju će se uz 500 kW_p PV sustava dodati dizalice topline za grijanje, hlađenje i PTV za sva kućanstva na otoku. Dodat će se i toplinski spremnik u stalno naseljena kućanstva koji će pohranjivati višak proizvedene električne energije. To će dovesti do porasta ukupne potrošnje električne energije jer su sada sva kućanstva elektrificirana. Međutim, dizalice topline imaju bolju iskoristivost od klasičnih split-klima uređaja, a koriste se i za PTV što će dovesti do drastičnog smanjenja električne energije potrebne za PTV.

Uz dizalice topline, kućanstva će imati pametne uređaje navedene u prethodnom poglavlju. Ti uređaji će povećati komfor, poboljšati regulaciju i osigurati „pametnu“ potrošnju električne energije. Najbitniji uređaj je pametno brojilo koje šalje podatke dobavljaču električne energije osiguravajući dvosmjernu komunikaciju između potrošača i dobavljača. Pametni uređaji će koristiti u pomicanju opterećenja unutar jednog dana, tj. potrošnja će pratiti proizvodnju. U

klasičnim EES pomicanje pomaže kako bi se smanjila vršna opterećenja, kao što prikazuje Slika 27. U slučaju da je prisutna proizvodnja iz PV sustava, pomicanje će ići za razdoblje kada je prisutan višak električne energije kako se ne bi morala uvoziti. Primjerice, ukoliko je povećana proizvodnja električne energije u nekom satu, u tom satu će raditi perilica za rublje. Fleksibilno opterećenje će se izračunati samo za stalno naseljena kućanstva. Pretpostavit će se da je dnevno fleksibilno opterećenje za jedno stalno naseljeno kućanstvo 1,2 kWh što je godišnje 20,586 MWh (za proračun zaokruženo na 20 MWh) za sva stalno naseljena kućanstva.

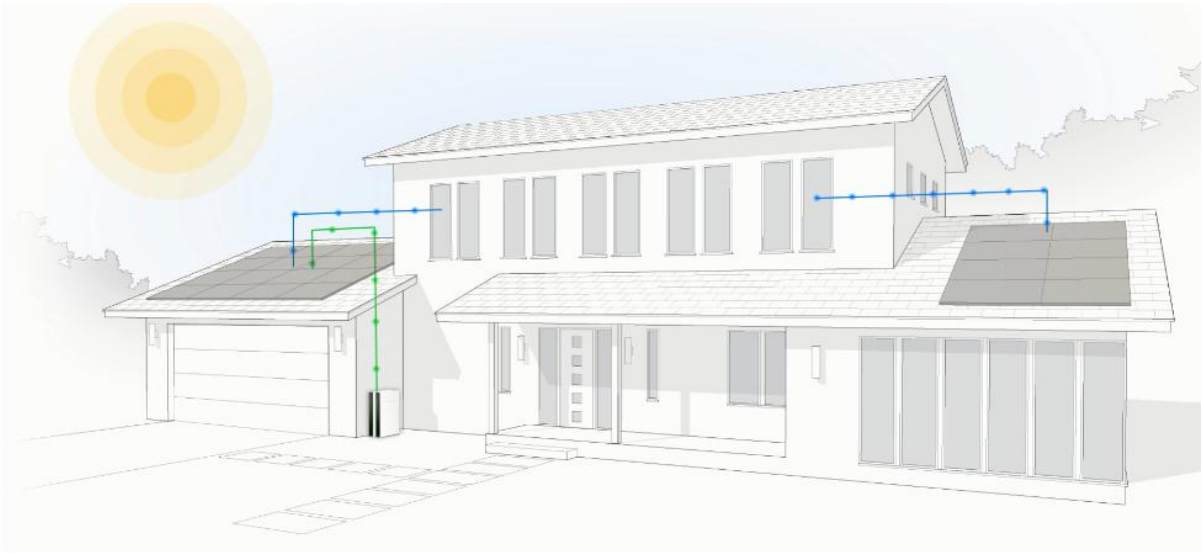


Slika 27. Prebacivanje opterećenja (engl. *Load shifting*) [18]

Treba napomenuti kako je u poglavlju 3.1 odabrana dizalica topline za karakterističnu kućanstvo, ali u softveru *EnergyPLAN* ne postoji mogućnost integracije toplinskog spremnika s pojedinačnim dizalicama topline, pa je ukupan kapacitet dizalica toplina za režim grijanja definiran pod kategorijom *District Heating* (daljinsko grijanje). Također, ukupni kapacitet toplinskog spremnika je definiran pod kategorijom *Thermal* storage, grupa *District Heating*.

4.3. 3. scenarij: Fotonaponski sustavi s baterijama

U ovom scenariju se višak električne energije proizveden iz PV sustava od 500 kW_p pohranjuje u baterijama (Slika 28). Stanje je postojeće, dakle nema pametnih uređaja ni dizalica topline.



Slika 28. PV sustav kao izvor električne energije za kućanstvo i punjenje baterija tijekom dana [16]

U satima kada nema proizvodnje električne energije iz PV sustava, baterije, koje su je prethodno pohranile kada je bio višak proizvodnje, opskrbljuju kućanstva potrebnom električnom energijom (Slika 29). Kapacitet baterija je 1,215 MWh, a snaga punjenja je 450 kW (90 baterija po 5 kW).



Slika 29. Baterije kao izvor električne energije za kućanstvo tijekom noćnih sati [16]

4.4. 4. scenarij: Kombinacija sustava iz prethodnih scenarija

Ovaj scenarij obuhvaća sve navedene promjene iz prethodnih scenarija: 500 kW_p fotonaponskog sustava, baterije kapaciteta 1,215 MWh, dizalice topline, toplinski spremnik i pametni uređaji. Nadovezuje se na 2. scenarij s dodatkom baterija za pohranu viška električne energije. Dizalice topline u režimu grijanja i toplinski spremnik su, kao i u 2. scenariju, definirani pod kategorijom *District Heating*.

5. REZULTATI

5.1. Referentni model po kategorijama

Iz jednadžbi objašnjenih u poglavljima 2.1 - 2.4 će se izračunati godišnja potrošnja električne energije u kućanstvima.

Maksimalna dnevna potrošnja električne energije za rasvjetu po jednom objektu iz jednadžbe (1) je

$$E_{ras,ob} = 1{,}62 \text{ kWh},$$

dok je ukupna dnevna potrošnja električne energije za rasvjetu iz jednadžbe (2) za stalno naseljena kućanstva

$$E_{ras,uk1} = 76{,}19 \text{ kWh},$$

za sezonska kućanstva

$$E_{ras,uk2} = 356{,}52 \text{ kWh},$$

a za sva kućanstva

$$E_{ras,uk} = E_{ras,uk1} + E_{ras,uk2} = 432{,}81 \text{ kWh}.$$

Maksimalna dnevna potrošnja električne energije za grijanje za split-klima uređaje se procijenila na sljedeći način: prosječna snaga uređaja je 1 kW, a radi 8 h dnevno pa se dobije

$$E_{gr,kl,ob} = 8 \text{ kWh}$$

Za električne grijalice se uzela vrijednost

$$E_{gr,eg,ob} = 25 \text{ kWh}$$

jer se samo električna energija pretvara u toplinsku, dok klima uređaji imaju prosječnu iskoristivost toplinske energije (*COP-Coefficient of performance*) od 3 do 4.

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za grijanje na klima uređaje iz jednadžbe (3) je

$$E_{gr,uk,kl} = 114{,}85 \text{ kWh},$$

a za grijanje na električne grijalice iz jednadžbe (4)

$$E_{gr,uk,eg} = 134{,}59 \text{ kWh}.$$

Maksimalna dnevna potrošnja električne energije za hlađenje se procijenila na isti način kao za grijanje preko split-klima uređaja, dakle:

$$E_{hl,ob} = 8 \text{ kWh}$$

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za grijanje na klima uređaje za stalno naseljena kućanstva iz jednadžbe (5) je

$$E_{hl,uk1} = 94 \text{ kWh},$$

za sezonska kućanstva

$$E_{hl,uk2} = 440 \text{ kWh},$$

a za sva kućanstva

$$E_{hl,uk} = E_{hl,uk1} + E_{hl,uk2} = 534 \text{ kWh}.$$

Iz jednadžbe (6) se izračunala potrebna električna energija za PTV po osobi, te iznosi

$$E_{PTV,os} = 1{,}47 \text{ kWh}$$

Ukupna dnevna potrošnja električne energije za PTV za stalno naseljena kućanstva iz jednadžbe (7) je

$$E_{PTV,uk1} = 129{,}14 \text{ kWh},$$

za sezonska kućanstva:

$$E_{PTV,uk2} = 906{,}75 \text{ kWh},$$

a za sva kućanstva

$$E_{PTV,uk} = E_{PTV,uk1} + E_{PTV,uk2} = 1035{,}89 \text{ kWh}.$$

Maksimalna dnevna potrošnja električne energije za kućanske uređaje po jednom objektu iz jednadžbe (8) je

$$E_{ur,ob} = 3{,}52 \text{ kWh},$$

dok je ukupna dnevna potrošnja električne energije za kućanske uređaje iz jednadžbe (9) za stalno naseljena kućanstva:

$$E_{ur,uk1} = 165{,}32 \text{ kWh},$$

za sezonska kućanstva

$$E_{ur,uk2} = 386{,}93 \text{ kWh},$$

a za sva kućanstva

$$E_{ur,uk} = E_{ur,uk1} + E_{ur,uk2} = 552{,}25 \text{ kWh}.$$

Procijenjena dnevna potrošnja električne energije po objektu za štednjak je

$$E_{št,ob} = 2 \text{ kWh}$$

dok je ukupna dnevna potrošnja električne energije za štednjak iz jednadžbe (10) za stalno naseljena kućanstva

$$E_{št,uk1} = 26{,}44 \text{ kWh},$$

za sezonska kućanstva

$$E_{št,uk2} = 37{,}13 \text{ kWh},$$

a za sva kućanstva

$$E_{št,uk} = E_{št,uk1} + E_{št,uk2} = 63{,}57 \text{ kWh}$$

Na kraju, ukupna godišnja potrošnja električne energije za stalno naseljena kućanstva iznosi

$$E_{god1} = 183{,}16 \text{ MWh},$$

a za sezonska kućanstva

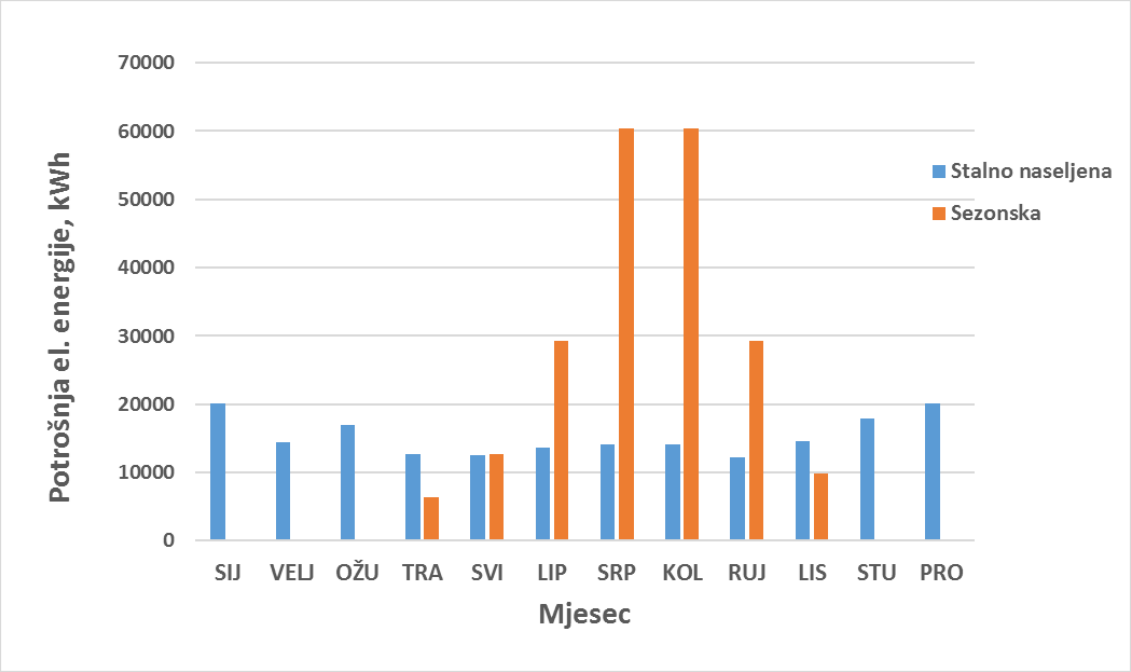
$$E_{god2} = 208{,}20 \text{ MWh}$$

Za cijeli sektor kućanstva na otoku Unije, ukupna godišnja potrošnja električne energije je

$$\boldsymbol{E_{god} = 391{,}36 \text{ MWh}}$$

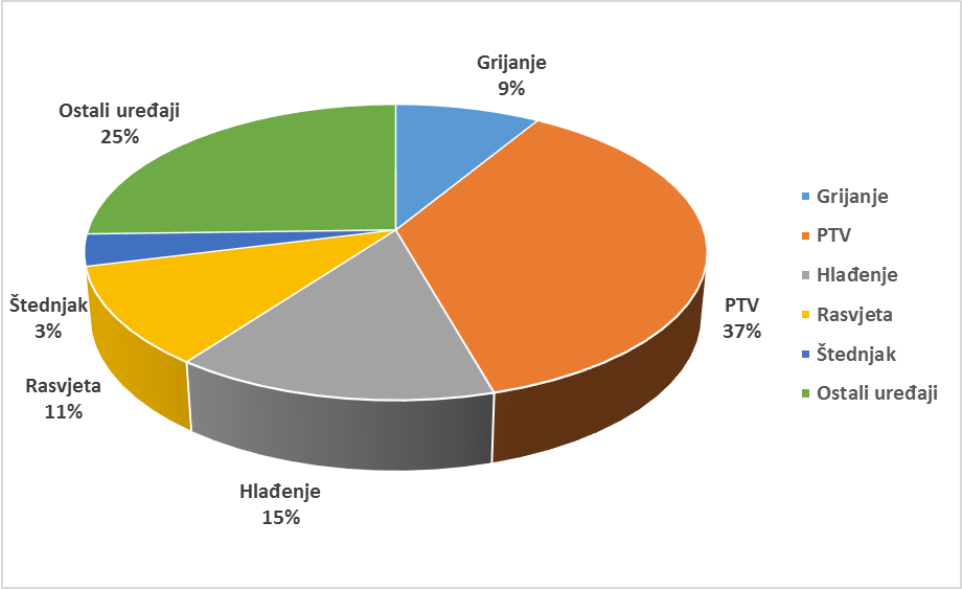
Vidljivo je da je procjena vrlo dobra, jer je vrijednost iz referentne godine 2017. do koje se pokušalo doći $E_{el,god} = 377{,}755$ MWh, dok je vrijednost iz 2018. od 388,896 MWh svega 2464 kWh manja ili 0.64%. **U *Energy PLAN*-u će se računati s vrijednošću od 390 MWh**.

Procijenjene vrijednosti pojedinih kategorija nisu nužno ispravne, ali se pokušalo metodom procjene dobiti okviran broj o potrošnji. Na sljedećem dijagramu (Slika 30) se vidi proračunata raspodjela potrošnje električne energije po mjesecima.



Slika 30. Proračunata potrošnja električne energije po mjesecima

Vidljivo je da je maksimalna potrošnja u ljetnoj sezoni za srpanj i kolovoz. Za stalno naseljena kućanstva maksimum je u zimskim mjesecima (siječanj i prosinac) zbog grijanja na električnu energiju.



Slika 31. Proračunata potrošnja električne energije po kategorijama

Dijagram proračunate potrošnje električne energije po kategorijama (Slika 31) pokazuje da se 46% energije troši na grijanje i PTV, a s hlađenjem je to oko 60%. Ugradnjom učinkovitijih uređaja za grijanje, hlađenje i PTV, kao što su dizalice topline, ta potrošnja bi se mogla bitno smanjiti.

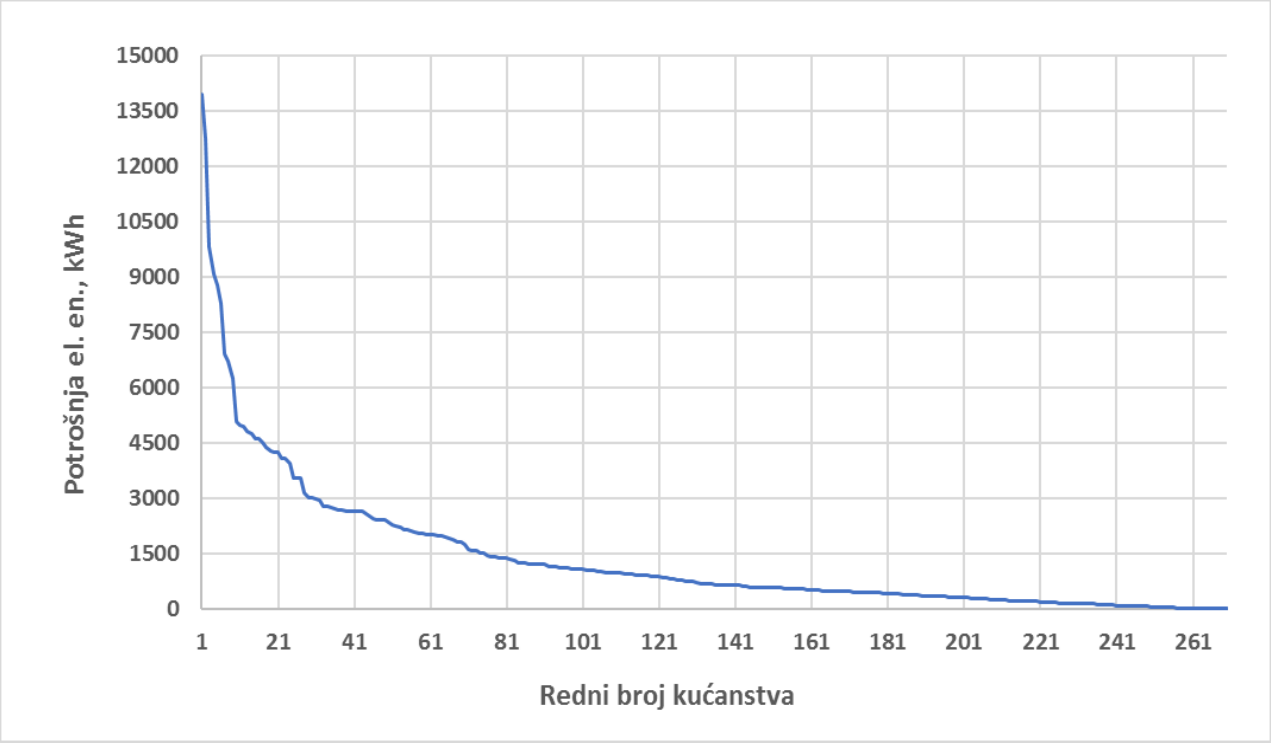
Ukupna godišnja potrošnja električne energije za stalno naseljena kućanstva je

$$E_{god1} = 183{,}16 \text{ MWh}$$

i kad se to podijeli na 47 kućanstava dobije se ukupna godišnja potrošnja električne energije prosječnog kućanstva

$$E_{prosj} = 3{,}897 \text{ MWh} = 3897 \text{ kWh}$$

Slika 32 prikazuje brojila električne energije za 2017. godinu po kućanstvima. Na kraju rada su priložena brojila s brojkama. Prosječno kućanstvo iz proračuna je približno na poziciji broj 24 iz brojila električne energije za otok Unije za 2017. godinu.



Slika 32. Potrošnja električne energije po brojilima za otok Unije za 2017. godinu

Ukupna godišnja potrošnja električne energije karakterističnog kućanstva je

$$E_{karakt} = 4{,}842 \text{ MWh} = 4842 \text{ kWh}$$

Mjesec	Mjesečna potrošnja, kWh
SIJ	560
VELJ	405
OŽU	336
TRA	163
SVI	280
LIP	542
SRP	560
KOL	560
RUJ	271
LIS	168
STU	434
PRO	560
Ukupno	4842

Tablica 5. Godišnja potrošnja električne energije za karakteristično kućanstvo po mjesecima

Vidljivo je da karakteristično kućanstvo troši oko 1 MWh više godišnje od prosječnog, što ga svrstava na 13.mjesto potrošnje po brojilima za 2017. godinu. Razlika u odnosu na prosječno je zato što je jedini energent električna energija, u odnosu na dosadašnje stanje.

Projektno toplinsko i rashladno opterećenje se računa iz jednadžbi (15) i (16).

Vanjska projektna temperatura zraka (grijanje) je

$$\vartheta_{proj,gr} = -2{,}7\ ℃$$

a vanjska projektna temperatura zraka (hlađenje) je

$$\vartheta_{proj,hl} = 31{,}1\ ℃$$

Iz ankete je u diplomskom radu [11] izračunat prosječni koeficijent prolaza topline koji iznosi $U_z = 1{,}29$ W/m^{2}K za zidove i $U_p = 2{,}5$ W/m^{2}K za vrata i prozore. Prosječna površina svih vanjskih zidova je $A_z = 218{,}4$ m^2, a prozora i vrata $A_p = 15$ m^2.

Unutarnja projektna temperatura za grijanje je $\vartheta_{un,gr} = 22$ ℃, a za hlađenje $\vartheta_{un,hl} = 26$ ℃.

Iz jednadžbe (15) se računa projektno toplinsko opterećenje koje iznosi

$$\boldsymbol{\Phi_{gr} = 2741\ \mathrm{W} = 2,741\ \mathrm{kW}}$$

Iz jednadžbe (16) se računa projektno rashladno opterećenje koje iznosi

$$\boldsymbol{\Phi_{hl} = 1529\ \mathrm{W} = 1,529\ \mathrm{kW}}$$

5.2. Referentni model i krivulje u EnergyPLAN-u

Za računanje referentnog modela u softveru EnergyPLAN potrebne su satne vrijednosti koje se nisu računale za referentni model nego su se samo procjenjivale mjesečne vrijednosti. Krivulje su se dobile skaliranjem dobivenih podataka za otok Unije za 2011. godinu [11], procjenom promjene potrošnje električne energije i referentnim modelom u kojem je izračunata godišnja potrošnja električne energije.

U softver se također moraju unijeti podaci o ukupnoj godišnjoj proizvodnji i potrošnji po kategorijama, navedeni u donjoj tablici (Tablica 6). Tablica prikazuje podatke za sve scenarije. Kao što je vidljivo, prvi i treći scenarij imaju jednake podatke o potrošnji, te drugi i četvrti imaju jednake. Razlika je što je u trećem i četvrtom dodano 1,215 MWh baterija u odnosu na prvi i drugi.

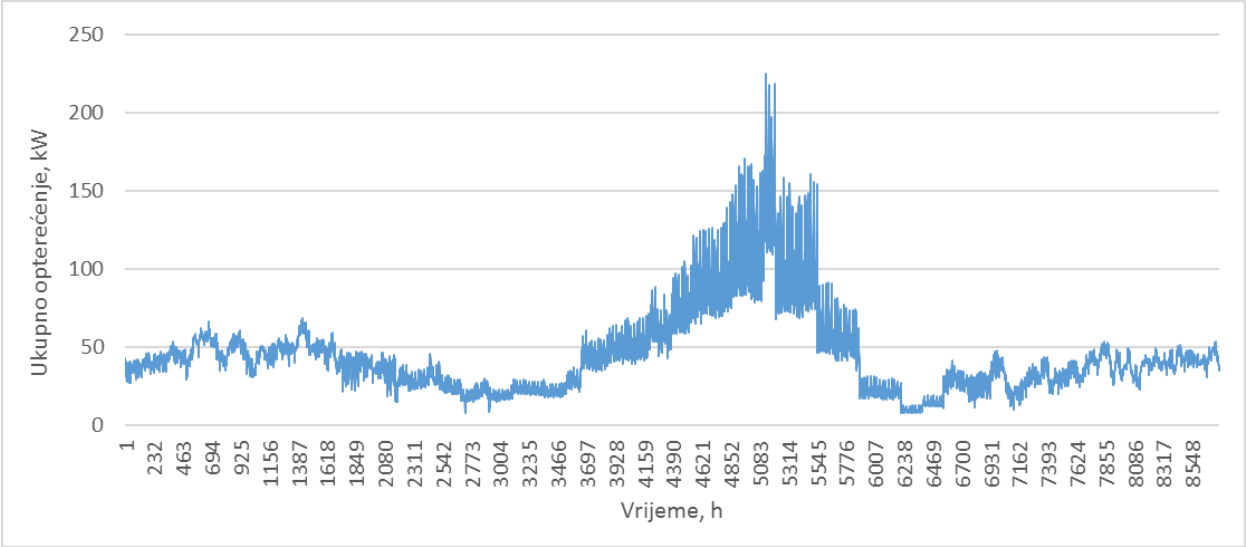
	SCENARIJI			
GODIŠNJI PODACI PO KATEGORIJAMA	1.scenarij	2.scenarij	3.scenarij	4.scenarij
Električna energija, MWh/god	390	440	390	440
Toplinska en. za grijanje na split* uređaje, MWh/god	48	156	48	156
El. en. za grijanje na split* uređaje, MWh/god	16	39	16	39
Toplinska en. za PTV na split* uređaje, MWh/god	-	152	-	152
El. en. za PTV na split* uređaje, MWh/god	-	38	-	38
El. en. za grijanje na el. energiju**, MWh/god	18	-	18	-
El. en. za PTV na el. energiju**, MWh/god	163	-	163	-
Toplinska en. za hlađenje, MWh/god	171	684	171	684
El. en. za hlađenje, MWh/god	57	171	57	171
Fleksibilno opterećenje, MWh/god	-	20	-	20
Instalirani PV sustav, MW	0,5	0,5	0,5	0,5
Proizvodnja iz PV, MWh/god	710	710	394	448
Višak proizvedene el. en., MWh/god	540	470	0	0
Uvoz el. en., MWh/god	220	200	35	31
Kapacitet toplinskog spremnika, kWh	-	400	-	400
Kapacitet baterija, MWh	-	-	1,215	1,215

Tablica 6. Godišnji podaci o energiji po scenarijima

split za 1. i 3. scenarij označava trenutno stanje sa split-klima uređajima (procijenjen COP=3), a za 2. i 4. scenarij označava split dizalice topline (procijenjen COP=4)

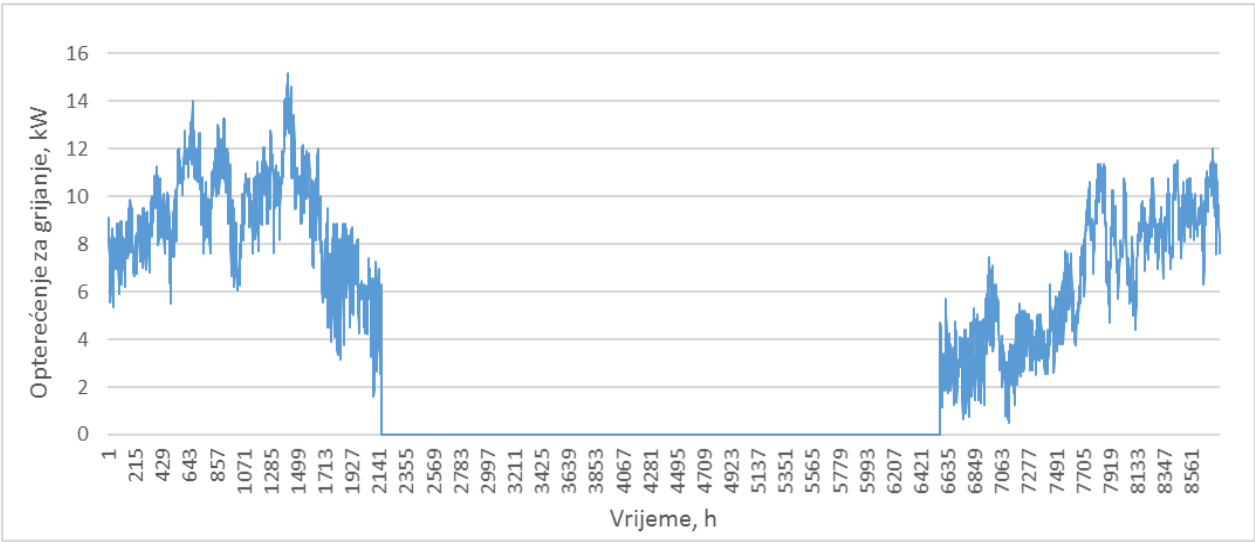
****grijanje i PTV na električnu energiju označava klasične električne grijalice za grijanje i električne bojlere za PTV***

Slika 33 prikazuje godišnju satnu potrošnju električne energije za 2017. godinu za sva kućanstva. Vidljivo je da je vršno opterećenje u ljetnim mjesecima kada na otoku boravi i do 10 puta više osoba nego tijekom zime.



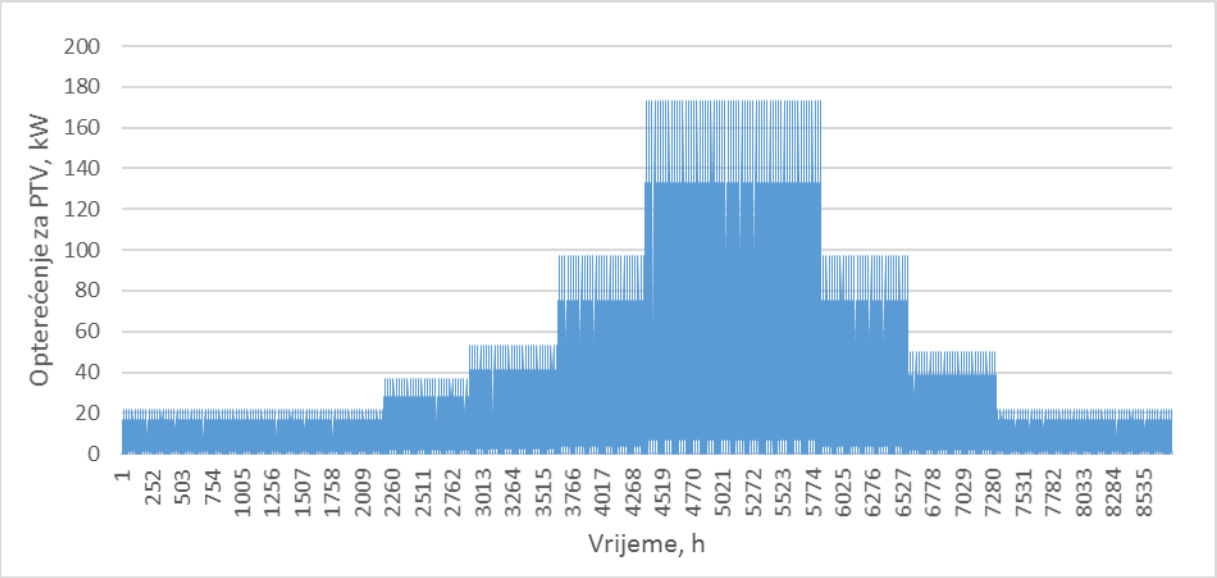
Slika 33. Godišnja satna potrošnja električne energije za kućanstva za 2017. godinu

Slika 34 prikazuje godišnju satnu potrošnju električne energije za grijanje za 2017. godinu. Tu su uključena samo stalno naseljena kućanstva koja koriste električnu energiju za grijanje. Iz krivulje je vidljivo da se grijanje računalo, kako je i navedeno kod referentnog modela, za razdoblje od listopada do ožujka.



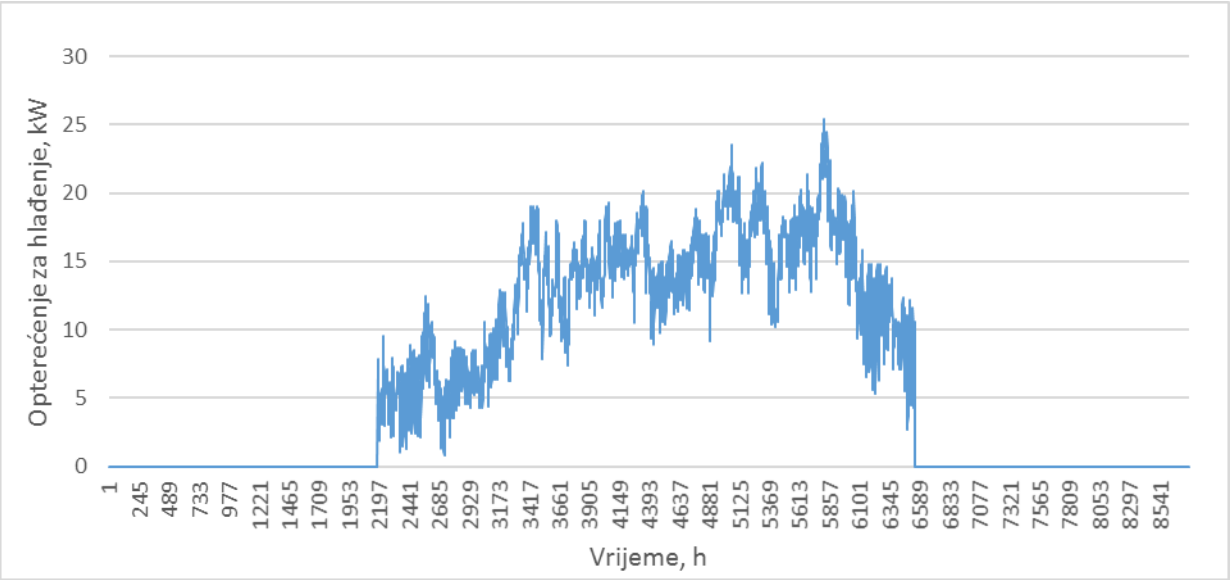
Slika 34. Godišnja satna potrošnja električne energije za grijanje za 2017. godinu

Slika 35 prikazuje godišnju satnu potrošnju električne energije za PTV za 2017. godinu. Vidljivo je da potrošnja raste kako se povećava broj turista te je u ljetnoj sezoni oko 8 puta veća potrošnja jer je toliki porast turista u odnosu na stanovnike otoka.



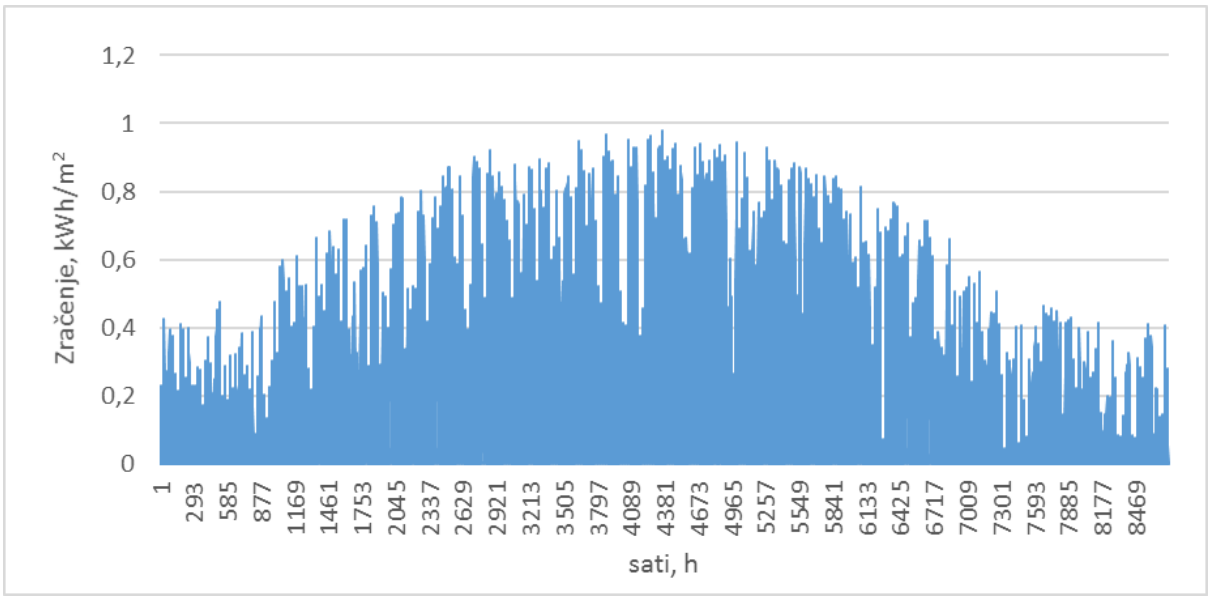
Slika 35. Godišnja satna potrošnja električne energije za PTV za 2017. godinu

Slika 36 prikazuje godišnju satnu potrošnju električne energije za hlađenje za 2017. godinu. Tu su uključena sva kućanstva koja koriste električnu energiju za hlađenje, odnosno split-klima uređaje. Iz krivulje je vidljivo da se hlađenje računalo, kako je i navedeno kod referentnog modela, za razdoblje od travnja do rujna.



Slika 36. Godišnja satna potrošnja električne energije za hlađenje za 2017. godinu

Slika 37 prikazuje ukupno satno zračenje na horizontalnu površinu, što će koristiti u scenarijima zbog računanja koliko PV sustav može proizvesti električne energije. Radi sigurnosti su uzeti podaci za horizontalnu površinu kako bi se pokazalo koliko se minimalno može iskoristiti.

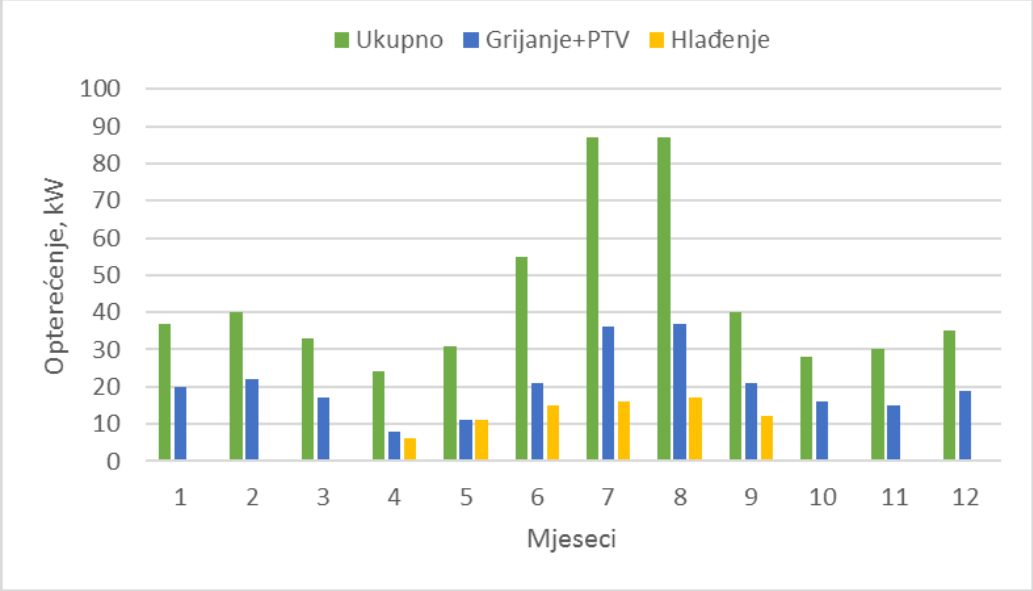


Slika 37. Ukupno satno sunčevo zračenje na horizontalnu površinu

Ove krivulje sa satnim vrijednostima se ubacuju u EnergyPLAN (grijanje i PTV zajedno), kao i vrijednosti iz gornje tablice te softver zatim računa vrijednosti koje nas zanimaju. U

ostalim scenarijima krivulje imaju isti oblik, jedino se mijenjaju vrijednosti ovisno o potrošnji za određeni scenarij.

S obzirom na to da su za referentni model unijeti podaci za ukupnu potrošnju električne energije, grijanje i PTV te hlađenje, softver je podijelio potrošnju na te tri kategorije. Na otoku nema proizvodnje električne energije, pa softver automatski računa da je cjelokupna potrebna električna energija iz uvoza. Stoga će za ovaj model samo biti zanimljivi rezultati prosječnog mjesečnog opterećenja, prikazani na donjoj slici (Slika 38). Od travnja do rujna podaci Grijanje+PTV su samo za PTV jer se u tim mjesecima ne koristi grijanje. Oblici krivulje dobro prate satnu potrošnju prikazanu na prethodnim slikama, stoga je zaključak da je model u softveru ispravno postavljen.



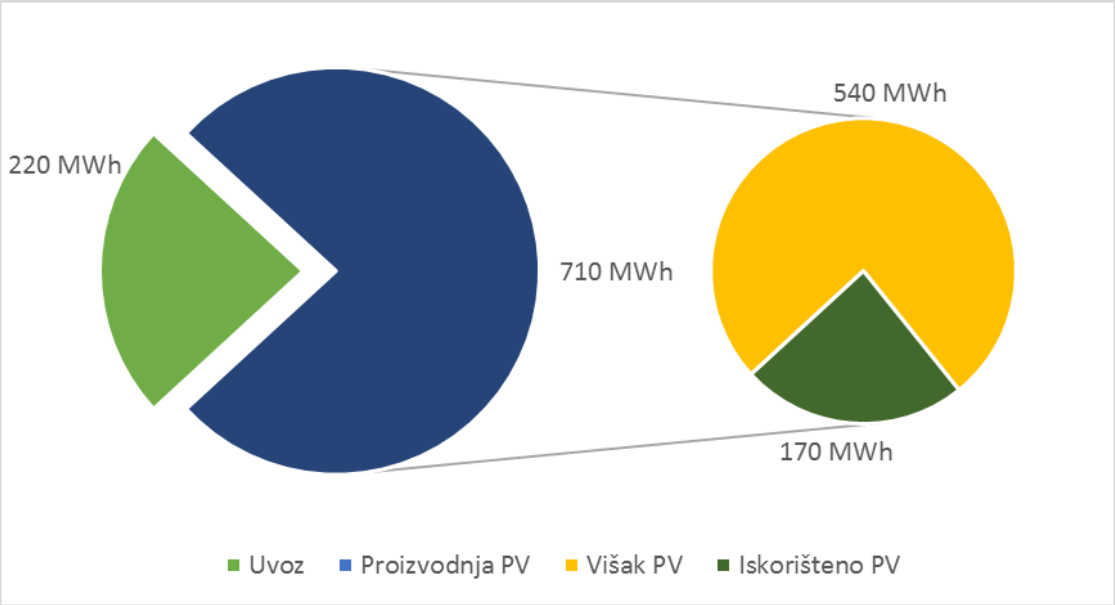
Slika 38. Prosječno mjesečno opterećenje za 2017. godinu

Nakon što je prikazan referentni model, razmotrit će se scenariji s integracijom solarnih fotonaponskih panela u različitim kombinacijama..

5.3. Rezultati 1. scenarija: Fotonaponski sustavi bez pametnih komponenti u kućanstvima

Slika 39 prikazuje raspodjelu električne energije. Prikazuje koliko se električne energije godišnje uveze, koliko se proizvede iz PV sustava, te koliko se proizvedene energije iskoristi za pokrivanje opterećenja u kućanstvima. Vidljivo je da se godišnje proizvede 710 MWh

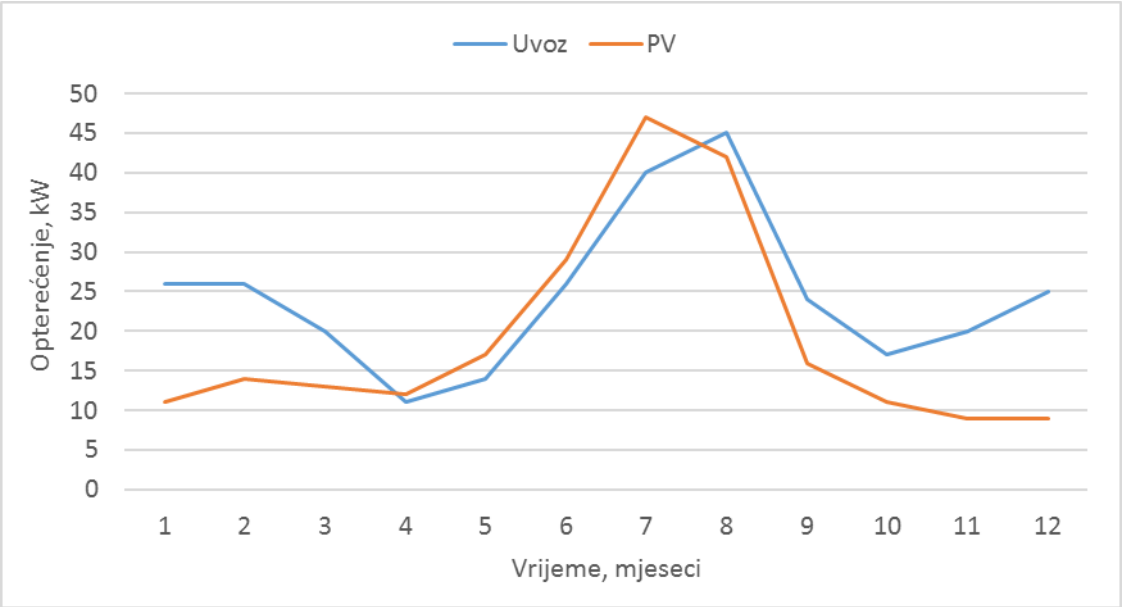
električne energije, ali se samo 170 MWh koristi u kućanstvima, dok je ostalih 540 MWh električne energije višak.



Slika 39. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 1. scenarij

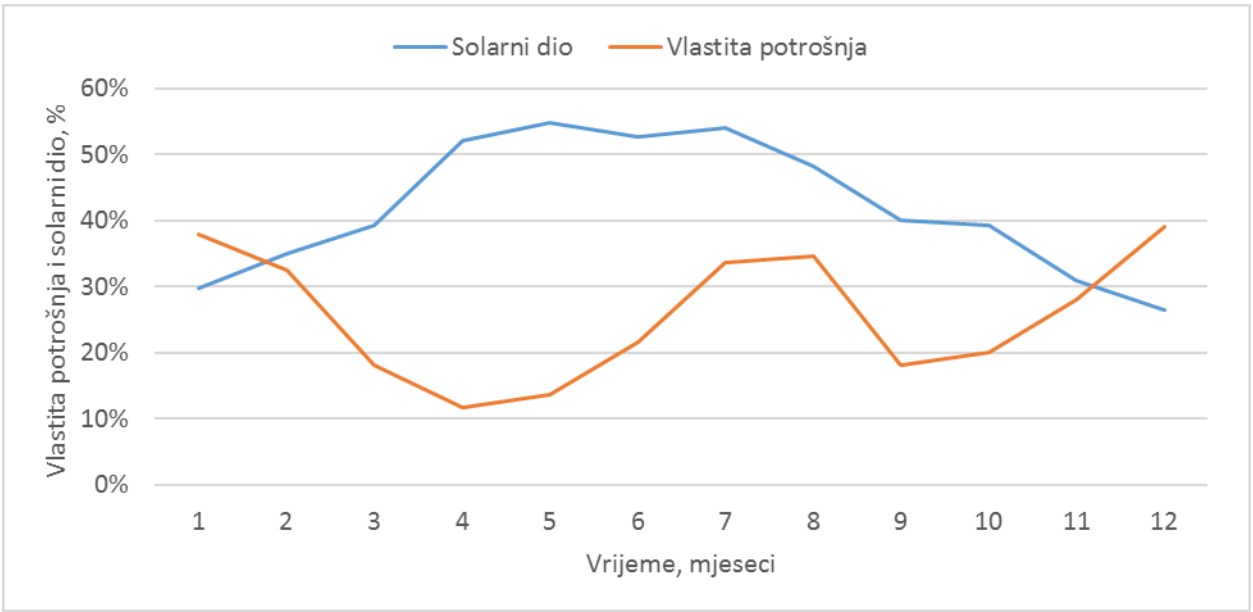
U ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije, solarni dio je 44%, a uvoz iznosi 56% što pokazuje da se PV sustavom od 500 kW_p pokrije manje od polovice opterećenja. Dobiveni podaci pokazuju da je nesrazmjer između ukupno proizvedene električne energije iz PV sustava i vlastite potrošnje te energije. Ta razlika je prisutna iz razloga što nema nikakvog spremnika koji bi pohranio višak električne energije proizveden iz PV sustava. Također, sustav je samo postavljen na postojeće stanje te nema dvosmjerne komunikacije koja bi osigurala balans između proizvodnje i potrošnje energije.

Slika 40 prikazuje prosječno godišnje opterećenje električne energije iz uvoza i PV sustava u kućanstvima za 1. scenarij po mjesecima. Vidljivo je da je u početnim ljetnim mjesecima vlastita potrošnja iz PV sustava malo veća od uvoza, ali je u zimskim mjesecima dosta niža što je i logično jer je osunčanost najveća u ljetnim mjesecima.



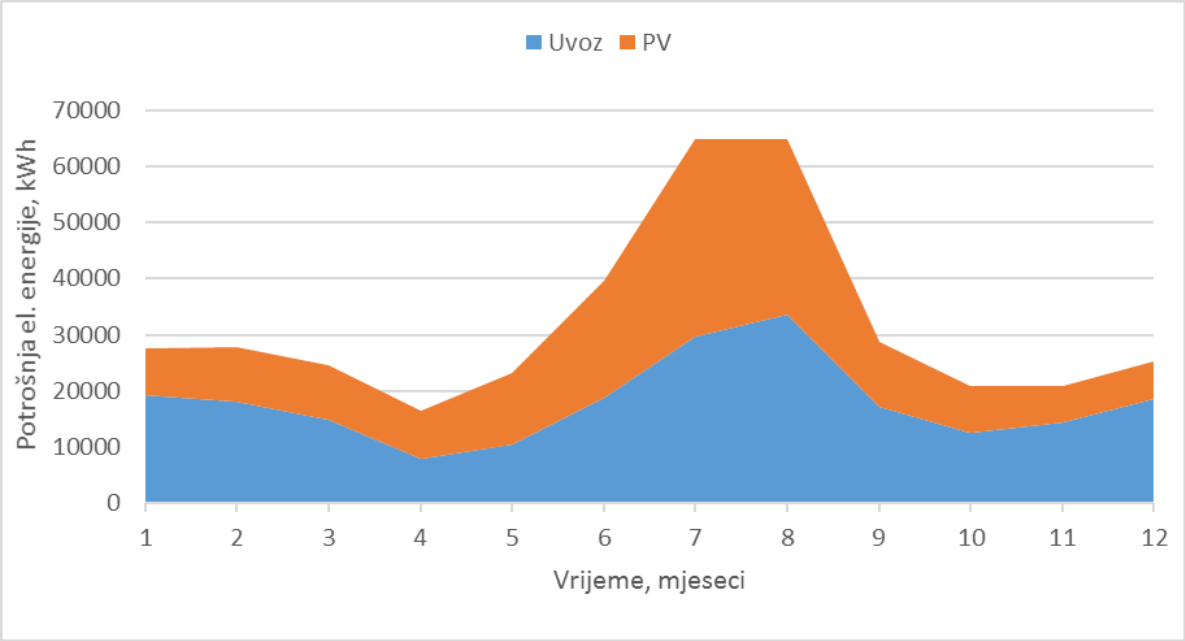
Slika 40. Prosječno opterećenje električne energije iz uvoza i PV sustava u kućanstvima za 1. scenarij

Slika 41 prikazuje udio vlastite potrošnje energije proizvedene iz PV sustava u ukupno proizvedenoj energiji te solarni dio koji se definira kao udio vlastite potrošnje energije u ukupnoj potrošnji. Vidljivo je da je vlastita potrošnja najniža u proljetnim mjesecima jer je tada najmanja potrošnja električne energije s obzirom na to da je gotova sezona grijanja i nema turista. Solarni dio ima maksimum na otprilike 55%, što je približno jednako kao i u scenariju iz Portugala (poglavlje 3.2) po kojemu se odabrao kapacitet PV sustava.



Slika 41. Vlastita potrošnja i solarni dio u potrošnji iz PV sustava za 1. scenarij

Slika 42 prikazuje prosječnu godišnju potrošnju električne energije za 1. scenarij u kWh. Vidljivo je, kao iz gornjeg dijagrama opterećenja (Slika 40), koliki je udio električne energije iz uvoza i iz PV sustava.

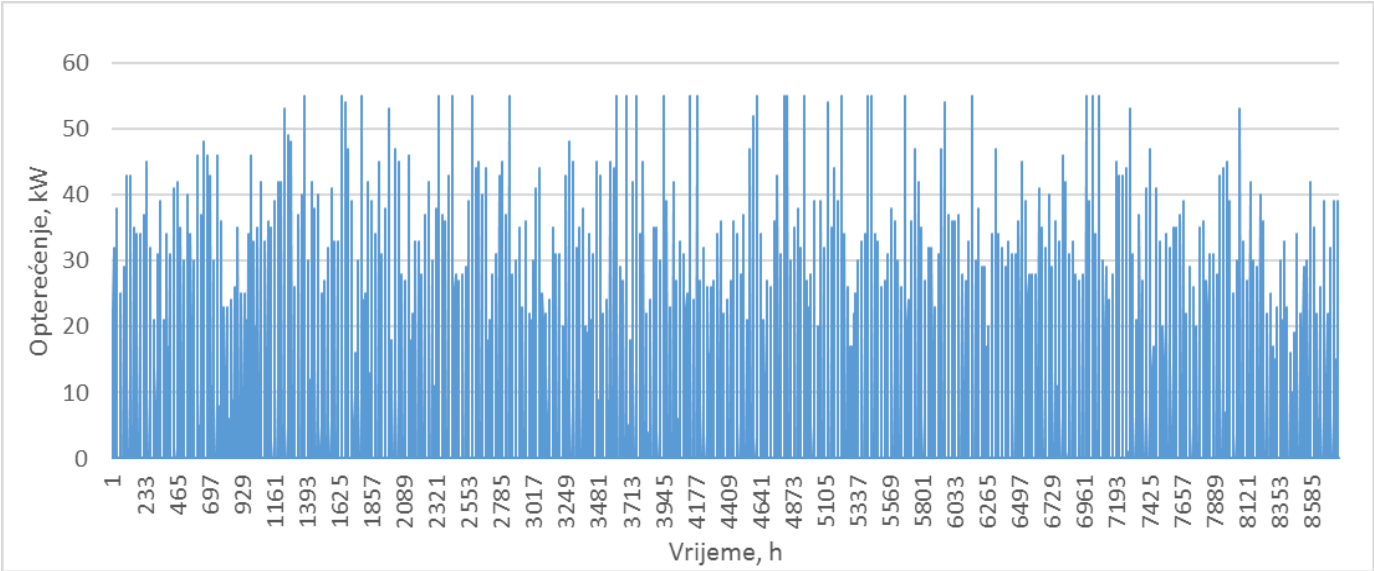


Slika 42. Prosječna godišnja potrošnja električne energije po mjesecima za 1. scenarij

5.4. Rezultati 2. scenarija: PV sustavi s pametnim uređajima za grijanje, hlađenje i PTV

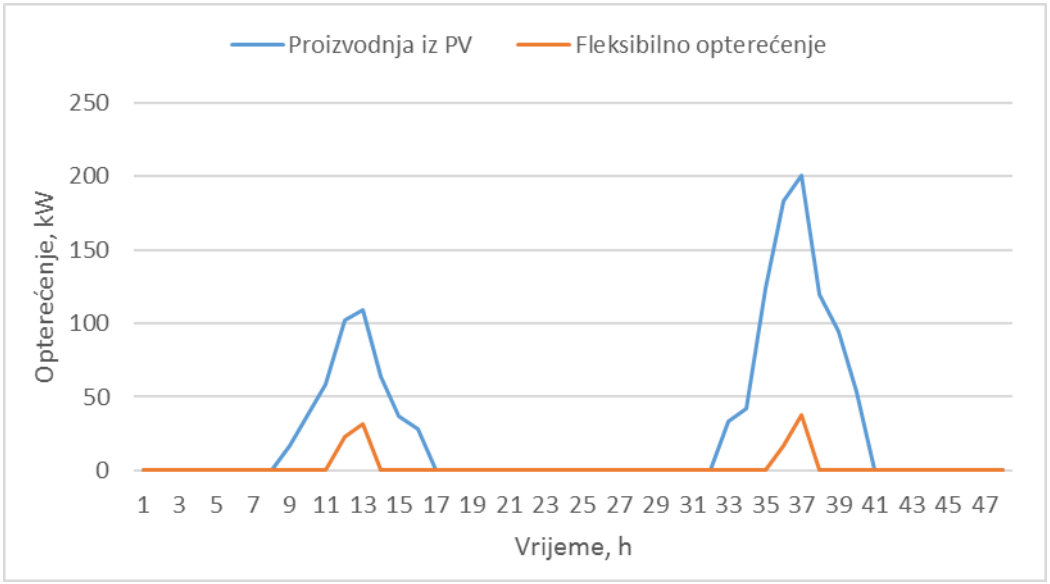
U ovom scenariju ukupna godišnja potrošnja električne energije naraste sa 390 MWh iz 2017. godine na 440 MWh. Najveći rast generira porast hlađenja, ali električna energija za PTV je puno manja jer dizalice topline imaju iskoristivost oko 4 puta veću od klasičnih električnih bojlera koji su se dosad koristili. Također, električna energija za grijanje neznatno poraste bez obzira na veliki rast broja kućanstava koja prelaze na grijanje na električnu energiju zbog puno veće iskoristivosti dizalica topline. U ovom scenariju je dodana fleksibilna dnevna potrošnja električne energije unutar jednog dana u iznosu od 20 MWh godišnje i toplinski spremnik kapaciteta 8,5 kWh u svako stalno naseljeno kućanstvo čiji je ukupni kapacitet na 47 kućanstava 400 kWh. U programu *EnergyPLAN* je upisan ukupni kapacitet toplinskog spremnika jer ne postoji mogućnost pojedinačnog spremnika.

Slika 43 prikazuje raspodjelu fleksibilnog opterećenja po satima za cijelu godinu. Vidljivo je da je maksimum dnevnog fleksibilnog opterećenja oko 55 kW, što je prosječno nešto više od 1 kW po stalno naseljenom kućanstvu.



Slika 43. Godišnje fleksibilno opterećenje po satima za 2. scenarij

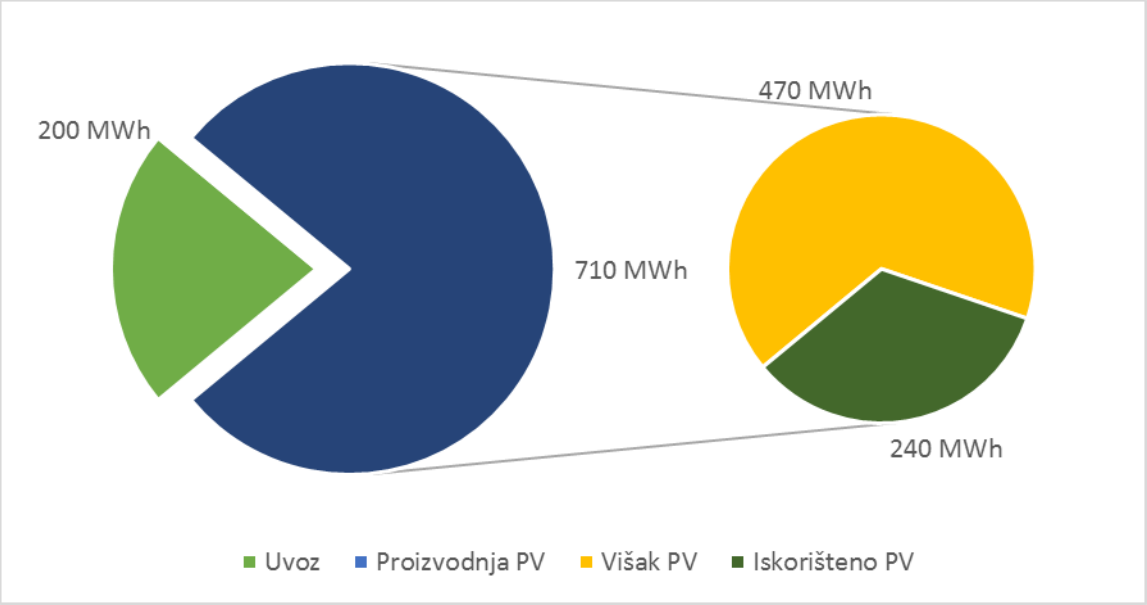
Slika 44 prikazuje proizvodnju iz PV sustava i fleksibilno opterećenje za prva dva dana u siječnju. Fleksibilno opterećenje prati proizvodnju iz PV sustava, drugim riječima, opterećenje je „prebačeno“ za razdoblje kada je proizvodnja najveća kako se ne bi morala uvoziti električna energija. Pomicanje opterećenja je moguće zbog pametnih uređaja koji šalju informacije o potrošnji dobavljaču, dvosmjerna komunikacija osigurava da potrošnja prati proizvodnju.



Slika 44. Proizvodnja iz PV sustava i fleksibilno opterećenje za dva dana u siječnju

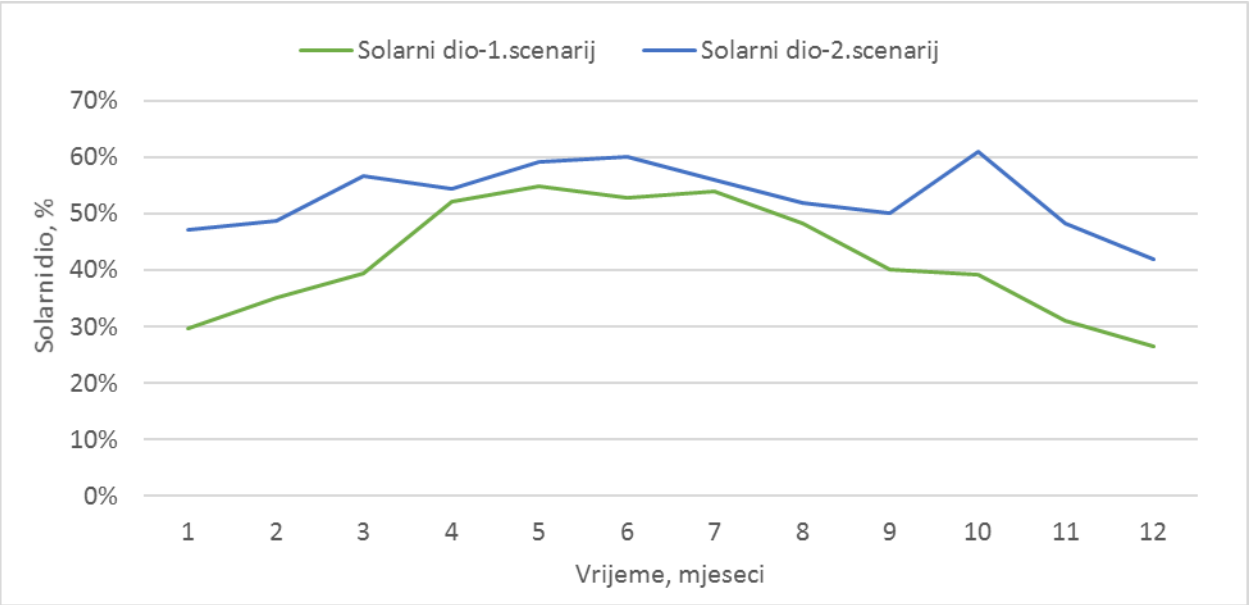
Slika 45 prikazuje raspodjelu električne energije iz uvoza i solarni dio za 2. scenarij. Vidljivo je da je električna energija iz uvoza manja u odnosu na 1. scenarij, višak električne energije je manji, a solarni dio je veći.

U ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije, solarni dio iz PV sustava se s 44% za 1. scenarij povećao na 55%, a uvoz se smanjio s 56% na 45% što pokazuje da su fleksibilno opterećenje, toplinski spremnik i pametni uređaji povećali udio obnovljive energije u kućanstvima.

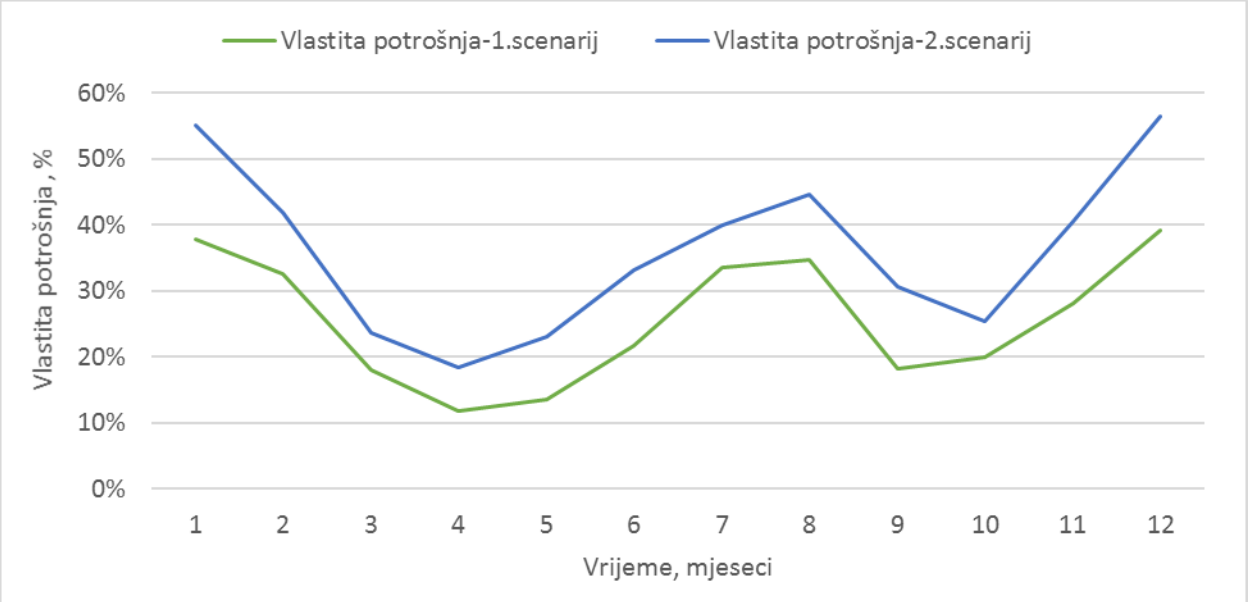


Slika 45. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 2. scenarij

Slika 46 i Slika 47 prikazuju solarni dio i vlastitu potrošnju za 1. i 2. scenarij. Oba dijagrama pokazuju kako se krivulja pomiče prema gore zbog povećanja potrošnje iz PV sustava. Najveća razlika u 2. scenariju u odnosu na 1. scenarij je prisutna u zimskim mjesecima zbog toplinskog spremnika koji pokriva zahtjev za grijanjem u satima kada nema proizvodnje električne energije iz PV sustava.

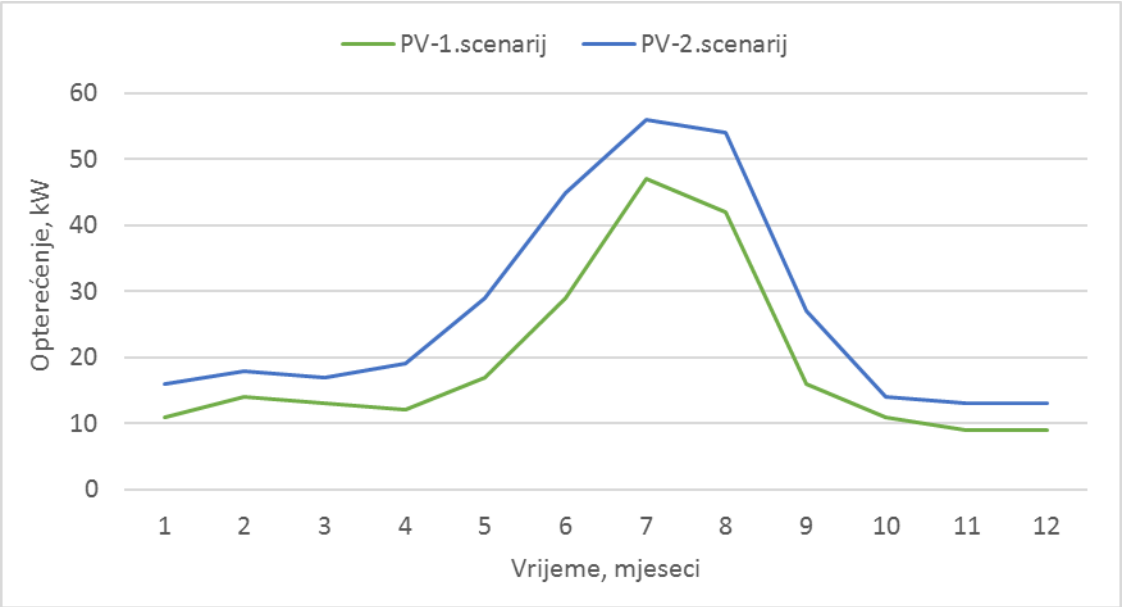


Slika 46. Solarni dio za 1. i 2. scenarij



Slika 47. Vlastita potrošnja za 1. i 2. scenarij

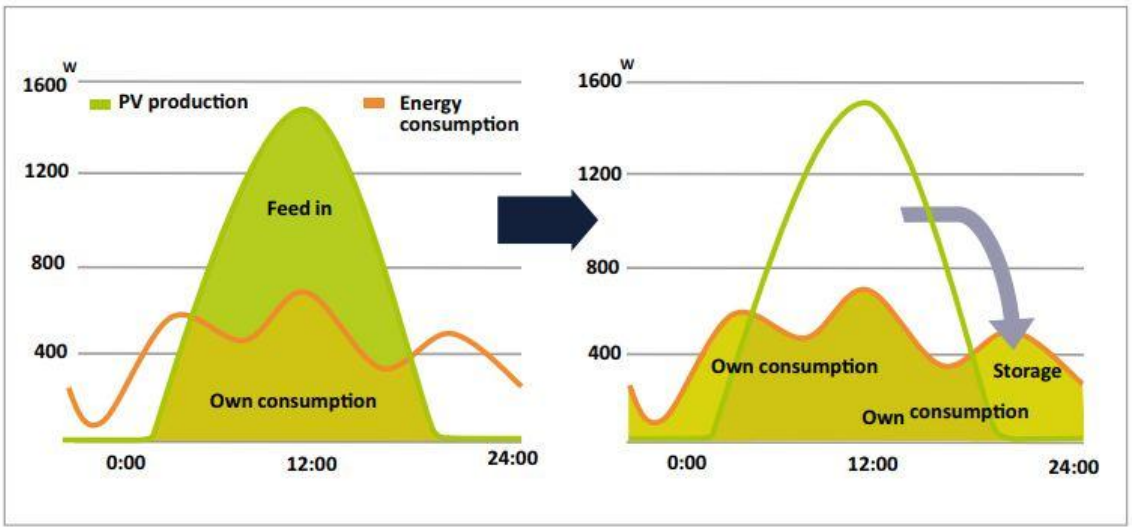
Slika 48 prikazuje usporedbu prosječnog mjesečnog opterećenja električne energije iz PV sustava. Oblici krivulje su približno jednaki za oba scenarija, najveća potrošnja je u ljetnim mjesecima kada je na otoku prisutan najveći broj turista. Za 2. scenarij je veća potrošnja iz PV sustava, kao što je već objašnjeno na prethodnoj stranici, zbog pametnih uređaja i toplinskog spremnika.



Slika 48. Prosječno opterećenje električne energije iz PV sustava u kućanstvima za 1. i 2. scenarij

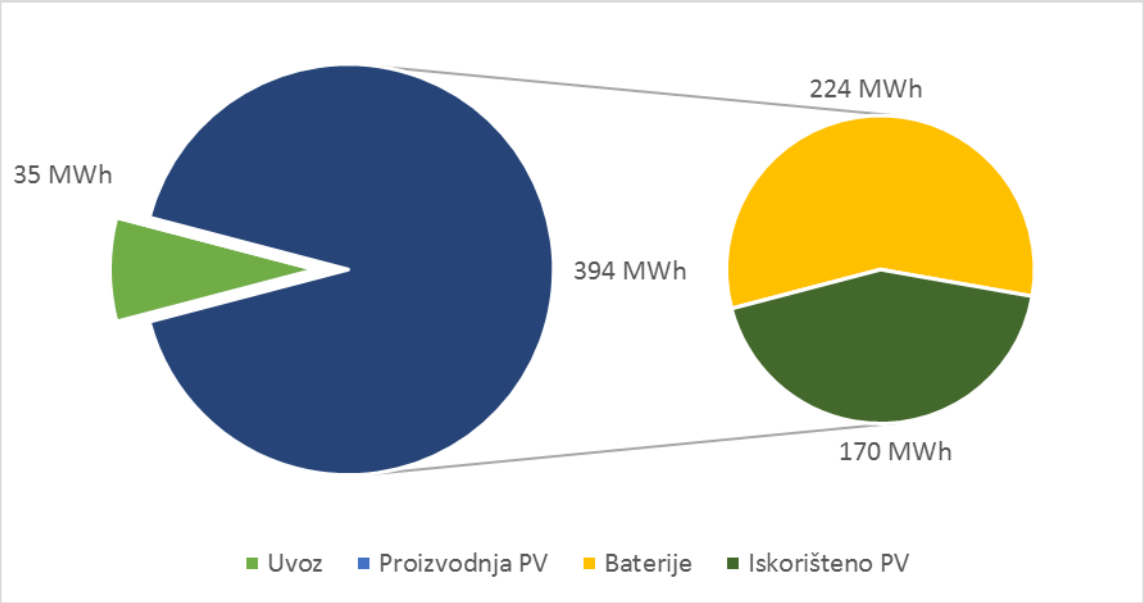
5.5. Rezultati 3. scenarija: Fotonaponski sustavi s baterijama

U ovom scenariju se dodaju baterije kao spremnik viška električne energije proizvedene iz PV sustava. Dakle, ne izvozi se električna energija nego se pohranjuje. Slika 49 prikazuje kako se višak proizvedene električne energije ne prodaje nego se pohranjuje u baterije (*storage*) iz kojih se u noćnim satima, kada nema proizvodnje, koristi potrebna električna energija.



Slika 49. Pohranjivanje viška proizvedene električne energije u baterije [24]

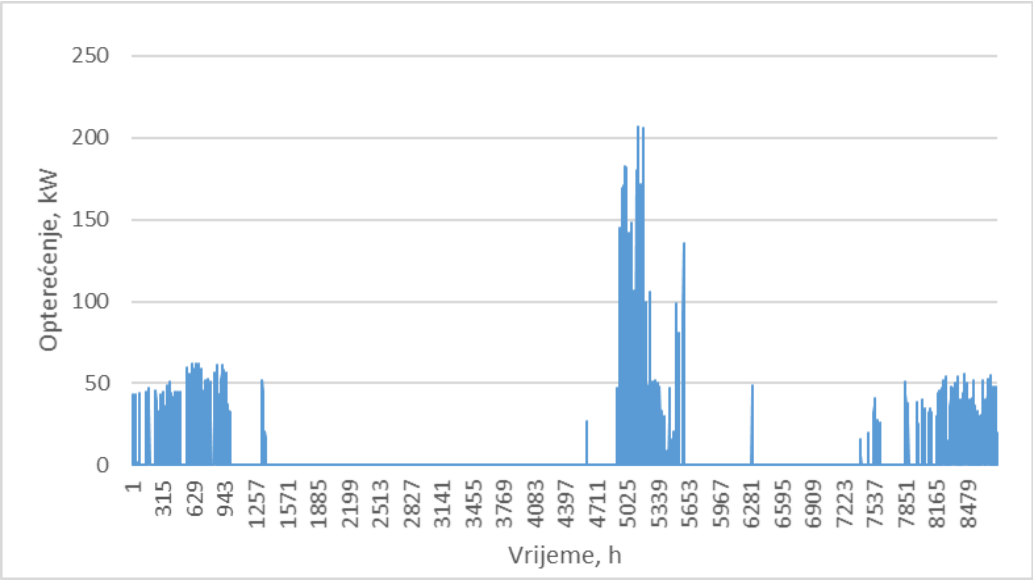
Slika 50 prikazuje raspodjelu električne energije iz uvoza i proizvodnje iz PV sustava za 3. scenarij. Dijagram se razlikuje u odnosu na prethodna dva scenarija jer nema izvoza električne energije. Sav višak se pohranjuje u baterijama čiji je ukupni kapacitet 1,215 MWh.



Slika 50. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 3. scenarij

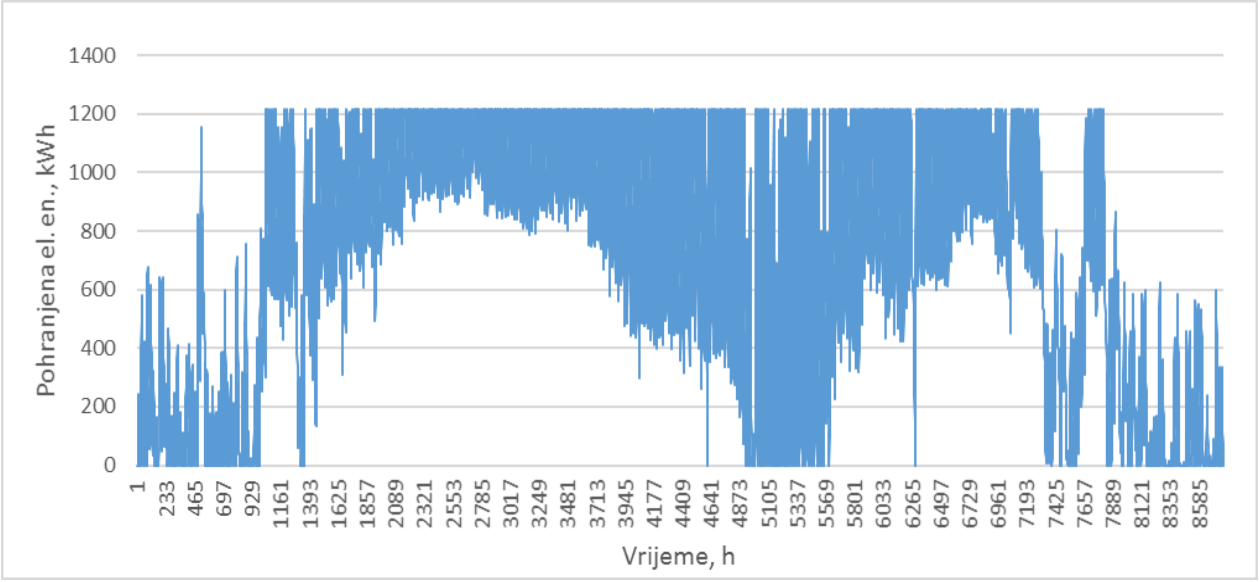
Vidljivo je da se proizvede 394 MWh električne energije od kojih se direktno iskoristi 170 MWh, a u baterije se pohrani 224 MWh. Međutim, efikasnost baterija je 90% stoga se ne može iskoristiti sva pohranjena energija. Uz gubitke, isporuči se 185 MWh električne energije iz baterija. Dakle, ukupno je 355 MWh električne energije iz PV sustava, dok se i dalje dio energije u iznosu od 35 MWh mora uvoziti kako bi se zadovoljila godišnja potrošnja od 390 MWh.

Slika 51 prikazuje razdoblja u kojima se dio energije uvozi. U ljetnim mjesecima je vršna potrošnja električne energije prevelika te postojeći kapacitet PV sustava i baterija nije dovoljan kako bi osigurao energetsku neovisnost otoka. Drugo razdoblje u kojem se uvozi električna energija je u zimskim mjesecima u kojima nema dovoljno proizvodnje električne energije iz PV sustava kako bi se pokrila kompletna vlastita potrošnja zbog manjka sunčanih sati.



Slika 51. Uvoz električne energije za 3. scenarij

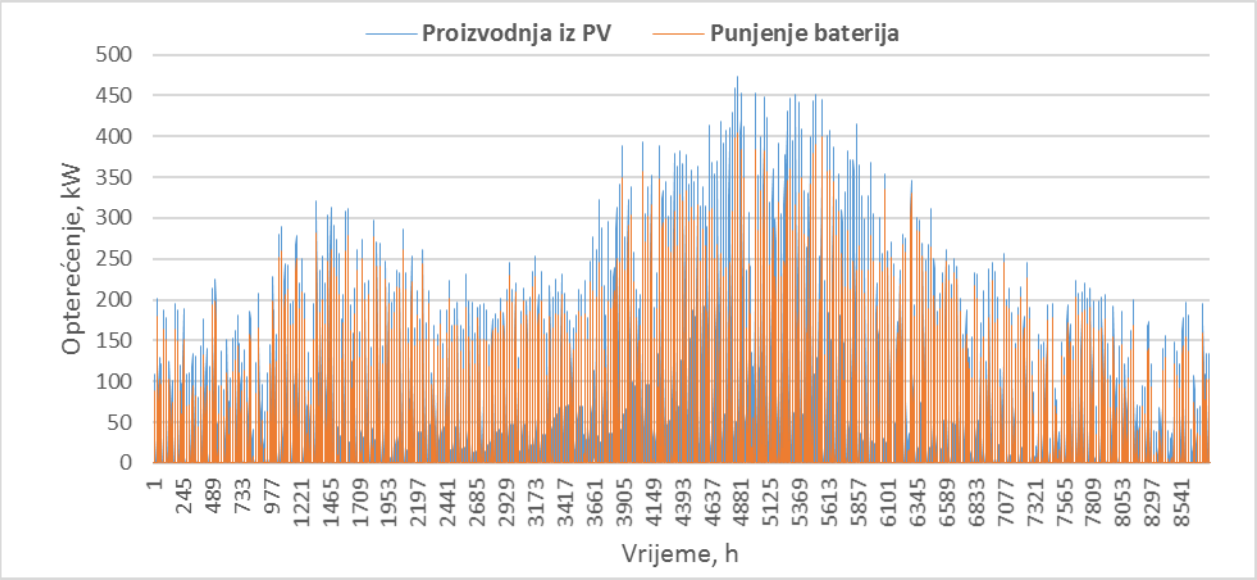
Slika 52 prikazuje pohranjenu električnu energiju u baterijama. Uspoređujući uvoz električne energije i pohranu vidi se kako u mjesecima kada se baterije ne prazne do kraja nema uvoza. S druge strane, u ljetnim mjesecima kada je vršna potrošnja električne energije, baterije potroše svu pohranjenu električnu energiju te je potreban dodatni uvoz električne energije.



Slika 52. Pohranjena električna energija u baterijama za 3. scenarij

Slika 53 prikazuje proizvodnju električne energije iz PV sustava i punjenje baterija. Vidi se kako se višak proizvedene električne energije pohranjuje u baterijama te punjenje pravilno

prati proizvodnju. U ljetnim mjesecima je najveća proizvodnja električne energije i napunjenost baterija.

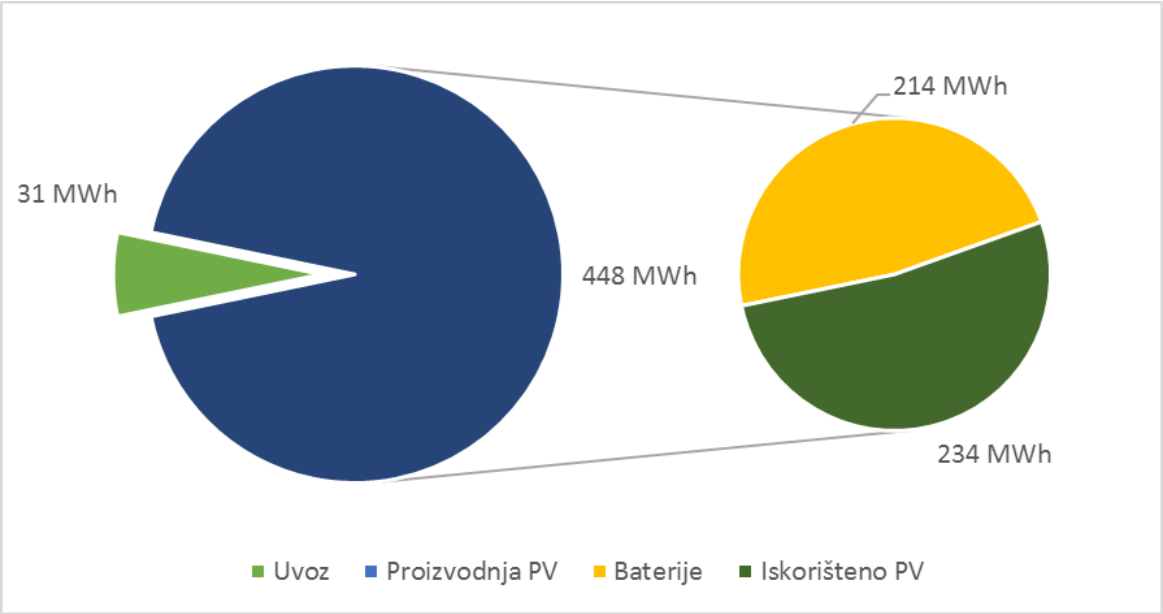


Slika 53. Proizvodnja električne energije iz PV sustava i punjenje baterija za 3. scenarij

5.6. Rezultati 4. scenarija: Kombinacija sustava iz prethodnih scenarija

Ovaj scenarij se nadovezuje na drugi, s dodatkom baterija za pohranu viška električne energije ukupnog kapaciteta 1,215 MWh. Dakle, sada su prisutne baterije za pohranu i toplinski spremnik kapaciteta 20 MWh. Nema izvoza električne energije.

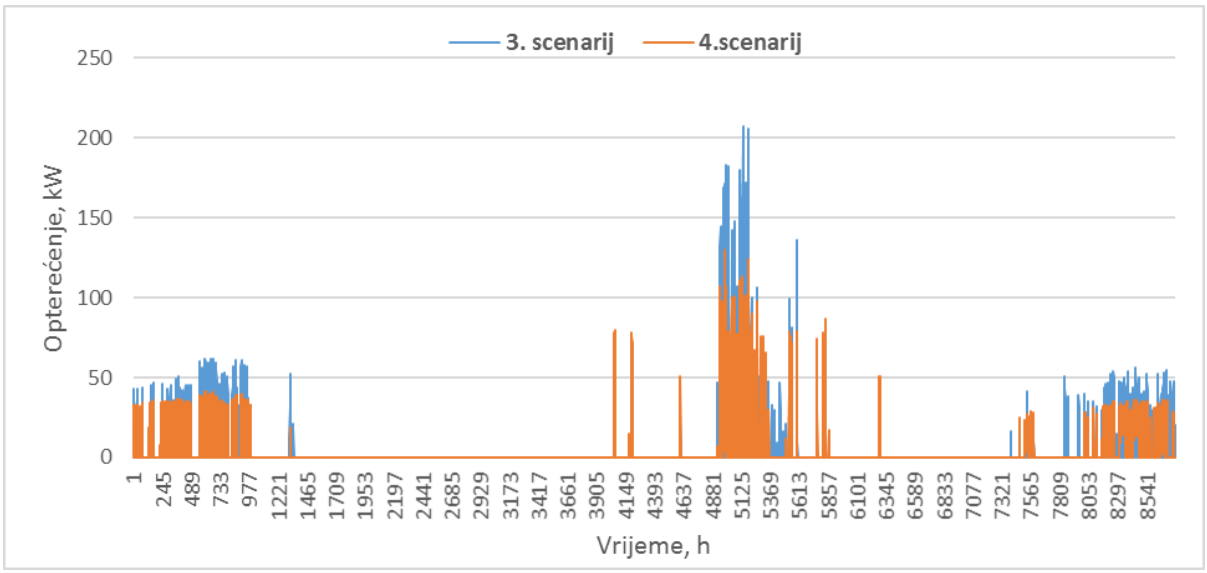
Slika 54 prikazuje raspodjelu električne energije iz uvoza i proizvodnje.



Slika 54. Raspodjela električne energije iz uvoza i proizvodnje za 4. scenarij

Vidljivo je da se proizvede 448 MWh električne energije od kojih se direktno iskoristi 234 MWh (20 MWh u toplinskom spremniku), a u baterije se pohrani 214 MWh. Uz gubitke, isporuči se 175 MWh električne energije iz baterija. Dakle, ukupno je 409 MWh električne energije iz PV sustava, dok se i dalje dio energije u iznosu od 31 MWh mora uvoziti kako bi se zadovoljila godišnja potrošnja od 440 MWh.

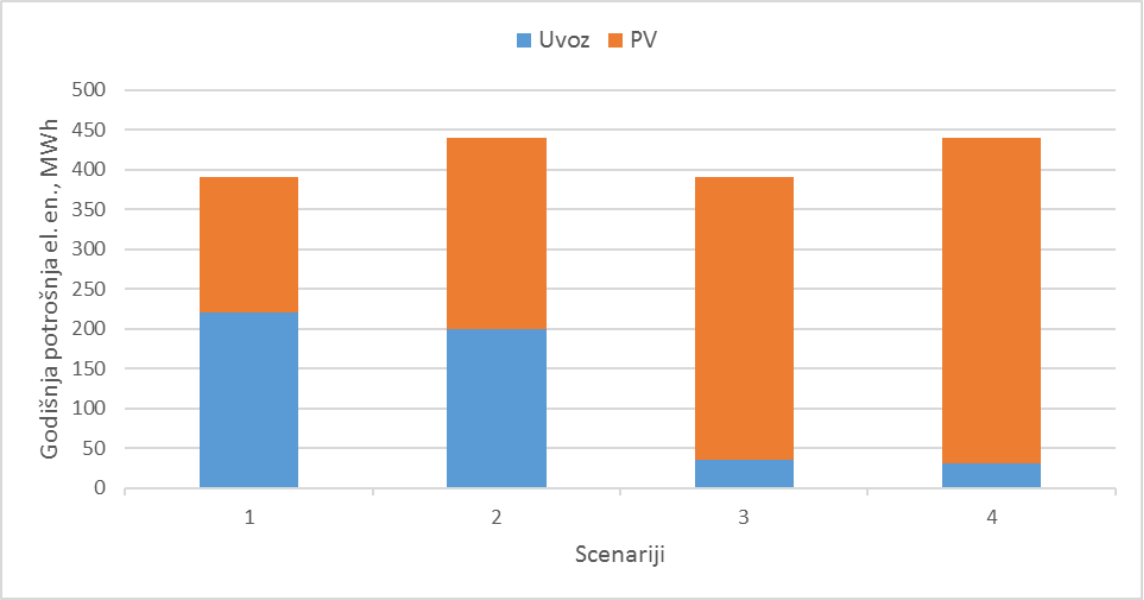
Slika 55 prikazuje uvoz električne energije za 3. i 4. scenarij. U ovom scenariju je uvoz električne energije najmanji, međutim i dalje postoji te nije postignuta potpuna energetska neovisnost otoka. Usporedbom dijagrama je vidljivo da je uvoz električne energije kod vršnih opterećenja manji u četvrtom scenariju nego u trećem, a to je zato što je toplinski spremnik pohranio dio energije koja je iskorištena za grijanje i PTV u razdobljima kada nije bilo proizvodnje te nije bilo potrebe za uvozom.



Slika 55. Uvoz električne energije za 3. i 4. scenarij

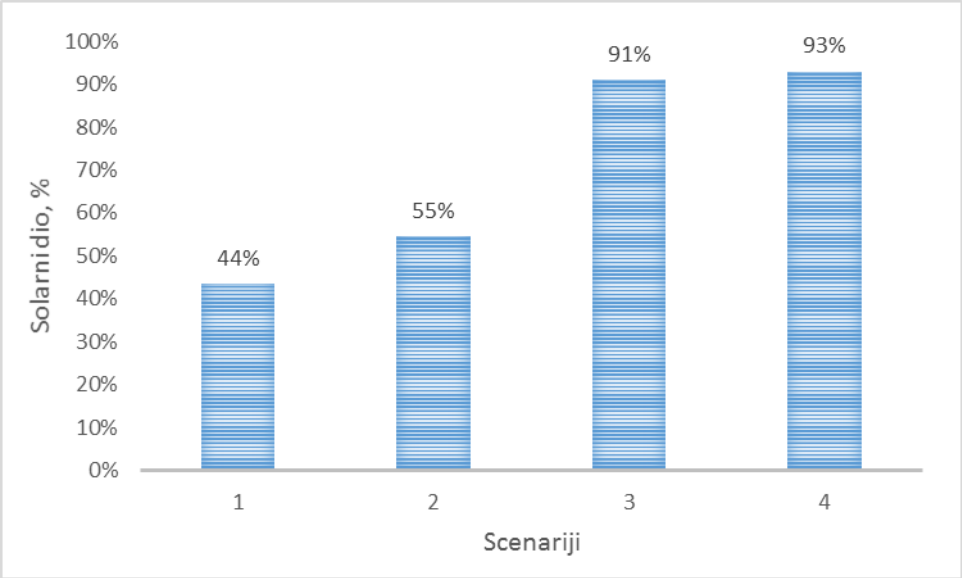
5.7. Usporedba scenarija

Slika 56 prikazuje usporedbu svih scenarija s udjelima električne energije iz uvoza i PV sustava. 4. scenarij se pokazao kao najbolji od svih iz razloga što ima dvostruku pohranu električne energije – u baterijama i u obliku toplinskae energije u toplinskom spremniku. Fleksibilnost na strani potrošnje je omogućila smanjenje električne energije iz uvoza na najmanju moguću vrijednost.



Slika 56. Udio električne energije iz PV sustava i uvoza za sva 4 scenarija

Nakon analize svih scenarija pokazalo se da fotonaponskim sustavom od 500 kW_p nije moguće postići potpunu energetsku neovisnost otoka Unije čak ni uz spremnike koji pohranjuju proizvedeni višak (baterije i toplinski spremnik). Pametni uređaji su povećali vlastitu potrošnju iz PV sustava, ali nisu pomogli da se postigne 100% energetski neovisan otok. Najviše se postiglo u 4. scenariju u kojemu je 93% električne energije iz PV sustava (Slika 57), a samo 7% se uvozi. Baterije su povećale solarni dio u 4. scenariju za 70% u odnosu na 2. scenarij, dok su u 3. scenariju povećale solarni dio za više od dvostruko u odnosu na 1. scenarij.

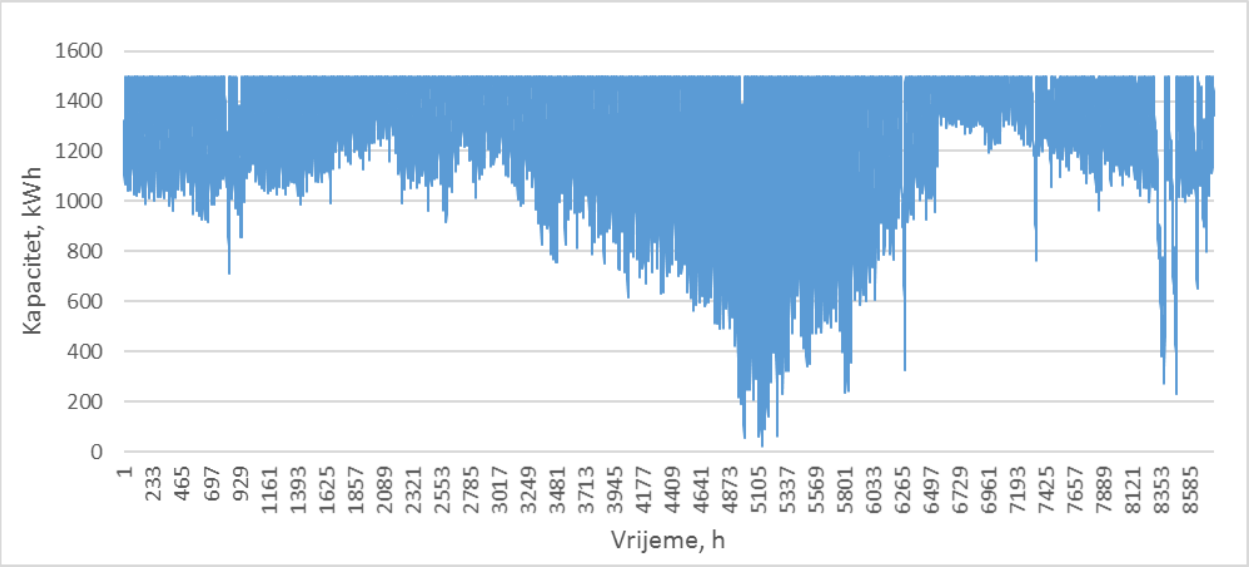


Slika 57. Solarni dio za sva 4 scenarija

Razlog zašto nije postignuta potpuna energetska neovisnost otoka je taj što kapaciteti PV sustava i baterija nisu dovoljni za 100% energetsku neovisnost. Kako bi se provjerio ovaj razlog, u 4. scenarij će se dodati dodatnih 1000 kW_p PV sustava i 285 kWh baterija. Dakle, ukupno je instalirano 1500 kW_p PV, 1500 kWh baterija ukupne snage 550 kW i 400 kWh toplinskih spremnika.

Proizvodnja električne energije iz PV sustava se povećala s 448 MWh na 481 MWh što je rast od 7%. Slika 58 prikazuje punjenje (višak električne energije iz PV sustava) i pražnjenje (pokrivanje opterećenja kada nema proizvodnje iz PV sustava) kroz godinu. Iz dijagrama je vidljivo da se baterije u niti jednom satu ne isprazne do kraja što znači da su PV sustav od 1500 kW_p uz baterije kapaciteta 1500 kWh dovoljni za 100% energetsku neovisnost kućanstava na otoku te nema uvoza električne energije. Rast kapaciteta u odnosu na 2. scenarij je pokrio vršna

opterećenja u najtoplijim ljetnim danima kada je na otoku najveći broj turista i najhladnijim zimskim danima.



Slika 58. Punjenje i pražnjenje baterija kroz godinu za scenarij potpuno energetski neovisnih kućanstava

6. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je pokazati kako integracija fotonaponskih elektrana utječe na energetski sustav otoka Unije. Analiza različitih scenarija pokazala je da otok Unije ima velik potencijal prema postizanju energetske neovisnosti. Promatrala su se samo kućanstva koja su podijeljena na stalno naseljena i sezonska. Potpuna elektrifikacija otoka i ugradnja dizalica topline povećavaju energetsku učinkovitost, a pametni uređaji smanjuju potrošnju električne energije, osiguravaju fleksibilnost opterećenja i omogućavaju dvosmjernu komunikaciju između potrošača i dobavljača.

Prvi scenarij pokazao je kako se samo ugradnjom fotonaponskog sustava od 500 kW_p na postojeće stanje može postići 44% električne energije iz obnovljivih izvora, a ostatak se uvozi. Međutim, problem postaje višak električne energije koji bi se mogao izvoziti, ukoliko se reguliraju uvjeti i cijena prodane električne energije.

Drugi scenarij je pokazao kako se pametnim uređajima, dizalicama topline, fleksibilnim opterećenjem i toplinskim spremnikom udio obnovljivih izvora energije povećava za dodatnih 11% i iznosi 55% ukupne potrošnje električne energije u kućanstvima. U ovom scenariju se također višak energije izvozi, a manjak uvozi.

U trećem scenariju je na postojeće stanje, uz fotonaponski sustav, dodano 1,215 MWh baterija koje pohranjuju višak električne energije koji potom iskorištavaju u satima kada nema proizvodnje električne energije. Baterije su povećale udio obnovljivih izvora energije na 91%, dok se 9% uvozi.

Četvrti scenarij je s najvećim udjelom obnovljivih izvora energije. Dodano je 1,215 MWh baterija na drugi scenarij te udio obnovljivih izvora energije iznosi 93%. Daljnjim povećanjem kapaciteta fotonaponskog sustava na 1500 kW_p i 1,5 MWh baterija postignuta je potpuna energetska neovisnost kućanstava bez uvoza električne energije.

Ovaj rad je pokazao samo tehnički dio integracije obnovljivih izvora energije, a ekonomski aspekt se nije analizirao. Evaluacija scenarija je bila postizanje maksimalnog pokrivanja potrošnje električne energije po kućanstvima te minimalni trošak energije (u ovom slučaju što veći udio obnovljivih izvora energije). Pokazalo se da je za potpunu energetsku neovisnost kućanstava na otoku Unije potreban kapacitet fotonaponskog sustava od 1500 kW_p i 1500 kWh baterija. Međutim, trebalo bi analizirati i ekonomsku stranu koja bi pokazala kolika je vrijednost investicije fotonaponske elektrane, baterija, pametnih uređaja i toplinskih spremnika.

Kompletna tehno-ekonomska analiza bi pokazala koja je cijena za tranziciju otoka prema potpunoj energetskoj neovisnosti.

LITERATURA

[1] N. Duić, J. P. Fonseca, M.G. Carvalho: *Increasing the Penetration of Renewable Energy by Merging Energy and Water Supply Systems: case study Corvo Island, Azores*, 2005.

[2] Pavlinek, Luka: *Diplomski rad*

[3] Proizvodnja i potrošnja električne energije, prezentacija [https://www.slideserve.com/sidone/proizvodnja-i-potro-nja-elektri-ne-energije] Pristup stranici 9.4.2019.

[4] [https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/item/301-smart-energetska-mreza.html] Pristup stranici 9.4.2019.

[5] Smart Islands Declaration, EU

[6] [https://www.zakon.hr/z/638/Zakon-o-otocima] Pristup stranici 6.5.2019.

[7] Smart Islands Projects and Strategies, 1st European Smart Islands Forum, 2016.

[8] [http://otok-unije.com] Pristup stranici 12.1.2019.

[9] [https://cleantechnica.com/2018/02/11/solar-panel-prices-continue-falling-quicker-expected-cleantechnica-exclusive/] Pristup stranici 20.2.2019.

[10] G. Krajačić, M. G. Carvalho, N. Duić.: *RenewIslands methodology for sustainable energy*, srpanj 2007.

[11] Bratić, Silvio: *Diplomski rad*

[12] HEP: Izvještaj o potrošnji električne energije po naselju za razdoblje 2017. – 2018. godine

[13] [https://strujaplin.com/index.php/faq/uredaji-najveca-potrosnja-struje] Pristup stranici 15.1.2019.

[14] [https://www.energuide.be/en/questions-answers/how-much-energy-do-my-household-appliances-use/71/] Pristup stranici 30.4.2019.

[15] [https://www.energyplan.eu/getstarted/] Pristup stranici 28.3.2019.

[16] [https://www.tesla.com/powerwall?redirect=no] Pristup stranici 23.4.2019.

[17] Katalog električnih bojlera proizvođača Ariston Thermo

[18] [https://www.energy.gov.au/business/about-business/opportunity/load-shifting] Pristup stranici 19.4.2019.

[19] Katalog toplinskih pumpi proizvođača Ariston Thermo

[20] Ângelo Casaleiro, Raquel Figueiredo, Diana Neves, Miguel C. Brito, Carlos A. Silva: *Optimization of Photovoltaic Self-consumption using Domestic Hot Water Systems*, 2018.

[21] [http://smarthomegib.com/doorwindow-sensor-2/] Pristup stranici 11.3.2019.

[22] [https://www.andivi.eu/senzori-osjetnici/senzori-kvalitete-zraka-co2/] Pristup stranici 19.3.2019.

[23] [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter] Pristup stranici 19.3.2019.

[24] The NETfficient Handbook: Aggregated Energy Storage for Smarter Communities [http://netfficient-project.eu/wp-content/uploads/2019/02/EBOOK_NETfficient_final.pdf] Pristup stranici 2.5.2019.

PRILOZI

I. Dodatak

II. CD-R disc

DODATAK

6.1. *Microsoft Excel* - Modeliranje godišnje potrošnje električne energije po kategorijama

Ukupno el.energija		
SIJ	Kućanstva	Sezonski
	20042,508	0
VELJ		
	14391,521	0
OŽU		
	16949,429	0
TRA		
	12758,721	6382,264
SVI		
	12585,899	12688,7
LIP		
	13589,902	29236,64
SRP		
	14042,899	60422,39
KOL		
	14042,899	60422,39
RUJ		
	12179,902	29236,64
LIS		
	14629,621	9808,137
STU		
	17899,325	0
PRO		
	20042,508	0
UKUPNO (MWh)	183,16	208,20
GODIŠNJE	391,35	MWh

Grijanje	Koef. PTV mj	PTV	
Kućanstva		Kućanstva	Sezonski
7732,696364	1	4003,4262	0
5587,496727	1	3615,9979	0
4639,617818	1	4003,4262	0
	1,70212766	3874,2834	2720,242
	2,474468085	4003,4262	5902,924
	4,510638298	3874,2834	13601,21
	8,021276596	4003,4262	28109,16
	8,021276596	4003,4262	28109,16
	4,510638298	3874,2834	13601,21
2319,808909	2,316489362	4003,4262	5270,468
5986,603636	1	3874,2834	0
7732,696364	1	4003,4262	0
34,00		47,14	97,31
34,00		144,45	

Hlađenje	
Kućanstva	Sezonski
0	0
0	0
0	0
846,0	1320,0
1457,0	2864,4
2820	6600
2914	13640
2914	13640
1410	6600
0	0
0	0
0	0
12	44,66
57,03	

Rasvjeta	
Kućanstva	Sezonski
2361,8255	0
2133,2617	0
2361,8255	0
2285,6375	1069,873
1180,9127	1160,812
1142,8188	2674,682
1180,9127	5527,677
1180,9127	5527,677
1142,8188	2674,682
2361,8255	2072,879
2285,6375	0
2361,8255	0
21,98	20,71
42,69	

Štednjak	
Kućanstva	Sezonski
819,5625	0
740,25	0
819,5625	0
793,125	111,375
819,5625	241,6838
793,125	556,875
819,5625	1150,875
819,5625	1150,875
793,125	556,875
819,5625	215,7891
793,125	0
819,5625	0
9,65	3,98
13,63	

Ostali uređaji	
Kućanstva	Sezonski
5124,9975	0
2314,515	0
5124,9975	0
4959,675	1160,775
5124,9975	2518,88175
4959,675	5803,875
5124,9975	11994,675
5124,9975	11994,675
4959,675	5803,875
5124,9975	2249,001563
4959,675	0
5124,9975	0
58,03	41,53
99,55	

PROSJEČNO KUĆ 3,8969178 0,946351

0,723381273 MWh po kućanstvu

Ljeto	Tra-Ruj
Zima	Lis-Ožu

El. en. grijanje		Toplina
Klima grijanje COP=3	15,65	46,96
El. grijalice	18,34	18,34
		65,31 MWh topline
Po kućanstvu godišnje		3,308373 MWh topline

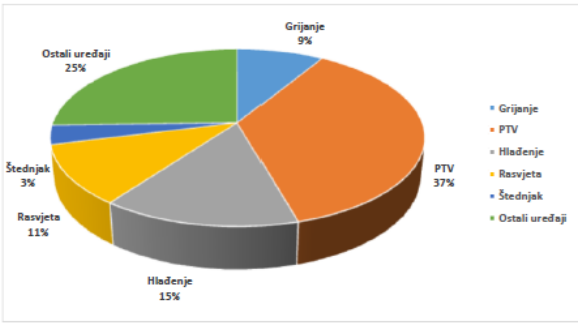
El. en. hlađenje		Hlađenje
Karakteristična kuća	Klima COP=3	57,03 171,0762

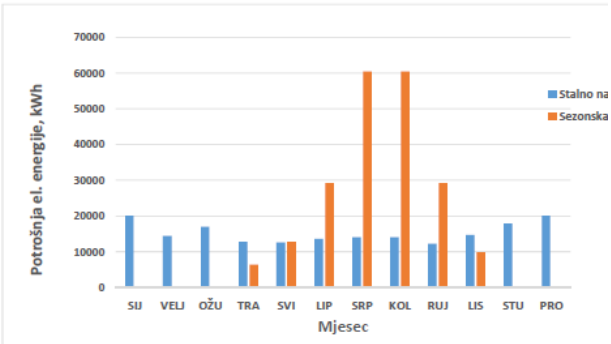
KARAKTERISTIČNO KUĆANSTVO

SIJ	560
VELJ	405
OŽU	336
TRA	163
SVI	280
LIP	542
SRP	560
KOL	560
RUJ	271
LIS	168
STU	434
PRO	560
Ukupno	4842

Objekti	47
Rasvjeta	1,62
Grijanje (struja)	8
Hlađenje	8
Uređaji	3,52
PTV	2,94
Štednjak	2
Ljeto	18,08
Zima	18,08

Mjesec	Koef.grij./hl.	Koef. Popu	Koef. Popu	Dani u mjesecu		Br.turista	
1	1	1	0	31	31	0	0
2	0,8	1	0	28	28	0	0
3	0,6	1	0	31	31	0	0
4	0,3	1	0,1	30	30	80	0,1
5	0,5	1	0,21	31	31	170	0,21
6	1	1	0,5	30	30	400	0,5
7	1	1	1	31	31	800	1
8	1	1	1	31	31	800	1
9	0,5	1	0,5	30	30	400	0,5
10	0,3	1	0,19	31	31	150	0,19
11	0,8	1	0	30	30	0	0
12	1	1	0	31	31	0	0
						Max.br.turis	800





6.2. *EnergyPLAN* – rezultati scenarija

- 1. scenarij

	District Heating										Electricity																
	Demand	Production								Ba-	Consumption						Production							Balance				
	Distr. heating kW	Solar kW	Waste· CSHP kW	DHP kW	CHP kW	HP kW	ELT kW	Boiler kW	EH kW	lance kW	Elec. demand kW	Flex.& Transp kW	HP kW	Elec- trolyser kW	EH kW	Hydro Pump kW	Tur- bine kW	RES kW	Hy- dro kW	Geo- thermal kW	Waste· CSHP kW	CHP kW	PP kW	Stab- Load %	Imp kW	Exp kW	CEEP kW	EEP kW
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	2	0	18	0	0	29	0	0	0	0	0	100	26	18	0	18
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	2	0	20	0	0	43	0	0	0	0	0	100	26	29	0	29
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	1	0	15	0	0	72	0	0	0	0	0	100	20	59	0	59
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	1	0	7	0	0	102	0	0	0	0	0	100	11	90	0	90
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	1	0	10	0	0	125	0	0	0	0	0	100	14	108	0	108
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	2	0	19	0	0	134	0	0	0	0	0	100	26	105	0	105
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	3	0	33	0	0	140	0	0	0	0	0	100	40	93	0	93
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	3	0	34	0	0	121	0	0	0	0	0	100	45	79	0	79
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	2	0	19	0	0	88	0	0	0	0	0	100	24	72	0	72
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	1	0	15	0	0	55	0	0	0	0	0	100	17	44	0	44
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	1	0	14	0	0	32	0	0	0	0	0	100	20	23	0	23
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	2	0	18	0	0	23	0	0	0	0	0	100	25	14	0	14
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	2	0	19	0	0	81	0	0	0	0	0	100	25	61	0	61
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	0	13	0	134	0	0	491	0	0	0	0	0	100	226	400	0	400
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
GWh/year	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,02	0,00	0,16	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,22	0,54	0,00	0,54

- 2. scenarij

	District Heating										Electricity																
	Demand	Production								Ba-	Consumption						Production							Balance				
	Distr. heating kW	Solar kW	Waste· CSHP kW	DHP kW	CHP kW	HP kW	ELT kW	Boiler kW	EH kW	lance kW	Elec. demand kW	Flex.& Transp kW	HP kW	Elec- trolyser kW	EH kW	Hydro Pump kW	Tur- bine kW	RES kW	Hy- dro kW	Geo- thermal kW	Waste· CSHP kW	CHP kW	PP kW	Stab- Load %	Imp kW	Exp kW	CEEP kW	EEP kW
January	48	0	0	0	0	48	0	0	0	0	20	2	12	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	100	18	13	0	13
February	53	0	0	0	0	53	0	0	0	0	21	2	13	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	100	19	25	0	25
March	40	0	0	0	0	40	0	0	0	0	18	2	10	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	100	13	55	0	55
April	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	30	2	2	0	0	0	0	103	0	0	0	0	0	100	16	84	0	84
May	14	0	0	0	0	14	0	0	0	0	43	2	4	0	0	0	0	126	0	0	0	0	0	100	20	97	0	97
June	26	0	0	0	0	26	0	0	0	0	67	2	6	0	0	0	0	136	0	0	0	0	0	100	30	91	0	91
July	45	0	0	0	0	46	0	0	0	0	87	2	11	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	100	44	84	0	84
August	46	0	0	0	0	46	0	0	0	0	89	2	11	0	0	0	0	121	0	0	0	0	0	100	50	67	0	67
September	26	0	0	0	0	26	0	0	0	0	45	2	6	0	0	0	0	88	0	0	0	0	0	100	27	61	0	61
October	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0	12	2	8	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	100	9	41	0	41
November	37	0	0	0	0	36	0	0	0	0	16	2	9	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	100	14	19	0	19
December	47	0	0	0	0	47	0	0	0	0	18	2	12	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	100	18	10	0	10
Average	35	0	0	0	0	35	0	0	0	0	39	2	9	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0	100	23	54	0	54
Maximum	184	0	0	0	0	339	0	0	0	184	148	55	85	0	0	0	0	500	0	0	0	0	0	100	156	400	0	400
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-278	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
GWh/year	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,20	0,47	0,00	0,47

- 3. scenarij

	District Heating										Electricity																
	Demand	Production								Ba-	Consumption						Production							Balance				
	Distr. heating kW	Solar kW	Waste· CSHP kW	DHP kW	CHP kW	HP kW	ELT kW	Boiler kW	EH kW	lance kW	Elec. demand kW	Flex.& Transp kW	HP kW	Elec- trolyser kW	EH kW	Hydro Pump kW	Tur- bine kW	RES kW	Hy- dro kW	Geo- thermal kW	Waste· CSHP kW	CHP kW	PP kW	Stab- Load %	Imp kW	Exp kW	CEEP kW	EEP kW
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	2	0	18	18	14	29	0	0	0	0	0	100	12	0	0	0
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	2	0	20	25	19	39	0	0	0	0	0	100	7	0	0	0
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	1	0	15	25	20	38	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	1	0	7	14	11	26	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	1	0	10	17	14	34	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	2	0	19	31	26	61	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	3	0	33	43	34	90	0	0	0	0	0	100	5	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	3	0	34	48	39	90	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	2	0	19	30	24	46	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	1	0	15	21	17	31	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	1	0	14	21	18	31	0	0	0	0	0	100	2	0	0	0
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	2	0	18	14	12	23	0	0	0	0	0	100	14	0	0	0
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	2	0	19	26	21	45	0	0	0	0	0	100	4	0	0	0
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	0	13	0	134	404	226	473	0	0	0	0	0	100	207	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
GWh/year	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,02	0,00	0,16	0,22	0,18	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,03	0,00	0,00	0,00

- 4. scenarij

	District Heating										Electricity																
	Demand	Production									Consumption						Production							Balance				
	Distr. heating kW	Solar kW	Waste-CSHP kW	DHP kW	CHP kW	HP kW	ELT kW	Boiler kW	EH kW	Balance kW	Elec. demand kW	Flex.& Transp kW	HP kW	Electrolyser kW	EH kW	Hydro Pump kW	Turbine kW	RES kW	Hydro kW	Geothermal kW	Waste-CSHP kW	CHP kW	PP kW	Stab-Load %	Imp kW	Exp kW	CEEP kW	EEP kW
January	60	0	0	0	0	59	0	0	0	0	20	2	15	0	0	12	10	29	0	0	0	0	0	100	10	0	0	0
February	56	0	0	0	0	56	0	0	0	0	21	2	14	0	0	19	14	38	0	0	0	0	0	100	5	0	0	0
March	49	0	0	0	0	49	0	0	0	0	18	2	12	0	0	17	14	36	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
April	36	0	0	0	0	36	0	0	0	0	30	2	9	0	0	21	17	45	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
May	24	0	0	0	0	24	0	0	0	0	43	2	6	0	0	25	20	56	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
June	17	0	0	0	0	17	0	0	0	0	67	2	4	0	0	35	29	79	0	0	0	0	0	100	1	0	0	0
July	14	0	0	0	0	14	0	0	0	0	87	2	4	0	0	45	37	95	0	0	0	0	0	100	5	0	0	0
August	15	0	0	0	0	15	0	0	0	0	89	2	4	0	0	49	40	98	0	0	0	0	0	100	7	0	0	0
September	21	0	0	0	0	20	0	0	0	0	45	2	5	0	0	33	26	59	0	0	0	0	0	100	1	0	0	0
October	32	0	0	0	0	32	0	0	0	0	12	2	8	0	0	11	9	25	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
November	45	0	0	0	0	45	0	0	0	0	16	2	11	0	0	16	14	30	0	0	0	0	0	100	1	0	0	0
December	55	0	0	0	0	55	0	0	0	0	18	2	14	0	0	9	8	23	0	0	0	0	0	100	12	0	0	0
Average	35	0	0	0	0	35	0	0	0	0	39	2	9	0	0	24	20	51	0	0	0	0	0	100	4	0	0	0
Maximum	63	0	0	0	0	343	0	0	0	63	148	55	86	0	0	369	144	482	0	0	0	0	0	100	130	0	0	0
Minimum	13	0	0	0	0	0	0	0	0	-287	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
GWh/year	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,02	0,08	0,00	0,00	0,21	0,17	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,03	0,00	0,00	0,00

6.3. Brojila električne energije za kućanstva za 2017. godinu

Redni broj kućanstva	Potrošnja u kWh
1	13966
2	12759
3	9828
4	9068
5	8792
6	8294
7	6902
8	6708
9	6247
10	5084
11	4964
12	4957
13	4800
14	4746
15	4615
16	4604
17	4520
18	4364
19	4284
20	4259
21	4237
22	4083
23	4074
24	3941
25	3554
26	3552
27	3544

28	3137
29	3015
30	3012
31	2990
32	2942
33	2777
34	2775
35	2731
36	2711
37	2683
38	2677
39	2654
40	2653
41	2652
42	2635
43	2627
44	2587
45	2510
46	2427
47	2419
48	2402
49	2398
50	2355
51	2292
52	2235
53	2222
54	2148
55	2142
56	2125
57	2087
58	2049
59	2046
60	2017
61	1999
62	1997
63	1986
64	1971
65	1939
66	1910
67	1886
68	1822
69	1813
70	1754
71	1603
72	1589
73	1583

74	1520
75	1519
76	1432
77	1417
78	1395
79	1371
80	1370
81	1370
82	1356
83	1324
84	1255
85	1255
86	1236
87	1216
88	1213
89	1213
90	1205
91	1205
92	1151
93	1131
94	1125
95	1123
96	1121
97	1110
98	1081
99	1075
100	1062
101	1060
102	1054
103	1039
104	1036
105	1003
106	997
107	991
108	991
109	990
110	982
111	970
112	942
113	942
114	927
115	923
116	922
117	916
118	898
119	877

120	873
121	864
122	841
123	826
124	805
125	793
126	784
127	783
128	754
129	749
130	728
131	721
132	685
133	677
134	675
135	672
136	652
137	642
138	639
139	639
140	637
141	634
142	632
143	610
144	602
145	589
146	588
147	583
148	583
149	577
150	576
151	572
152	566
153	562
154	554
155	553
156	552
157	535
158	534
159	527
160	522
161	515
162	494
163	494
164	487
165	480

166	473
167	473
168	468
169	468
170	462
171	461
172	456
173	454
174	446
175	446
176	440
177	438
178	427
179	426
180	420
181	419
182	416
183	413
184	395
185	375
186	361
187	361
188	360
189	360
190	357
191	353
192	345
193	336
194	336
195	335
196	331
197	323
198	318
199	312
200	306
201	301
202	295
203	284
204	270
205	265
206	261
207	259
208	253
209	249
210	247
211	246

212	229
213	217
214	216
215	205
216	200
217	199
218	198
219	193
220	192
221	185
222	175
223	170
224	168
225	158
226	156
227	147
228	146
229	143
230	140
231	139
232	136
233	127
234	126
235	124
236	120
237	109
238	109
239	102
240	91
241	90
242	80
243	80
244	75
245	68
246	66
247	61
248	61
249	57
250	56
251	53
252	37
253	35
254	30
255	25
256	24
257	17

258	8
259	1
260	0
261	0
262	0
263	0
264	0
265	0
266	0
267	0
268	0
269	0
270	0