

**ANALIZA OPTIMIZACIJE SAMOOSKRBNIH SKUPNOSTI
ZA MAKSIMIZACIJO SKUPNIH KORISTI Z UPORABO
15-MIN ŠTEVČNIH PODATKOV**

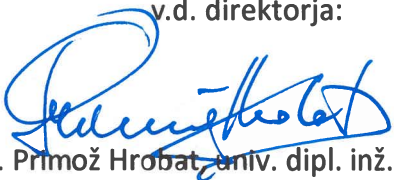
Študija št.: 2706

Ljubljana, julij 2025

**ANALIZA OPTIMIZACIJE SAMOOSKRBNIH SKUPNOSTI
ZA MAKSIMIZACIJO SKUPNIH KORISTI Z UPORABO
15-MIN ŠTEVČNIH PODATKOV**

Študija št.: 2706

Ljubljana, julij 2025

v.d. direktorja:

dr. Primož Hrobat, univ. dipl. inž. el.



ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR
Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo
Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

T +386 1 474 3601 | E info@eimv.si

W www.eimv.si

Oddelek za vodenje in delovanje elektroenergetskih sistemov

© **Elektroinštitut Milan Vidmar, 2025**

Vse pravice pridržane. Nobenega dela dokumenta se brez poprejšnjega pisnega dovoljenja avtorja ne sme ponatisniti, razmnoževati, shranjevati v sistemu za shranjevanje podatkov ali prenašati v kakršnikoli obliki ali s kakršnimikoli sredstvi. Objavljanje rezultatov dovoljeno le z navedbo vira.

Izvajalec:	ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana
Naročnik(i):	BORZEN, operater trga z elektriko, d.o.o. Dunajska cesta 156, 1000 Ljubljana,
Številka pogodbe:	JN-2179-25
Številka študije:	2706
Naslov študije:	Analiza optimizacije samooskrbnih skupnosti za maksimizacijo skupnih koristi z uporabo 15-min števnih podatkov
Title:	Analysis of energy consumption optimization in energy communities to maximize total benefits using 15-minute interval data
Nosilec pogodbe izvajalca:	mag. Andreja Ivartnik Kanduč, univ. dipl. inž. el. 
Izdelovalci študije:	mag. Andreja Ivartnik Kanduč, univ. dipl. inž. el. (EIMV) dr. Sreten Davidov, mag. inž. el. (EIMV) Martin Podlogar, mag. inž. el. (EIMV)
Spremljevalci:	Iztok Gornjak, univ. dipl. gos. inž. str. (Borzen, d.o.o.) Maja Sevšek, mag. geog. (Borzen, d.o.o.)
Obseg študije:	št. strani uvoda (XV), teksta (66), 21 slik, 14 tabel
Datum izdelave:	julij 2025

POVZETEK

Hitro spreminjajoče se podnebne razmere silijo države k ukrepanju. Usmeritev v obnovljive vire energije je ena od glavnih usmeritev Evropske unije na svoji poti k razogljičenju. Eden od ukrepov, ki se ga EU poslužuje je spodbujanje investicij svojih državljanov v razpršene obnovljive vire energije. Najpogostejše so to fotovoltaične elektrarne, ki pa zaradi spreminjajočih se vremenskih pogojev ne zagotavljajo vedno električne energije takrat, ko jo odjemalci potrebujejo.

V študiji podajamo odgovor, kako lahko odjemalci, ki se odločajo za skupno uporabo proizvedene energije iz fotovoltaičnih elektrarn, ki je bodisi v skupni lasti, bodisi katere lastnik sodeluje v souporabi in daje na razpolago svoje viške energije, določijo optimalno razdelitev pripadajočih deležev proizvedene električne energije. Glede na profile odjema odjemalcev, ki se povezujejo, se delitveni ključ lahko prilagodi tako, da se maksimira količina porabljene proizvedene električne energije vseh odjemalcev skupaj, ter odda minimum proizvedene električne energije nazaj v omrežje.

V okviru študije smo predstavili nelinearen optimizacijski problem z omejitvami ki je bil preizkušen na štirih uporabniških primerih. Primeri temeljijo na značilnostih porabe in uporabe električne energije in sicer gospodinjstvih odjemalcev, podjetij in kombinacij med njimi.

Rezultati kažejo, da določitev optimalnih deležev sodelujočih pri porabi električne energije iz SE maksimizira lokalno porabo SE energije in hkrati minimizirajo količino oddaje, vrnjene v omrežje. Simulacija pa pokaže tudi kolikšen delež energije ostaja »neporabljen« med uporabniki in koliko še ostaja potenciala za sodelovanje pri souporabi tako proizvedene električne energije.

Ključne besede: razpršeni viri energije, fotovoltaične elektrarne, souporaba električne energije, delitveni ključ, optimizacija porabe

ABSTRACT

Rapidly changing climate conditions are forcing countries to take action. The transition toward renewable energy sources is one of the key strategies of the European Union in its pursuit of decarbonization. To accelerate the energy transition, the EU actively promotes and financially supports citizen-driven investments in decentralized renewable power plants.

The most common of these are photovoltaic power plants, which, due to fluctuating weather conditions, do not always generate electricity at the times when consumers need it. This study explores methods for optimally allocating energy shares among consumers jointly utilizing electricity produced by photovoltaic power plants, either through collective ownership or cooperative schemes that allow individual owners to contribute surplus generation. Based on the consumption profiles of the participating users, the allocation key is adapted to maximize the amount of self-consumed energy and minimize the power injected back into the grid.

The study applies a nonlinear constrained programming model, tested on four use cases. These cases reflect different electricity consumption patterns, including household consumers, businesses, and mixed-use scenarios.

The results show that optimizing the participants' shares in the consumption of electrical energy from SE makes it possible to determine the optimal coefficients that maximize local SE energy use while minimizing the amount returned to the grid. Furthermore, the simulation reveals the portion of energy that remains unused and the remaining potential for further cooperative self-consumption of locally generated electricity.

Key-words: decentralized energy sources, photovoltaic power plants, shared use of electricity, allocation key, consumption optimization

ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR

Hajdrihova 2, Ljubljana

Predmet: ŠTUDIJSKA NALOGA

Naslov naloge: Analiza optimizacije samooskrbnih skupnosti za maksimizacijo skupnih koristi z uporabo 15-min števnih podatkov

Utemeljitev naloge:

Borzenovemu Centru za podpore, kot obvezni gospodarski službi, 18. člen ZSROVE [1] med drugim nalaga tudi izvajanje nalog kontaktne točke. V okviru kontaktne točke opravlja opravila navedena v 51. členu ZSROVE pod točko 6. V okviru pooblastila, da pripravi pravila in javno objavi priročnik o postopkih za investitorje na področju proizvodnje energije iz obnovljivih virov, načrtuje Center za podpore podpreti investitorje v obnovljive vire, ki želijo investicijo izvesti v obliki skupnostne samooskrbe. Končni odjemalci se v skupnostno samooskrbo povežejo po pravilih obligacijskega prava in na ta način skupaj uveljavljajo pravico do samooskrbe (37. člen ZSROVE) tako, da si med seboj delijo proizvedeno električno energijo iz obnovljivih virov energije (v nadaljevanju OVE). Odjemalci so si praviloma zelo različni, prav tako njihov odjem, zato je vprašanje ustrezne razdelitve proizvedene energije iz OVE ključno za optimizacijo izplena tako na ravni posameznika kot skupnosti.

V Sloveniji je bilo v letu 2023 v distribucijskem omrežju 94,5 % merilnih mest opremljenih s sistemskim števcem. Dejansko povezanih v daljinski zajem merilnih podatkov jih je okrog 93 %, od tega pa jih približno 91,8 % omogoča zajem podrobnih merilnih podatkov s 15-min ločljivostjo. Preko portala Moj elektro imajo vsi odjemalci dostop do zgodovinskih podatkov o svojem odjemu. Podatki pa omogočajo sprejemanje določitev na podlagi informacij, ki jih danes potencialnim investitorjem manjka.

Center za podpore bo v okviru predlagane študije izvedel analizo možnih pristopov k oblikovanju samooskrbne skupnosti na podlagi 15-minutnih števnih podatkov. Študija bo podprta s simulacijskimi izračuni na konkretnem primeru za leto 2024. Uporabljeni bodo zgodovinski podatki o vremenu za leto 2024.

Študija bo javno predstavljena in objavljena spletnih straneh Borzenove kontaktne točke za spodbujanje rabe OVE¹. V kolikor bo izkazan interes potencialnih investitorjev, lahko na podlagi te študije Center za podpore razvije informacijsko orodje, ki bi potencialnim investitorjem omogočil pridobivanje konkretnjših informacij na podlagi lastnih podatkov o odjemu, pridobljenih iz portala Moj elektro.

¹ <https://borzen.si/sl-si/tocka-ove>

Vsebina naloge:

1. Pregled in analiza možnih koristi samooskrbne skupnosti

Na podlagi javno objavljenih raziskav in študij se povzamejo koristi samooskrbnih skupnosti. Pri tem je poudarek na čim boljši izkoriščenosti OVE, možnosti optimiziranja stroška omrežnine in potencial sodelovanja z vidika prožnosti na elektroenergetskem trgu.

2. Izdelava simulacijskega modela samooskrbne skupnosti. Predvidene so bile tri variante modela oziroma trije scenariji, v katere je bila vključena:

- samooskrbna skupnost gospodinjskih odjemalcev,
- samooskrbna skupnost več podjetij,
- samooskrbna skupnost kot kombinacija podjetij in gospodinjskih odjemalcev.

3. Izdelava statističnih profilov za analizo:

- trije različni simulacijski profili za gospodinske odjemalce
- dva simulacijska profila za poslovne odjemalce
- simulacijski profil OVE na podlagi realnih vremenskih podatkov za 2024

4. Izvedba simulacij in interpretacija rezultatov

Naročnik bo po izvedenih simulacijah prejel študijo z opisom postopka in predstavitevijo rezultatov.

Uporabniki rezultatov naloge:

Borzen, d.o.o. – Kontaktna točka za spodbujanje rabe OVE

VSEBINA

1	UVOD.....	16
1.1	Metodologija dela	17
2	POVZETEK STANJA NA PODROČJU SAMOOSKRBE Z ELEKTRIČNO ENERGIJO	18
2.1	Obstoječe oblike souporabe električne energije	18
2.2	Souporaba električne energije po Zakonu o spremembah in dopolnitvah Zakona o oskrbi z električno energijo	19
2.3	Pogoji souporabe električne energije	23
3	SIMULACIJSKI MODEL	27
3.1	Opis simulacijskega modela in predpostavke	28
3.1.1	<i>Opis problema</i>	<i>28</i>
4	MODELIRANJE SIMULACIJSKIH PROFILOV ODJEMALCEV	29
4.1	Simulacijski profili krivulj.....	30
4.1.1	<i>Gospodinski profili uporabnikov</i>	<i>31</i>
4.1.2	<i>Poslovni profili uporabnikov</i>	<i>33</i>
4.1.3	<i>Proizvodni profili.....</i>	<i>34</i>
5	METODOLOGIJA PRIMERJAVE REZULTATOV SIMULACIJSKEGA MODELA	35
6	UPORABNIŠKI SCENARIJI.....	40
6.1	UC1 - Souporaba električne energije gospodinskega odjemalca s sončno elektrarno z gospodinskimi odjemalci brez nje	40
6.2	UC2 Souporaba električne energije sončne elektrarne med gospodinskimi odjemalci.....	43
6.3	UC3 Souporaba električne energije podjetja s sončno elektrarno in gospodinskih odjemalcev.....	45
6.4	UC4 Souporaba električne energije med podjetji.....	47
7	IZVEDBA SIMULACIJ IN ANALIZA REZULTATOV	48
7.1	Rezultati UC1 - Souporaba električne energije gospodinskega odjemalca s sončno elektrarno z gospodinskimi odjemalci brez nje	49

7.2	Rezultati UC2- Souporaba električne energije sončne elektrarne med gospodinjskimi odjemalci.....	54
7.3	Rezultati UC3- Souporaba električne energije podjetja s sončno elektrarno in gospodinjskih odjemalcev.....	59
7.4	Rezultati UC4 - Souporaba električne energije med podjetji	65
8	OCENA EKONOMSKE UPRAVIČENOSTI SOUPORABE.....	69
8.1	Ocena koristi za UC1	71
8.2	Ocena koristi za UC2	72
8.3	Ocena koristi za UC3	72
8.4	Ocena koristi za UC4	73
8.5	Prispevek k stabilnosti omrežja in potencial prožnosti	74
8.5.1	<i>Predlog reprezentativne analize vključitve baterijskega hranilnika</i>	<i>75</i>
9	ZAKLJUČEK IN PREDLOGI ZA NADALJNJE DELO	78
	LITERATURA.....	I

Kazalo slik

Slika 2.1: Delež vseh merilnih naprav in delež merilnih naprav s 15 min ločljivostjo odčitavanja po posameznih elektrodistribucijskih podjetjih v Sloveniji [8]	24
Slika 2.2: Uvodna stran aplikacije »Moj elektro«[9]	25
Slika 2.3: Primer izrisa letnega profila odjemalca iz aplikacije »Moj elektro« v obdobju 01. 01. 2024 do 31. 12. 2024	27
Slika 4.1 Oblike krivulj [10]	32
Slika 4.2 Tipičen poslovni profil za delovni dan, modelirano po [10]	33
Slika 4.3 Tipična oblika proizvodnje SE za delovni dan 21. feb 2024, modelirano po GHI iz podatkov [3]	35
Slika 4.4 Proizvodni neto profil prosumerja skozi dan (26. maj 2024).....	35
Slika 6.1: UC1 – prosumer deli viške z GO1 in GO2.....	40
Slika 6.2: UC2 - SE deljena med 3 GO	43
Slika 6.3: UC3 - podjetje in 5 GO	45
Slika 6.4: UC4 - dve podjetji	47
Slika 7.1: Letni potek električne moči aktivnega gospodinskega uporabnika s sončno elektrarno in dveh pasivnih gospodinskih odjemalcev (GO1, GO2); 15-minutna časovna ločljivost, modelirano po [10]	49
Slika 7.2: Vizualizacija rezultata optimizacije prerazporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje električne energije v omrežje	50
Slika 7.3: Primerjava porazdelitve sončne energije med dvema odjemalcema ob delovnem dnevu (12. september 2024) – z optimizacijo in brez, agregiran odjem, 15-min ločljivost	51
Slika 7.4: Letni potek električne moči sončne elektrarne (SE) in treh gospodinskih odjemalcev (GO1, GO2, GO3); časovna ločljivost 15 minut.	54
Slika 7.5: Vizualizacija rezultata optimizacije za nekaj delovni dni prerazporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje v omrežje	55
Slika 7.6: Graf prikazuje primerjavo med optimizirano in enakomerno (1/3) razdelitvijo energije iz sončne elektrarne med tri uporabnike skozi celoten dan (15. oktober 2024, UC2).....	56

Slika 7.7: Letni potek električne moči sončne elektrarne (SE), petih gospodinskih odjemalcev (GO1–GO5) in podjetja (PODJ1); časovna ločljivost 15 minut.....	59
Slika 7.8: Vizualizacija rezultata za nekaj delovnih dni optimizacije prerazporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje v omrežje	60
Slika 7.9: Primerjava optimizirane in prvotne porazdelitve energije iz SE med petimi odjemalci in skupnim odjemom (28. junij 2024, delovni dan, UC3)	61
Slika 7.10: Letni potek električne moči sončne elektrarne (SE) in dveh poslovnih odjemalcev (PODJ_1 in PODJ_2); časovna ločljivost 15 minut.....	65
Slika 7.11: Vizualizacija rezultata optimizacije za nekaj delovnih dni prerazporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje v omrežje	66
Slika 7.12: Primerjava delitve električne energije iz SE med dvema podjetjema za delovni dan (05. julij 2024) za primer uporabe UC4 – optimizirana in prvotna delitev, v 15-minutnih intervalih.....	67
Slika 8.1: Letni profil neto razlike med porabo in proizvodnjo – oddaja viškov v omrežje po UC3, modelirano po metodologiji v [10]	75
Slika 8.2: Teden dni delovanja baterijskega hranilnika – stanje napolnjenosti (SoC), moč baterije in nepokrite potrebe; obdobje 5.–31. maj 2024	77

Kazalo tabel

Tabela 7.1: Delež porabljene proizvodnje električne energije SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključi v primeru UC1	53
Tabela 7.2: Končni deleži delitve proizvodnje električne energije SE med odjemalci v primeru UC1	53
Tabela 7.3: Delež porabljene proizvodnje električne energije iz SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključi v primeru UC2	57
Tabela 7.4: Deleži delitve proizvodnje električne energije iz SE med odjemalci v primeru UC2	58
Tabela 7.5: Delež porabljene proizvodnje električne energije iz SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključi v primeru UC3	63
Tabela 7.6: Deleži delitve proizvodnje električne energije iz SE med odjemalci v primeru UC3	63
Tabela 7.7: Delež porabljene proizvodnje SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključi UC4	68
Tabela 7.8: Deleži delitve proizvodnje električne energije iz SE med odjemalci v primeru UC4	68
Tabela 8.1: Cenik podjetja GEN-I na dan 4. 7. 2025	70
Tabela 8.2: Vrednost deleža električne energije iz SE po uporabnikih v € za UC1	71
Tabela 8.3: Vrednost deleža električne energije iz SE po uporabnikih v € za UC2	72
Tabela 8.4: Vrednost deleža energije iz SE po uporabnikih v € za UC3	72
Tabela 8.5: Vrednost deleža električne energije iz SE po uporabnikih v € za UC4	73
Tabela 8.6: Finančne koristi optimizacije deležev proizvedene SE	73

SEZNAM KRATIC

DES	državljanska energetska skupnost
DO	distribucijski operater
EDM	angl. Electricity Market Design Reform
EU	Evropska unija
EZ	Energetski zakon
IEMD	angl. Internal Energy Market Directive
MM	merilno mesto
OVE	obnovljivi viri energije
RED	angl. Renewable Energy Directive
SE	sončna elektrarna
SOVE	Skupnost za obnovljive vire energije
UC	uporabniški primer (angl. Use Case)
UL	Uradni list
URE	učinkovita raba energije
ZDS	zaprti distribucijski sistem
ZOEE	Zakon o oskrbi z električno energijo
ZSROVE	Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije

1 UVOD

Družba Borzen, d.o.o. izvaja gospodarsko javno službo operaterja trga z elektriko in gospodarsko javno službo centra za podpore. Center za podpore je operativni izvajalec podporne sheme za proizvodnjo elektrike iz obnovljivih virov ter visoko učinkovite soproizvodnje toplote in elektrike, poleg tega pa upravlja register potrdil o izvoru, izvaja programe informiranja, ozaveščanja in usposabljanja o obnovljivih virih energije (v nadaljevanju: OVE) in učinkoviti rabi energije (v nadaljevanju: URE) ter dejavnosti kontaktne točke za spodbujanje rabe OVE.

Skladno z določbo 18. člena Zakona o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (v nadaljevanju: ZSROVE) [1] je dejavnost Centra za podpore med drugim tudi izvajanje nalog kontaktne točke, ki so podrobneje opredeljene v 51. členu ZSROVE ter v Uredbi o določitvi nalog kontaktne točke za spodbujanje rabe obnovljivih virov energije (Uradni list RS, št. 50/22 in 122/22).

V okviru pooblastila za spodbujanje in pospeševanje investicij na področju obnovljivih virov energije načrtuje Center za podpore podpreti investitorje v obnovljive vire, ki načrtujejo investicijo v skupnostno samooskrbo ali želijo pristopiti k souporabi² električne energije, proizvedene iz OVE.

Namen študije je podati informacije zainteresiranim deležnikom o tem, kako pristopiti k razdelitvi proizvedene električne energije iz OVE za čim boljši izkoristek v souporabi proizvedene električne energije. Cilj naloge je izdelati simulacijski model souporabe električne energije ter maksimirati izkoristke za končne odjemalce in pozitivne učinke na energetske sistem.

² Opredeljuje ZOEE-A v 2. členu, 77.a »souporaba energije« pomeni samooskrbo z energijo iz obnovljivih virov s strani aktivnih odjemalcev:

- a) ki jo sami proizvedejo ali shranjujejo na kraju samem ali zunaj njega v proizvodni napravi, ki jo imajo v lasti ali jo zakupijo ali najamejo v celoti ali deloma, ali
- b) do katere jim je pravico brezplačno ali za plačilo prenesel drug aktivni odjemalec;

1.1 Metodologija dela

V prvem poglavju smo pregledali zakonodajna izhodišča in pojasnili, kakšne so razlike med posameznimi oblikami skupnostnih samooskrb.

Za testiranje modela smo pripravili uporabniške profile za nekaj značilnih uporabniških skupin, ki temeljijo na sistemu standardnih skupin letne porabe električne energije, kot jih definira priloga II Uredbe EU 2016/1952 [2]. Profile proizvodnje sončne elektrarne, ki predstavlja vir proizvodnje samooskrbne skupnosti, smo izdelali na podlagi realnih podatkov osončenja [3](Globalna horizontalna obsevanost (GHI)) v letu 2024, glede na lokacijo sončne elektrarne.

V nadaljevanju smo opisali algoritem, ki določa prerazporeditve deležev porabe skupne proizvedene električne energije, namenjene uporabnikom, ki so med seboj povezani bodisi preko energetske skupnosti ali souporabe električne energije.

Analiza možnih koristi energetske skupnosti izhaja tako iz optimalnosti porabe, kar izhaja iz lastnosti profilov porabe posameznih odjemalcev kot tudi iz optimalnosti razdelitve deležev proizvodnje iz proizvodnih naprav. Ob razdelitvi razpoložljivega ali načrtovanega vira proizvodnje med souporabnike električne energije se pokaže tudi, kolikšen del proizvodnje energije ostaja »neporabljen«, oziroma se poda informacija o potencialu za vključevanje dodatnih uporabnikov v takšno skupnost, oziroma se poda informacija za izračun potenciala za povečanje možnosti izkoristka proizvedene električne energije za obstoječo samooskrbno skupnost v primeru vgradnje hranilnika električne energije.

2 Povzetek stanja na področju samooskrbe z električno energijo

2.1 Obstoječe oblike souporabe električne energije

Evropska unija je z direktivama RED II (Direktiva (EU) 2018/2001)[4] in IEMD (Direktiva (EU) 2019/944)[5] formalno priznala energetske skupnosti kot ključne akterje energetskega prehoda. Države članice EU so morale te določbe prenesti v nacionalno zakonodajo do sredine leta 2021. Pri nas so bile določbe teh dveh direktiv prenesene v Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (ZSROVE)[1] in Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE) [6] leta 2021.

Stopnja implementacije obeh navedenih direktiv je med državami članicami EU različna. V Nemčiji in na Danskem so energetske skupnosti zelo razvite. V Nemčiji je več kot 800 energetskih zadrug, ki proizvajajo približno 46 % obnovljive energije. Danska pa ima dolgo tradicijo skupnostnega lastništva vetrnih elektrarn, kar je rezultat ugodnih zakonodajnih in finančnih spodbud. Danska je tudi ena prvih članic EU, ki je že prenesla spremembe direktive 2019/944/EU v svojo zakonodajo, s tem da je potrdila spremembe zakona o oskrbi z električno energijo decembra 2024 z datumom uveljavitve 17. 1. 2025.

V Sloveniji trenutni pravni okvir dopušča dve osnovni obliki energetskih skupnosti:

- Skupnost za obnovljive vire energije (v nadaljevanju: SOVE), kamor se odjemalci povežejo po pravilih obligacijskega prava. Med seboj uredijo razmerja na podlagi ključa delitve proizvodnje, kot to določa 43. člen ZSROVE [1]. To je oblika energetske skupnosti, ki temelji na sodelovanju članov za proizvodnjo, porabo, shranjevanje in prodajo električne energije iz obnovljivih virov.
- Državljanska energetska skupnost (v nadaljevanju DES), ki jo definira 24. člen Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE) [6]. Gre za širše definirano skupnost, ki lahko sodeluje pri proizvodnji, vključno s proizvodnjo iz obnovljivih virov, dobavi električne energije, porabi, agregiranju, shranjevanju energije, storitvah energetske učinkovitosti ali zagotavljanju storitev polnjenja električnih avtomobilov, ali pa svojim članom ali družbenikom zagotavlja druge energetske storitve.
- ki ni omejena le na obnovljive vire.

V času priprave študije je bil v obravnavi v državnem zboru po skrajšanem postopku Zakon o spremembah in dopolnitvah zakona o oskrbi z električno energijo, ki je bil sprejet 18. 6. 2025 [7]. Zakon prenaša v slovenski pravni red EDM reformo (t.i. »Electricity Market Design Reform«), ki jo je zasnovala Evropska komisija kot odgovor na skokovito povečanje cen električne energije konec leta 2021, z namenom zagotoviti doseganje dostopnih in konkurenčnih cen električne energije za vse odjemalce, ter njihovo zaščito pred energetskimi krizami.

V sklopu te reforme sta bili sprejeti spremembi dveh ključnih EU predpisov, ki urejata trg električne energije. Direktiva 2029/944/EU je bila spremenjena z Direktivo (EU) 2024/1711 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 13. junija 2024 o spremembi direktiv (EU) 2018/2001 in (EU) 2019/944 glede izboljšanja zasnove trga električne energije v Uniji. Uredba 2019/943/EU je bila spremenjena z Uredbo (EU) 2024/1747 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 13. junija 2024 o spremembi Uredb (EU) 2019/942 in (EU) 2019/943 glede izboljšanja zasnove trga električne energije v Uniji.

V tej študiji se bomo osredotočili na skupino aktivnih odjemalcev, ne glede na pravno obliko po kateri skupaj porabljajo ali shranjujejo električno energijo, proizvedeno znotraj te skupnosti. Definicija aktivnega odjemalca po Zakonu o spremembah in dopolnitvah Zakona o oskrbi z električno energijo stopa v veljavo 15 dni po objavi v Uradnem Listu RS (17.7.2025) in tako še razširja podlage za oblikovanje souporabe električne energije je, in sicer:

»Aktivni odjemalec pomeni končnega odjemalca ali skupino končnih odjemalcev, ki delujejo skupaj in porabljajo ali shranjujejo električno energijo, proizvedeno v lastnih objektih znotraj omejenih lokacij, ali samoproizvedeno električno energijo ali električno energijo, ki je v skupni rabi v drugih objektih, ali ki prodajajo samoproizvedeno električno energijo ali sodelujejo v programih prožnosti ali programih energetske učinkovitosti, če te dejavnosti niso njihova osnovna gospodarska ali poklicna dejavnost«.

2.2 Souporaba električne energije po Zakonu o spremembah in dopolnitvah Zakona o oskrbi z električno energijo

Ker je bil Zakon o spremembah in dopolnitvah Zakona o oskrbi z električno energijo šele sprejet, v nadaljevanju povzemamo glavne značilnosti te nove možnosti souporabe električne energije, ki jo proizvede eden ali več aktivnih odjemalcev in jo dajo v souporabo ostalim odjemalcem.

Pravico do souporabe energije definira nov 23a. člen omenjenega zakona, ki se glasi:

- (1) Vsak končni odjemalec, priključen na omrežje v Republiki Sloveniji, razen velikih podjetij, ima pravico, da kot aktivni odjemalec nediskriminatorno souporablja električno energijo iz obnovljivih virov energije na podlagi pogodbe po pravilih obligacijskega prava ali z ustanovitvijo pravne osebe. Souporabo električne energije lahko pomaga organizirati aktivni odjemalec, ki sodeluje pri souporabi električne energije, ali tretja oseba (v nadaljnjem besedilu: organizator souporabe energije). Izvajalci energetske dejavnosti ne smejo sodelovati pri souporabi, lahko pa so organizatorji souporabe energije.*
- (2) V zvezi s sklepanjem pogodb in obračunavanjem aktivnim odjemalcem, ki souporablja energijo, se uporabljajo 15., 16. člen, peti, sedmi in osmi odstavek 18. člena ter 25. člen tega zakona, razen kadar si energijo iz obnovljivih virov delijo gospodinjstva z nameščeno zmogljivostjo do 30 kW za posamezna gospodinjstva in do 100 kW v večstanovanjskih stavbah, če souporaba poteka na podlagi kupoprodajne pogodbe za energijo.*

(3) Organizator souporabe energije izvaja zlasti:

- a) komuniciranje o pogodbah o souporabi energije, glede veljavnih tarif in pristojbin, davkov ali dajatev z drugimi subjekti, kot so dobavitelji, agregatorji in elektrooperaterji;*
- b) zagotavljanje podpore pri upravljanju in uravnavanju prilagodljivih obremenitev za števcem ter porazdeljenih sredstev za proizvodnjo in shranjevanje energije iz obnovljivih virov, ki so del pogodbe o souporabi energije;*
- c) sklepanje pogodb in obračunavanje aktivnim odjemalcem, ki souporabljajo energijo;*
- č) namestitve in obratovanje naprave za proizvodnjo ali skladiščenje energije iz obnovljivih virov, vključno z merjenjem in vzdrževanjem.*

(4) Organizator souporabe energije zagotavlja nediskriminatorne storitve ter pregledne cene, tarife in pogoje storitev.

(5) Aktivnim odjemalcem, ki souporabljajo energijo, se električna energija v skupni rabi, dovedena v omrežje, odšteje od njihove skupne izmerjene porabe v 15- minutnem bilančnem obračunskem intervalu, rezultat se upošteva pri obračunu dobavljene energije. Pri obračunavanju prispevkov in drugih dajatev ter pri obračunu omrežnine, ki se obračunavajo od količine električne energije, prevzete iz omrežja, se upoštevata dejanski odjem oziroma oddaja na obračunskem mestu. Delež v omrežje dovedene električne energije, ki je v skupni rabi in se prenaša na obračunsko točko drugega aktivnega odjemalca, se določi kot odstotek oddane energije v 15-minutnem intervalu, ki je enak za vse 15-minutne obračunske intervale. Odstotek se lahko spremeni s spremembo pogodbe ali drugega pravnega akta, ki je podlaga za souporabo energije, pri čemer mora biti enak za vse 15-minutne obračunske intervale.

(6) Aktivni odjemalci, ki souporabljajo energijo:

- a) imajo vse pravice in obveznosti, ki jih imajo kot končni odjemalci v skladu s tem zakonom;*
- b) imajo dostop do neobveznih predlog pogodb s poštenimi in preglednimi pogoji za pogodbe o souporabi energije, ki jih objavi agencija;*
- c) ne smejo biti nepošteno in diskriminatorno obravnavani s strani svojih dobaviteljev ali drugih udeležencev na trgu;*
- č) imajo pravico, da jih elektrooperater obvesti o možnosti sprememb trgovalnih območij v skladu s 14. členom Uredbe 2019/943/EU in o dejstvu, da je pravica do souporabe energije omejena v skladu s prvim odstavkom tega člena.*

(7) Aktivni odjemalci morajo o pogodbah o souporabi energije in o vseh spremembah teh pogodb obvestiti elektrooperaterja, na katerega omrežje so priključeni, ter udeležence na trgu, vključno z vsemi svojimi dobavitelji, najmanj dva tedna pred začetkom izvajanja souporabe neposredno ali po organizatorju souporabe energije.

- (8) *Osebnne podatke iz drugega odstavka 30. člena tega zakona, vključno z nazivno močjo proizvodne naprave ali naprave za shranjevanje energije, aktivnega odjemalca, ki pri pogodbi o souporabi energije sodeluje na strani oddaje energije, kot upravljavec obdeluje tudi dobavitelj električne energije aktivnemu odjemalcu, ki je pri isti pogodbi o souporabi prejemnik energije, od katerega je pridobil ustrezno privolitev ali s katerim ima sklenjeno pogodbo o odkupu oziroma dobavi. Osebni podatki iz prejšnjega stavka se obdelujejo za namen izvajanja pogodbe o dobavi aktivnemu odjemalcu, ki je pri pogodbi o souporabi energije prejemnik energije, na podlagi 12. člena tega zakona in za namen izdelave obratovalnih napovedi iz 101. člena tega zakona.*
- (9) *Distribucijski operater:*
- a) vsaj enkrat mesečno v skladu s 30. členom tega zakona spremlja, zbira in potrjuje podatke o merjenju, povezane s souporabo električne energije, ter o njih poroča končnim odjemalcem in udeležencem na trgu, v ta namen pa vzpostavi informacijske sisteme;*
 - b) zagotavlja kontaktne točke za:*
 - registracijo pogodb o souporabi energije;*
 - nudenje praktičnih informacij za souporabo energije;*
 - prejetje informacij o ustreznih merilnih točkah, spremembah lokacije in udeležbe.*
- (10) *Kadar sta lastnik ali upravljavec proizvodne naprave ali naprave za shranjevanje energije organizator souporabe energije ali tretja oseba, ki ne sodelujeta pri souporabi energije, je vsota moči teh naprav največ 6 MW.*
- (11) *Ranljivim odjemalcem in odjemalcem, ki živijo v energetske revščini, se dostop do souporabe energije zagotovi z ukrepi finančne podpore ali dodelitvijo določenega deleža proizvodnje.*
- (12) *V okviru projektov souporabe energije, pri katerih so investitorji v proizvodne naprave ali naprave za shranjevanje energije izključno državni organi ali organi samoupravnih lokalnih skupnosti, se z ukrepi iz prejšnjega odstavka zagotovi, da je električna energija v souporabi dostopna državljanom, zlasti ranljivim odjemalcem in odjemalcem, ki živijo v energetske revščini, v povprečju vsaj v višini 10 % energije v souporabi pri teh projektih.*
- (13) *Končni odjemalci, ki so vključeni v sistem samooskrbe z letnim netiranjem v skladu s 315.a členom Energetskega zakona (Uradni list RS, št. 60/19 – uradno prečiščeno besedilo, 65/20, 158/20 – ZURE), lahko del v omrežje oddane energije oddajo v souporabo drugim aktivnim odjemalcem v določenem odstotku energije, oddane v omrežje v 15-minutnem intervalu, kot je določeno v petem odstavku tega člena. Na ta način oddana energija se odšteva od oddane energije odjemalca, vključenega v shemo samooskrbe z letnim netiranjem, v 15-minutnem intervalu, preostanek v 15-minutnem intervalu oddane energije pa se upošteva pri izračunu letne vsote odjema in oddaje odjemalca, vključenega v shemo samooskrbe z letnim netiranjem. Ne glede na peti odstavek tega člena se ta preostanek upošteva pri obračunu dobavljene energije, za*

porabljeno energijo odjemalca, vključenega v shemo samooskrbe z letnim netiranjem, ter prispevkov in drugih dajatev in omrežnine, ki se obračunavajo od količine električne energije, prevzete iz omrežja. Končni odjemalci, ki so vključeni v sistem samooskrbe z letnim netiranjem, pri souporabi energije ne morejo biti prejemniki energije.

(14) Distribucijski operater v sistemskih obratovalnih navodilih podrobneje določi način vključitve v sistem souporabe energije, obveščanja o pogodbah o souporabi in njihovih spremembah, spremljanja in pošiljanja merilnih podatkov ter druge tehnične podrobnosti za izvajanje določb tega člena.«.

Souporaba električne energije je omejena na končne odjemalce in želi spodbuditi k investicijam v OVE tudi po letu 2024, ko za investitorje zelo privlačne sheme letnega netmeteringa po EZ-1 ni več in se električna energija netira na 15-minutnem časovnem intervalu. Pri tem zakon ne izključuje aktivnih odjemalcev, ki so svoje sončne elektrarne postavili po sistemu letnega netiranja. Predvsem odjemalci, ki imajo (pre)velike naprave za samooskrbo, katerih proizvodnja presega njihov odjem na letnem nivoju, in jim ob koncu obračunskega obdobja nastajajo veliki »viški«, lahko te po novem zakonu namenijo drugim odjemalcem. Seveda se viški, ki so oddani drugim odjemalcem merijo v 15-minutnem časovnem intervalu (enako kot to velja za vse ostale proizvodne naprave, udeležene v souporabi). Za končne odjemalce, vključene v sistem letnega *netmeteringa*, se oddana 15-minutna energija v sklopu souporabe odšteva od oddane 15-minutne energije, preostanek 15-minutne oddane energije pa se upošteva pri izračunu letne vsote odjema in oddaje odjemalca, vključenega v sistem *netmeteringa*. Ta preostanek se upošteva pri obračunu dobavljene električne energije, za porabljeno električno energijo odjemalca, vključenega v shemo samooskrbe z letnim netiranjem, ter prispevkov in drugih dajatev in omrežnine, ki se obračunavajo od količine električne energije, prevzete iz omrežja proizvedene električne energije. Opozoriti je treba, da se pravice do netmeteringa ohranjajo zgolj za odjemalca iz letne netmetering sheme, ki odstopa energijo v souporabo drugim odjemalcem, ne prenaša pa se na te druge odjemalce električne energije iz naslova souporabe. Prav tako ne posega v davke, dajatve in omrežnine, ki odražajo stroške (kot je to določeno v točki (a) četrtega odstavka 15a člena Direktive 2019/944/EU). To pomeni, da se na račun souporabe energije lahko nižajo količine za dobavljeno električno energijo teh odjemalcev, **omrežnina in druge dajatve pa se obračunajo z upoštevanjem celotne 15-minutne prevzete električne energije iz omrežja (brez upoštevanja souporabe)**. Odločitev, ali se bo podoben način obračuna omrežnine, kot ga trenutni Akt o metodologiji določa za odjemalce v energetske ali OVE skupnosti, uporabil tudi za odjemalce s souporabo energije, je v pristojnosti Agencije za energijo.

Tako pristop k souporabi lastnih OVE bo spodbudil investitorje k novim projektom izgradnje OVE, saj bodo s souporabo proizvedene energije izkoristili večji delež lastne proizvodnje, kot bi jo drugače. 15-minutni način obračunavanja namreč zahteva, da se proizvodnja sproti porablja. V omrežje oddana energija se ne prenaša in je tako za investitorje »izgubljena«. Nova oblika souporabe temelji na pogodbah oz. dogovorih civilnopravne narave. Če gre za negospodinskega odjemalca, mora aktivni uporabnik, ki daje električno energijo v souporabo,

izpolnjevati obveznosti dobaviteljev iz 15. člena (pogodbene pravice končnih odjemalcev), 16. člena (dodatne pogodbene pravice gospodinjskih in malih poslovnih odjemalcev) in 25. člena ZOEE (računi in informacije na računu). Če gre za prodajo energije po določeni ceni s strani gospodinjskega odjemalca iz enostanovanjske stavbe z zmogljivostjo proizvodne naprave do 30 kW oziroma do 100 kW v večstanovanjskih stavbah, lahko ta prodaja teče brez izpolnjevanja teh obveznosti.

V obeh primerih gre le za del obveznosti dobavitelja (vezanih predvsem na pogodbeno razmerja). Zakonodajalec meni, da koncept prevzemanja bilančne odgovornosti v primeru souporabe ni niti izvedljiv niti potreben.

Temelj souporabe je lahko tudi **skupna naložba v proizvodno napravo ali shranjevalnik (hranilnik)**, kar lahko temelji na pogodbi ali preko pravnega subjekta v skupni lasti. V takem primeru ne gre za prodajo energije in tudi v primeru, ko so vpletene gospodarske družbe, obveznosti dobavitelja iz prejšnje točke ni treba izpolniti. Podobno velja tudi v primeru najema.

Trenutna zakonodaja ne postavlja omejitev geografskega področja souporabe električne energije. V praksi to pomeni možnost souporabe aktivnih odjemalcev, ki so priključeni na distribucijsko omrežje kjerkoli v Sloveniji, brez omejitev. Vendar pa v členu 23a zakonodajalec dopušča da jih elektrooperater obvesti o možnosti spremembe trgovalnih območij v skladu s 14. členom Uredbe 2019/943/EU.

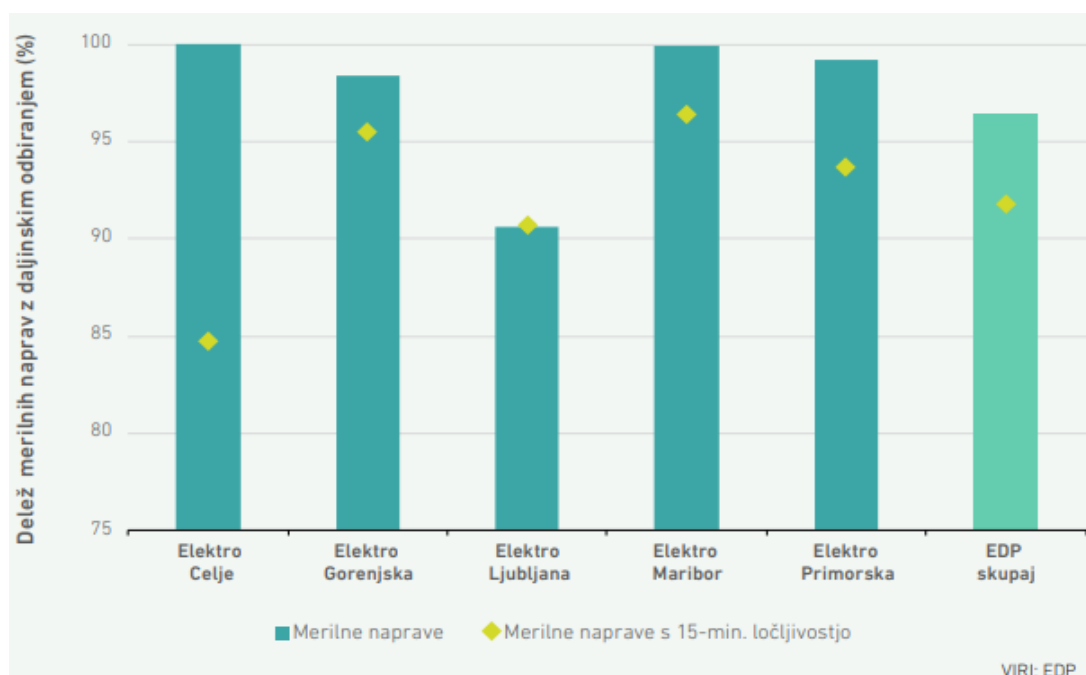
2.3 Pogoji souporabe električne energije

Čeprav so v pravnem in organizacijskem smislu razlike med zgoraj opisanimi vrstami souporabe električne energije kar velike, pa je iz vidika te študije pravzaprav vseeno za katero obliko gre. Ta študija namreč naslavlja tehnične lastnosti proizvodnje in porabe električne energije v realnem času. Tehnično morata biti odjem in proizvodnja namreč povsem usklajena. Pri aktivnih odjemalcih, tudi v sistemu souporabe, je temu le redko tako, zato so ti odjemalci priključeni na omrežje in v primeru viškov proizvodnje električno energijo oddajajo v omrežje in v primeru mankov proizvodnje električne energije, električno energijo jemljejo iz omrežja. Ker tako odjem, kot proizvodnja iz sončnih elektrarn (v nadaljevanju: SE) nista konstantna, je napovedovanje potreb največji izziv skupnosti. Ena od glavnih ovir za vstop v eno izmed oblik souporabe električne energije proizvedene v skupnosti, je pomanjkanje znanja in kvalitetnih informacij za sprejemanje ustreznih odločitev. Namen te študije je torej pridobiti dodatne informacije za podporo in pomoč morebitnim investitorjem.

Ne glede na izbrano pravno obliko souporabe električne energije, je cilj študije enak, in sicer izdelati algoritem, ki bo razporedil souporabo proizvedene električne energije tako, da sodelujoči uporabniki maksimalno izkoristijo proizvedeno električno energijo.

Borzen je v okviru Kontaktne točke za spodbujanje rabe obnovljivih virov energije že v preteklosti pripravljala informacije, povezane z obnovljivimi viri, ki bi potencialnim investorjem pomagale pri sprejemanju odločitev. Predvsem so bile dosedanje raziskave usmerjene v informacije, kje najti izvajalce investicij v OVE, kakšne naprave so na voljo, pripravljene so bile študije primerov s poudarkom na podpori pri pravnih in administrativnih vprašanjih. Kontaktna točka ponuja investorjem v samooskrbne elektrarne tudi orodje za načrtovanje njihove individualne investicije v OVE. Ta že temelji na 15-minutnih podatkih o odjemu odjemalca. Naslednji korak je torej še korak naprej. V tej študiji je prikazano, kako s pomočjo 15-minutnih zgodovinskih podatkov o porabi in proizvodnji načrtovanega vira električne energije pridobiti dodatne informacije o možni optimizaciji porabe proizvedene električne energije v skupnosti.

Glede na to, da imamo v Sloveniji trenutno že več kot 97 % merilnih mest opremljenih z električnimi števci, ki omogočajo meritve na intervalu 15-minut in daljinsko odčitavanje, so predpogoji za takšno orodje izpolnjeni.



Slika 2.1: Delež vseh merilnih naprav in delež merilnih naprav s 15 min ločljivostjo odčitavanja po posameznih elektrodistribucijskih podjetjih v Sloveniji [8]

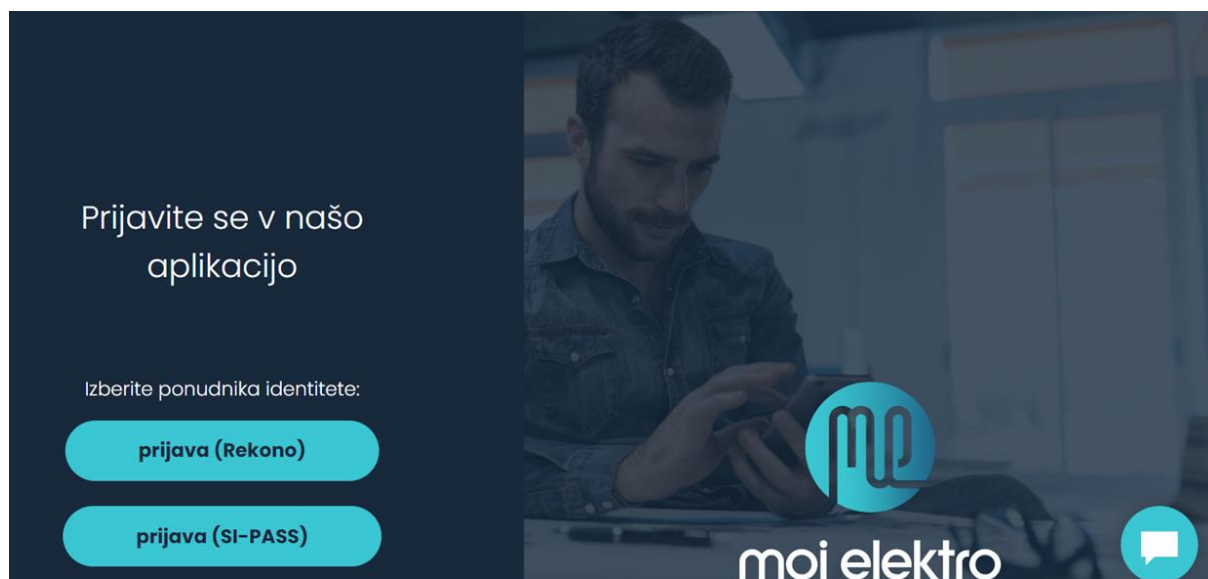
V letu 2023 je bilo na distribucijsko omrežje priključenih 982.986 odjemalcev, od tega 111.099 poslovnih odjemalcev in 871.887 gospodinjstev. Če k temu prištejemo še 204 odjemalce ZDS, smo v letu 2023 imeli skupaj 983.194 odjemalcev na distribucijskem omrežju [13]. Od tega je bilo v letu 2023 priključenih 1.354 poslovnih in 100 gospodinjstev uporabnikov omrežja s proizvodno napravo v notranji inštalaciji po shemi priključevanja PS.2 ter 2.886 poslovnih in 41.760 gospodinjstev odjemalcev v sistemu samooskrbe z letnim netiranjem porabe.

Do konca leta 2026 je predvideno, da bo projekt nameščanja naprednih sistemskih električnih števcov končan in bomo imeli vsi uporabniki nameščene števce, ki bodo omogočali daljinsko

odčitavanje števcov s periodo odčitka 15 minut, kar nam bo omogočilo sodelovanje, v eni izmed oblik souporabe električne energije. Že trenutna zakonodaja določa, da uporabniku, ki želi postati aktiven uporabnik³, namestijo ustrezen števec in sicer po **Zakonu o oskrbi z električno energijo (ZOOE). 6. točka 4. člena** omenjenega zakona določa, da mora distribucijski operater na zahtevo končnega odjemalca, ki želi postati aktivni odjemalec, brezplačno in prednostno namestiti napredni števec.

Ta določba omogoča aktivnim odjemalcem, da pridobijo natančne podatke o svoji porabi električne energije v 15-minutnih intervalih, kar je ključno za učinkovito upravljanje porabe, sodelovanje v programih prožnosti ter za vključevanje v energetske skupnosti ali souporabo energije.

Zagotavljanje števnih merilnih podatkov končnih odjemalcev poteka preko enotne vstopne točke nacionalnega podatkovnega vozlišča, EVT-NSE, ki je namenjena vsem končnim uporabnikom omrežja, upravičencem do podatkov, dobaviteljem električne energije, agregatorjem, pooblaščencom, idr. Tako lahko gospodinjstva in poslovni subjekti dostopajo do svojih podatkov z aplikacijo »Moj elektro«⁴.



Slika 2.2: Uvodna stran aplikacije »Moj elektro«[9]

V aplikaciji »**Moj elektro**« je sodelovanje v sistemu souporabe električne energije prikazano skozi več funkcionalnosti, ki omogočajo pregled in upravljanje porabe ter proizvodnje električne energije. Če ste aktivni odjemalec ali vključeni v energetske skupnost, vam portal omogoča:

³ 4, člen ZOOE točka 5 »aktivni odjemalec« pomeni končnega odjemalca ali skupino končnih odjemalcev, ki delujejo skupaj ter ki porabljajo ali shranjujejo električno energijo, proizvedeno v lastnih objektih znotraj omejenih lokacij, ali samoproizvedeno električno energijo ali električno energijo, ki je v skupni rabi v drugih objektih, ali ki prodajajo samoproizvedeno električno energijo ali sodelujejo v programih prožnosti ali programih energetske učinkovitosti, če te dejavnosti niso njihova osnovna gospodarska ali poklicna dejavnost;«.

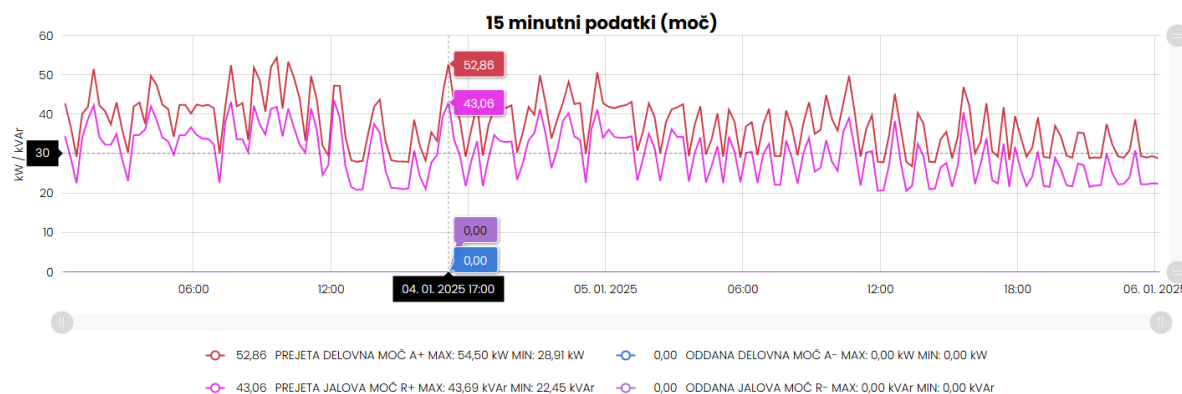
⁴[Moj elektro - Informatika d.o.o.](#)

- pregled 15-minutnih podatkov o porabi in oddaji energije
(To vključuje količino energije, ki jo prejmete iz omrežja, ter električno energijo, ki jo oddate v omrežje, kar je ključno za upravljanje souporabe energije.)
- upravljanje več merilnih mest in pooblastil.
(Portal omogoča upravljanje več merilnih mest hkrati, kar je uporabno za energetske skupnosti ali gospodinjstva z več lokacijami. Prav tako lahko pooblastite druge registrirane uporabnike za dostop do vaših merilnih podatkov, kar olajša sodelovanje med člani skupnosti.)
- oddaja prijave za status aktivnega odjemalca.
(Če želite postati aktivni odjemalec, lahko preko portala Moj elektro oddate prijavo in priložite ustrezno dokumentacijo, kot je pogodba o samooskrbi z električno energijo ali dogovor z agregatorjem.)
- dostop do tehničnih podatkov merilnega mesta.

Portal omogoča vpogled v tehnično opremljenost merilnega mesta, kar je pomembno za vključevanje v souporabo električne energije in za izpolnjevanje zahtev distribucijskega operaterja.

Dostop do aplikacije omogoča prijava na mojelektro.si z uporabo SI-PASS ali Rekono identitete. V aplikaciji so na voljo 15-minutni odčitki iz merilnega števca o doseženi moči ali porabljeni energiji, ki so osnova za obračun.

V tem trenutku torej ostaja manjše število odjemalcev, ki nimajo merilne naprave s 15-minutno ločljivostjo. Taki odjemalci bodo torej v fazi odločanja, ali naj postanejo aktivni odjemalci brez 15-minutnih zgodovinskih podatkov o porabi električne energije. Zanje bi se lahko uporabili simulacijski statistični modeli profilov porabe električne energije.



Slika 2.3: Primer izrisa letnega profila odjemalca iz aplikacije »Moj elektro« v obdobju 01. 01. 2024 do 31. 12. 2024

Kadar uporabimo simulacijski profil odjemalca je treba pri izbiri upoštevati posamezne posebnosti odjemalca, ki so večinoma vezane na njegov življenjski stil. Te posebnosti bomo posebej izpostavili pri opisu posameznih uporabniških primerov (UC – angl. »Use Case«) na katerih bomo preizkušali algoritem v simulacijskem modelu.

3 Simulacijski model

Oblikovali smo tri vrste souporabe električne energije proizvedene znotraj skupnosti, ki pa niso vezane toliko na pravno obliko skupnosti, pač pa na raznolikost članov skupnosti. Tako smo oblikovali tri skupine odjemalcev, ki sodelujejo pri uporabi skupnega vira energije ali več njih.

Glede na vrsto odjemalcev ločimo:

1. skupino gospodinskih odjemalcev,
2. skupino podjetja in gospodinski odjemalci,
3. skupino podjetij.

Za potrebe te študije je bilo treba pripraviti simulacijske profile porabe, ki v kar največji možni meri odražajo realne profile posameznih odjemalcev. Poleg strukture uporabnikov združenih v samooskrbni skupnosti, pa se energetske skupnosti razlikujejo tudi glede na pravno obliko organiziranosti (društvo, zadruga, zavod, d.o.o.).

Simulacijske profile porabe in proizvodnje OVE smo pripravili na podlagi tipičnih obremenitvenih krivulj električne porabe, pri čemer smo upoštevali sezonska in koledarska pravila za klasifikacijo dni. Ti dnevi so bili nadalje razdeljeni v dnevne profile, ki vsebujejo 96 časovnih intervalov, kar ustreza 15-minutnemu vzorčenju (profili odjemalcev temeljijo na 15-minutnih podatkih o odjemu).

3.1 Opis simulacijskega modela in predpostavke

V simulacijskem modelu obravnavamo optimizacijo porazdelitve proizvedene električne energije iz OVE iz proizvodne naprave (v našem primeru SE) v skupni lasti, ki se porazdeli med več souporabnikov. Primarni cilj je, da se v souporabi porabi čim več proizvedene električne sončne energije v realnem času in se le minimalna količina proizvedene električne energije odda v omrežje. Model predpostavlja, da so podatki o proizvodnji iz SE ter porabi posameznih uporabnikov znani za vsak časovni interval.

Uvajamo naslednje predpostavke simulacijskega modela:

- V vsakem časovnem intervalu t je znana proizvodnja električne energije S_t iz SE.
- Poraba električne energije $U_{t,i}$ za vsakega souporabnika i in za vsak časovni interval t je znana.
- Skupna proizvodnja SE se porazdeli med souporabnike z uporabo deležev s_i , ki so časovno nespremenljivi.
- Vsak sodelujoč souporabnik lahko prejme največ toliko moči, kolikor jo v posameznem intervalu potrebuje.
- Vsota deležev s_i znaša 1, kar pomeni, da je celotna proizvodnja vedno porazdeljena.
- Deleži s_i so omejeni med 0 in 1.

3.1.1 Opis problema

Ciljna funkcija:

$$\min_s \sum_{t=1}^T \left(S_t - \sum_{i=1}^I \min(S_t \cdot s_i, U_{t,i}) \right) \quad (1)$$

Ciljna funkcija minimizira vsoto presežkov moči SE, ki v posameznem časovnem intervalu ni bila porabljena in se zato izvaža v omrežje. Optimizacija se izvaja z iskanjem takih deležev s , da se minimizira količina energije, ki se odda v omrežje. Ključno je, da se optimalni deleži prilagajajo časovnim profilom porabe posameznih skupin in profilu proizvodnje iz SE. Funkcija $\min(S_t \cdot s_i, U_{t,i})$ zagotavlja, da se posameznemu souporabniku ne dodeli več energije, kot jo dejansko potrebuje. Veljajo spodnje označbe:

- S_t : proizvodnja energije iz SE v časovnem intervalu t [kW],
- $U_{t,i}$: poraba energije souporabnika i v časovnem intervalu t [kW],
- s_i : delež proizvodnje SE, dodeljen gospodinjstvu i (optimizacijska spremenljivka),
- T : število časovnih intervalov,
- I : število gospodinjstev.

Omejitve:

$$\sum_{i=1}^I s_i = 1 \quad (2)$$

Ta omejitev zagotavlja, da je celotna razpoložljiva energija SE razporejena med vse skupine porabnikov.

$$0 \leq s_i \leq 1 \quad \forall i \quad (3)$$

Deleži morajo biti v dopustnem območju, (omejitve nenegativnosti), saj negativna porazdelitev ni smiselna, prav tako pa noben souporabnik ne sme prejeti več kot 100 % celotne proizvodnje.

Z zgoraj opisanim modelom želimo doseči energetske učinkovite alokacije proizvedene električne energije SE, ki temelji na dejanski porabi uporabnikov.

4 Modeliranje simulacijskih profilov odjemalcev

Pri modeliranju simulacijskih profilov odjemalcev smo sledili cilju izdelave reprezentativnih, a obenem prilagodljivih profilov, ki omogočajo izvedbo realističnih simulacij uporabnikovega obnašanja. Krivulje so bile generirane izključno za potrebe simulacije in temeljijo na analitičnem pristopu, ki poskuša čim bolj zajeti tipične navade porabe energije za različne tipe uporabnikov – tako gospodinjstke kot poslovne, vključno z uporabniki, ki delujejo kot *prosumerji* (odjemalci s proizvodno komponento, npr. sončne elektrarne, angl. »Prosumers«). Uporabljeni pristop omogoča fleksibilno spreminjanje parametrov, kot so čas dneva, dan v tednu, sezonski vplivi in vključevanje posebnih dogodkov (npr. sončni dnevi, konice ob koncu tedna ipd.).

Za generiranje simulacijskih profilov odjemalcev smo uporabili programsko okolje MATLAB R2025a, ki je bilo nameščeno in poganjano na delovni postaji z operacijskim sistemom Microsoft Windows 11 Pro (različica 10.0.26100), 13. generacijo Intel(R) Core(TM) i7 procesorja, ter 32 GB fizičnega pomnilnika. Omenjeno okolje omogoča učinkovito numerično obdelavo, vizualizacijo in strukturirano modeliranje parametričnih profilov.

Krivulje porabe so izražene v normalizirani obliki (angl: per unit, p.u.), kar pomeni, da opisujejo relativen potek porabe skozi dan in omogočajo kasnejše skaliranje na absolutne vrednosti glede na nazivno moč posameznega odjemalca ali razred odjemalcev.

Dnevna struktura je bila logično razdeljena na značilne faze – nočni minimum, jutranja konica, dopoldanska poraba, popoldanski dvig in večerna konica – skladno z modelom aktivnosti uporabnikov, kot je podrobno predstavljeno v poglavjih 2 do 4 dela [10]. Vključene so bile tudi sezonske in dnevne variacije (npr. razlike med delovniki in vikendi), kar omogoča oblikovanje realističnih in reprezentativnih porabniških krivulj, primernih za analize in simulacije v pogojih, kjer absolutna poraba ni znana vnaprej ali se spreminja glede na scenarij.

4.1 Simulacijski profili krivulj

Glavni namen generiranih simulacijskih krivulj je omogočiti realistično testiranje algoritmov za optimizacijo v simulacijskem modelu. Modelirani profili za simulacijo odražajo tipične navade uporabnikov ter zajemajo dnevne in tedenske vzorce, odziv na spremembe cen, sezonske učinke, možnosti proizvodnje in samooskrbe, trenutke presežka proizvodnje ter identifikacijo koničnih obremenitev v profilu.

V študiji uporabljamo strukturiran pristop za generacijo tipičnih obremenitvenih krivulj električne porabe, ki so razdeljene v dnevne profile s 96 časovnimi intervali (15-min resolucija). Strukturiran pristop pomeni uporabo vnaprej definiranih sezonskih in koledarskih pravil za klasifikacijo dni in dodelitev tipičnih dnevnih profilov. To omogoča učinkovito sintezo in modeliranje porabe na letni ravni. V tem primeru modeliramo podatke za leto 2024. Vsak dan je razdeljen na 15-minutne časovne intervale, kar omogoča visoko ločljivost in zajem dnevnih nihanj porabe.

Predpostavka je, da se vzorec odjema električne energije v vseh delovnih dneh določene sezone ponavlja. V primeru proizvodnje električne energije iz SE je le ta odvisna od prejetega sončnega sevanja. V poletnih mesecih, ko je sončnega sevanja več, je sončna proizvodnja izrazitejša, s pogostimi sunki oddaje v omrežje pri prosumerjih; v zimskih mesecih pa je proizvodnja bistveno manjša. Takšen pristop je standarden v računskem modeliranju za namen izvajanja simulacij, saj omogoča natančno simulacijo porabe in proizvodnje ter analizo vplivov različnih dejavnikov na obremenitev omrežja.

Glavni cilj pri kreiranju krivulj je razvrstitev dni v letu v različne kategorije glede na sezonski kontekst, vrsto dneva in specifične praznike. Dnevi so razvrščeni v sezonske skupine (šest skupin v dolžini enega leta, vsaka zajema dva meseca), ki so določene z začetnimi in končnimi datumi. Vsakemu dnevju je dodeljena oznaka, ali gre za delovni dan, vikend ali praznik. Prazniki so obravnavani kot ločene entitete, saj imajo praviloma posebne vzorce porabe, ki se razlikujejo od običajnih dnevnih tipov. V tej študiji so dnevi v letu razvrščeni v tri kategorije: delovni dan, konec tedna in praznik. Leto je razdeljeno na šest sezon, ki zajemajo različne mesece: Sezona 1 vključuje januar do marec, Sezona 2 april in maj, Sezona 3 junij in julij, Sezona 4 avgust in september, Sezona 5 oktober, in Sezona 6 november ter december. Vsaka sezona je dodatno razdeljena na delovne dni (od ponedeljka do petka) in dni konca tedna (sobota in nedelja), medtem ko so prazniki zapisani posebej po točnih datumih. Na primer, 3. februar je običajen delovni dan v Sezoni 1; če je torek, se klasificira kot delovni dan, če pa je

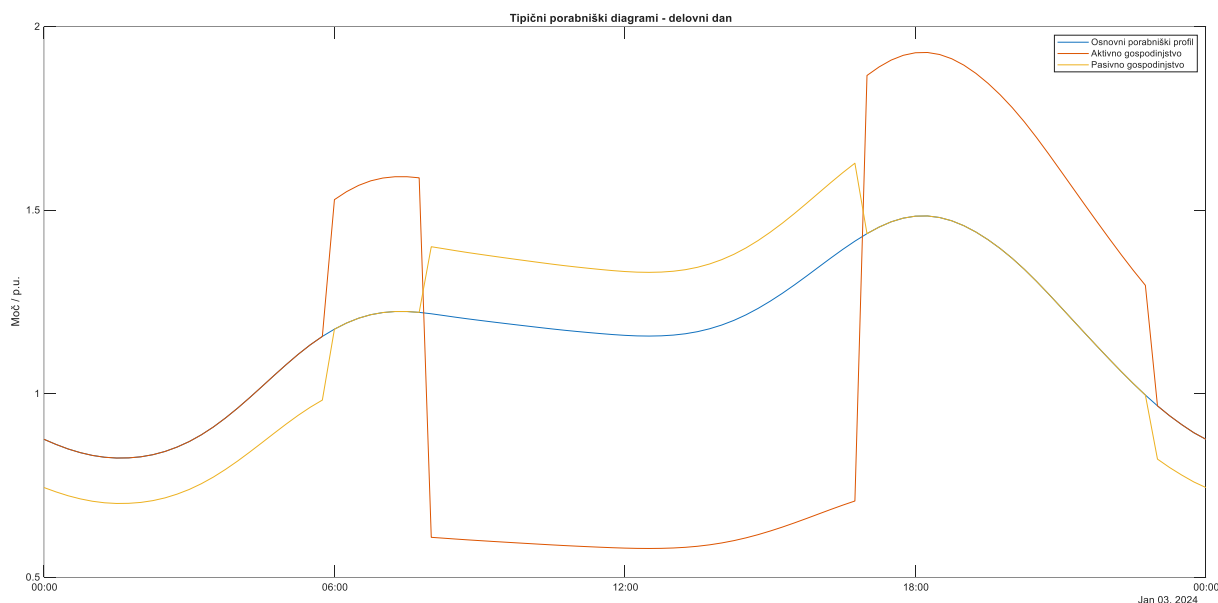
sobota, je dan konca tedna. Nasprotno pa je 8. februar, čeprav bi glede na sezono in dan v tednu lahko bil delovni dan, označen kot praznik "Dan kulture", zato se klasificira kot praznik. Podobno je 25. december, ki je del Sezone 6, vedno označen kot praznik "Božič", ne glede na dan v tednu. Takšna razvrstitev omogoča prilagodljivo modeliranje koledarja, ki ga je mogoče uporabiti pri modeliranju vedenja uporabnikov.

Sončna proizvodnja ne sledi tipičnim vzorcem porabe, saj gre za stohastičen pojav, ki je odvisen izključno od vremenskih pogojev (kot sta letni čas in oblačnost), je zaradi poenotenja podatkovne oblike in nadaljnje analize vseeno razporejena po istem sistemu klasifikacije dni, kot velja pri odjemu električne energije. Tako se na primer sončna proizvodnja 8. februarja, čeprav ni funkcionalno pogojena s tem, ali gre za delovni dan ali praznik, beleži v okviru kategorije "praznik". S tem se zagotovi skladnost med različnimi podatkovnimi viri in omogoči združevanje ter primerjanje podatkov v skupnem časovnem okviru.

Tak pristop omogoča sintezo letne porabe na podlagi omejenega števila značilnih dnevnih profilov. Namesto obdelave 365 individualnih profilov uporabimo 25 reprezentativnih krivulj, kar omogoča bolj sistematično, obvladljivo in računsko učinkovito modeliranje. Za vsako sezono se ustvarita dve krivulji – ena za delovni dan in ena za vikend ($6 \text{ sezon} \times 2 = 12 \text{ krivulj}$), poleg tega pa še po ena za vsak slovenski državni praznik (t.j. 13 v letu 2024). Skupno torej 25 krivulj, ki so ustrezno dodeljene vsakemu dnevu v letu 2024 glede na sezono in vrsto dneva.

4.1.1 Gospodinski profili uporabnikov

Tipičen gospodinski profil je bil določen z modeliranjem porabe električne energije na podlagi t. i. pristopa od spodaj navzgor, kjer se skupna poraba oblikuje kot vsota porabe posameznih električnih naprav v gospodinjstvu. Vsaka naprava je opisana z značilnim dnevnim profilom delovanja, nazivno močjo ter verjetnostjo uporabe, ki je časovno odvisna in usklajena z aktivnostjo članov gospodinjstva. Podatki za oblikovanje takšnih profilov so temeljili na statističnih podatkih o prisotnosti uporabnikov, strukturi gospodinskih naprav ter verjetnostih njihove uporabe, kot so povzeti v raziskavi [10]. Model je upošteval tudi fazno porazdelitev naprav, vrste prostorov v stanovanju, ter aktivno zasedenost skozi dan. Rezultat je normaliziran dnevni profil (v p.u.), ki realistično prikazuje značilne konice porabe (jutranja, večerna), medtem ko omogoča enostavno skaliranje na poljubno letno porabo (npr. 1.800 kWh) ali nazivno moč posameznega odjemalca. Tak pristop omogoča fleksibilno generiranje profilov tudi v primerih, kjer niso na voljo neposredne meritve.



Slika 4.1 Oblike krivulj [10]

Na prikazani sliki je predstavljen tipični porabniški diagram za delovni dan glede na uro v dnevu, izražen v relativnih enotah (p.u.). Prikazane so tri različne krivulje: osnovni porabniški profil, aktivno gospodinjstvo in pasivno gospodinjstvo.

Modra krivulja prikazuje referenčni profil porabe, ki se običajno pojavlja pri uporabnikih in razkriva tipično dnevno dinamiko porabe preko dneva, s postopnim porastom ob koncu delovnega dne.

Oranžna krivulja prikazuje aktivno gospodinjstvo⁵, za katero je značilna izrazita dinamika – zgodnje jutranje konice (okrog 6:00), močan padec porabe dopoldne ter izrazit večerni vrh (okrog 19:00), kar ustreza uporabniku, ki je večji del dneva odsoten, z intenzivno uporabo naprav pred službo in po njej. Poraba se poveča zjutraj (kuhanje, ogrevanje vode), pade sredi dneva (odsotnost), in ponovno naraste zvečer (osvetlitev, kuhanje, TV, pomivalni stroji itd.). Značilna je zmerna jutranja konica med 6:00 in 9:00 ter izrazita večerna konica okoli 18:00–21:00, ki sovпада s prihodom uporabnikov domov, pripravo obrokov in uporabo razsvetljave ter električnih naprav.

Rumena krivulja označuje pasivno gospodinjstvo⁶, kjer se poraba porazdeli bolj enakomerno čez dan, vendar s pričakovanim večernim vrhom, a brez ekstremnih nihanj. Ker je uporabnik doma in stalno uporablja manjše aparate, ima zmerno jutranjo konico med 6. in 8. uro, opoldne (okrog 12. ure) nastopi kratka, a izrazita konica, nato pa širša popoldanska krivulja z zmerno, a stalno porabo. Celodnevna poraba je zato bolj razpršena kot pri aktivnem gospodinjstvu. Zaradi večje sočasnosti s sončno proizvodnjo lahko tak profil izrabi več energije

⁵ Gospodinjstvo sestavljeno iz članov družine, ki so čez dan v službi, šoli, vrtcu.

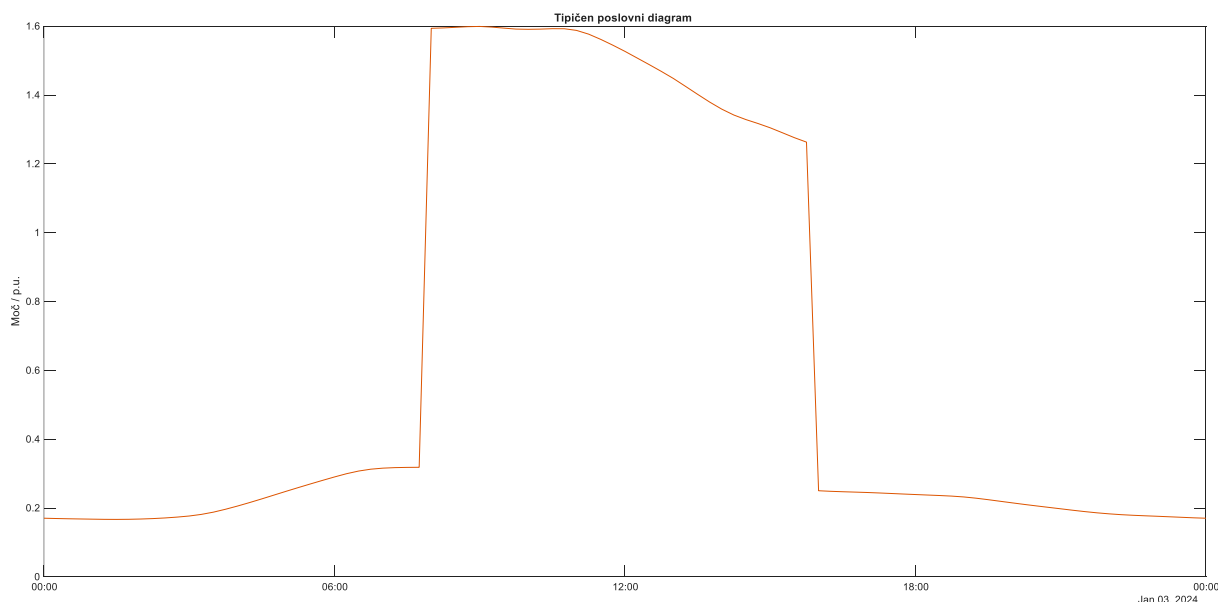
⁶ Gospodinjstvo sestavljeno iz članov družine, ki so čez dan doma (oseba, ki skrbi za gospodinjstvo, upokojenci, osebe, ki opravljajo delo od doma).

iz SE, medtem ko aktivno gospodinjstvo doseže manj. Krivulja aktivnega gospodinjstva ima izrazito nižjo porabo dopoldne.

Diagram (krivulja) jasno ponazarja različne vzorce vedenja uporabnikov in omogoča razlikovanje med tipi gospodinjstev glede na njihov dnevni ritem. Takšna segmentacija je ključna za realistične simulacije.

4.1.2 Poslovni profili uporabnikov

Obliko tipičnega poslovnega profila porabe električne energije smo oblikovali na enak način kot za gospodinske odjemalce, in sicer z uporabo metodologije, predstavljene v diplomskem delu P. Kozinca [10]. Tudi za poslovne uporabnike je bil uporabljen pristop modeliranja od spodaj navzgor, kjer se celoten dnevni profil sestavi kot vsota porabe posameznih naprav, upoštevajoč njihovo funkcijo, časovno aktivacijo ter pogostost uporabe v delovnem okolju. Čeprav se v [10] primarno obravnava gospodinjstva, je bila ista metodologija smiselno prirejena za poslovne odjemalce, z ustrezno prilagoditvijo vhodnih parametrov, kot so časovna prisotnost zaposlenih, vrsta prostorov (npr. pisarna, delavnica) ter značilna oprema (npr. razsvetljava, računalniki, grelna telesa, hladilne vitrine). Tudi poslovni profili so bili izraženi v normalizirani obliki (p.u.), kar omogoča kasnejše prilagajanje absolutni porabi posameznega odjemalca. Uporabljene so bile podobne logične faze dneva (začetek delovnega dne, opoldanski vrh, upad aktivnosti popoldne), vendar s poudarjenim dnevnim jedrom in brez večerne konice, ki je značilna za gospodinjstva. Takšen pristop omogoča strukturirano primerjavo med različnimi tipi uporabnikov in njihovo vključevanje v enoten simulacijski okvir.



Slika 4.2 Tipičen poslovni profil za delovni dan, modelirano po [10]

Na prikazani sliki je prikazan tipičen poslovni diagram odjemalca z enoizmenskim delom za delovni dan glede na uro v dnevu, izražen v relativnih enotah (p.u.). Oblika krivulje jasno odraža značilen dnevni vzorec porabe električne energije poslovnega odjemalca, kot so pisarne, storitvene dejavnosti ali manjše proizvodne enote.

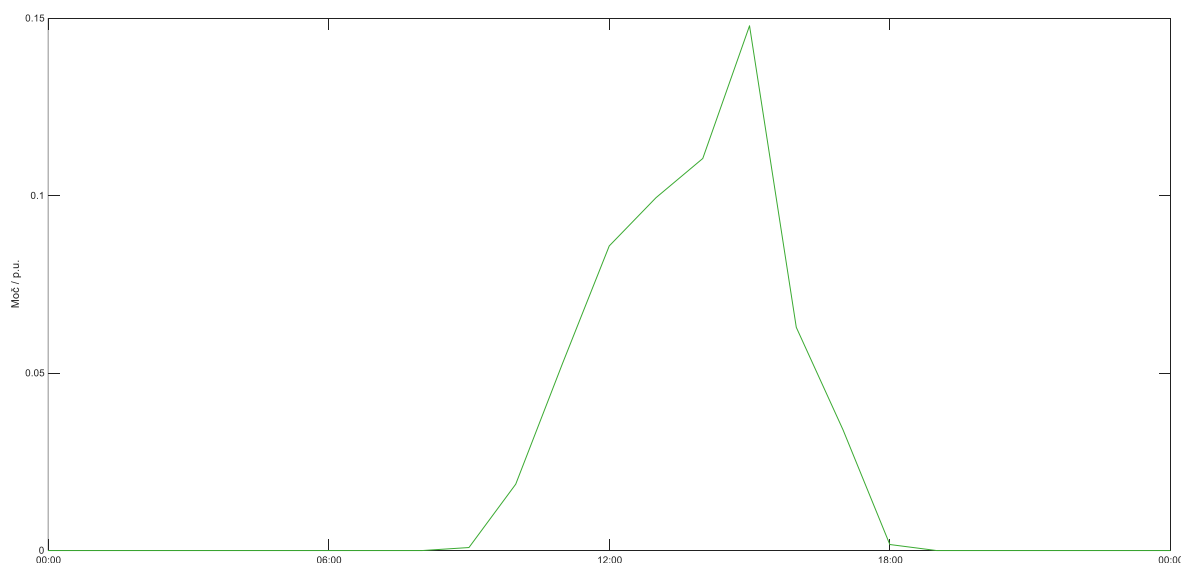
Nočna poraba med 00:00 in 06:00 ostaja nizka in stabilna, kar ustreza stanju pripravljenosti oziroma minimalni osnovni porabi. Okrog 7:00 sledi strm porast porabe, ki doseže vrh približno ob 8:00, kar sovpada z običajnim začetkom delovnega časa. Visoka raven porabe električne energije se nato ohranja do zgodnjih popoldanskih ur, kar ustreza polni obremenitvi sistemov (razsvetljava, ogrevanje/hlajenje, pisarniška oprema, industrijski procesi).

Po 14:00 začne poraba postopoma padati, kar sovpada s koncem delovnega časa. Okrog 17:00 sledi strm padec, ki ponazarja skorajšnjo ustavitev dejavnosti. Večerni in nočni del dneva se ponovno stabilizira na nizki ravni, podobno kot pred začetkom delovnika.

Ta diagram jasno ponazarja visoko časovno skoncentriranost porabe. Diagramska ponazoritev kaže, da tak diagram podpira integracijo obnovljivih virov, ker se konica porabe pojavi sočasno z običajno konico proizvodnje električne energije iz SE.

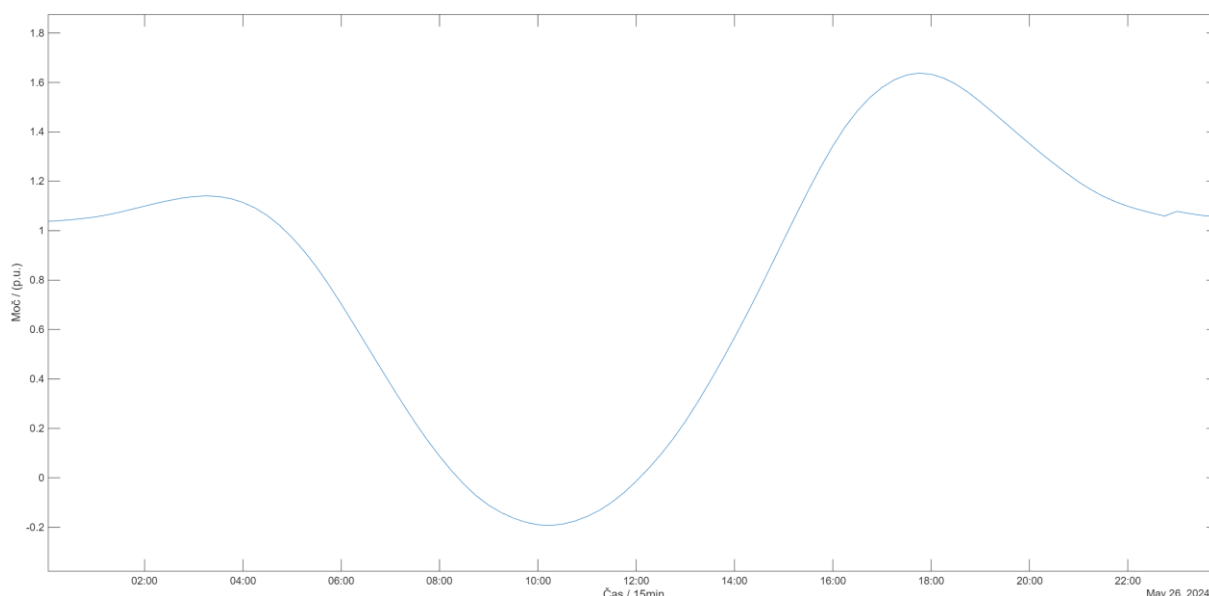
4.1.3 Proizvodni profili

V primeru prosumerjev je bila v odjemne profile vključena komponenta sončne proizvodnje. Tu je bila uporabljena krivulja SE, ki simulira proizvodnjo čez dan – običajno parabolične oblike s poudarkom med jutranjo in popoldansko uro s pomočjo zgodovinskega podatka sončnega sevanja (GHI) iz leta 2024 [3], pri čemer smo za referenčno lokacijo izbrali območje občine Žalec. Lokacija je bila izbrana na podlagi analize razpoložljivih meritev sončnega sevanja iz [3], po analizi GHI meritev istih lokacij razporeditve na različnih meteoroloških postajah po Sloveniji iz [11], kjer se je pokazalo, da so vrednosti v Žalcu najmanj odstopale od Slovenskega povprečja. Na tej osnovi smo sklepali, da Žalec ustrezno predstavlja tipični letni potek sončnega obsevanja za celotno Slovenijo in je zato primerna kot reprezentativna referenčna točka za sintezo proizvodnih profilov fotonapetostnih virov v simulacijskem modelu. Ta proizvodna krivulja je bila odštetá od odjemnega profila, pri čemer smo upoštevali, da lahko pride do negativnih vrednosti (neto oddaja moči v omrežje).



Slika 4.3 Tipična oblika proizvodnje SE za delovni dan 21. feb 2024, modelirano po GHI iz podatkov [3]

Na prikazani sliki je upodobljen tipičen dnevni profil sončne proizvodnje za zimski delovni dan, izražen v relativnih enotah (p.u.). Krivulja ima značilno zvonasto obliko, ki odraža naravno dinamiko prejetega sončnega obsevanja čez dan. Proizvodnja se začne postopoma povečevati po 7. uri zjutraj, kar ustreza sončnemu vzhodu. Med 9:00 in 12:00 narašča strmo, pri čemer proizvodnja doseže vrh okrog 13:30. Ta vrh ustreza trenutku največje intenzitete sončnega obsevanja, ki je pozimi nižja kot poleti, zato je tudi največja vrednost relativno nizka (pod 0,15 p.u.). Po tem sledi prav tako hiter padec proizvodnje, ki se proti 18:00 skoraj popolnoma ustavi, kar sovpadla s sončnim zahodom.



Slika 4.4 Proizvodni neto profil prosumerja skozi dan (26. maj 2024)

Graf prikazuje neto profil prosumerja skozi dan: likvidno porabo med nočnimi urami okoli 1,05 p.u., dopoldanski presežek proizvodnje, ki doseže -0,18 p.u. okoli 10:00, ter popoldanski vrh porabe okoli 1,63 p.u. ob 18:00.

5 Metodologija primerjave rezultatov simulacijskega modela

Odjemalci so označena $n = 1, 2, \dots, N$. Vse moči P so v kW, $\Delta t = 15/60 = 0,25$ h, količine E so v kWh. Produkt $P \times \Delta t$ pretvori moč v energijo za vsak 15-minutni interval.

Vsako gospodinjstvo porabi:

$$E_n = \Delta t \sum_{t=1}^T P_n^{\text{dem}}(t), \quad n = 1, \dots, N \quad (4)$$

enačba E_n označuje kumulativno porabo n -tega gospodinjstva v kWh, P_n^{dem} .

Vsota energije N gospodinjstev:

$$E_{\text{cons}} = \sum_{n=1}^N E_n \quad (5)$$

Vsota vseh E_n je E_{cons} , torej celotna energijska potreba vseh gospodinjstev vključenih v skupnost.

Če enako seštejemo del proizvodnje sončne elektrarne, ki se razporedi pri gospodinjstvih ($P_{n,\text{SE}}$), dobimo E_{used} - vsota dodeljene energije gospodinjstvom iz proizvodnje SE.

$$E_{\text{used}} = \Delta t \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N P_{n,\text{SE}}(t) \quad (6)$$

Delež pokrite električne energije iz SE proti skupnemu odjemu:

$$s_{\text{cov}} = \frac{E_{\text{used}}}{E_{\text{cons}}} \quad (7)$$

Razmerje s_{cov} pokaže, kolikšen del skupne porabe vseh gospodinjstev je pokrit z električno energijo iz SE.

Delež porabe n -tega gospodinjstva, ki jo pokriva SE (proizvodnja):

$$s_n = \frac{\sum_{t=1}^T P_{n,\text{SE}}(t)}{\sum_{t=1}^T P_n^{\text{dem}}(t)}, \quad n = 1, \dots, N \quad (8)$$

Skupna proizvodnja SE:

$$E_{\text{SE}} = \Delta t \sum_{t=1}^T P_{\text{solar}}(t) \quad (9)$$

Brez optimizacije je vsa električna energija iz SE oddana v omrežje ($E_{\text{export,pre}}$):

$$E_{\text{export,pre}} = E_{\text{SE}} \quad (10)$$

Pri optimizaciji pa le preostanek po zadostitvi odjema gospodinjstev ($E_{\text{export,post}}$). Optimizirana oddaja:

$$E_{\text{export,post}} = \Delta t \sum_{t=1}^T P_{\text{export}}(t) \quad (11)$$

Merilo za redukcijo oddaje z optimizacijo:

$$r_{\text{exp}} = \frac{E_{\text{export,pre}} - E_{\text{export,post}}}{E_{\text{export,pre}}} \quad (12)$$

Prvotna razdelitev⁷ med N gospodinjstev, vsak od N uporabnikov prejme največ $1/N$ trenutne moči SE, po katerem se razpredeli električna energija iz SE v t -tem intervalu za n -tega gospodinjstva:

$$P_{n,\text{SE,fix}}(t) = \min\{P_{\text{solar}}(t)/N, P_n^{\text{dem}}(t)\} \quad n = 1, \dots, N \quad (13)$$

Funkcija $\min\{\}$ zagotavlja, da nikoli ne dodelimo več moči kot znaša trenutna potreba gospodinjstva, P_n^{dem} . Vsota porabljene električne energije iz SE po prvotnem ključu je:

$$E_{\text{used,fix}} = \Delta t \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N P_{n,\text{SE,fix}}(t) \quad (14)$$

Vsota oddane električne energije po prvotnem ključu je:

$$E_{\text{export,fix}} = \Delta t \sum_{t=1}^T P_{\text{export,fix}}(t) \quad (15)$$

Pri čemer je:

$$P_{\text{export,fix}}(t) = P_{\text{solar}}(t) - \sum_{n=1}^N P_{n,\text{SE,fix}}(t) \quad (16)$$

S tem dobimo električno energijo $E_{\text{used,fix}}$, oddano električno energijo v omrežje $E_{\text{export,fix}}$ in vse analogne deleže. Služijo kot referenca, proti kateri merimo izplen optimizacijskega postopka. V praksi bi lahko primerjali tudi druge distribucijske paradigme, npr. ponderirano delitev po pogodbeno dogovorjenih kvotah ali delitev na osnovi socialnih prioritet, toda matematika ostane enaka - v enačbi $P_{n,\text{SE,fix}}$ zamenjamo $1/N$ z izbranim deležem. Delež pokrite električne energije vseh gospodinjstev po prvotni razdelitvi je:

$$S_{\text{cov,fix}} = \frac{E_{\text{used,fix}}}{E_{\text{cons}}} \quad (17)$$

Delež pokrite električne energije posameznega n -tega gospodinjstva je:

$$s_{n,\text{fix}} = \frac{\sum_{t=1}^T P_{n,\text{SE,fix}}(t)}{\sum_{t=1}^T P_n^{\text{dem}}(t)}, \quad n = 1, \dots, N \quad (18)$$

Merilo za redukcijo oddaje v prvotni nastavitvi:

$$r_{\text{exp,fix}} = \frac{E_{\text{export,pre}} - E_{\text{export,fix}}}{E_{\text{export,pre}}} \quad (19)$$

⁷ ključ delitve proizvodnje, ki ga nastavijo sodelujoči na začetku

Dodatni kazalniki:

$$\eta_{SE,opt} = \frac{E_{used}}{E_{SE}} \quad (20)$$

$$\eta_{SE,fix} = \frac{E_{used,fix}}{E_{SE}} \quad (21)$$

Izkoristek električne energije iz SE, η_{SE} , je preprosto porabljeni delež proizvodnje. Če ima optimizirana rešitev 0,90 in prvotna nastavitvev 0,68, potem 22 % dodatne električne energije iz SE konča neposredno pri gospodinjstvih. Δs_{cov} in Δr_{exp} sta definirani kot dve relativni metrični meri, katerih namen je kvantificirati dodano vrednost optimizirane razdelitve moči SE glede na izbrani referenčni scenarij enakomerno porazdelitev po načelu $1/N$.

$$\Delta s_{cov} = \frac{s_{cov} - s_{cov,fix}}{s_{cov,fix}} \quad (22)$$

s_{cov} predstavlja pokrivanje porabe iz električne energije iz SE z optimizacijo, $s_{cov,fix}$ pa pri referenčni razdelitvi po prvotni nastavitvi. Rezultat interpretiramo kot relativni dvig lastne oskrbe v okviru skupnosti. Če na primer referenčni scenarij doseže 0,60 (60 %) in optimizacija 0,75 (75 %), dobimo $\Delta s_{cov}=0,25$, kar pomnoženo s 100 pomeni, da optimizacija poveča pokritje za 25 % glede na referenčni scenarij. Pozitiven rezultat kaže na izboljšanje; ničla pomeni, da optimizacija ne prinese dodatka; negativen izid bi signaliziral, da je izbrani algoritem celo poslabšal porazdelitev moči SE med skupnostjo.

Druga mera, se nanaša na presežno električno energijo, ki je kljub vsemu oddana v omrežje:

$$\Delta r_{exp} = \frac{E_{export,fix} - E_{export,post}}{E_{export,fix}} \quad (23)$$

Pozitivna vrednost Δr_{exp} pomeni zmanjšanje oddaje v omrežje. Če bi referenčna shema oddala 500 kWh, optimizirana pa 200 kWh, znaša relativno zmanjšanje 60 %. Vrednost nič pomeni, da optimizacija ne vpliva na oddajo v omrežje; negativna številka bi pomenila, da algoritem celo povečuje oddajo v omrežje.

V nadaljevanju predstavljamo izračuna ključev delitve⁸:

Optimizirana razdelitev z N gospodinjstev:

$$E_{n,SE}^{opt} = \Delta t \sum_{t=1}^T P_{n,SE}(t), \quad n = 1, \dots, N \quad (24)$$

⁸ ključ delitve - deleži celotne energije iz SE in sicer medsebojna primerjava med prvotnim in optimiziranim scenarijem.

Za oddano električno energijo v omrežje:

$$E_{\text{exp}}^{\text{opt}} = \Delta t \sum_{t=1}^T P_{\text{export}}(t) \quad (25)$$

Deleži n-gospodinjstev:

$$q_n^{\text{opt}} = \frac{E_{n,\text{SE}}^{\text{opt}}}{E_{\text{SE}}}, \quad n = 1, \dots, N \quad (26)$$

Delež oddane električne energije:

$$q_{\text{exp}}^{\text{opt}} = \frac{E_{\text{exp}}^{\text{opt}}}{E_{\text{SE}}} \quad (27)$$

Prvotna referenčna razdelitev z deleži $1/N$:

$$E_{n,\text{SE}}^{\text{fix}} = \Delta t \sum_{t=1}^T P_{n,\text{SE},\text{fix}}(t), \quad n = 1, \dots, N \quad (28)$$

$$E_{\text{exp}}^{\text{fix}} = \Delta t \sum_{t=1}^T P_{\text{export}}^{\text{fix}}(t) \quad (29)$$

Deleži po prvotni nastavitvi:

$$q_n^{\text{fix}} = \frac{E_{n,\text{SE}}^{\text{fix}}}{E_{\text{SE}}}, \quad n = 1, \dots, N \quad (30)$$

$$q_{\text{exp}}^{\text{fix}} = \frac{E_{\text{exp}}^{\text{fix}}}{E_{\text{SE}}} \quad (31)$$

6 Uporabniški scenariji

Za sistematično preverjanje funkcionalnosti in robustnosti razvitega simulacijskega modela smo se odločili uporabiti pristop na osnovi t.i. uporabniških scenarijev, UC, (angl. »Use Cases«). Ti scenariji predstavljajo konkretne, realistične situacije uporabe, ki odražajo pričakovano delovanje sistema v različnih operativnih pogojih. Vsak uporabniški scenarij vključuje jasno definirane vhodne podatke, predpostavke in pričakovane izhode, kar omogoča strukturirano in ponovljivo testiranje posameznih funkcionalnih sklopov modela.

Uporabniški scenariji so zasnovani tako, da pokrijejo različne vidike energetske skupnosti, od gospodinskih odjemalcev do podjetij in različnih kombinacij med njimi. Simulacijski model deluje povsem neodvisno od pravnega okvira, ki določa obliko souporabe električne energije.

V nadaljevanju predstavljamo izbor reprezentativnih uporabniških scenarijev, skupaj z opisom karakteristik uporabniških skupin, vhodnih razdelitev, pričakovanim vedenjem sistema in dejanskimi rezultati testiranja. Na podlagi teh rezultatov podamo oceno ustreznosti simulacijskega modela ter identificiramo morebitne potrebne izboljšave.

6.1 UC1 - Souporaba električne energije gospodinskega odjemalca s sončno elektrarno z gospodinskimi odjemalci brez nje

Kratek opis: Gospodinski odjemalci se povežejo v eno izmed oblik souporabe električne energije. Za UC1 je izbrana souporaba električne energije po Zakonu o spremembah in dopolnitvah Zakona o oskrbi z električno energijo. Eno gospodinjstvo ima na lokaciji sončno elektrarno (prosumer), ki jo deli s preostalima dvema gospodinjstvoma.



Slika 6.1: UC1 – prosumer deli viške z GO1 in GO2

Izhodišča/predpogoji:

Omejitve glede na tip energetske skupnosti:

Za UC1 predpostavimo, da električno energijo prodaja gospodinski odjemalec iz enostanovanjske stavbe z zmogljivostjo proizvodne naprave do 30 kW (do 100 kW v večstanovanjskih stavbah). V tem primeru lahko ta prodaja teče brez izpolnjevanja obveznosti iz 15. člena (pogodbene pravice končnih odjemalcev), 16. člena (dodatne pogodbene pravice gospodinskih in malih poslovnih odjemalcev) in 25. člena ZOEE (računi in informacije na računu), vezane na obveznosti dobavitelja. Odjemalci, ki imajo sklenjen sporazum o souporabi električne energije, imajo lahko vsak svojega dobavitelja. Vsota moči proizvodnje in hrambe posameznega sodelujočega subjekta je omejena na 6 MW.

Sodelujoči končni odjemalci ne potrebujejo dodatnih električnih števcov, obračunska točka oddane električne energije se lahko izvede z enim električnim števcem, saj beleži oddano električno energijo ločeno od prejete. Potrebujejo pa ločene obračunske točke za obračun električne energije in obračun omrežnine.

Opis:

Privzamemo, da v souporabo vstopajo trije gospodinski odjemalci z eno sončno elektrarno. Lastnik sončne elektrarne ima le to priključeno v omrežje po shemi PS.3A za individualno samooskrbo in se dogovori za souporabo svojih proizvedenih viškov električne energije še z dvema gospodinskima odjemalcema. Pri prevzemno-predajnem mestu, ki **oddaja** električno energijo v omrežje, se oddana električna energija razdeli med druga, v souporabi sodelujoča prevzemno-predajna mesta, na vsakih 15 minut posebej, skladno z dogovorjenim ključem delitve. Na prevzemno-predajnih mestih, ki električno energijo **prejemajo**, pa od izmerjene vrednosti odjema iz omrežja za vsakih 15 minut posebej odšteje pripadajoč delež oddane električne energije iz oddajne obračunske točke. Poraba gospodinjstev je enaka lanski porabi. Proizvodnja sončne elektrarne je enaka lanski proizvodnji.

Vhodne podatke za algoritem predstavljajo letni profili porabe vseh treh gospodinskih odjemalcev. Ker realnih obremenilnih profilov odjema porabnikov električne energije ni na razpolago, smo pripravili simulacijske profile. Profili odjema gospodinskih odjemalcev predstavljajo naslednje različne uporabnike:

1. aktivni uporabnik s SE na strehi (uporabi se tipična krivulja diagram odjema s samooskrbo),
2. gospodinski odjemalec 1 (aktiven odjemalec),
3. gospodinski odjemalec 2 (pasiven odjemalec).

Izbrana velikost proizvodne naprave je maksimalno 0.8 kratnika priključne moči odjema merilnega mesta, na notranjo napeljavo, katerega je ta naprava priključena.

Glede na lokacijo proizvodne naprave se pripravi diagram proizvodnje, ki temelji na lanskim vremenskih podatkih. V UC1 diagram proizvodnje temelji na zgodovinskih podatkih o globalnem sončnem obsevanju (GHI) za leto 2024, pri čemer smo za referenčno lokacijo izbrali

območje občine Žalec. Lokacija je bila izbrana na podlagi primerjalne analize meritev sončnega sevanja, pri kateri smo uporabili nabor meteoroloških postaj Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Podatki o horizontalnem obsevanju (GHI) so pridobljeni iz odprtokodne platforme Open Meteo [3].

Predvideni izhodiščni ključ delitve oddane proizvedene električne energije v omrežje je 50 % / 50 %.

Cilj:

Glede na odjemne profile se delitveni ključ prilagodi tako, da se maksimira količina porabljene proizvedene električne energije vseh treh odjemalcev skupaj, ter odda minimum moči nazaj v omrežje.

Vhodni podatki:

Letni profili porabe električne energije:

1. gospodinjiski odjemalec s SE,
2. gospodinjiski odjemalec 1,
3. gospodinjiski odjemalec 2.

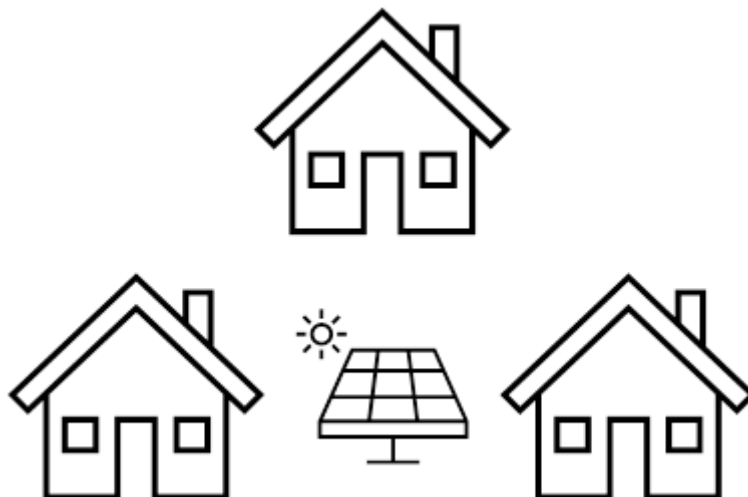
Letni profil oddaje električne energije proizvedene iz SE v omrežje:

- gospodinjstvo s SE.

Ključ predvidene delitve viškov proizvedene električne energije je 0,5 gospodinjiski odjemalec 1, 0,5 gospodinjiski odjemalec 2.

6.2 UC2 Souporaba električne energije sončne elektrarne med gospodinjskimi odjemalci

Kratek opis: Gospodinjski odjemalci se povežejo v eno izmed oblik souporabe električne energije. Za UC2 je izbrana souporaba električne energije po Zakonu o spremembah in dopolnitvah Zakona o oskrbi z električno energijo. Trije gospodinjski odjemalci si delijo eno sončno elektrarno, ki je postavljena ločeno (PS.1B), tako, da se proizvedena električna energija meri posebej, odjem iz omrežja pa se meri za vse tri gospodinjske odjemalce v celoti (PS.1A).



Slika 6.2: UC2 - SE deljena med 3 GO

Izhodišča/predpogoji:

Za UC2 predpostavimo, da električno energijo delijo trije gospodinjski odjemalci med seboj. Gospodinjski odjemalci iz enostanovanjske stavbe lahko imajo SE z zmogljivostjo proizvodnje do 30 kW (do 100 kW v večstanovanjskih stavbah). V tem primeru lahko souporaba (kot delitev ali prodaja med sporazumniki o souporabi) teče brez izpolnjevanja obveznosti iz 15. člena (pogodbene pravice končnih odjemalcev), 16. člena (dodatne pogodbene pravice gospodinjskih in malih poslovnih odjemalcev) in 25. člena ZOEE (računi in informacije na računu), vezane na obveznosti dobavitelja. Odjemalci, ki imajo sklenjen sporazum o souporabi električne energije, imajo lahko vsak svojega dobavitelja. Vsota moči proizvodnje in hrambe posameznega sodelujočega subjekta je omejena na 6 MW.

Proizvodnja SE - oddana električna energija v omrežje se meri ločeno.

Odjem iz omrežja se meri ločeno na MM posameznih gospodinjskih odjemalcev. Pri obračunu se odvzeti energiji iz omrežja odšteje delež od proizvedene električne energije za vsakega odjemalca posebej.

Opis:

Privzamemo, da v souporabo vstopajo trije gospodinjiski odjemalci z eno sončno elektrarno⁹. Vsi trije gospodinjiski odjemalci si delijo proizvedeno električno energijo. Poraba gospodinjstev je enaka lanski porabi. Proizvodnja sončne elektrarne je enaka lanski proizvodnji.

Vhodne podatke za algoritem predstavljajo letni profili porabe vseh treh gospodinjiskih odjemalcev. Ker realnih obremenilnih profilov odjema porabnikov električne energije ni na razpolago, smo pripravili simulacijske profile. Profili odjema gospodinjiskih odjemalcev predstavljajo naslednje različne uporabnike:

1. gospodinjiski odjemalec 1 (aktiven odjemalec)
2. gospodinjiski odjemalec 2 (aktiven odjemalec),
3. gospodinjiski odjemalec 3 (pasiven odjemalec).

Izbrana velikost proizvodne naprave je maksimalno 0,8 kratnik priključne moči odjema merilnega mesta, na notranjo napeljavo, katerega je ta naprava priključena. Glede na lokacijo proizvodne naprave se pripravi diagram proizvodnje, ki temelji na lanskim vremenskim podatkih občine Žalec. Podatki o horizontalnem obsevanju (GHI) so pridobljeni iz odprtokodne platforme Open Meteo [3].

Predvideni izhodiščni ključ delitve oddane proizvedene električne energije v omrežje je 33,33 % na posameznega odjemalca.

Cilj:

Glede na odjemne profile se delitveni ključ prilagodi tako, da se maksimira količina porabljene proizvedene električne energije vseh treh odjemalcev skupaj, ter odda minimum moči nazaj v omrežje.

Vhodni podatki:

Letni profili porabe električne energije:

1. gospodinjiski odjemalec 1,
2. gospodinjiski odjemalec 2,
3. gospodinjiski odjemalec 3.

Letni profil oddaje električne energije proizvedene iz SE v omrežje:

- profil proizvodnje SE.

Ključ predvidene delitve proizvedene električne energije je 1/3 gospodinjiski odjemalec 1, 1/3 gospodinjiski odjemalec 2, 1/3 gospodinjiski odjemalec 3.

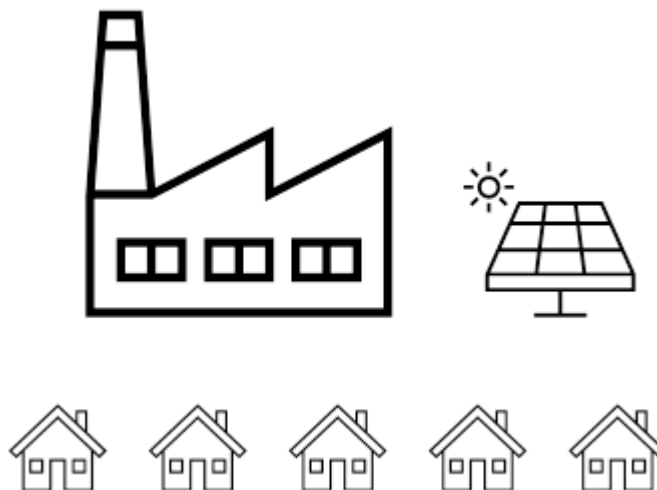
⁹ Npr skupna investicija vseh treh gospodinjstev

6.3 UC3 Souporaba električne energije podjetja s sončno elektrarno in gospodinjskih odjemalcev

Kratek opis:

Predpostavimo, da podjetje investira v sončno elektrarno. Ker podjetje deluje enoizmensko in ne obratuje ob vikendih in praznikih, se odloči, da ponudi del svojih kapacitet tudi svojim zaposlenim. Skupaj z gospodinjskimi uporabniki se povežejo v eno izmed oblik souporabe električne energije. Za UC3 je izbrana souporaba električne energije po ZSROVE – SOVE.

Proizvodnja sončne elektrarne v lasti podjetja je enaka lanski proizvodnji (če gre za obstoječo elektrarno) ali pa je ocenjena na podlagi velikosti, lege, tipov panelov, lokacije ...). Poraba podjetja je enaka lanski porabi. Poraba gospodinjstev je enaka lanski porabi. Proizvedena električna energija se meri posebej, odjem iz omrežja pa se meri za sodelujoče gospodinjске odjemalce in podjetje posebej in v celoti.



Slika 6.3: UC3 - podjetje in 5 GO

Izhodišča/predpogoji:

Za SOVE velja, da vsako gospodinjstvo, ki bo del skupnosti samooskrbe, ne sme presegati 43,5 kW priključne moči odjema. Največja skupna priključna moč naprave za samooskrbo ne sme presegati letne porabe električne energije vseh članov skupnosti v preteklem letu, pretvorjene v moč po formuli:

$$P_{max} = \frac{E_{letna}}{1.1 \times 8760} [kW]$$

kjer je:

P_{max} : največja dovoljena skupna priključna moč naprave,

E_{letna} : skupni letni odjem vseh članov (v kWh),

1.1: varnostni faktor (10 %),

8760: število ur v letu.

Vhodni podatki:

Poraba gospodinjstev je enaka lanski porabi. Proizvodnja sončne elektrarne je enaka lanski proizvodnji. Poraba podjetja je enaka lanski porabi.

Vhodne podatke za algoritem predstavljajo letni profili porabe električne energije podjetja, petih gospodinjstev in proizvodnja električne energije iz SE. Ker za modeliranje ni na razpolago realnih profilov odjema porabnikov električne energije, smo pripravili simulacijske profile krivulj:

1. Podjetje (enoizmensko delo, prosti vikendi in prazniki)
2. gospodinjiski odjemalec 1 (aktiven odjemalec),
3. gospodinjiski odjemalec 2 (aktiven odjemalec),
4. gospodinjiski odjemalec 3 (pasiven odjemalec),
5. gospodinjiski odjemalec 4 (aktiven odjemalec),
6. gospodinjiski odjemalec 5 (aktiven odjemalec),
7. Izbrana moč proizvodne naprave je 35 kW.

Izbrana velikost proizvodne naprave, to je 35 kW, je bila določena na podlagi predpostavljenih značilnosti podjetja kot osrednjega odjemalca v sistemu, ki deluje v enoizmenskem režimu z običajnimi prostimi dnevi ob vikendih in praznikih. Takšna moč je usklajena s pričakovanim dnevnim odjemom podjetja, ki je praviloma bistveno višji od gospodinjiskih odjemalcev, saj vključuje obratovanje električnih naprav, razsvetljave, ogrevanja oziroma hlajenja ter drugih delovnih sistemov v aktivnem delovnem času. V praksi imajo podjetja pogosto priključno moč višjega razreda (npr. 20 kW, 30 kW ali več), kar pomeni, da je postavitve sončne elektrarne z nazivno močjo 35 kW skladna z njihovimi dejanskimi potrebami po samooskrbi, brez preseganja običajnih dimenzioniranj za male poslovne odjemalce. Poleg tega takšna moč omogoča učinkovito izrabo sončnega potenciala ob delovnikih, ko se poraba in proizvodnja časovno najbolj prekrivata, kar zmanjšuje viške energije in izboljša ekonomiko sistema.

Predvideni izhodiščni ključ delitve oddane proizvedene električne energije v omrežje je 70 % podjetje, 30 % vseh pet gospodinjstev v enakih deležih.

Cilj:

Glede na odjemne profile se delitveni ključ prilagodi tako, da se maksimira količina porabljene proizvedene električne energije vseh odjemalcev skupaj, ter odda minimum moči nazaj v omrežje.

Vhodni podatki:

Letni profili porabe električne energije:

1. podjetje
2. gospodinjiski odjemalec 1 do 5,

Letni profil oddaje SE v omrežje:

1. profil proizvodnje SE.

Ključ predvidene delitve viškov proizvedene električne energije je 7/10 podjetje in 3/10 vseh pet gospodinjstev v enakih deležih .

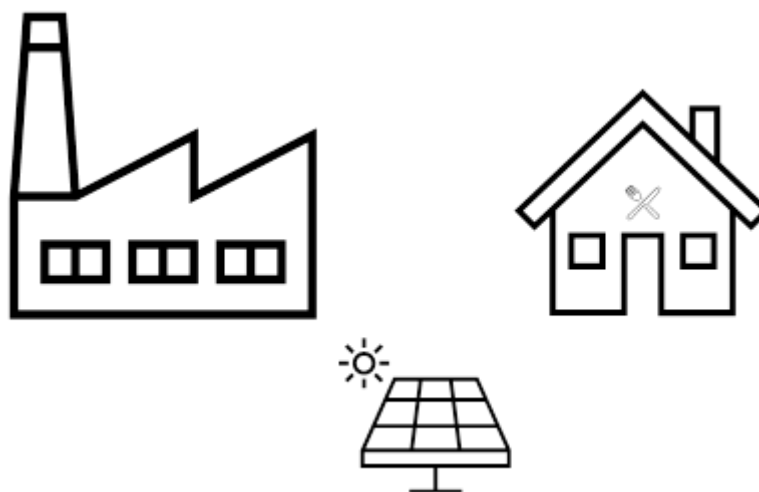
6.4 UC4 Souporaba električne energije med podjetji

Kratek opis:

Predpostavimo, da se povežeta dve podjetji v SOVE in investira v sončno elektrarno. Eno podjetje deluje enoizmensko in ne obratuje ob vikendih in praznikih. Drugo podjetje je gostinsko podjetje in obratuje med tednom od 11 do 22. ure in med vikendi. Za UC4 je izbrana souporaba električne energije po ZSROVE – SOVE.

Proizvodnja sončne elektrarne v lasti podjetij je enaka lanski proizvodnji. Poraba podjetij je enaka lanski porabi.

Proizvedena električna energija se meri posebej, odjem iz omrežja pa se meri za sodelujoči podjetji posebej in v celoti.



Slika 6.4: UC4 - dve podjetji

Izhodišča/predpogoji:

Za SOVE velja, da največja skupna priključna moč naprave za samooskrbo ne sme presegati letne porabe električne energije vseh članov skupnosti v preteklem letu, pretvorjene v moč po formuli:

$$P_{max} = \frac{E_{letna}}{1.1 \times 8760} [kW]$$

kjer je:

P_{max} : največja dovoljena skupna priključna moč naprave,

E_{letna} : skupni letni odjem vseh članov (v kWh),

1.1: varnostni faktor (10 %),
8760: število ur v letu.

Vhodni podatki:

Vhodne podatke za algoritem predstavljajo letni profili porabe obeh podjetij in proizvodnja električne energije iz SE.

Ker za modeliranje ni na razpolago realnih profilov odjema porabnikov električne energije, smo pripravili simulacijske profile:

1. Podjetje 1 (enoizmensko delo, prosti vikendi in prazniki).
2. Podjetje 2 (gostinsko podjetje in obratuje med tednom od 11. ure do 22. ure in med vikendi).
3. Izbrana velikost proizvodne naprave je 35 kW (glej pojasnilo v UC1).

Predvideni izhodiščni ključ delitve oddane proizvedene električne energije v omrežje je 50 % podjetje 1, 50 % podjetje 2.

Cilj: Glede na odjemne profile se delitveni ključ prilagodi tako, da se maksimira količina skupaj porabljene proizvedene električne energije vseh treh odjemalcev, ter odda minimum moči nazaj v omrežje.

Vhodni podatki:

Letni profili porabe električne energije:

1. podjetji 1 in 2.

Letni profil oddaje električne energije proizvedene iz SE v omrežje:

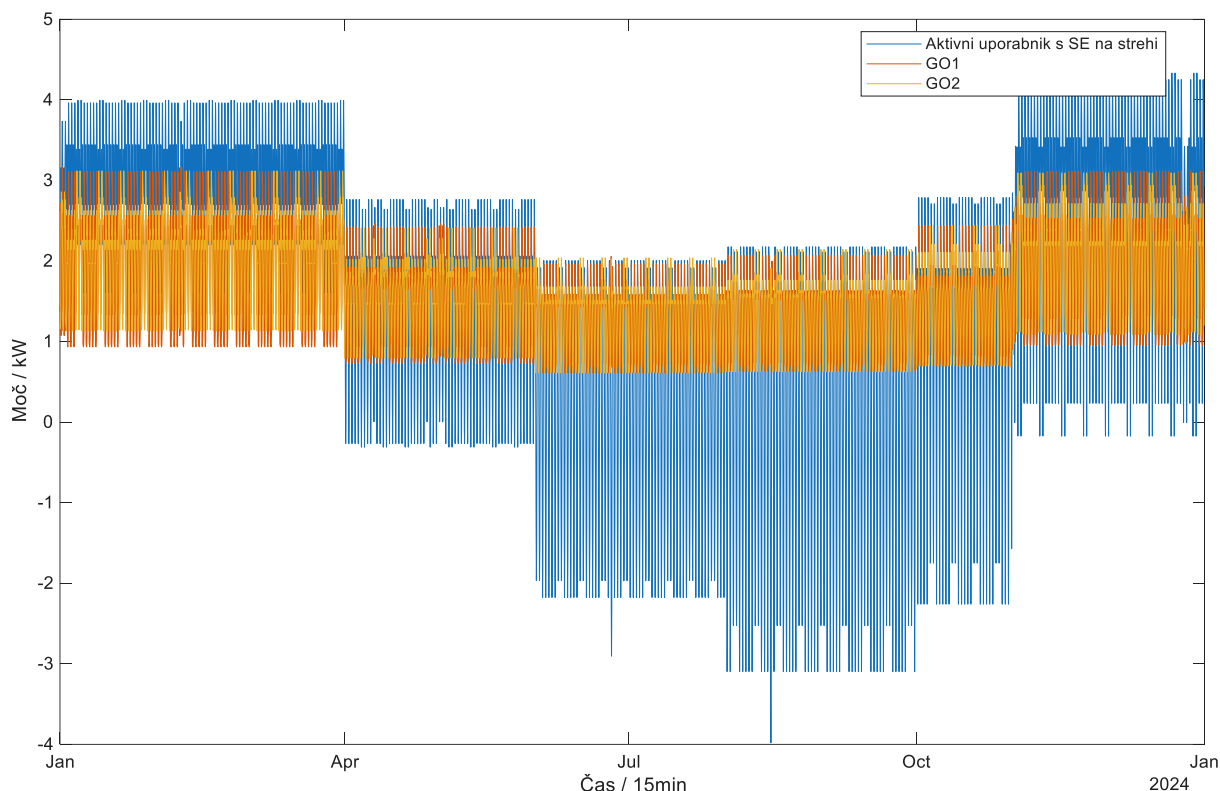
2. profil proizvodnje SE.

Ključ predvidene delitve viškov proizvedene električne energije je $\frac{1}{2}$ vsakemu podjetju.

7 Izvedba simulacij in analiza rezultatov

V tem poglavju so predstavljeni rezultati simulacij modela, ki so bile izvedene za preverjanje učinkovitosti predlaganega pristopa k souporabi električne energije med različnimi tipi uporabniških scenarijev. Simulacije temeljijo na simulacijskih profilih porabe in proizvodnje električne energije ter vključujejo različne scenarije interakcije med udeleženci v lokalnem energetskega sistemu. Osredotočamo se na kvantitativno primerjavo različnih konfiguracij z vidika porazdelitve presežkov, zmanjšanja odjema iz omrežja, izboljšanja samooskrbe in splošne energetske učinkovitosti.

7.1 Rezultati UC1 - Souporaba električne energije gospodinskega odjemalca s sončno elektrarno z gospodinskimi odjemalci brez nje

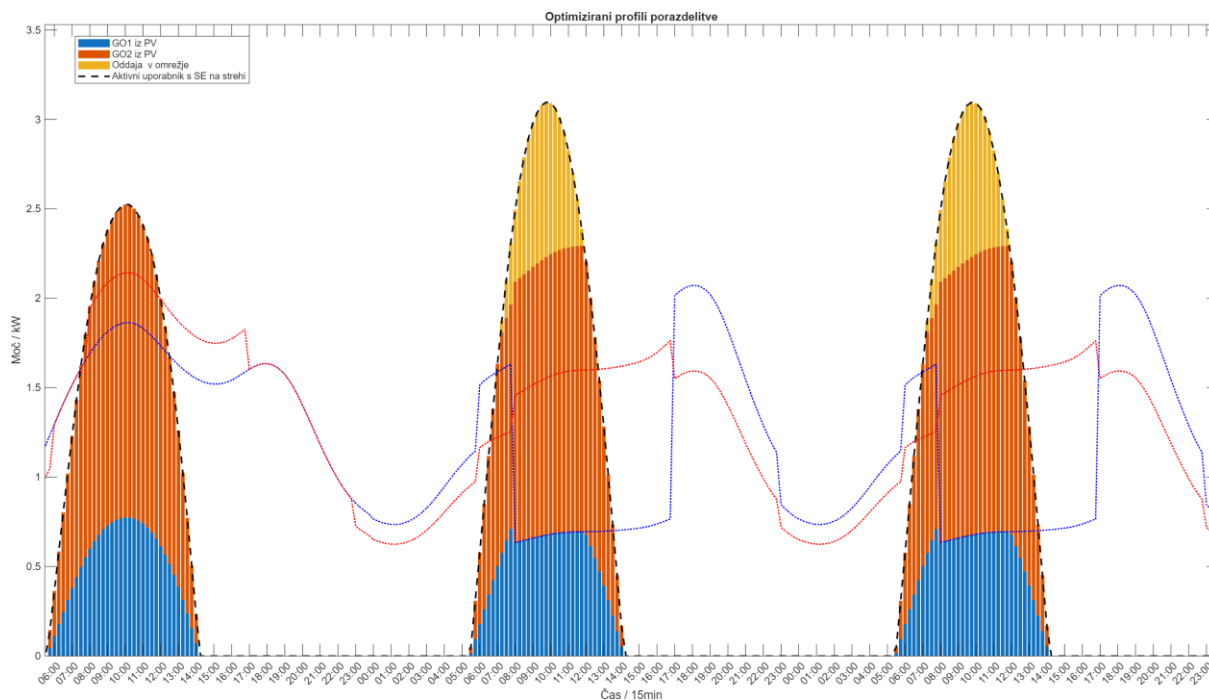


Slika 7.1: Letni potek električne moči aktivnega gospodinskega uporabnika s sončno elektrarno in dveh pasivnih gospodinskih odjemalcev (GO1, GO2); 15-minutna časovna ločljivost, modelirano po [10]

Priključne moči:

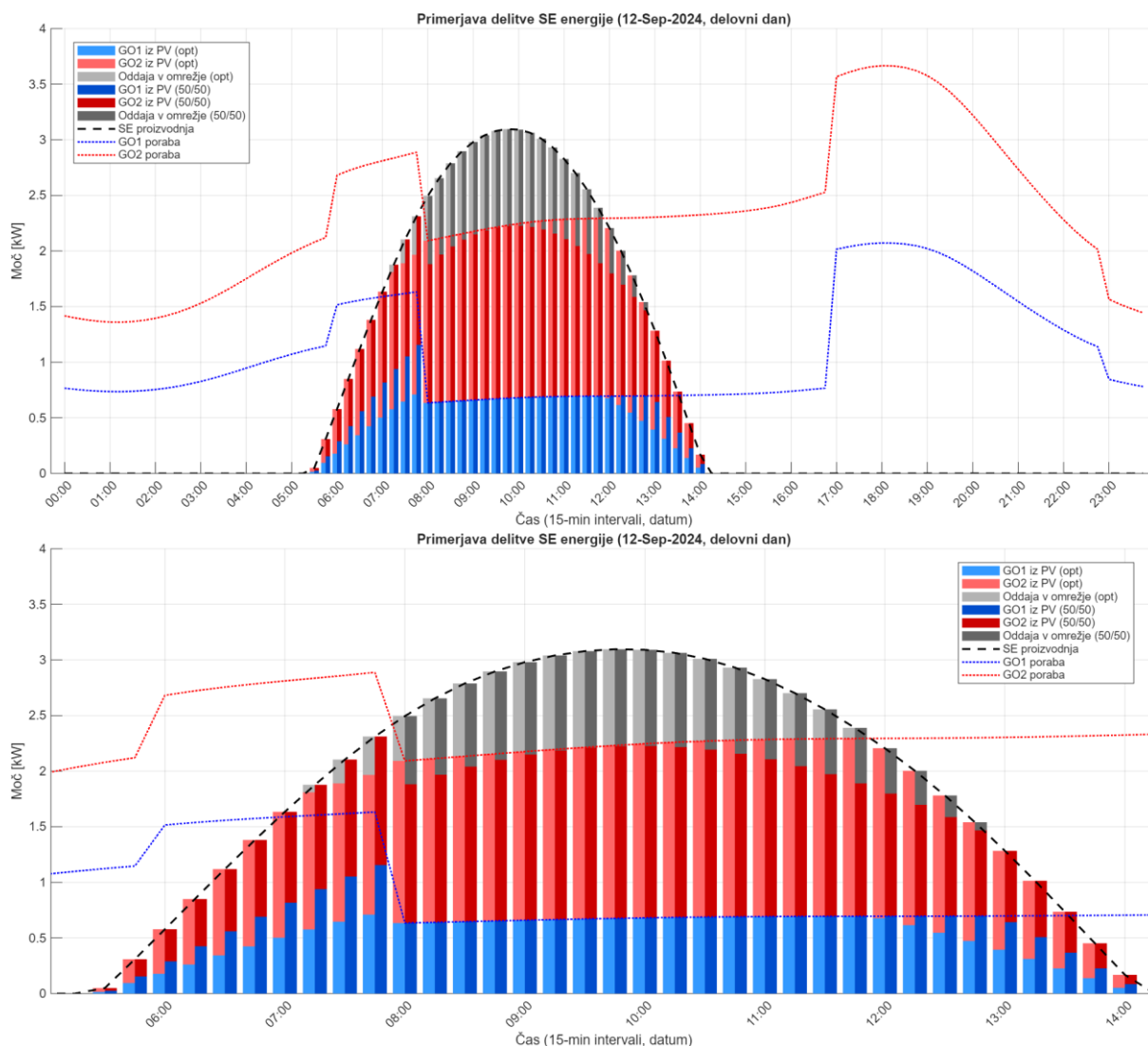
- Aktivni uporabnik s SE na strehi 11 kW
- GO1 6 kW
- GO2 6 kW

Priključna moč predstavlja največjo dovoljeno električno moč, ki jo lahko uporabnik ali proizvodna naprava hkrati odda v ali prevzame iz elektroenergetskega omrežja prek svojega priključka. Določena je s tehničnimi lastnostmi priključka in dogovorjena s sistemskim operaterjem v okviru soglasja za priključitev. Za odjemalce ta moč pomeni zgornjo mejo sočasne porabe, medtem ko za proizvodne naprave, kot je sončna elektrarna, določa največjo moč oddaje v omrežje – pogosto omejeno z močjo razsmernika. V praksi tako priključna moč določa projektne meje obratovanja sistema, vpliva na dimenzioniranje zaščitnih naprav in ima neposredne posledice za izračun omrežnin in zanesljivost obratovanja omrežja.



Slika 7.2: Vizualizacija rezultata optimizacije prerazporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje električne energije v omrežje

Prvi uporabnik SE je aktivni odjemalec (prosumer), ki ima SE na strehi za MM in tako sproti porablja proizvedeno električno energijo iz SE. Delež električne energije iz SE, ki je ne porabi odda v omrežje in se uporabi za razdeljevanje med souporabniki. Na prvi sliki, Slika 7.1, je razvidno, da so ti viški prikazani kot negativne vrednosti (manjše od 0), vendar so v optimizacijskem postopku obravnavani kot pozitivne količine, ki so predmet optimizacije.



Slika 7.3: Primerjava porazdelitve sončne energije med dvema odjemalcema ob delovnem dnevu (12. september 2024) – z optimizacijo in brez, agregiran odjem, 15-min ločljivost

Zjutraj, okoli 8. ure proizvodnja SE narašča. GO2 porabi več električne energije, zato se mu dodeli večji delež električne energije (modre vrednosti so večje). GO1 prejme manj električne energije iz SE, kljub večji skupni proizvodnji, saj ima v tem času nižji odjem električne energije. Med 08:00 in 13:00: proizvodnja iz SE doseže maksimum in ostaja precej konstantna. Tukaj je optimizacija najbolj vidna – GO2 prejme večji delež proizvodnje električne energije, kar pomeni, da optimizacija upošteva večjo porabo GO2. Siva območja (oddaja v omrežje) kažejo izgubljene možnosti za lokalno porabo. Takšni presežki bi bili potencialno uporabni v primeru shranjevanja (baterije) ali prilagoditve porabe.

Letna poraba (2024) električne energije gospodinjstev: 27,20 MWh, enačba (5).

Letna poraba (2024) električne energije GO1: 12,92 MWh, enačba (4)

Letna poraba (2024) električne energije GO2: 14,28 MWh, enačba (4).

Letna poraba (2024) vseh gospodinjstev pokrita iz SE: 7,09 %, enačba (6).

Delež porabe aktivnega gospodinjstva 1, ki jo pokriva aktivni odjemalec: 4,58 %, enačba (8).

Delež porabe gospodinjstva 2, ki jo pokriva aktivni odjemalec: 9,35 %, enačba (8).

Rezultati optimizacija vs. prvotna razdelitev (50 % / 50 %):

Pokritje celotne porabe iz SE:

- optimizacija: 7,09 %, enačba (7)
- prvotna razdelitev: 6,71 %, enačbi (9) in (10)

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO1:

- optimizacija: 4,58 %, enačba (8)
- prvotna razdelitev: 6,20 %, enačba (18)

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO2:

- optimizacija: 9,35 %, enačba (8)
- prvotna razdelitev: 7,16 %, enačba (18)

Povečana samooskrba (zmanjšanje oddaje električne energije iz SE v omrežje):

- optimizacija: 94,20 %, enačba (12)
- prvotna razdelitev: 89,16 %, enačba (19)

Enačbe veljajo tudi za vse preostale UC.

Vsa proizvedena električna energija iz SE (vsa oddaja v omrežje): 2046,36 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih brez optimizacije: 1824,42 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih z optimizacijo: 1927,61 kWh.

Električna energija iz SE po optimizaciji oddana v omrežje in neizrabljena: 118,65 kWh.

Delitveni ključ določen na podlagi optimizacijskega algoritma, ki temelji na linearnem programiranju (LP), učinkovitejšo razporedi razpoložljivo električno energijo iz SE za pokrivanje potreb gospodinjstev. Doseže več kot štirikrat večje pokritje porabe iz SE v primerjavi s prvotnim ključem, kar kaže na boljšo uskladitev razporeditve moči glede na trenutne potrebe gospodinjstev.

Pri optimizaciji je delež pokrite porabe GO2 višji (9,35 %) kot pri prvotnem ključu (6,71 %), medtem ko je delež pokrite porabe GO1 nižji (4,58 % v primerjavi s 6,20 %). To pomeni, da optimizacija daje prednost gospodinjstvu z večjo skupno porabo (GO2: 14,28 MWh v primerjavi z GO1: 12,92 MWh), kar je logično glede na cilj algoritma – minimiziranje oddaje v omrežje z maksimiranjem porabe. Prvotna razdelitev pa električno energijo iz SE porazdeli bolj enakomerno (50 % / 50 %), ne glede na razlike v potrebah posameznih gospodinjstev.

Optimizacija doseže večje zmanjšanje oddaje električne energije iz SE v omrežje, saj poveča njeno porabo (94,20 %) več kot prvotna razdelitev (89,16 %). To je posledica tega, da algoritem razporedi razpoložljivo električno energijo iz SE tako, da čim bolj pokrije trenutno porabo gospodinjstev, preostanek pa odda v omrežje. Prvotna razdelitev, ki enostavno razdeli

električno energijo iz SE na pol (50 % GO1, 50 % GO2), je manj učinkovita pri zmanjševanju oddaje električne energije v omrežje.

Izboljšave zaradi optimizacije:

Povečanje pokritosti porabe: 5,66 %, enačba (22))

Dodatno zmanjšanje oddaje električne energije v omrežje: 46,51 %, enačba (23)

Tabela 7.1: Delež porabljene proizvodnje električne energije SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključi v primeru UC1¹⁰

	GO1	GO2	Oddaja v omrežje
Prvotna ključa	0,5	0,5	
Prvotni odjem	39,17 %	49,99 %	10,84 %

Optimalni ključ	0,3070	0,6930	
Optimizacija	28,94%	65,27 %	5,80 %

Končna delitev deležev, ki jo člani skupnosti prijavijo distribucijskemu operaterju je zaokrožena na celo število.

Tabela 7.2: Končni deleži delitve proizvodnje električne energije SE med odjemalci v primeru UC1

	GO1	GO2
Prvotna delitev	50 %	50 %
Končna delitev deležev po optimizaciji	31 %	69 %

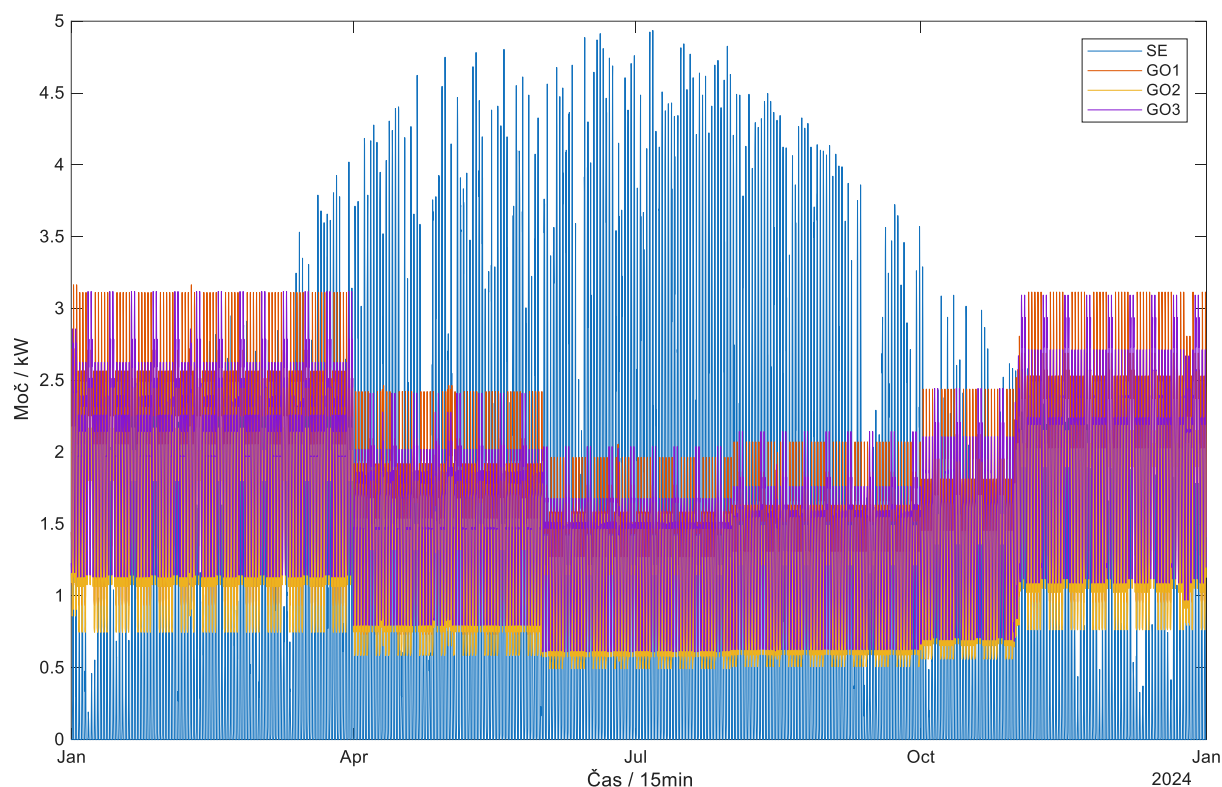
Optimizacijski algoritem je dosegel svoj primarni cilj – zmanjšanje oddaje električne energije v omrežje – saj se delež »neporabljene« električne energije iz SE zniža z 10,84 % na 5,80 %, kar pomeni približno 47-odstotno relativno redukcijo oddaje. Aktivno gospodinjstvo (GO1) prejme manj celotne električne energije iz SE kot v razdelitvi po prvotnem ključu, medtem ko pasivno gospodinjstvo (GO2) pridobi. Ker ima GO2 širši in časovno boljše uravnan profil porabe s proizvodnjo električne energije iz SE, lahko absorbira večjo količino v tem trenutku proizvedene električne energije iz SE. Končni rezultat kaže, da algoritem doseže prerasporeditev električne energije iz SE s skoraj polovico manjšo oddajo v omrežje z razmeroma skromnim kompromisom v pravičnosti delitve, kar je v praksi sprejemljiv »trade-off«, če je minimiziranje oddaje električne energije v omrežje prioriteta skupnosti.

Zaključek

Delitveni ključ določen z optimizacijo je boljše izbira, ob doseganju cilja zmanjšanje oddaje električne energije v omrežje v omrežje (94,20% v primerjavi z 89,16 %) ali maksimiziranje souporabe električne energije iz SE (7,09 % v primerjavi z 6,71 %).

¹⁰ po enačbah (21)-(28)

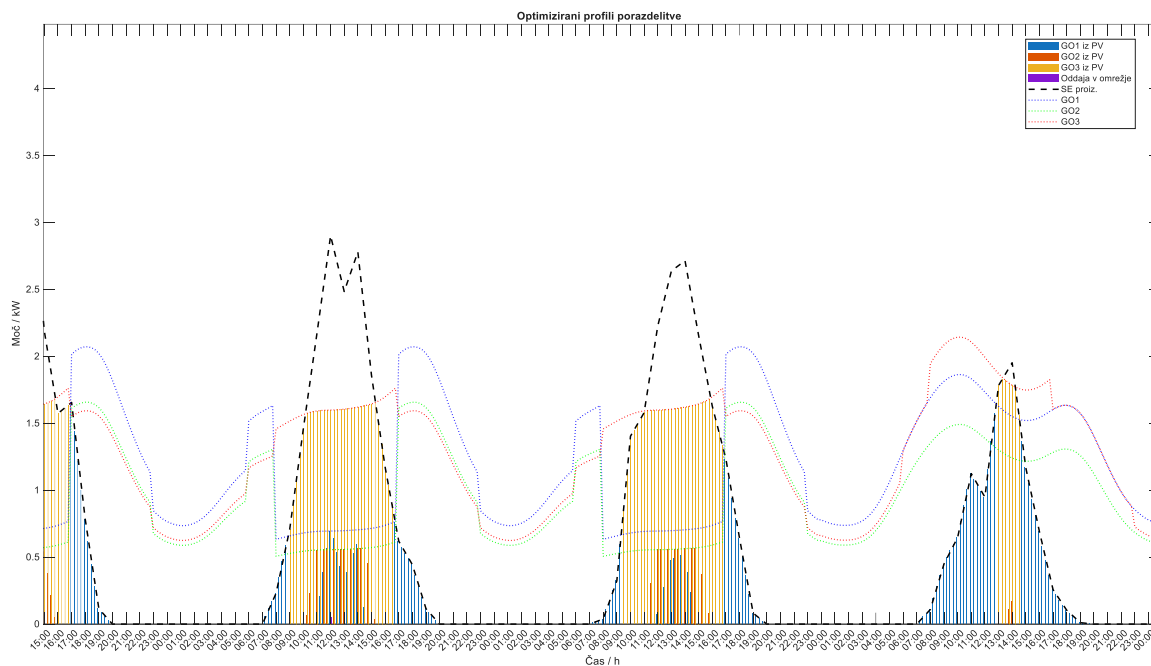
7.2 Rezultati UC2- Souporaba električne energije sončne elektrarne med gospodinjskimi odjemalci



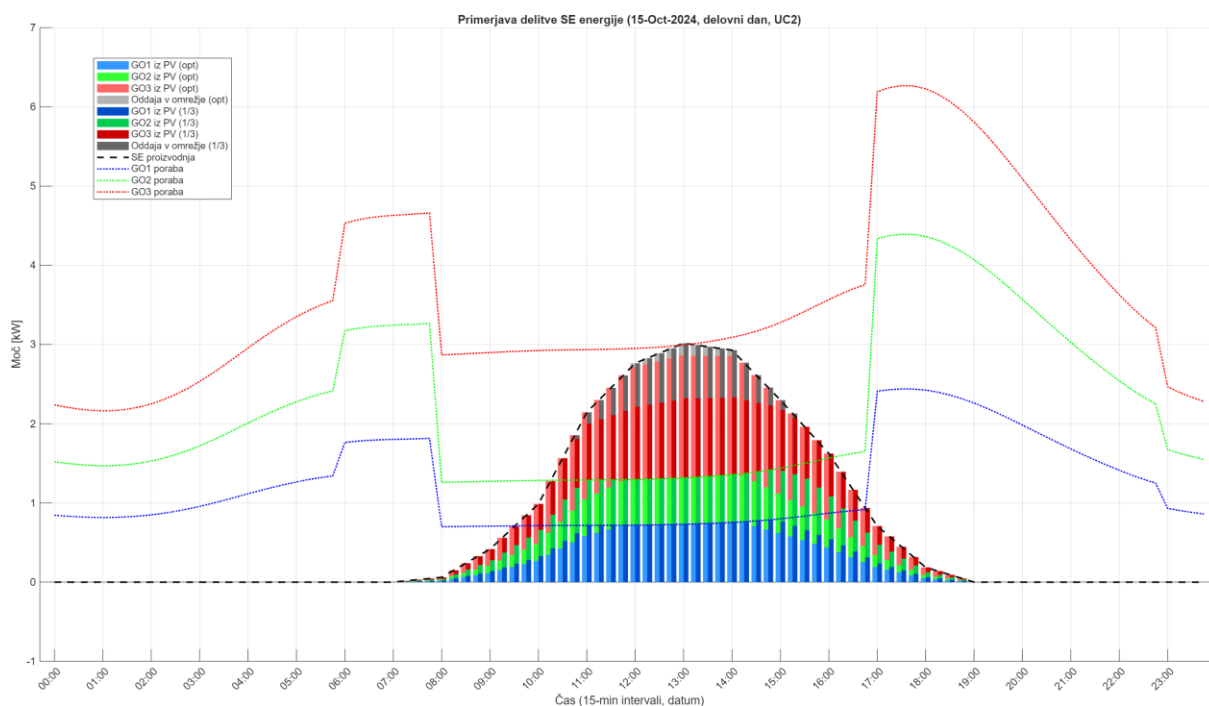
Slika 7.4: Letni potek električne moči sončne elektrarne (SE) in treh gospodinjskih odjemalcev (GO1, GO2, GO3); časovna ločljivost 15 minut.

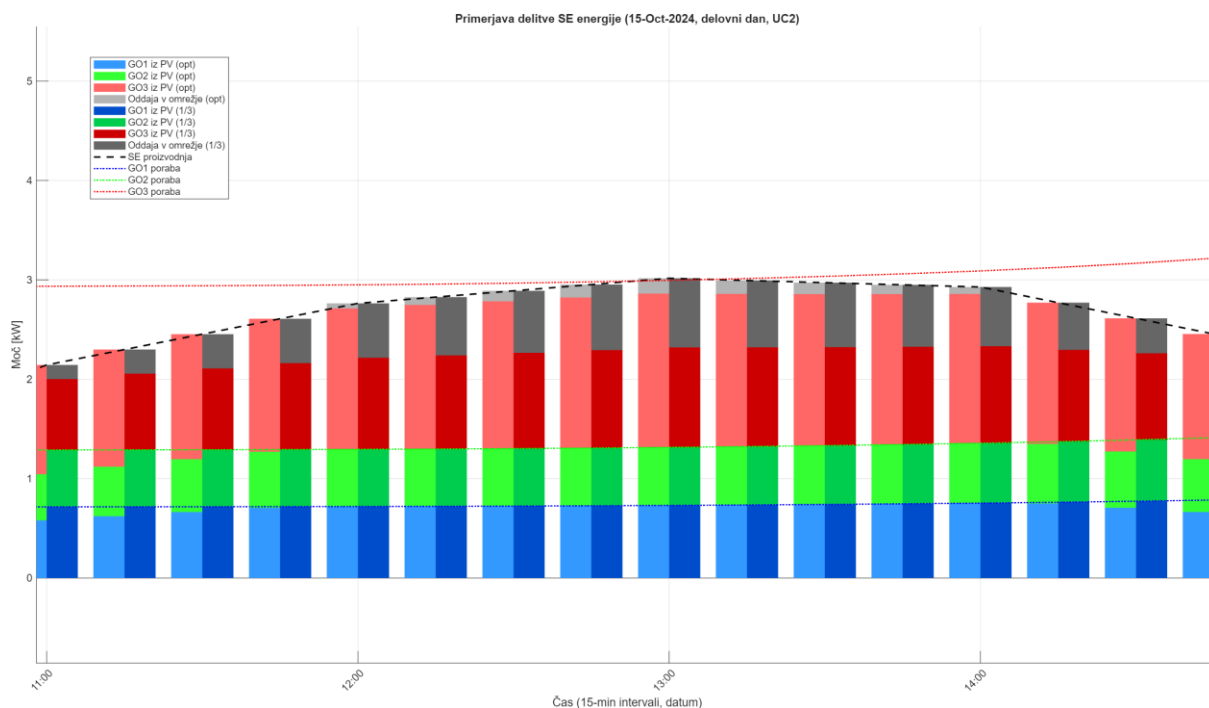
Priključne moči:

- SE 11 kW,
- GO1 11 kW,
- GO2 11 kW,
- GO3 11 kW.



Slika 7.5: Vizualizacija rezultata optimizacije za nekaj delovni dni prerazporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje v omrežje





Slika 7.6: Graf prikazuje primerjavo med optimizirano in enakomerno (1/3) razdelitvijo energije iz sončne elektrarne med tri uporabnike skozi celoten dan (15. oktober 2024, UC2)

Optimizacija jasno sledi porabniškemu profilom – največji delež električne energije iz SE je dodeljen GO3, ki ima največjo porabo podnevi. S tem se minimizira oddaja v omrežje in maksimira lokalna raba. Prvotna 1/3 razdelitev ne sledi dejanskim potrebam in zato povzroča več oddane električne energije.

Letna poraba (2024) električne energije gospodinjstev: 37,54 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO1: 12,92 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO2: 10,34 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO3: 14,28 MWh.

Letna poraba (2024) vseh gospodinjstev pokrita iz SE: 18,58 %.

Delež porabe aktivnega gospodinjstva GO1, ki jo pokriva SE: 14,35 %.

Delež porabe aktivnega gospodinjstva GO2, ki jo pokriva SE: 14,35 %.

Delež porabe pasivnega gospodinjstva GO3, ki jo pokriva SE: 25,48 %

Rezultati optimizacija vs. prvotna razdelitev (33,33 % vsak).

Pokritje celotne porabe iz SE:

- optimizacija: 18,58 %

- prvotna razdelitev: 17,73 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO1:

- optimizacija: 14,35 %

- prvotna razdelitev: 16,67 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO2:

- optimizacija: 14,35 %
- prvotna razdelitev: 19,34 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO3:

- optimizacija: 25,48 %
- prvotna razdelitev: 17,52 %

Povečana samooskrba (zmanjšanje oddaje električne energije iz SE v omrežje:

- optimizacija: 92,91 %
- prvotna razdelitev: 88,63 %

Vsa proizvedena električne energije iz SE (vsa oddaja v omrežje): 7508,74 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih brez optimizacije: 6654,83 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih z optimizacijo: 6976,08 kWh.

Električna energija iz SE po optimizaciji oddana v omrežje in neizrabljena: 532,65 kWh.

Pri optimizaciji je delež pokrite porabe GO3 višji (25,48 %) kot pri prvotnem ključu (17,52 %), medtem ko je delež pokrite porabe GO1 in GO2 nižji (14,35 % v primerjavi s 16,67 % in 14,35 % v primerjavi z 19,34 %). To pomeni, da optimizacija daje prednost gospodinjstvu z večjo skupno porabo (GO3: 14,28 MWh v primerjavi z GO1: 12,92 MWh in GO2 10,34 MWh), kar je logično glede na cilj algoritma – minimiziranje oddaje električne energije v omrežje z maksimiranjem porabe. Prvotna razdelitev pa električno energijo iz SE porazdeli bolj enakomerno po (1/3 ne glede na razlike v potrebah posameznih gospodinjstev.

Optimizacija doseže večje zmanjšanje oddaje v omrežje električne energije iz SE (92,91 %) kot prvotna razdelitev (88,63 %). To je posledica tega, da algoritem razporedi razpoložljivo električno energijo iz SE tako, da čim bolj pokrije trenutno porabo gospodinjstev, preostanek pa odda v omrežje. Prvotna razdelitev, ki enostavno razdeli električno energijo iz SE na 1/3 (1/3 GO1, 1/3 GO2, 1/3 GO3), je manj prilagodljiva in zato manj učinkovita pri zmanjševanju oddaje električne energije v omrežje.

Izboljšave zaradi optimizacije:

Povečanje pokritosti porabe med souporabniki: 4,83 %

Dodatno zmanjšanje oddaje električne energije v omrežje: 37,62 %

Tabela 7.3: Delež porabljene proizvodnje električne energije iz SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključmi v primeru UC2¹¹

	GO1	GO2	GO3	Oddaja v omrežje
Prvotna ključa	0,33	0,33	0,33	
Prvotni odjem	28,68 %	26,62 %	33,33 %	11,37 %

¹¹ po enačbah (21)-(28)

Optimalni ključi	0,2707	0,2165	0,5128	
Optimizacija	24,69 %	19,75 %	48,47 %	7,09 %

Rezultati v tabeli prikazujejo deleže proizvodnje sončne elektrarne, ki se z različnimi metodami razdelijo na odjemna mesta (GO1, GO2, GO3) ter na oddajo v omrežje.

Končna delitev deležev, ki jo člani skupnosti prijavijo DO je zaokrožena na celo število.

Tabela 7.4: Deleži delitve proizvodnje električne energije iz SE med odjemalci v primeru UC2

	GO1	GO2	GO3
Prvotna delitev	33,33 %	33,33 %	33,33 %
Končna delitev deležev po optimizaciji	27 %	22 %	51 %

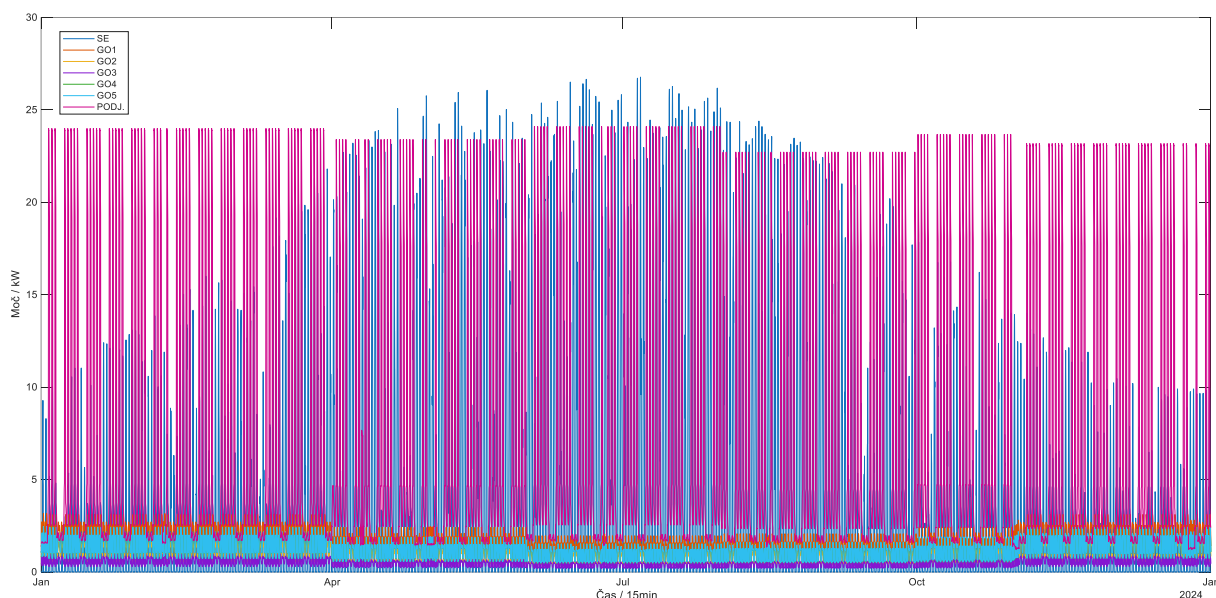
Pri »Optimizaciji« se skoraj vsa električna energija iz SE (48,47 %) dodeli na GO3, medtem ko GO2 prejme le 19,75 %. GO1 (24,69 %), delež oddaje električne energije v omrežje pa se zmanjša na 7,09 %. GO3 predstavlja porabnika z najbolje ujemajočim se profilom obremenitve s proizvodnjo SE, zato mu algoritem dodeli največjo količino električne energije iz SE. GO2 je prepoznan kot manj ugoden zato se mu delež opazno zmanjša. Zmanjšanje oddaje električne energije v omrežje z 11,37 % na 7,09 % je pozitiven kazalnik, saj pomeni večjo samooskrbo in manj izgubljenega potencialnega prihranka; prodaja v omrežje je namreč občutno slabše ovrednotena kakor lastna poraba.

Pri prvotnem ključu je izkoristek energije gospodinjstev: GO3 33,33 %; GO2 26,62 %; GO1 28,68 %; oddaja v omrežje 11,37 %. Takšna delitev je tipična za sheme brez aktivnega upravljanja – prilagodljivost je omejena, zato se presežki električne energije pogosteje prodajo v omrežje, porabniki z drugačnim profilom pa prejmejo enak odstotek ne glede na trenutne potrebe.

Ključne ugotovitve

- Optimizacija je uspela znižati oddajo v omrežje in »premakniti« električno energijo h gospodinjstvu (GO3) (upokoјenci, pasivni odjem), kateremu se obremenitveni profil najbolje prilagaja s proizvodnjo SE.
- Velik padec deleža GO2 ob optimizaciji kaže, da mu prvotna razdelitev prerazporeditve električne energije iz SE ne odgovarja, oz. na račun znižanja oddaje v omrežje, se mu pokriti delež zmanjša za približno 12 odstotnih točk.

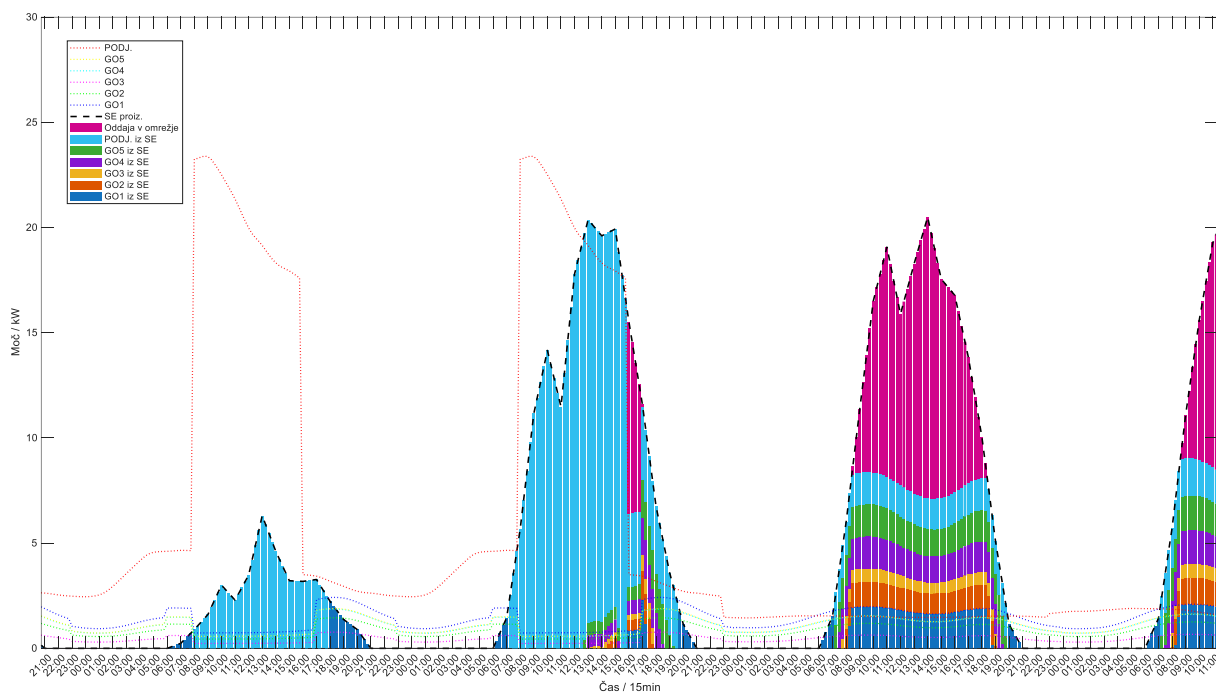
7.3 Rezultati UC3- Souporaba električne energije podjetja s sončno elektrarno in gospodinjskih odjemalcev



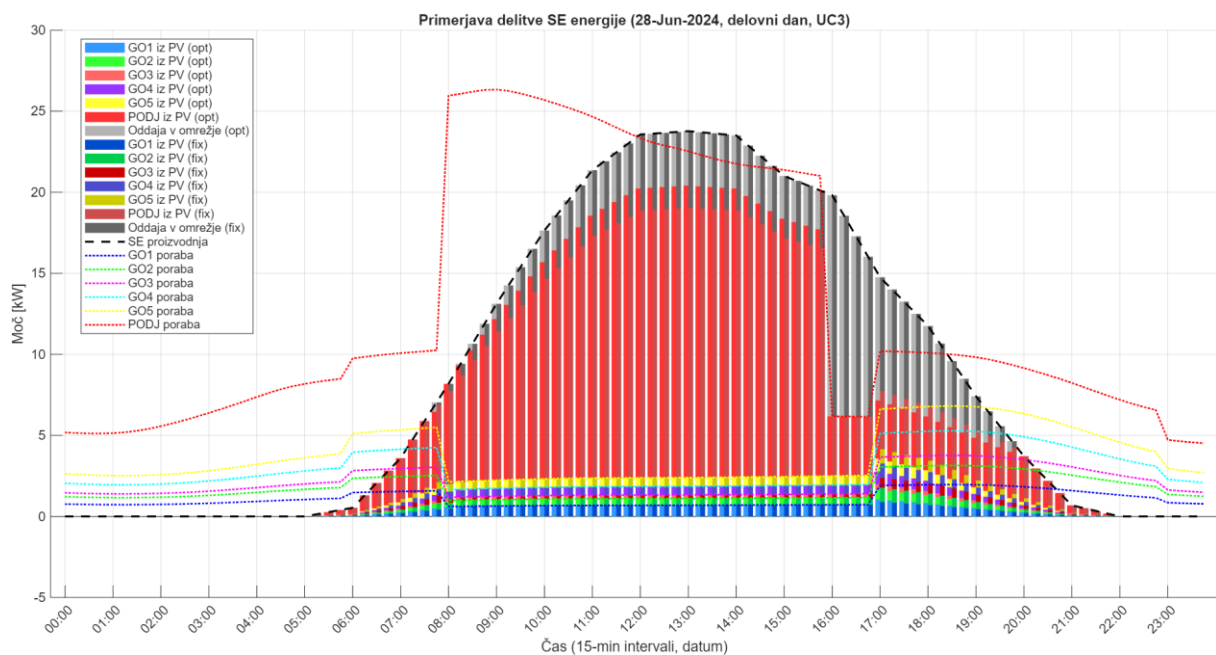
Slika 7.7: Letni potek električne moči sončne elektrarne (SE), petih gospodinjskih odjemalcev (GO1–GO5) in podjetja (POD1); časovna ločljivost 15 minut.

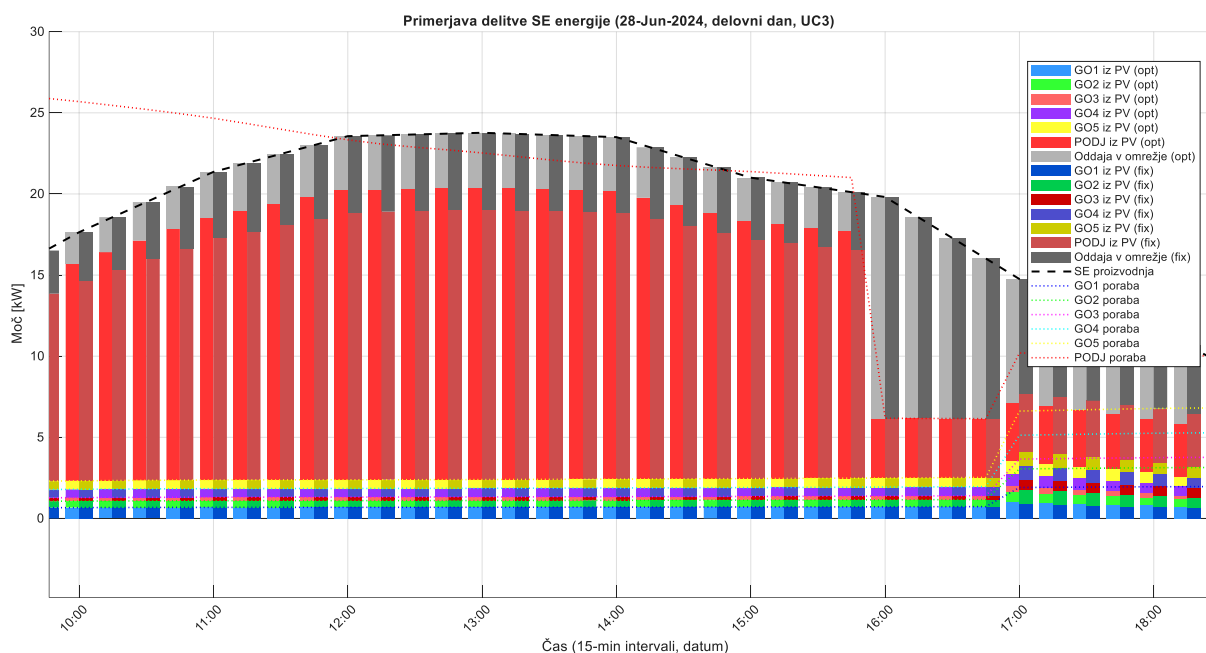
Priključne moči:

- SE 35 kW,
- GO1 6 kW,
- GO2 6 kW,
- GO3 6 kW,
- GO4 6 kW,
- GO5 5 kW,
- POD1. 28 kW.



Slika 7.8: Vizualizacija rezultata za nekaj delovnih dni optimizacije prerezporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje v omrežje





Slika 7.9: Primerjava optimizirane in prvotne porazdelitve energije iz SE med petimi odjemalci in skupnim odjemom (28. junij 2024, delovni dan, UC3)

Siva označuje višek električne energije, oddan v omrežje (optimizirana in prvotna razdelitev). PODJ. ima najvišjo porabo in prejme največ električne energije iz SE, kar je logično glede na optimizacijo. Sredi dneva (10:30–17:00) optimizacija močno favorizira PODJ. – njegova poraba narašča do ~25 kW, zato mu je dodeljena velika večina SE proizvodnje. Optimizirana porazdelitev omogoča natančno usklajevanje električne energije iz SE s porabo posameznih odjemalcev, kar znatno zmanjša presežke. Prvotna delitev ne sledi porabi, zato vodi v večjo oddajo v omrežje in nižjo souporabo.

Letna poraba (2024) električne energije gospodinjstev: 104,85 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO1: 12,92 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO2: 7,75 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO3: 4,11 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO4: 9,95 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije GO5: 10,08 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije PODJ: 60,04 MWh.

Letna poraba (2024) vseh gospodinjstev in podjetja je pokrita iz SE: 27,63 %.

Delež porabe aktivnega gospodinjstva GO1, ki jo pokriva SE: 18,20 %.

Delež porabe aktivnega gospodinjstva GO2, ki jo pokriva SE: 18,20 %.

Delež porabe aktivnega gospodinjstva GO3, ki jo pokriva SE: 18,20 %.

Delež porabe aktivnega gospodinjstva GO4, ki jo pokriva SE: 18,20 %.

Delež porabe aktivnega gospodinjstva GO5, ki jo pokriva SE: 18,20 %.

Delež porabe podjetja PODJ, ki jo pokriva SE: 34,67 %.

Rezultati optimizacija vs. prvotna razdelitev (PODJ. 70 %, ostali 30 %).

Pokritje celotne porabe električne energije iz SE:

- optimizacija: 27,63 %
- prvotna razdelitev: 27,18 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO1:

- optimizacija: 18,20 %
- prvotna razdelitev: 16,39 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO2:

- optimizacija: 18,20 %
- prvotna razdelitev: 22,50 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO3:

- optimizacija: 18,20 %
- prvotna razdelitev: 30,00 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO4:

- optimizacija: 18,20 %
- prvotna razdelitev: 19,51 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za GO5:

- optimizacija: 18,20 %
- prvotna razdelitev: 19,36 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za PODJ:

- optimizacija: 34,67 %
- prvotna razdelitev: 32,50 %

Povečana samooskrba (zmanjšanje oddaje električne energije iz SE v omrežje:

- optimizacija: 71,12 %
- prvotna razdelitev: 69,96 %

Izboljšave zaradi optimizacije:

- Povečanje pokritosti porabe med souporabniki: 1,67 %.
- Dodatno zmanjšanje oddaje v omrežje: 3,88 %.

Vsa proizvedena električna energija iz SE (vsa oddaja v omrežje): 40734,89 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih brez optimizacije: 28497,02 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih z optimizacijo: 28972 kWh.

Električna energija iz SE po optimizaciji oddana v omrežje in neizrabljena: 11762,84 kWh.

Tabela 7.5: Delež porabljene proizvodnje električne energije iz SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključi v primeru UC3¹²

	GO1	GO2	GO3	GO4	GO5	PODJ.	Preostala oddaja
Prvotna ključa	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,7	
Prvotni odjem	5,20 %	4,28 %	3,03 %	4,77 %	4,79 %	47,90 %	30,04 %
Optimalni ključ	0,0699	0,0419	0,0222	0,0538	0,0545	0,7577	
Optimizacija	5,77 %	3,46 %	1,84 %	4,45 %	4,5 %	51,11 %	28,88 %

Končna delitev deležev, ki jo člani skupnosti prijavijo DO je zaokrožena na celo število.

Tabela 7.6: Deleži delitve proizvodnje električne energije iz SE med odjemalci v primeru UC3

	GO1	GO2	GO3	GO4	GO5	PODJ.
Prvotna delitev	6 %	6 %	6 %	6 %	6 %	70 %
Končna delitev deležev po optimizaciji	8 %	4 %	2 %	5 %	5 %	76 %

Optimizacijski algoritem, ki minimizira oddajo presežka električne energije iz SE v omrežje, doseže 0,5 odstotnih točk višjo skupno samooskrbo v okviru skupnosti (27,63 % proti 27,18 %).

Rezultati prikazujejo značilen kompromis med učinkovitostjo na ravni celotne skupnosti in pravičnostjo med različnimi odjemalci. Z optimizacijo se skupna oddaja v omrežje zmanjša z 30,04 % na 28,88 %, kar pomeni izboljšanje za približno 1,16 odstotne točke oziroma relativno 3,86 %. Ta rezultat je neposredna posledica prerazporeditve deležev med člani skupnosti, kjer daje algoritem prednost tistim odjemalcem, katerih poraba je časovno bolj usklajena s proizvodnjo sončne elektrarne.

Najopaznejša sprememba se nanaša na poslovnega odjemalca (PODJ.), ki mu algoritem po optimizaciji dodeli kar 51,11 % celotne proizvodnje SE, kar pomeni 6,7 odstotne točke več kot v primeru prvotne delitve (47,90 %). Gre za približno 13,99 % relativno povečanje deleža. Tak rezultat je pričakovan, saj ima poslovni odjemalec bolj stabilno in predvidljivo porabo v dnevnem režimu, ki sovпада z obdobjem najvišje proizvodnje (prva izmena).

Po drugi strani so nekateri gospodinjiski odjemalci (GO), zlasti GO2 in GO3, s to prerazporeditvijo izrazito na slabšem. GO2 izgubi skoraj 0,82 odstotne točke deleža (z 4,28 % na 3,46 %), GO3 pa celo več kot 1,19 odstotne točke (z 3,03 % na 1,84 %), kar pomeni relativno zmanjšanje za več kot 39 % pri GO3. Ti odjemalci imajo očitno profil porabe, ki je slabše skladen s časovnim potekom proizvodnje SE, kar jih postavlja v manj ugoden položaj v optimizacijskem postopku. Zanimiv pojav, ki ga razkrivajo rezultati, je enak delež pokritosti iz SE (18,20 %) za vseh pet gospodinjiskih skupin (GO1 do GO5). Ta pojav ni naključen, temveč je neposredna

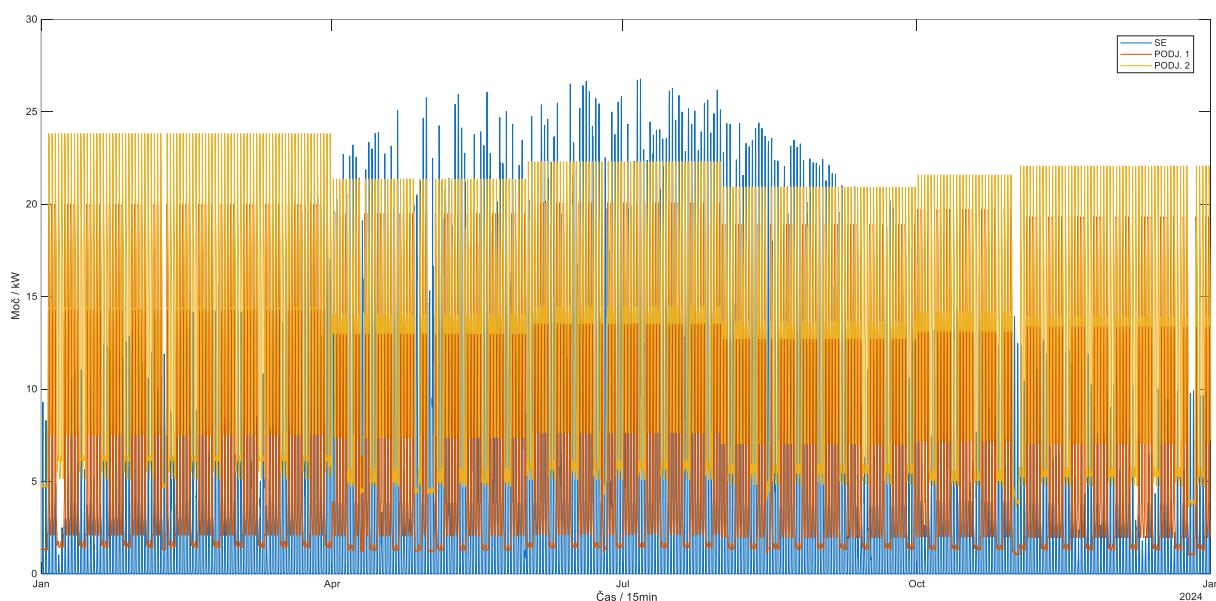
¹² Po enačbah (21)-(28)

posledica načina, kako je optimizacijska naloga zastavljena. Ker imajo gospodinjstva bremena identičen časovni potek porabe (vsi temeljijo na variacijah aktivnega profila z različnimi faktorji), se pri optimizaciji pokaže, da je energetske optimalno vsem tem odjemalcem dodeliti skoraj identičen delež proizvodnje, kar vodi v enako pokritost porabe. Čeprav so skupne količine porabe različne, je časovna korelacija z vzorcem proizvodnje SE skoraj enaka. Zato optimizacija ugotovi, da ni energetske prednosti v tem, da bi komurkoli znotraj te skupine dodelila več ali manj električne energije – ključni razlikovalni faktor pa tako postane poslovni odjemalec (PODJ.), ki ima drugačen, bolj konstanten in skladen profil porabe električne energije iz SE. Kaže, da homogeni profili (časovno) vodijo v enake energetske deleže, tudi če imajo različno skupno letno porabo. Če so časovni profili podobni, se bodo tudi dodeljeni deleži izenačili - ne zaradi eksplicitnega cilja enakosti, temveč zaradi matematične narave optimizacijskega problema, ki je osredotočen na minimizacijo oddaje. Algoritem ni »pravičen« v klasičnem smislu, temveč učinkovito selektiven glede na časovno skladnost s proizvodnjo, kar je ključno, če želimo zmanjševati izgube in povečati samooskrbo.

Prvotna delitev (70 % za PODJ., 30 % za gospodinjstva) ima bolj uravnoteženo delitev v nominalnem smislu, vendar vodi v višji izvoz presežkov (več kot 30 %) in nižjo pokritost porabe (70 % vs. 71,6 % pri optimizaciji). Prav zato so optimalni ključni bistveni, kadar si prizadevamo za energetske učinkovitost na ravni skupnosti.

Na tem mestu bi omenili še vpliv togosti sistema, ki določa, da veljajo delitveni ključni za celotno pogodbeno obdobje in ne omogočajo razdelitve na način, da bi se delitveni ključni spremenili recimo glede na tip dneva v tednu (delovni dan ali dela prost dan) ali pa glede na omrežninske tarifne bloke, kar bi imelo pozitiven učinek na izrabo proizvedene električne energije ravno zaradi tako različnih odjemnih diagramov podjetja od gospodinjstev.

7.4 Rezultati UC4 - Souporaba električne energije med podjetji

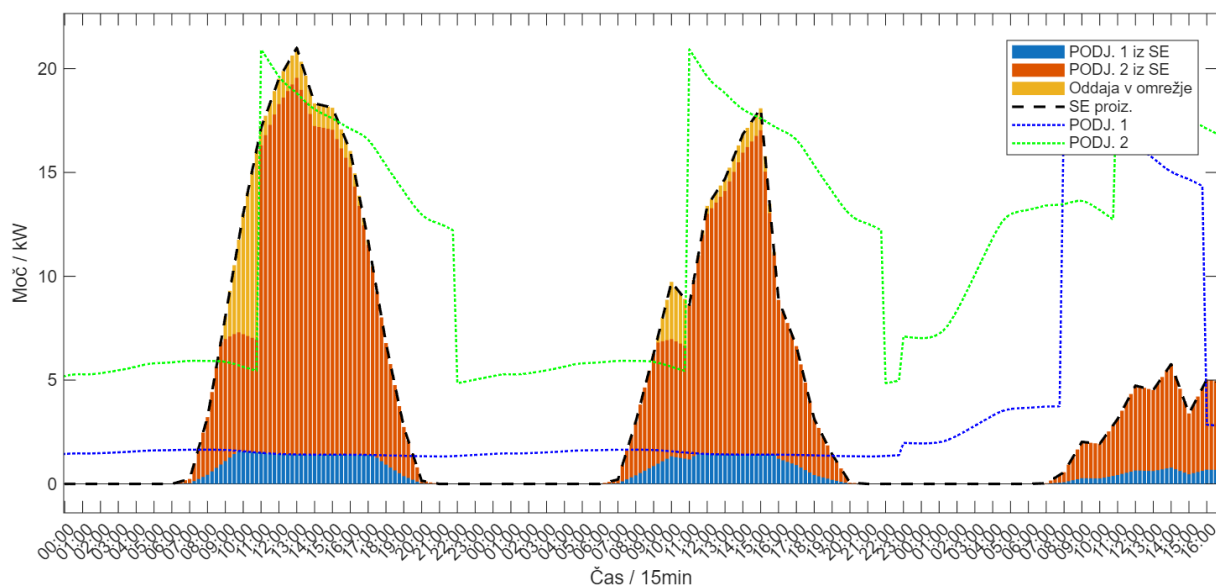


Slika 7.10: Letni potek električne moči sončne elektrarne (SE) in dveh poslovnih odjemalcev (PODJ_1 in PODJ_2); časovna ločljivost 15 minut

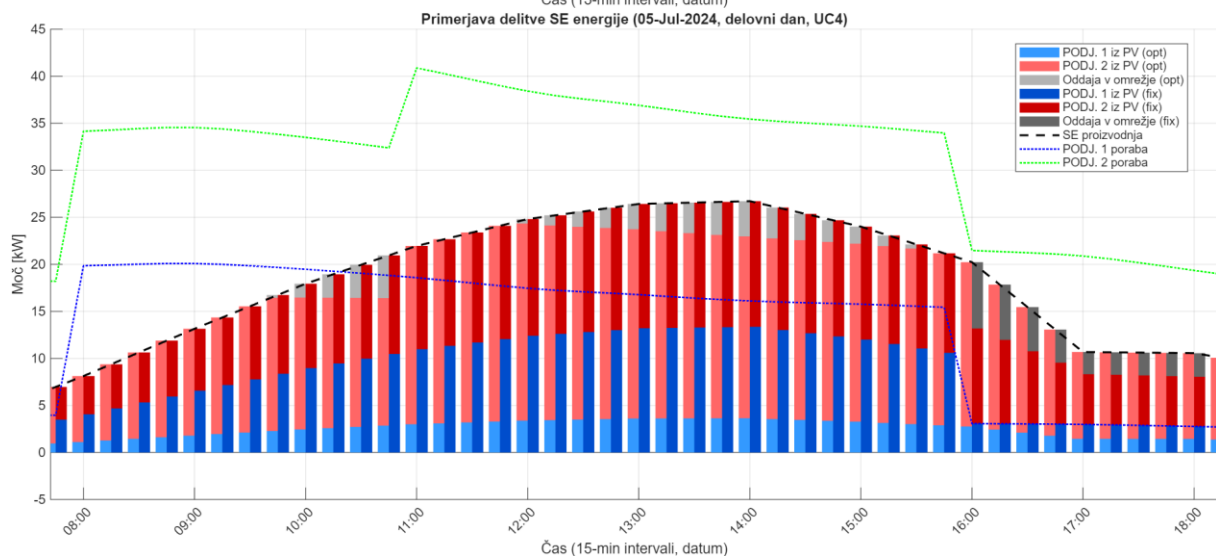
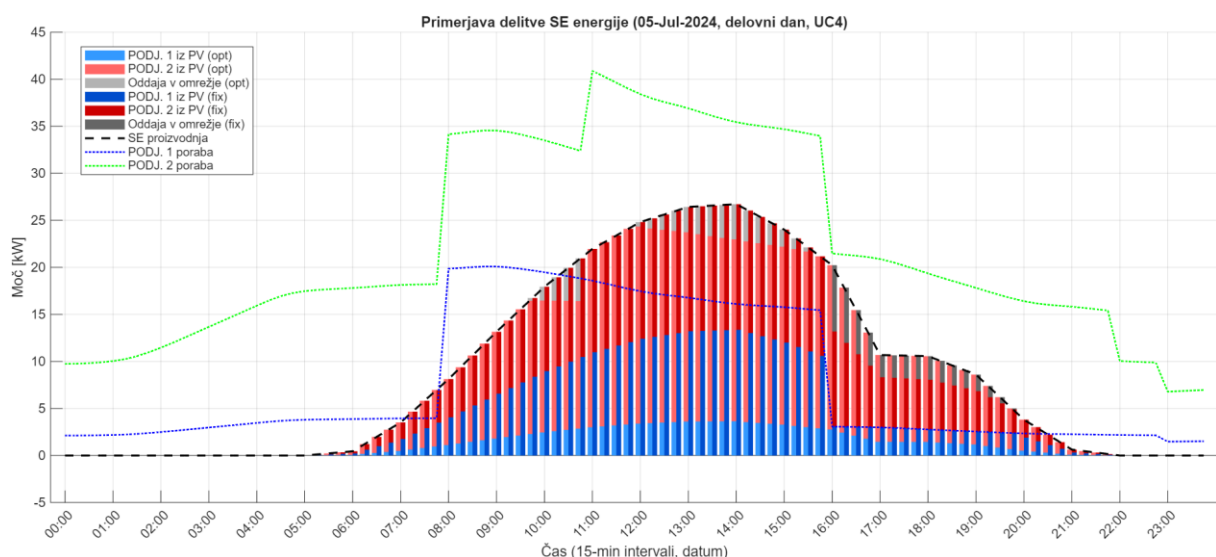
Priključne moči:

- SE 35 kW,
- PODJ. 1 24 kW,
- PODJ. 2 28 kW.

Moč 35 kW za SE je bila izbrana kot realistična vrednost za srednje veliko sončno elektrarno, ki je pogosto nameščena na strehi poslovnega objekta ali v neposredni bližini, ter omogoča učinkovito pokrivanje dnevnih obremenitev v delovnem času. Pri tem se je upoštevalo, da imajo poslovni odjemalci višjo in bolj konstantno dnevno porabo v primerjavi z gospodinjstvi, ter da delujejo v režimu, kjer je časovna usklajenost s proizvodnjo zelo dobra (npr. delovnik 7:00–17:00). Priključni moči 24 kW in 28 kW za uporabnika PODJ.1 in PODJ.2 odražata tipične zahteve manjših podjetij, kot so delavnice, pisarniški objekti ali storitveni obrati, pri čemer je bila upoštevana tudi rezerva za konične obremenitve.



Slika 7.11: Vizualizacija rezultata optimizacije za nekaj delovnih dni prerazporeditve moči med souporabniki ter delež oddaje v omrežje



Slika 7.12: Primerjava delitve električne energije iz SE med dvema podjetjema za delovni dan (05. julij 2024) za primer uporabe UC4 – optimizirana in prvotna delitev, v 15-minutnih intervalih.

Prikazuje porazdelitev električne energije iz SE za delovni čas (08:00–18:00) med dvema podjetjema (PODJ. 1 in PODJ. 2) glede na optimiziran (opt) in prvotni (fix) način. Stolpci prikazujejo energijo iz SE za obe podjetji ter morebitne oddaje v omrežje.

Letna poraba (2024) električne energije podjetij: 162,65 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije PODJ. 1: 50,03 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije PODJ. 2: 112,62 MWh.

Letna poraba (2024) električne energije vseh podjetij pokrita iz SE: 23,63 %.

Delež porabe PODJ. 1, ki jo pokriva SE: 10,09 %.

Delež porabe PODJ. 2, ki jo pokriva SE: 29,64 %.

Rezultati optimizacija vs, prvotna razdelitev (PODJ. 1 in 2. po 50 %) .

Pokritje celotne porabe električne energije iz SE:

- optimizacija: 23,63 %
- prvotna razdelitev: 21,11 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za PODJ1:

- optimizacija: 10,09 %
- prvotna razdelitev: 28,66 %

Delež porabe električne energije pokrite iz SE za PODJ2:

- optimizacija: 29,64 %
- prvotna razdelitev: 17,76 %

Povečana samooskrba (zmanjšanje oddaje električne energije iz SE v omrežje:

- optimizacija: 94,33 %
- prvotna razdelitev: 84,30 %

Izboljšave zaradi optimizacije:

- povečanje pokritosti porabe med souporabniki: 11,91 %
- dodatno zmanjšanje in oddaje električne energije iz SE v omrežje: 63,92 %

Vsa proizvedena električna energija iz SE (vsa oddaja v omrežje): 40734,89 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih brez optimizacije: 34338,11 kWh.

Električna energija iz SE porabljena pri aktivnih odjemalcih z optimizacijo: 38426,97 kWh.

Električna energija iz SE po optimizaciji oddana v omrežje in neizrabljena: 2307,92 kWh.

Tabela 7.7: Delež porabljene proizvodnje SE po souporabnikih, skladno z določenimi ključi UC4¹³

	PODJ. 1	PODJ. 2	Oddaja v omrežje
Prvotna ključa	0,5	0,5	
Prvotni odjem	35,20 %	49,10 %	15,70 %
Optimalna ključa	0,1364	0,8636	
Optimizacija	12,39 %	81,95%	5,67 %

Končna delitev deležev, ki jo člani skupnosti prijavijo DO je zaokrožena na celo število.

Tabela 7.8: Deleži delitve proizvodnje električne energije iz SE med odjemalci v primeru UC4

	PODJ. 1	PODJ. 2
Prvotna razdelitev	50 %	50 %
Končna delitev deležev po optimizaciji	14 %	86 %

Skupna poraba električne energije obeh podjetij znaša 162,65 MWh, od tega 50,03 MWh pri podjetju 1 in 112,62 MWh pri podjetju 2.

Iz sončne elektrarne uspemo pokriti 23,63 % celotne porabe po podjetjih pa, delež podjetja 1 je 10,09 %, podjetja 2 pa 29,64 %.

Primerjava optimizacije z enakomernim 50 : 50 ključem razkriva naslednje izboljšave: skupna pokritost porabe se poveča z 21,11 % na 23,63 %, delež podjetja 1 se spremeni z 28,66 % na 10,09 %, delež podjetja 2 pa z 17,76 % na 29,64 %. Oddaja presežne električne energije v omrežje se zniža s 15,70 % na 5,67 %, kar pomeni dodatno zmanjšanje oddaje električne energije v omrežje za 63,89 %, obenem pa se notranja pokritost porabe med souporabniki izboljša za 11,91 %.

Ključ delitve celotne proizvodnje električne energije iz SE se pri optimizaciji oblikuje tako, da podjetje 1 prejme 12,39 % vse proizvedene električne energije, podjetje 2 81,95 % in le 5,67 % se odda v omrežje. Pri prvotnem ključu so ti deleži 35,20 %, 49,10 % in 15,70 %. S tem optimizacijski algoritem znatno zmanjša izgubo električne energije v omrežje in maksimira izrabo tam, kjer je profil obremenitve časovno najboljše usklajen s proizvodnjo.

¹³ po enačbah (21)-(28)

8 Ocena ekonomske upravičenosti souporabe

V simulacijskem okolju optimiziramo izrabo moči med različnimi souporabniki, pri čemer model predpostavlja, da se presežna moč iz ene enote lahko nemoteno prenese k drugi. Tak pristop temelji na optimizaciji moči kot bilančne količine – tj. kolikšen delež proizvedene moči lahko porabijo souporabniki. Ne odraža pa taka simulacija dejanskih fizikalnih pretokov električne moči po omrežju. V nadaljevanju takšen pristop prikaže, koliko lastne sončne proizvodnje lahko virtualno “prenesemo” k souporabnikom brez proizvodne enote, da bi zmanjšali njihov prevzem iz omrežja in s tem celotne stroške. V realnosti pa so ti pretoki odvisni od topologije distribucijskega omrežja, impedanc, tokovnih omejitev in predvsem od lokacije posameznih odjemalcev znotraj omrežne strukture. Da bi souporaba električne energije med gospodinjstvom s sončno elektrarno in tistimi brez nje imela dejanski fizični učinek, morajo biti ti odjemalci priključeni na isti nizkonapetostni (NN) izvod ali vsaj na isto transformatorsko postajo (TP). V tem primeru lahko govorimo tudi o neposredni porabi presežne električne energije brez nepotrebnega vračanja v širše distribucijsko omrežje, kar zmanjšuje izgube in preprečuje negativne vplive na napetostne profile. Zato mora biti pri vrednotenju souporabe v širšem družbenem kontekstu poleg energijske bilance nujno upoštevana tudi prostorska komponenta – torej lokacijska bližina udeležencev – saj optimizacijski modeli sicer lahko vodijo do rezultatov, ki so energetske smiselni, a fizikalno neizvedljivi ali vsaj neučinkoviti v kontekstu realnega obratovanja omrežja.

Souporaba je v širšem družbenem kontekstu bistveno bolj učinkovita, če se električna energija iz proizvodne enote porabi neposredno v realnem času in s tem minimizira takojšnje viške v omrežju, pri čemer je nujno zagotoviti topološko bližino (isti NN izvod ali vsaj isti TP). V tem primeru souporaba pozitivno vpliva tudi na nižanje stroškov v omrežju, kar se potem lahko odrazi tudi v nižji ceni omrežnine.

Neposredni prihranek za uporabnike, ki porabljajo električno energijo v souporabi, pa se odrazi v hitrejši povrnitvi investicije v SE ali pa nižji ceni električne energije za te uporabnike (če niso sodelovali pri investiciji in električno energijo zgolj odjemajo), saj porabijo maksimalno količino električne energije iz lastnega proizvodnega vira in morajo dokupiti manjši del električne energije pri dobavitelju. To je zelo pomembno za vse uporabnike, ki niso več v letni netmetering shemi, saj viškov oddane električne energije ne morejo porabiti kasneje.

Oceno koristi smo naredili v vseh primerih za obdobje enega leta. Podatki o porabi in proizvodnji so iz leta 2024, za vrednotenje električne energije pa smo uporabili cenik za nakup in odkup električne energije pri samooskrbi gospodinjstvih odjemalcev in redni cenik, namenjen gospodinjstvom, ki uporabljajo električno energijo za lastne potrebe po enotni tarifi¹⁴.

¹⁴ Izbrali smo cenik GEN-I (veljaven od 1. marca 2025). Podobne ponudbe imajo tudi drugi dobavitelji, vendar se tako cene, kot pogoji razlikujejo, zato se ocenjene koristi lahko razlikujejo glede na izbranega dobavitelja in tržnega dogovora partnerjev.

Tabela 8.1: Cenik podjetja GEN-I na dan 4. 7. 2025

Odjem aktivni odjemalec (c_{import})	0,12554 €/kWh
Oddaja aktivni odjemalec (c_{export})	0,0539 €/kWh
Odjem gospodinjski odjemalec ($c_{regular}$)	0,13286 €/kWh

Pri presoji ekonomske učinkovitosti souporabe električne energije iz SE je ključno razlikovati med dvema tokovoma denarnih izidov. Prvi izid predstavlja navidezni »prihodek« souporabnikov, ker jim ni treba kupiti električne energije iz omrežja po maloprodajni tarifi npr. $c_{regular} = 0,13286$ €/kWh. Drugi izid pa nastane, ko presežek električne energije kljub optimizaciji še vedno odteka v omrežje in se odkupuje po veleprodajni tarifi $c_{export} = 0,0539$ €/kWh. Razlika obeh je čista ekonomska korist, ki jo prinaša souporaba električne energije aktivnemu odjemalcu.

Dodatna ekonomska korist pa nastane tudi uporabnikom, ki sami niso proizvajalci, ampak k souporabi pristopijo. Ta cena je sicer stvar dogovora med souporabniki, vendar predpostavljamo nižja od redne cene za gospodinjске odjemalce na trgu. Za potrebe te študije je privzeto, da je dogovorjena cena enaka ceni, ki jo GEN-I zaračunava aktivnemu odjemalcu za njegov odjem (c_{import}).

V primeru souporabe električne energije po ZOEE_A, ki ga opisuje UC1, koristi SE ne moremo oceniti v celoti, saj je največji del koristi izrabi že prosumer za svoje potrebe za števcem (lastni odjem prosumerja), zato v tem primeru korist ocenimo zgolj za tisti del proizvedene električne energije iz SE ki bi se brez souporabe oddal v omrežje. V tem primeru se oceni korist prosumerjev in korist souporabnikov posebej in vsota obeh koristi predstavlja skupno korist.

Vrednost električne energije iz SE je seveda odvisna od tržnih dogovorov med akterji. Za potrebe te študije bomo uporabili cene iz tabele 8.1

$$shared_revenue = (total_SE_used \cdot dt) \cdot c_import + export_post \cdot c_export \quad (32)$$

Kjer je:

- **shared_revenue** je za primer UC1 dodatna korist prosumerja zaradi prodaje električne energije v souporabi za primer UC2, UC3 in UC4 je skupna korist članov skupnosti
- **total_SE_used** je dosežena moč v 15-minutnih intervalih $\cdot dt$ predstavlja celotno porabljeno električno energijo, ki jo prosumer odda v omrežje (primer UC1), za primer UC2, UC3 in UC4 je celotna porabljena električna energija vseh članov skupnosti
- **export_post** – "neporabljena" električna energija iz SE, ki se odda v omrežje.

8.1 Ocena koristi za UC1

Shared revenue predstavlja vrednost v omrežje oddane električne energije iz SE. Če bi to električno energijo prosumer oddal v omrežje bi mu jo dobavitelj plačal po enačbi (33).

$$baseline_revenue = ((total_PV_used \cdot dt) + export_post) \cdot c_export \quad (33)$$

Baseline_revenue znes v primeru UC1 100,3 €.

Ker v primeru soouporabe del oddane električne energije porabita GO1 in GO2, ki jo prosumerju plačata po ceni c_import je torej korist za prosumerja po optimalni razdelitvi (enačba 34) enaka 248,91 €.

Neto korist predstavlja razlika med obema vrednostnima (enačba (34)-enačba (33)), kar znaša 148,6 €.

$$shared_revenue = (total_SE_used \cdot dt) \cdot c_import + export_post \cdot c_export \quad (34)$$

V UC1 nastane še dodatna korist souporabe električne energije, saj uporabniki, ki pristopijo k souporabi dobijo električno energijo po ugodnejši ceni od tržne cene. V našem primeru uporabimo cene iz tabele 8.1, kar znes v primeru optimizacije deležev 14,11 €.

$$net_benefitHause = (total_SE_used \cdot dt) \cdot (c_regular - c_import) \quad (35)$$

Tabela 8.2: Vrednost deleža električne energije iz SE po uporabnikih v € za UC1

Porabnik el.energije iz SE	Po prvotni delitvi deležev	Po optimizirani delitvi deležev
GO1	106,59 €	77,53 €
GO2	134,4 €	170,86 €
skupaj	240,99 €	248,39 €
Neto korist	140,69 €	148,46 €

V UC1 je skupna korist souporabnikov sestavljena iz koristi prosumerja, ki oddano električno energijo v omrežje proda souporabnikoma in tako zanjo iztrži več, kot bi dobil od dobavitelja in koristi souporabnikov, ki za električno energijo iz souporabe plačata manj kot bi plačala dobavitelju. Po enačbi (35) znes ta prihranek 14,11 €. Skupna korist je tako 162,57 €. Ker gre za SE, ki je primarno namenjena samooskrbi prosumerja, bi bilo treba za skupno korist dodati še korist, ki izhaja direktno iz lastne porabe prosumerja pred MM. Ker ta podatek ni znan, je ocenjena korist v UC1 omejena na korist iz naslova souporabe po ZOEE-A.

8.2 Ocena koristi za UC2

Pri UC2 se električne energije iz SE deli med vse sodelujoče in se zato upošteva vsa proizvedena električna energija, kar poveča neto koristi. Te znašajo pred optimizacijo 881,48 €, po optimizaciji deležev 904,49 €. Se pa pri UC pokaže kako zelo velik vpliv na izkoriščenost SE ima usklajenost odjemnih profilov odjemalcev. Tako se korist posameznih gospodinjstev v prvotni delitvi deležev precej spremeni po optimizaciji skupnega izkoristka skupine, kot prikazuje tabela.

Tabela 8.3: Vrednost deleža električne energije iz SE po uporabnikih v € za UC2

Porabnik el. energije iz SE	Po prvotni delitvi deležev	Po optimizirani delitvi deležev
GO1	285,65 €	242,30 €
GO2	266,29 €	195,76 €
GO3	329,54 €	466,43 €
Skupaj:	881,48 €	904,49 €

Pokaže se, da ima GO3, odjemalec, ki ima več porabe v času večje proizvodnje SE, več možnosti za porabo v realnem času. Medtem ko profil GO2 predstavlja najmanjšo usklajenost porabe s proizvodnjo SE.

8.3 Ocena koristi za UC3

Pri UC3 se deli električne energije iz SE med podjetje in ostala gospodinjstva. Neto koristi znašajo pred optimizacijo 4.237,12 €, po optimizaciji deležev 4.271,17 €. Tudi pri UC3 se pokaže vpliv odjemnih profilov odjemalcev na izkoriščenost SE.

Tabela 8.4: Vrednost deleža energije iz SE po uporabnikih v € za UC3

Porabnik el.energije iz SE	Po prvotni delitvi deležev	Po optimizirani delitvi deležev
GO1	375,77 €	400,82 €
GO2	328,86 €	282,76 €
GO3	264,67 €	199,51 €
GO4	353,68 €	333,03 €
GO5	354,84 €	335,89 €
podjetje	2559,3 €	2719,16 €
Skupaj:	4.237,12 €	4.271,17 €

8.4 Ocena koristi za UC4

Pri UC4 se deli električne energije iz SE med dvema podjetjema. Neto koristi znašajo pred optimizacijo 4.655,6 €, po optimizaciji deležev 4.948,52 €. Tudi pri UC4 se pokaže vpliv odjemnih profilov odjemalcev na izkoriščenost SE.

Tabela 8.5: Vrednost deleža električne energije iz SE po uporabnikih v € za UC4

Porabnik el. energije iz SE	Po prvotni delitvi deležev	Po optimizirani delitvi deležev
Podjetje 1	1.972,2 €	695,74 €
Podjetje 2	2.683,3 €	4.252,78 €
Skupaj:	4.655,6 €	4.948,52 €

Kadarkoli kWh ostane porabljena znotraj skupnosti, skupni račun uporabnikov zniža celoten strošek te skupnosti. Ko pa se enaka kWh odda v omrežje, skupnost prejme le 0,0539 €/kWh, kar pomeni, da se vrednost iste električne energije skoraj potroji, če se jo uspe porabiti interno.

V študiji predstavljen algoritem naslavlja ravno ta del, saj z ustrezno prerazporeditvijo pripadajočih deležev proizvodnje SE, dosežemo največji odjem iz proizvodnje in najmanjšo oddajo v omrežje. Korist, ki jo lahko pripišemo zgolj prerazporeditvi deležev prikazuje Tabela 8.6.

Izračun je podan z enačbami:

$$\begin{aligned} \text{value_shared_en_added} &= (E_{SE, \text{porabljena_optimalna}} - E_{SE, \text{porabljena_prvotna}}) \cdot c_{\text{import}} \\ \text{value_export_en} &= (E_{SE, \text{porabljena_optimalna}} - E_{SE, \text{porabljena_prvotna}}) \cdot c_{\text{export}} \\ \text{economic_benefit} &= \text{value_shared_added} - \text{value_export_en} \end{aligned}$$

Tabela 8.6: Finančne koristi optimizacije deležev proizvedene SE

	skupna letna poraba MWh	povečana pokritost porabe iz SE zaradi optimizacije v %	Povečanje porabe v kWh	v €
UC1	27,2	0,38 %	103,4	7,4
UC2	37,54	0,85 %	319	26,72
UC3	104,85	0,45 %	471,8	33,80
UC4	162,65	2,52 %	4098,8	293,64

Izračun temelji na primeru ponudbe GEN-I in ne upošteva mesečnega nadomestila¹⁵, omrežnin in regulativnih dajatev. V praksi lahko te postavke zvišajo relativne prihranke.

¹⁵ Mesečno nadomestilo je namenjeno pokrivanju dela stroškov v zvezi z načini obračunavanja, vlaganji v razvoj

Na tej točki se torej ekonomska upravičenost za vse reprezentativne primere souporaba izkazuje kot koristna. Pomemben pa je tudi premislek glede porazdelitve deležev porabe SE, saj vsaka dodatna kilovatna ura, ki jo uspe skupnost izkoristiti, prinaša približno 0,07896 €/kWh, ki bi se sicer za skupnost izgubila, če bi jo oddali v omrežje.

8.5 Prispevek k stabilnosti omrežja in potencial prožnosti

Energetske skupnosti so dobrodošla alternativa končani shemi netmeteringa, saj preko souporabe energetskega virov zmanjšujejo presežke proizvedene električne energije iz obnovljivih virov. S takojšnjo porabo proizvedene električne energije zmanjšujejo konične obremenitve distribucijskega omrežja ter hkrati omogočajo oskrbo z obnovljivimi viri električne energije tudi odjemalcem, ki zaradi napetostnih razmer na omrežju niso dobili odobrene vloge za priključitev sončne elektrarne. Predvsem to velja, če se električna energija iz proizvodne enote porabi neposredno v realnem času in sta vir proizvodnje in porabnik v bližini, to pomeni, da sta na istem NN izvodu ali vsaj na isti TP.

Hkrati pa energetske skupnosti s porabo električne energije lokalno prispevajo tudi k zniževanju pretokov na višjih napetostnih nivojih. Seveda je učinek nižanja pretokov učinkovit le, če je konstanten in taki uporabniki poskrbijo ne le za zmanjšanje odjema zaradi lastne proizvodnje, ampak tudi za zmanjšanje konic odjema kadar te proizvodnje ni.

Zakonodaja v 43. členu ZRSOVE in 77. a členu ZOEE v okviru energetske skupnosti, predvideva tudi možnost shranjevanja električne energije, kar v kombinaciji z uporabo sistema za upravljanje z električno energijo (EMS – ang. Energy Management System) odpira nove priložnosti za učinkovitejšo rabo električne energije.

Ugotovili in pokazali smo, da tudi ob optimizaciji delitve proizvodnje souporabnikov glede na lastno porabo, v času velike proizvodnje SE, uporabniki le težko porabijo vso proizvedeno električno energijo. Smiselno bi bilo torej, da bi v nadaljevanju proučili še možnost uporabe baterijskega hranilnika v taki skupnosti. Baterijski hranilnik namreč odpira nove možnosti prihrankov ali celo prihodkov za energetske skupnosti.

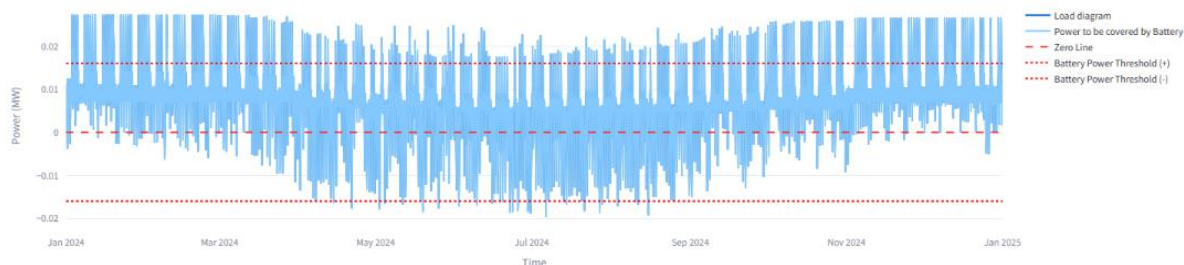
Dinamične cene električne energije (angl. day-ahead) signalizirajo presežno proizvodnjo preko nizkih ali celo negativnih cen, s čimer spodbujajo njeno porabo. Z uporabo baterij lahko energetska skupnost to presežno električno energijo shrani, bodisi iz omrežja bodisi iz lastnih obnovljivih virov, in jo uporabi kasneje, ko je cena višja ali povpraševanje večje. S tem hkrati prispeva k stabilnosti omrežja in članom skupnosti omogoča dostop do cenejšje električne energije v prihodnjih urah ali dneh.

Z upravljanjem odjema lahko znižujejo konice v najdražjih časovnih blokih in nižajo omrežnino. Na koncu omenimo še možnost sodelovanja pri storitvah prožnosti, kjer si lahko energetske skupnosti ustvarjajo tudi dodatne prihodke.

Kljub temu ostaja odprto vprašanje, kdaj in pod katerimi pogoji je investicija v hranilnik ali sodelovanje pri storitvah prožnosti ekonomsko in tehnično upravičena. To bi bilo smiselno obravnavati v nadaljnjih študijah, ki bi analizirale vpliv različnih modelov uporabe, velikosti hranilnikov in tržnih signalov na stroškovno učinkovitost takšnih rešitev.

8.5.1 Predlog reprezentativne analize vključitve baterijskega hranilnika

V okviru študije smo izvedli orientacijsko, a reprezentativno analizo smiselne velikosti baterijskega hranilnika za primer UC3. Primer predstavlja konfiguracijo, kjer so viški proizvodnje pogosto večji od trenutne lokalne porabe, še posebej v poletnih mesecih, kar ustvarja potencial za učinkovito shranjevanje presežne električne energije. Analiza ni osrednje raziskovalno vprašanje, temveč nastopa kot stranski, a uporaben rezultat, ki ga lahko v naslednjih fazah razširimo na druge primere. Za izračune smo uporabili lastno namensko aplikacijo (t.i. EIMV BatSim), ki z iterativnim prečesavanjem prostorov moči in kapacitet poišče t. i. »koleno« (angl. knee point) območje, kjer nadaljnje večanje sistema preneha prinašati sorazmeren dodaten izkoristek.



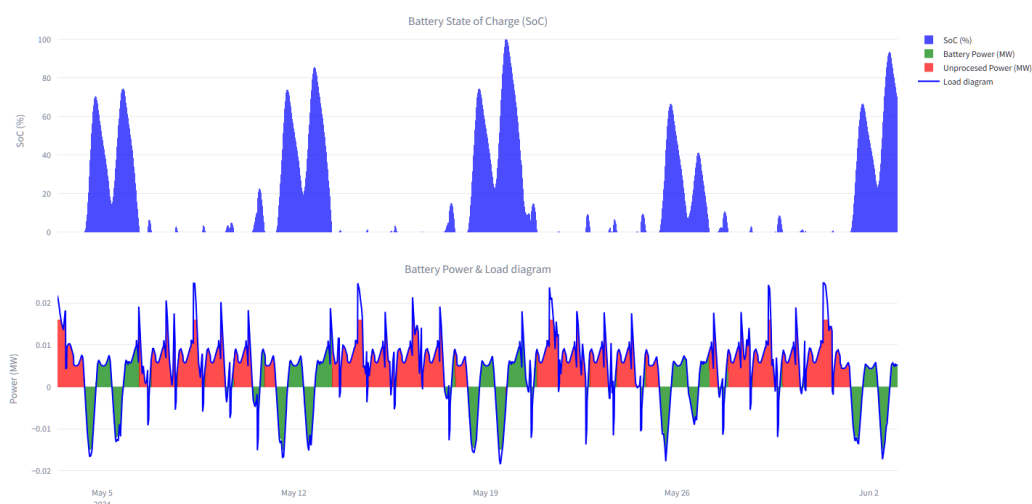
Slika 8.1: Letni profil neto razlike med porabo in proizvodnjo – oddaja viškov v omrežje po UC3, modelirano po metodologiji v [10]

Na prikazani sliki je predstavljen profil viškov električne energije, ki se oddajajo v omrežje v skladu s scenarijem UC3. Viški so izračunani kot razlika med trenutno električno energijo iz SE ter skupno porabo souporabnikov. Graf jasno ponazarja časovne intervale, v katerih proizvodnja iz sončne elektrarne presega porabo, kar pomeni, da električna energija ni neposredno uporabna in se kot višek odda v omrežje. Ti presežki predstavljajo potencial za optimizacijo – bodisi preko preusmeritve v dodatno fleksibilno souporabo bodisi z vključitvijo hranilnika ali hibrid med souporabo in vključitvijo hranilnika. Na sliki je prikazano:

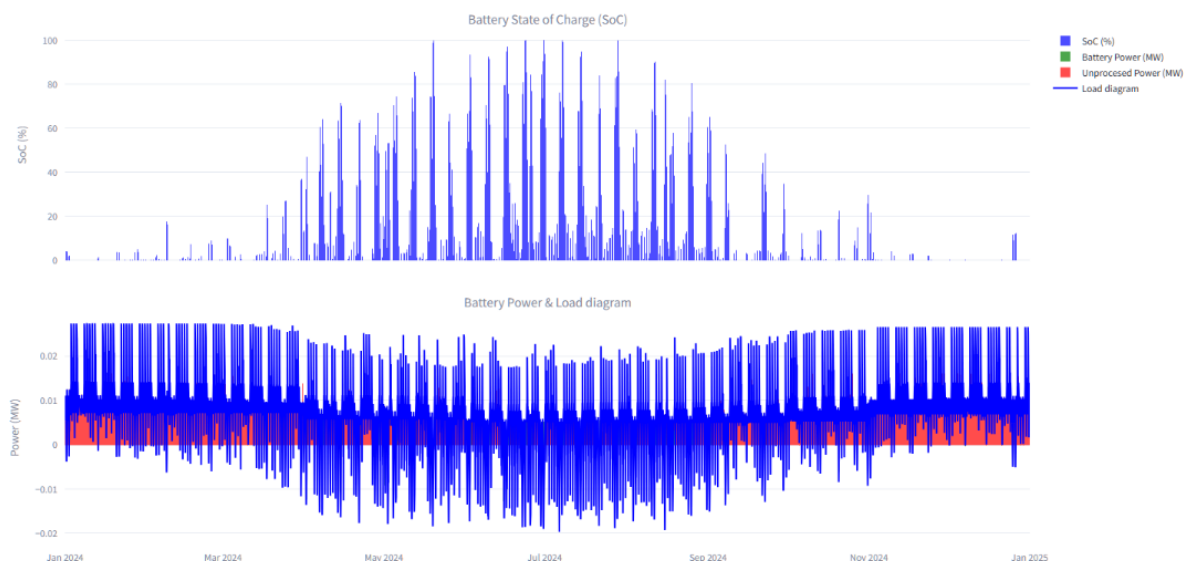
- Modra krivulja – "Load diagram": neto razlika med proizvodnjo in porabo (presežki pod 0, primanjkljaji nad 0).
- Temno modra plast – "Power to be covered by Battery": moč, ki jo mora v danem trenutku zagotoviti baterija (če je nad nič) ali sprejeti (če je pod nič).

- Rdeča črtkana črta – "Zero Line": referenčna os za ločevanje med odvečno in manjkajočo močjo.
- Rdeča debela črta zgoraj – "Battery Power Threshold (+)": zgornja meja moči, ki jo lahko baterijski hranilnik odda (npr. 20 kW).
- Rdeča debela črta spodaj – "Battery Power Threshold (-)": spodnja meja moči, ki jo lahko baterijski hranilnik sprejme (npr. -20 kW).

Po analizi se optimum za obravnavani primer se pojavi pri baterijski moči 0,016 MW (16 kW) in kapaciteti 0,132 MWh (≈ 132 kWh). S tem razmerjem celotni sistem v analiziranem obdobju enega leta obdela 12,89 MWh električne energije in zabeleži le 221 ciklov, kar je sprejemljivo z vidika degradacije. Optimalna »velikost« sistema pomeni, da bi vsak dodaten kilovat moči ali kilovatna ura kapacitete prispevala zanemarljivo malo k dodatno procesirani energiji, hkrati pa bi podražila naložbo.



Battery Performance



Slika 8.2: Teden dni delovanja baterijskega hranilnika – stanje napolnjenosti (SoC), moč baterije in nepokrite potrebe; obdobje 5.–31. maj 2024

Diagram je sestavljen iz dveh delov, ki skupaj prikazujeta obnašanje baterijskega sistema v izbranem obdobju na podlagi simulacije za primer UC3:

- Zgornji del ("Battery State of Charge – SoC [%]") prikazuje stopnjo napolnjenosti baterije skozi čas. Jasno so vidni cikli polnjenja in praznjenja, pri čemer je SoC večinoma med 0 % in 100 %, kar pomeni, da baterija aktivno sodeluje pri izravnavi energetskega sistema.
- Spodnji del ("Battery Power & Load diagram") prikazuje:
 - Modra črta – "Load diagram": neto presežek ali primanjkljaj v sistemu,
 - Zelene površine – "Battery Power": moč, ki jo baterija prevzame (polnjenje) ali odda (praznjenje),
 - Rdeče površine – "Unprocessed Power": del presežne ali manjkajoče moči, ki je baterija zaradi omejitev kapacitete/moči ni uspela prevzeti ali oddati.

Procesirana električna energija predstavlja količino, ki jo hranilnik dejansko prenese—bodisi pri polnjenju bodisi pri praznjenju. Neprocesirana električna energija predstavlja 'izgubljene priložnosti', ki jih baterija zaradi omejenega stanja napolnjenosti (SoC) ali preseženih maksimalnih moči ne more sprejeti oziroma oddati. Z vključitvijo hranilnika na identificirani točki kolena se ti izgubljeni presežki minimalizirajo, hkrati pa se ohrani nizko število ciklov, kar podaljša življenjsko dobo baterije in zviša interno stopnjo donosnosti naložbe.

EIMV ima razvito namensko aplikacijo BatSim, ki omogoča sistematično modeliranje različnih kombinacij souporabe in velikosti baterijskega sistema. Aplikacija nam omogoča analize optimizacije samooskrbnih skupnosti. Na ta način lahko za vsak primer posebej objektivno ocenimo, ali je vključitev hranilnika utemeljena, kakšna naj bo njegova dimenzioniranost ter kako naj bo električna energija optimalno razporejena znotraj skupnosti.

9 Zaključek in predlogi za nadaljnje delo

Analize so pokazale, da je pred investicijo v OVE, katere proizvedeno električno energijo bo koristilo več končnih uporabnikov koristno preveriti, kakšna delitev deležev proizvodnje bi bila najustreznejša, da bo oddaja viškov električne energije v omrežje najmanjša. Pokaže se namreč, da je zelo odvisno od profila porabe aktivnega odjemalca, koliko proizvedene električne energije lahko porabi in koliko jo odda v omrežje, zato enak pripadajoč delež proizvodnje iz OVE, še ne pomeni tudi enake količine porabljene električne energije odjemalca.

Še posebej pomembno je lahko tako orodje za potencialno souporabo električne energije po novem zakonu ZOEE-A. S predstavljenim algoritmom bi namreč deležniki lažje opredelili pričakovane količine električne energije in pripadajoče deleže, ter se posledično dogovorili za cene. Zakon predvideva tudi možnost vključitve aktivnega odjemalca, ki je vključen v letni netmetering (glej Poglavlje 2.2.), ki bi tako zmanjševali presežke proizvedene električne energije oddane v omrežje in neporabljene v okviru svoje letne netmetering sheme. Veliko aktivnih odjemalcev je bilo namreč zavedenih ali pa so v strahu, da jim kasneje ne bo uspelo pridobiti dovoljenja za postavitev večje sončne elektrarne, in posledično so jih predimenzionirali glede na svoje trenutne potrebe.

Predstavljen algoritem podaja dobro oceno optimalnih deležev souporabnikov, kot tudi podatek o preostalih viških. Tako bi bilo smiselno obstoječi algoritem razširiti tako, da ugotovi kakšen je diagram preostale »neporabljene« električne energije in kateremu tipu uporabnika bi lahko koristil njen največji del. Zato je smiselno, da se v nadaljevanju model razširi tudi z analizo za baterijski hranilnik. Ta naj vključuje oceno optimalne velikosti hranilnika glede na značilnosti presežkov, analizo ekonomskih učinkov ter razvoj strategije upravljanja z upoštevanjem realnih meritev porabe, proizvodnje (in napetostnih razmer). Takšna analiza omogoča, da se vloge baterije ne obravnava zgolj kot dodatna komponenta, temveč kot aktivnega udeleženca v lokalnem energetskega sistemu, ki znižuje konične obremenitve omrežja, izboljšuje samooskrbo ter podpira delovanje v realnih fizikalnih pogojih. Slabost predstavljenega modela je njegova odvisnost od simulacijskih porabniških profilov, kar lahko povzroči odstopanja med simuliranimi in dejanskimi rezultati zaradi neupoštevanja realnih, specifičnih vedenjskih vzorcev uporabnikov. Poleg tega model trenutno ne vključuje realnih

merilnih podatkov iz naprednih merilnih sistemov, kar otežuje zanesljivo validacijo ter omejuje njegovo praktično uporabnost pri podpori odločanju.

Če bi se naročnik odločil, da glede na široko uporabnost algoritma razvije programsko rešitev za uporabnike kontaktne točke, bi lahko rešitev razširil še s funkcijo povezovanja ponudnikov viškov električne energije v souporabo z odjemalci električne energije, ki bi želeli sodelovati pri souporabi električne energije. Ta funkcionalnost bo pomembna predvsem za projekte souporabe energije, pri katerih so investitorji v proizvodne naprave ali naprave za shranjevanje električne energije izključno državni organi ali organi samoupravne lokalne skupnosti. Člen 23a. novega ZOE-E namreč zahteva, da v tem primeru investitor zagotovi, da je električna energija v souporabi dostopna državljanom, zlasti ranljivim odjemalcem in odjemalcem, ki živijo v energetske revščini, v povprečju vsaj v višini 10 %.

Razširjen algoritem bi tako poiskal za ponudnika souporabe optimalne odjemalce, ki bi se s svojim načinom odjema najbolje ujemali s krivuljo razpoložljive električne energije iz souporabe. Pri tem bi upošteval še topološko bližino odjemalca in prispeval še k stabilnosti omrežja in širši družbeni koristi.

LITERATURA

- [1] 'Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (ZSROVE) (PISRS)'. Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8236>
- [2] 'Uredba (EU) 2016/1952 o evropski statistiki cen zemeljskega plina in električne energije in o razveljavitvi Direktive 2008/92/ES'.
- [3] 'Docs | Open-Meteo.com'. Accessed: Jul. 23, 2025. [Online]. Available: <https://open-meteo.com/en/docs>
- [4] 'Directive - 2018/2001 - EN - EUR-Lex'. Accessed: Jun. 19, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>
- [5] 'DIRECTIVE (EU) 2019/ 944 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 5 June 2019 - on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/ 27/ EU', p. 75.
- [6] 'Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE) (PISRS)'. Accessed: Apr. 15, 2025. [Online]. Available: <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8141>
- [7] 'Zakon o spremembah in dopolnitvah Zakona o oskrbi z električno energijo (ZOEE-A) (PISRS)'. Accessed: Jul. 10, 2025. [Online]. Available: <https://pisrs.si/pregledNpb?idPredpisa=ZAKO9115&idPredpisaChng=ZAKO9115>
- [8] 'Poročilo o stanju na področju energetike v Sloveniji v letu 2023'. Accessed: Aug. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.agenc-rs.si/documents/10926/38704/Poro%C4%8Dilo_o_stanju_v-energetiki_v_Sloveniji_za-let-2023_Agencija_za-energijo.pdf/d90eab12-a4c0-45d7-9a54-9e0d25ef2c4c
- [9] 'Moj elektro - Informatika d.o.o.'. Accessed: Jul. 23, 2025. [Online]. Available: <https://mojelektro.si/login>
- [10] P. Kozinc, 'Modeliranje porabe električne energije gospodinjskih odjemalcev'. diplomsko delo, Univ. v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2014. [Online]. Available: <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=30038&lang=slv>
- [11] 'meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Zadnji vremenski podatki'. Accessed: Jul. 23, 2025. [Online]. Available: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/weather/observ/surface/>