

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Zvonimir Šimić

**ODREĐIVANJE EKONOMSKI PRAVEDNIH SUVLASNIČKIH
UDJELA U FOTONAPONSKOJ ELEKTRANI VIŠESTAMBENE
ZGRADE**

Doktorski rad

Osijek, 2026.

Doktorski rad izrađen je na:

Zavodu za elektroenergetiku,

Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.

Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Mentor: prof. dr. sc. Danijel Topić

Doktorski rad ima:

Doktorski rad br.:

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Struktura doktorskog rada.....	4
2.	PREGLED PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....	5
2.1.	Teorijska podloga.....	8
2.1.1.	Potrošači vlastite energije koji djeluju zajednički prema Hrvatskoj regulativi	9
2.1.2.	Određivanje vrijednosti isporučene energije	11
2.1.3.	Dijeljenje energije	13
2.1.4.	Pravedni suvlasnički udjeli u fotonaponskoj elektrani.....	17
2.2.	Pregled literature	19
2.2.1.	Prostorne granice i broj kupaca uključenih u dijeljenje	20
2.2.2.	Način na koji se provodi dijeljenje energije	22
2.2.3.	Instalirana snaga fotonaponske elektrane	24
2.2.4.	Suvlasnički udjeli u fotonaponskoj elektrani i pojedinačno vrijeme povrata investicije	25
2.3.	Plan istraživanja i očekivani znanstveni doprinosi	27
3.	METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA ULAZNIH PODATAKA.....	30
3.1.	Meteorološki podaci	30
3.1.1.	Satelitski podaci	31
3.1.2.	Intenzitet sunčevog zračenja na površini pod nagibom.....	33
3.2.	Proizvodnja fotonaponske elektrane	36

3.2.1.	Specifikacije odabranog FN modula	38
3.2.2.	Podaci o proizvodnji za tipičnu meteorološku godinu	40
3.3.	Potrošnja električne energije u višestambenoj zgradi	42
3.3.1.	Sintetički podaci o potrošnji	44
3.3.2.	Potrošnja električne energije za hlađenje	52
3.3.3.	Referentna godišnja potrošnja električne energije	57
4.	METODA DIMENZIONIRANJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE VIŠESTAMBENE ZGRADE S CILJEM MAKSIMIZACIJE DOBITI U OVISNOSTI O FAKTORU CIJENE	59
4.1.	Postupak dimenzioniranja fotonaponske elektrane	59
4.1.1.	Parametri ekonomske analize	68
4.1.2.	Cijena električne energije	69
4.2.	Instalirana snaga fotonaponske elektrane za maksimalni faktor cijene	70
4.3.	Instalirana snaga fotonaponske elektrane u ovisnosti o faktoru cijene	75
5.	METODE ODREĐIVANJA SUVLASNIČKIH UDJELA U FOTONAPONSKOJ ELEKTRANI VIŠESTAMBENE ZGRADE	79
5.1.	Dijeljenje i obračun energije u višestambenoj zgradi	80
5.2.	Određivanje suvlasničkih udjela	87
5.2.1.	Suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji	87
5.2.2.	Suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije	89
5.2.3.	Suvlasnički udjeli prema uštedi	92
5.2.4.	Suvlasnički udjeli prema dobiti	94
5.3.	Očekivano vrijeme povrata investicije	100

5.4.	Usporedba metoda određivanja suvlasničkih udjela	105
5.4.1.	Dinamičko dijeljenje proporcionalno potrošnji	105
5.4.2.	Dinamičko dijeljenje na temelju pravedne raspodjele	110
6.	VREDNOVANJE METODA ODREĐIVANJA SUVLASNIČKIH UDJELA U FOTONAPONSKOJ ELEKTRANI VIŠESTAMBENE ZGRADE	114
6.1.	Ulazni podaci	117
6.1.1.	Intenzitet sunčevog zračenja i temperatura zraka	117
6.1.2.	Proizvodnja fotonaponske elektrane	119
6.1.3.	Potrošnja električne energije.....	120
6.1.4.	Promjene navika i povećanje potrošnje.....	123
6.1.5.	Rast cijene električne energije	127
6.2.	Vrijeme povrata investicije po scenarijima	128
6.2.1.	Scenarij 1	129
6.2.2.	Scenarij 2	133
6.2.3.	Scenarij 3	137
6.3.	Vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela.....	141
6.3.1.	Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji.....	141
6.3.2.	Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije.....	144
6.3.3.	Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi.....	146
6.3.4.	Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti.....	149
6.3.5.	Vrednovanje u ovisnosti o faktoru cijene	153
7.	ZAKLJUČAK	159

LITERATURA.....	163
POPIS UPOTREBLJENIH OZNAKA.....	173
POPIS KRATICA	178
POPIS SLIKA	179
POPIS TABLICA.....	186
SAŽETAK	188
SAŽETAK NA ENGLISKOM JEZIKU	189
ŽIVOTOPIS	190

1. UVOD

Energetski sektor je odgovoran za 75 % emisija stakleničkih plinova na razini Europske Unije (EU) zbog čega je postavljen cilj da udio obnovljivih izvora energije (OIE) u ukupnoj primarnoj energiji do 2030. godine bude minimalno 42.5 % [1]. Udio OIE u ukupnoj primarnoj energiji na razini EU je 2023. godine iznosio 19.5 % [2], dok je udio OIE u proizvodnji električne energije prema podacima za 2024. iznosio 47.5 % [3]. Prema podacima za 2024. godinu na razini Republike Hrvatske, udio OIE u ukupnoj primarnoj energiji je 26.7 %, dok je udio OIE u proizvodnji električne energije visokih 73.6 % što uključuje i velike hidroelektrane (HE) [4]. U ukupnim instaliranim proizvodnim kapacitetima na kraju 2024. godine u Republici Hrvatskoj, vjetroelektrane (VE) su činile 22.9 % instaliranih kapaciteta dok su solarne elektrane (SE) činile 15.9 % [4]. Iako ukupan udio VE i SE u ukupnim instaliranim proizvodnim kapacitetima iznosi 38.8 %, zbog niskog faktora iskorištenja vršne snage udio VE i SE u proizvedenoj električnoj energiji je iznosio 22.1 %, pri čemu je 16.8 % proizvedeno u VE, a samo 5.3 % u SE [4]. Iako Republika Hrvatska ima znatno veći udio OIE u proizvedenoj električnoj energiji od prosjeka EU, udio SE u proizvedenoj električnoj energiji je značajno manji od prosjeka EU koji je 2024. iznosio 11.6 % [5]. U Republici Hrvatskoj su zastupljene samo SE koje rade na principu fotonaponske pretvorbe pa se umjesto SE može govoriti o fotonaponskim elektranama (FNE) koje se u velikoj mjeri priključuju kod krajnjih kupaca koji onda postaju potrošači vlastite obnovljive energije.

Na dan 31. prosinca 2024. godine na distribucijsku mrežu bilo je priključeno ukupno 27,257 FNE, dok je na dan 31. listopada 2025. godine bilo priključeno ukupno 39,947 FNE [6], što je povećanje u iznosu od 46.5 %. Od ukupnog broja priključenih FNE, 78 % je u kategoriji kupaca kućanstvo, a preostalih 22 % u kategoriji kupaca poduzetništvo [6]. Kada se govori o kupcima iz kategorije kućanstvo, to su uglavnom pojedinačna kućanstva, odnosno obiteljske kuće. Postavlja se pitanje što je s kupcima u višestambenim zgradama, koji prema podacima Eurostata [7] čine 24.2 % stanovništva Republike Hrvatske. U urbanim sredinama 56.6 % stanovništva živi u višestambenim zgradama, dok 43.4 % stanovništva živi u kućama. Prema zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, krajnji kupci u višestambenim zgradama mogu postati potrošači vlastite energije koji djeluju zajednički čime im se omogućuje da zajednički proizvode i dijele vlastitu električnu energiju [8]. Ostaje nejasno kako pravedno raspodijeliti proizvedenu energiju na krajnje kupce uključene u dijeljenje te tko će snositi troškove investicije u zajedničku FNE i godišnje troškove održavanja FNE.

Od 1. siječnja 2026. obračun isporučene energije za kupce iz kategorije kućanstvo u Republici Hrvatskoj vrši se prema novom modelu [8]. Dosadašnji model temeljio se na neto mjerenju gdje se na kraju obračunskog razdoblja obračunavala razlika između preuzete i isporučene energije, što je kupcima omogućilo da proizvedenu energiju mogu trošiti bilo kada tijekom obračunskog razdoblja. Novi model se temelji na neto obračunu gdje se razlika između preuzete i isporučene energije određuje svakih 15 minuta [9] te se na kraju obračunskog razdoblja posebno obračunava preuzeta i isporučena energija čime se potiče kupce da vlastitu proizvedenu energiju troše izravno. Jedan dio kupaca će biti spreman prilagoditi svoju potrošnju kako bi izravno trošio više vlastite energije, dok drugi dio kupaca možda neće htjeti narušavati svoj komfor i mijenjati navike potrošnje, što treba uzeti u obzir prilikom dijeljenja energije u višestambenoj zgradi. Postupkom dijeljenja energije u višestambenoj zgradi smatra se određivanje udjela u vlastitoj energiji koji će pripasti kupcima u svakom vremenskom koraku, a udjeli mogu biti statički i dinamički. Statički udjeli ostaju isti u svakom vremenskom koraku čime se promjene navika potrošnje ne uzimaju u obzir prilikom dijeljenja. S druge strane, dinamički udjeli se mijenjaju u svakom vremenskom koraku ovisno o potrošnji, odnosno kupcima s većom potrošnjom dodjeljuje se više vlastite energije čime se kupci koji su potrošnju prilagodili proizvodnji vlastite energije nagrađuju kroz veću ostvarenu uštedu. Istraživanjem se želi predložiti model prema kojem se može provoditi dinamičko dijeljenje energije u višestambenoj zgradi na temelju podataka o proizvodnji iz FNE i potrošnji kupaca s vremenskim korakom 15 minuta tijekom obračunskog razdoblja.

Udjeli kupaca u potrošnji vlastite energije na kraju obračunskog razdoblja određeni su navikama potrošnje kupaca, dok su udjeli kupaca u isporučenoj energiji određeni na temelju razlike između udjela kupaca u ukupnoj proizvedenoj energiji i udjela kupaca u potrošnji vlastite energije na kraju promatranog obračunskog razdoblja. Drugim riječima, na kraju svakog obračunskog razdoblja kupcima pripada udio u proizvedenoj energiji jednak suvlasničkom udjelu u zajedničkoj FNE. Proizvedena energija koju kupci ne potroše izravno kroz potrošnju obračunava se kao isporučena energija na kraju obračunskog razdoblja. Međutim, ostaje nejasno kako odrediti suvlasničke udjele krajnjih kupaca u zajedničkoj FNE. Prema podacima Eurostata [7], 91 % stanovništva Republike Hrvatske živi u vlastitoj nekretnini, što znači da su u većini slučajeva stanari ujedno i suvlasnici zgrade. U slučaju obiteljskih kuća vlasnici investiraju u FNE, troše vlastitu energiju i ostvaruju uštedu te isporučuju energiju opskrbljivaču i ostvaruju zaradu. Za očekivati je da će i suvlasnici višestambenih zgrada, koji ostvaruju uštedu i zaradu od zajedničke FNE, snositi investicijske i operativne troškove i time postati suvlasnici FNE.

Najjednostavniji pristup određivanju suvlasničkih udjela u FNE je da svi imaju jednake suvlasničke udjele i jednako sudjeluju u investiciji. U tom slučaju bi kupci s većom potrošnjom trošili više vlastite energije, više bi smanjili svoje račune i ranije otplatili investiciju dok bi kupci s malom potrošnjom trošili malo vlastite energije, smanjenje računa bilo bi zanemarivo i trebalo bi im dulje da otplate investiciju, što nije pravedno prema svim kupcima. Druga ideja je odrediti suvlasničke udjele proporcionalno površini stambenih jedinica. Kako u stanu od 80 m² mogu živjeti samo 2 osobe, dok u stanu od 60 m² mogu živjeti 4 osobe, potrošnja električne energije ne mora nužno biti proporcionalna površini pa ni to nije pravedno rješenje. Kako su za svako kućanstvo poznati podaci o ukupnoj potrošnji električne energije u prethodnoj godini, suvlasnički udjeli se mogu odrediti proporcionalno ukupnoj potrošnji. Iako se to čini dobrim pristupom, podaci o ukupnoj potrošnji ne daju uvid u navike potrošnje. Dva kupca mogu imati jednaku godišnju potrošnju pri čemu prvi više energije troši preko dana dok drugi više energije potroši noću, što znači da će oba kupca imati jednake suvlasničke udjele. Prvi kupac će svoj udio otplatiti ranije od drugog kupca pa se ni to ne može smatrati pravednim rješenjem. Ovim istraživanjem se želi pronaći pravedan pristup određivanju suvlasničkih udjela u FNE za koje se očekuje da će dovesti do približno jednakog vremena povrata investicije za sve suvlasnike.

Novi model obračuna isporučene energije za kupce iz kategorije kućanstvo [8] će utjecati i na instaliranu snagu FNE. Obračun razlike između preuzete i isporučene energije na kraju obračunskog razdoblja omogućavao je neizravno korištenje vlastite proizvedene energije dok obračun razlike između preuzete i isporučene energije svakih 15 minuta te odvojen obračun preuzete i isporučene energija na kraju obračunskog razdoblja, pri čemu se jedinična cijena isporučene energije određuje na temelju količine preuzete i isporučene energije, potiče izravnu potrošnju vlastite proizvedene energije. Više isporučene nego preuzete energije na kraju obračunskog razdoblja će rezultirati nižom jediničnom cijenom i manjom dobiti zbog čega FNE treba dimenzionirati u skladu sa stvarnim potrebama kako bi investicija u FNE bila isplativa. Predimenzionirana FNE zbog većih investicijskih i operativnih troškova, koji rastu proporcionalno instaliranoj snazi, uz manju dobit može postati neisplativa, odnosno vrijeme povrata investicije će se značajno produljiti. Novi model obračuna isporučene energije [8] uvodi faktor cijene o kojemu ovisi cijena isporučene energije. Faktor cijene će iznositi maksimalno 1 i minimalno 0. Iako će na početku faktor cijene biti maksimalan, može se očekivati smanjenje faktora cijene s godina što je potaknulo da se istraži utjecaj faktora cijene na instaliranu snagu FNE, odnosno kolika instalirana snaga će se pokazati optimalnom za različite vrijednosti faktora cijene.

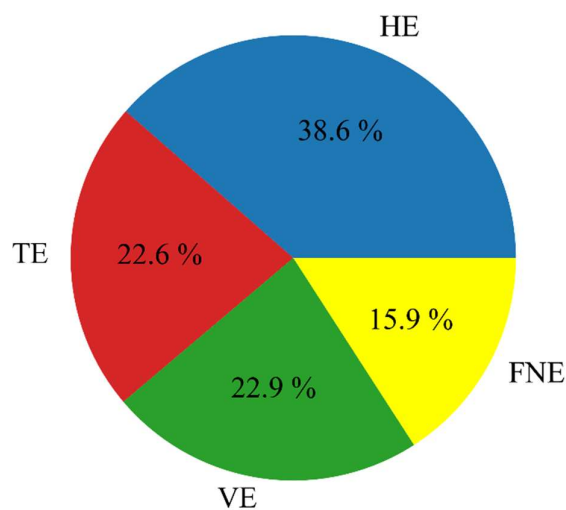
1.1. Struktura doktorskog rada

Doktorski rad je podijeljen u sedam poglavlja kako je opisano u nastavku:

1. Prvo poglavlje prikazuje uvid u probleme koji su bili motivacija za istraživanje te daje ideje u kojem smjeru treba ići istraživanje kako bi se riješili navedeni problemi.
2. U drugom poglavlju su kroz pregled područja istraživanja definirani osnovni pojmovi vezani za zajedničku proizvodnju i dijeljenje energije, objašnjen je koncept dijeljenja energije, dan je pregled zakonske regulative u Republici Hrvatskoj te je dan pregled recentne znanstvene literature iz kojeg se može vidjeti koji su problemi riješeni i za koje probleme treba pronaći rješenje.
3. Treće poglavlje prikazuje metodologiju prikupljanja ulaznih podataka što uključuje modeliranje proizvodnje FNE na temelju satelitskih podataka preuzetih za odabranu lokaciju te modeliranje potrošnje električne energije kupaca uključenih u dijeljenje.
4. U četvrtom poglavlju opisan je postupak dimenzioniranja FNE višestambene zgrade, na temelju očekivane proizvodnje i agregiranih podataka o potrošnji kupaca u višestambenoj zgradi uključenih u dijeljenje, u ovisnosti o faktoru cijene, nakon čega su prikazani dobiveni rezultati, prvo za maksimalni faktor cijene, a zatim u ovisnosti o faktoru cijene.
5. Peto poglavlje prikazuje model prema kojem se provodi dijeljenje i obračun električne energije u višestambenoj zgradi. Detaljno su opisane metode određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji, potrošnji vlastite energije, uštedi i dobiti. Navedene metode određivanja suvlasničkih udjela uspoređene su na temelju vremena povrata investicije pojedinačno za svakog suvlasnika uz primjenu dva načina dijeljenja energije.
6. U šestom poglavlju opisan je postupak vrednovanja metoda određivanja suvlasničkih udjela na temelju rezultata Monte Carlo simulacija, opisan je način dobivanja ulaznih podataka za različite slučajeve, prikazana je razdioba ulaznih podataka te su definirani scenariji promjene potrošnje. Zatim su prikazani rezultati Monte Carlo simulacija za definirane metode određivanja suvlasničkih udjela, načine dijeljenja energije te scenarije promjena potrošnje. Na kraju je provedeno vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela na temelju vjerojatnosti da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti unutar definiranog vremenskog perioda.
7. U posljednjem sedmom poglavlju doktorskog rada dan je osvrt na rezultate istraživanja te potencijalni smjer budućih istraživanja.

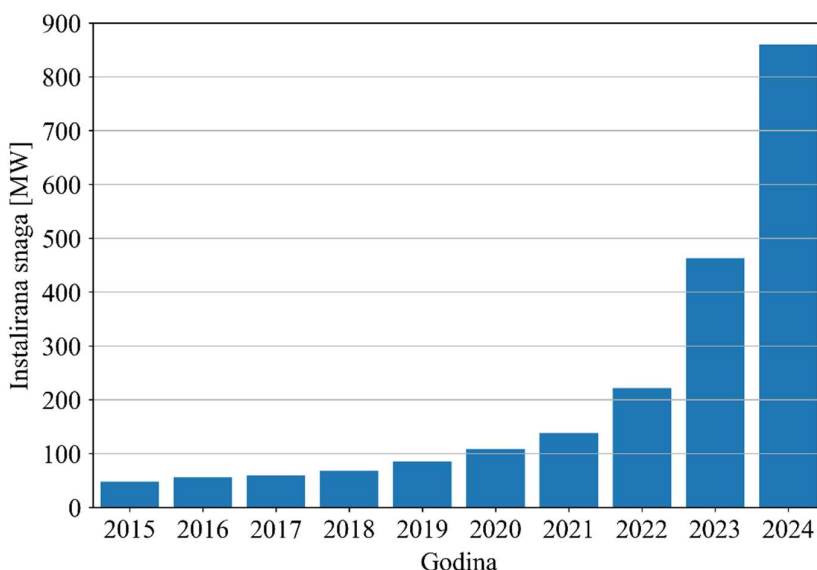
2. PREGLED PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Ključnu ulogu u smanjenju emisija stakleničkih plinova imaju OIE budući da 75 % emisija nastaje u energetske sektoru. Cilj EU je da udio OIE u ukupnoj primarnoj energiji do 2030. bude minimalno 42.5 % [1]. Prema podacima Eurostata za 2023. godinu [2], udio OIE u ukupnoj potrošnji primarne energije u EU iznosio je 19.5 %. Kada se pogleda proizvodnja električne energije, udio OIE u proizvodnji električne energije u EU je 2023. iznosio 46.2 %, prema statistici Međunarodne agencija za obnovljivu energiju (engl. *International Renewable Energy Agency* – IRENA) [10]. Prema podacima za 2024. godini, udio OIE u proizvodnji električne energije na razini EU iznosio je 47.5 % [11]. Prema podacima Energetskog Instituta Hrvoje Požar (EIHP) [4] udio OIE u ukupnoj potrošnji primarne energiji u Hrvatskoj u 2024. iznosio je 26.7 %. Kada se promatra samo proizvodnja električne energije onda udio OIE, uključujući i velike HE, iznosi 73.6 %. Ukupna instalirana snaga svih elektrana u Republici Hrvatskoj 2024. iznosila je 5680.1 MW. Dijagram na Slika 2.1. prikazuje udio pojedinih tipova elektrana u ukupnoj instaliranoj snazi u Republici Hrvatskoj. HE s instaliranom snagom od 2189.9 MW imaju udio od 38.6 % dok termoelektrane (TE) s 1285.2 MW čine 22.6 % ukupne instalirane snage. Instalirana snaga VE je 1303.2 MW odnosno 22.9 % ukupne instalirane snage, dok je udio FNE 15.9 % s ukupnom instaliranom snagom od 901.8 MW.



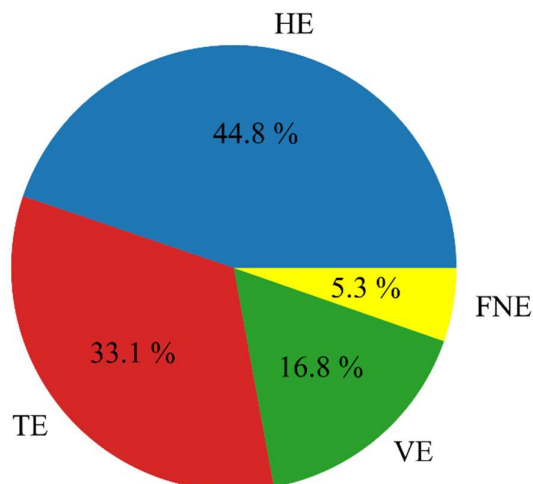
Slika 2.1. Udio elektrana u instaliranoj snazi u Republici Hrvatskoj 2024.

Trend rasta ukupne instalirane snage FNE od 2015. do 2024. može se vidjeti na grafikonu prikazanom na Slika 2.2. Podaci su dobiveni iz statistike o instaliranom kapacitetu OIE na razini cijelog svijeta koju je izdala IRENA 2025. godine [12]. Ukupna instalirana snaga FNE u Hrvatskoj je 2015. bila samo 48 MW, 2020. je bilo instalirano ukupno 109 MW, a 2022. ukupno 222 MW. Od tada je izražen rast instalirane snage FNE pa je tako 2023. bilo instalirano ukupno 463 MW, a 2024. ukupno 860 MW.



Slika 2.2. Ukupna instalirana snaga FNE u Republici Hrvatskoj od 2015. do 2024.

Iako je udio VE i FNE u ukupnoj instaliranoj snazi 38.8 % što je više od instalirane snage velikih HE, zbog nižeg faktora iskorištenja vršne snage, udio VE i FNE u ukupnoj proizvedenoj energiji je 22.1 %. Udio elektrana u ukupnoj proizvedenoj energiji u 2024. godini prikazan je grafikonom na Slika 2.3. prema podacima EIHP [4]. Od ukupno 15,360.4 GWh, najviše električne energije je proizvedeno u HE, 6878.3 GWh odnosno 44.8 %, zatim u TE, 5085.5 GWh odnosno 33.1 %. U VE je proizvedeno 2576.6 GWh što je 16.8 % ukupne proizvedene energije dok je u FNE proizvedeno samo 820.0 GWh odnosno 5.3 %. U usporedbi s prethodnom 2023. godinom kada je u FNE proizvedeno samo 2.3 % električne energije, to je značajno povećanje. Međutim, iako Republika Hrvatska ima znatno veći udio elektrana na OIE u instaliranoj snazi i ukupnoj proizvedenoj energiji u usporedbi s prosjekom EU, udio FNE u proizvodnji električne energiji je i dalje manji od prosjeka EU koji je u 2024. iznosio 11.6 % [5] što je značajan porast u odnosu na 9.5 % u 2023. godini [13].



Slika 2.3. Udio elektrana u proizvedenoj električnoj energiji u Republici Hrvatskoj 2024.

Ostvarenju ciljeva koje je postavila EU doprinose i krajnji kupci, odnosno građani i poduzetnici, koji postavljaju FNE na svoje objekte i proizvode vlastitu energiju na mjestu potrošnje. Na dan 31. listopada 2025. u Hrvatskoj je bilo priključeno 39,947 FNE ukupne instalirane snage 1106.9 MW [6]. Od ukupnog broja priključenih FNE, u kategoriji kupaca kućanstvo priključeno je 31,215 FNE, dok je u kategoriji kupaca poduzetništvo priključeno 7732 FNE. Iako je broj FNE znatno veći u kategoriji kupaca kućanstvo, ukupna instalirana snaga je veća u kategoriji kupaca poduzetništvo pa je tako ukupna instalirana snaga 237.5 MW u kategoriji kupaca kućanstvo i 869.4 MW u kategoriji kupaca poduzetništvo. Samo u 2025. godini u kategoriji kupaca kućanstvo priključeno je novih 11,439 FNE ukupne snage 97 MW, dok je u kategoriji kupaca poduzetništvo priključeno novih 1251 FNE ukupne snage 205 MW.

U kategoriji kupaca kućanstvo, u FNE uglavnom investiraju pojedinačna kućanstva, odnosno oni koji žive u obiteljskim kućama. Prema podacima Eurostata [7] 75.8 % stanovništva Hrvatske živi u kući dok u stanu živi 24.2 % stanovništva. S druge strane, u gradovima je veći udio stanovništva u stanovima nego u kućama pa tako 56.6 % stanovništva živi u stanu dok 43.4 % stanovništva živi u kući. Suvlasnici višestambenih zgrada se mogu udružiti u skupinu aktivnih kupaca [1], investirati u zajedničku FNE i proizvoditi energiju za vlastite potrebe. Međutim, prema dostupnim podacima HEP – operatora distribucijskog sustava, u 2024. godini nije bilo energetske zajednice niti skupina aktivnih kupaca [14].

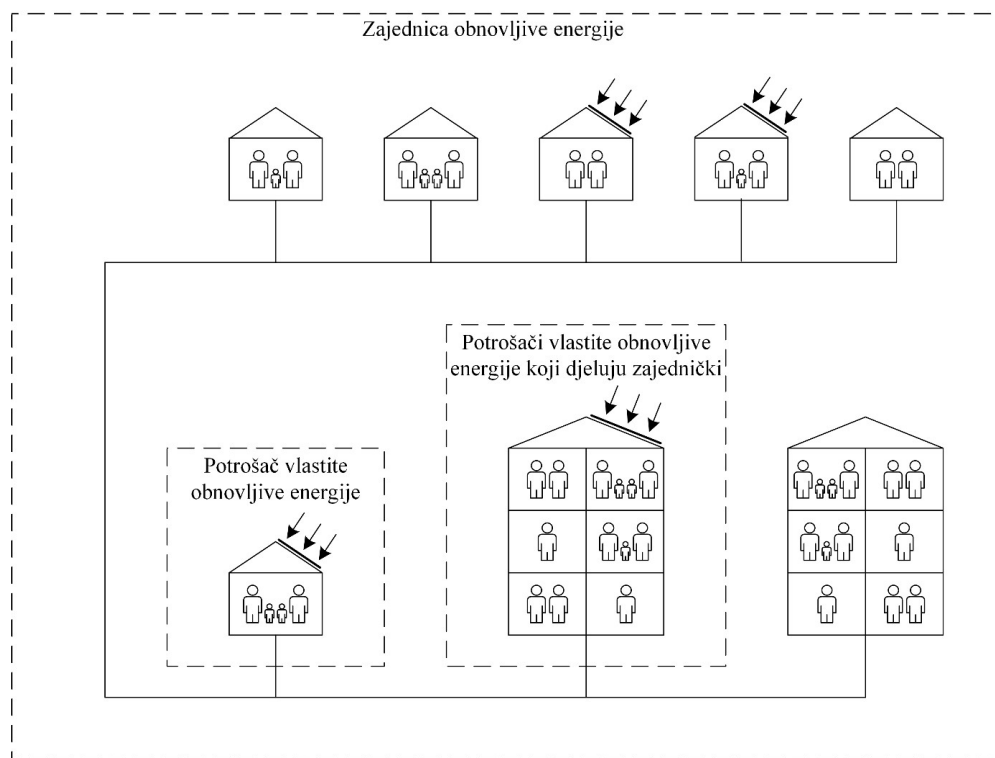
2.1. Teorijska podloga

Građani kao krajnji kupci mogu na različite načine sudjelovati u proizvodnji vlastite obnovljive energije. Prvi pojam je aktivni kupac koji se može definirati kao krajnji kupac, ili skupina krajnjih kupaca koji nastupaju zajedno, koji troši ili skladišti električnu energiju iz proizvodnog postrojenja smještenog unutar definiranih granica. Aktivni kupac također ima mogućnost prodaje električne energije koju proizvede te sudjelovanja u pružanju usluga fleksibilnosti, pod uvjetom da mu to nije glavna djelatnost [15]. Potrošač vlastite obnovljive energije (engl. *renewables self-consumer*) može se definirati kao krajnji kupac koji na svojim obračunskim mjernim mjestima proizvodi električnu energiju iz OIE za vlastite potrebe uz mogućnost skladištenja i prodaje električne energije koju je proizveo uz uvjet da to nije primarna djelatnost [8]. Potrošači vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički (engl. *jointly acting renewables self-consumers* – JARSC) mogu se definirati kao skupina od dva ili više potrošača vlastite obnovljive energije koji nastupaju zajednički unutar iste zgrade ili stambenog bloka [16]. Može se susresti i pojam skupni aktivni kupac koji se definira kao skupina krajnjih kupaca koji nastupaju zajedno kao jedan aktivni kupac [17]. U literaturi se za potrošače vlastite energije koji djeluju zajednički u jednoj višestambenoj zgradi često koristi pojam kolektivna samoopskrba (engl. *collective self-consumption* – CSC) [18]. Potrošači vlastite energije koji djeluju zajednički provode aktivnosti zajedničke proizvodnje i dijeljenja energije dok zajednica obnovljive energije (engl. *renewable energy community* – REC) predstavlja organizacijsku strukturu zbog čega ih treba promatrati odvojeno [18]. U Tablica 2.1. prikazana je usporedba potrošača vlastite energije koji djeluju zajednički i zajednice obnovljive energije.

Tablica 2.1. Usporedba potrošača vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički i zajednice obnovljive energije

Kriterij	Potrošači vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički	Zajednica obnovljive energije
Pravni status	- ugovor između članova	- pravna osoba
Područje djelovanja	- jedna zgrada	- lokalno područje
Sudionici	- kupci koji se nalaze u istoj zgradi	- fizičke osobe, mala i srednja poduzeća, jedinice lokalne i regionalne samouprave
Svrha	- smanjenje troškova kroz dijeljenje lokalno proizvedene električne energije	- pružiti okolišnu, gospodarsku ili socijalnu korist za članove, dioničare i lokalna područja

Područje djelovanja potrošača vlastite energije koji djeluju zajednički i zajednice obnovljive energije prikazano je na Slika 2.4.



Slika 2.4. Područje djelovanja potrošača vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički i zajednice obnovljive energije

2.1.1. Potrošači vlastite energije koji djeluju zajednički prema Hrvatskoj regulativi

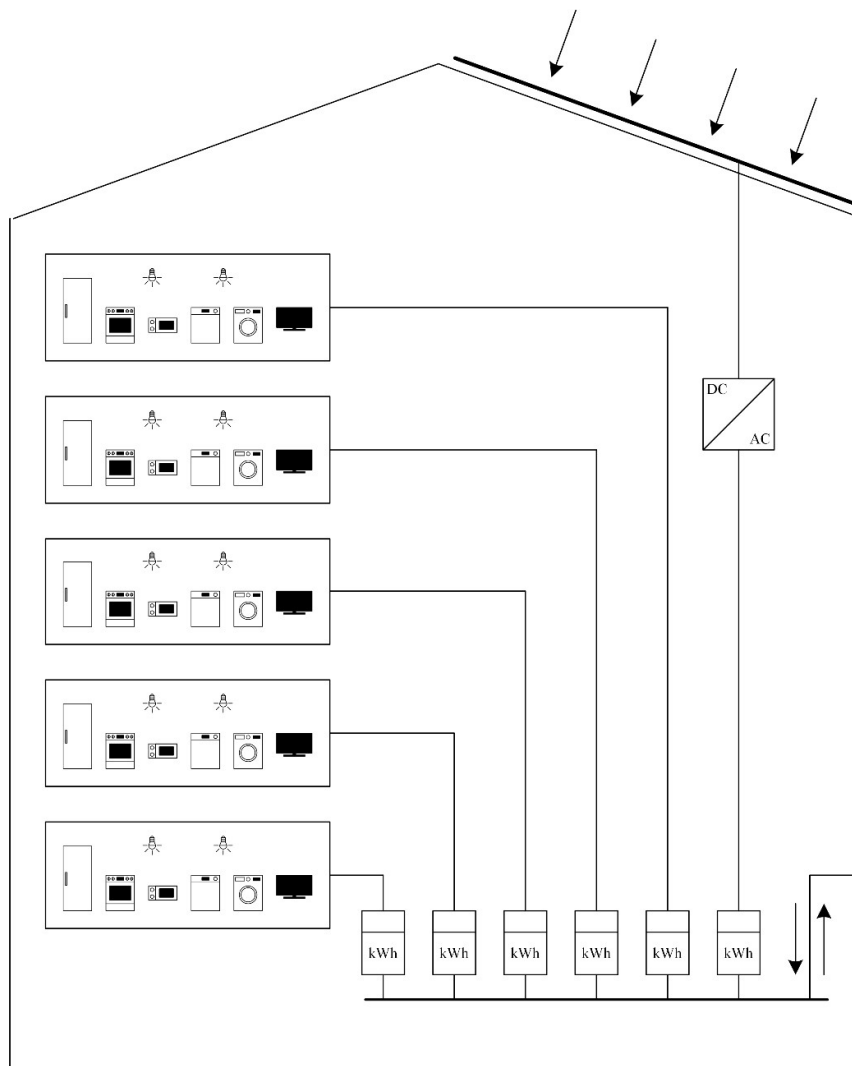
Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji iz 2021. godine, potrošači vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički bili su definirani kao najmanje dva potrošača vlastite obnovljive energije koji nastupaju zajedno unutar iste zgrade ili stambenog bloka, uz uvjet da su priključeni na niskonaponske izvođe iz iste distribucijske trafostanice [19]. Prema izmjenama zakona iz 2026. godine, potrošači vlastite energije koji djeluju zajednički mogu djelovati zajedno samo unutar jedne zgrade [8].

U hrvatskom zakonodavstvu različito se promatraju aktivni kupci iz kategorije kućanstvo i aktivni kupci iz kategorije poduzetništvo. Aktivni kupac iz kategorije kućanstvo uključujući ustanove se definira kao korisnik postrojenja za samoopskrbu dok se aktivni kupac iz kategorije poduzetništvo može definirati samo kao krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom [8]. Kolektivna

samoopskrba u višestambenoj zgradi spomenuta je u izmjenama zakona iz 2023. godine [20] prema kojima su se pravila za pojedinačne korisnike postrojenja za samoopskrbu primijenila i na korisnike postrojenja za samoopskrbu u višestambenoj zgradi. Autori u [21] su proveli SWOT analizu kolektivne samoopskrbe, gdje su kao snage naveli instalaciju FNE na postojeće krovove te dijeljenje unutar zgrade, dok se distribucijska mreža ne koristi za dijeljenje. Kao slabosti su istaknuli ograničenu površinu krova zbog čega se ne mogu proizvesti značajne količine energije. Prilike su velik broj dostupnih krovova, ušteda za suvlasnike te postavljanje FNE na fasadu. Glavne prijetnje široj implementaciji kolektivne samoopskrbe su potrebna suglasnost natpolovične većine suvlasnika te problem dobivanja suglasnosti u zgradama s više ulaza.

Nakon izmjena zakona iz 2026. godine, samoopskrba u višestambenoj zgradi više se ne spominje, nego je obuhvaćena potrošačima vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički i kojima je omogućeno dijeliti električnu energiju proizvedenu na njihovoj lokaciji [8]. Obračunska mjerna mjesta (OMM) kupaca te proizvodnih postrojenja i sustava pohrane uključena u dijeljenje trebaju biti opremljena naprednim brojilima s mogućnošću daljinskog očitavanja i mogućnošću mjerenja u stvarnom vremenu. Prema podacima HEP – operatora distribucijskog sustava [14] na dan 31. prosinca 2024. naprednim brojilima s mogućnošću daljinskog očitavanja bilo je opremljeno 23.5 % OMM u kategoriji kupaca kućanstvo i 85.1 % OMM u kategoriji kupaca poduzetništvo. Na Slika 2.5. može se vidjeti da je OMM svakog kupca i proizvodnog postrojenja opremljeno zasebnim brojilom električne energije. Na kraju obračunskog razdoblja operator distribucijskog sustava dostavlja opskrbljivaču izmjerene podatke, a zatim opskrbljivač na temelju dobivenih podataka dijeli energije na kupce u stvarnom vremenu.

Višak proizvedene energije koji se nakon provedenog dijeljenja nije potrošio od strane potrošača koji djeluju zajednički preuzima opskrbljivač pod uvjetom da je suma priključenih snaga u smjeru predaje u mrežu manja od sume priključenih snage u smjeru preuzimanja iz mreže [8]. Na kraju obračunskog razdoblja koje traje 1 mjesec, opskrbljivač određuje vrijednost isporučene električne energije ovisno o kategoriji kupca te umanjuje iznos računa za utvrđeni iznos. Za kupce iz kategorije poduzetništvo vrijednost isporučene energije određuje se prema modelu kupac s vlastitom proizvodnjom, dok se za kupce iz kategorije kućanstvo vrijednost isporučene energije određuje prema modelu kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu [8]. Način utvrđivanja vrijednosti isporučene energije vrijedi deset godina od dana izdavanja dozvole za trajni pogon prvog postrojenja za proizvodnju ili skladištenje energije [8].



Slika 2.5. Shema priklopa zajedničkog proizvodnog postrojenja i potrošača vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički u višestambenoj zgradi

2.1.2. Određivanje vrijednosti isporučene energije

Za kupca s vlastitom proizvodnjom jedinična cijena isporučene električne energije na kraju obračunskog razdoblja i određuje se prema jednadžbi (2-1) [8]. Obračunski model temelji se na neto obračunu (engl. *net billing*) što podrazumijeva određivanje razlike između preuzete i isporučene energije svakih 15 minuta te odvojen obračun preuzete i isporučene energije na kraju obračunskog razdoblja. Ukoliko je tijekom obračunskog razdoblja više energije preuzeto nego isporučeno, prosječna cijena se množi s faktorom 0.9, a ukoliko je više energije isporučeno nego preuzeto, jedinična cijena se dodatno umanjuje za omjer preuzete i isporučene energije.

$$C_i = \begin{cases} 0.9 \cdot PKC_i & \text{ako je } E_{\text{preuzeto},i} \geq E_{\text{isporučeno},i} \\ 0.9 \cdot PKC_i \cdot \frac{E_{\text{preuzeto},i}}{E_{\text{isporučeno},i}} & \text{ako je } E_{\text{preuzeto},i} < E_{\text{isporučeno},i} \end{cases} \quad (2-1)$$

gdje je:

- C_i [€/kWh] – jedinična cijena isporučene energije unutar obračunskog razdoblja i ,
- PKC_i [€/kWh] – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupca plaća opskrbljivaču unutar obračunskog razdoblja, pri čemu naknada za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV nisu uključeni,
- $E_{\text{preuzeto},i}$ [kWh] – preuzeta električna energija unutar obračunskog razdoblja i ,
- $E_{\text{isporučeno},i}$ [kWh] – isporučena električna energija unutar obračunskog razdoblja i .

Obračunski model za kupce korisnike postrojenja za samoopskrbu kojima je dozvola za priključenje izdana do 31. prosinca 2025. temelji se na neto mjerenju (engl. *net metering*) što podrazumijeva obračun razlike između preuzete i isporučene energije na kraju obračunskog razdoblja posebno za svaku tarifu. Ukoliko je u jednoj tarifi na kraju obračunskog razdoblja više preuzete nego isporučene energije, kupac plaća punu cijenu za preuzetu električnu energiju, uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te porez na dodanu vrijednost (PDV). Ukoliko je na kraju obračunskog razdoblja u nekoj tarifi više isporučene nego preuzete energije, opskrbljivač kupcu isplaćuje naknadu za isporučenu energiju u iznosu od 80 % jedinične cijene električne energije u promatranoj tarifi.

Neto mjerenje zbog obračuna razlike između preuzete i isporučene energije na kraju obračunskog razdoblja omogućuje da se električna energija koja su proizvede u jednoj tarifi može potrošiti bilo kada tijekom obračunskog razdoblja u promatranoj tarifi. Glavni cilj takvog modela je bio potaknuti građane da instaliraju FNE i postanu aktivni kupci. Nedostatak tog modela je što aktivni kupci kada imaju višak proizvedene energije isporučuju energiju u mrežu, a kada imaju manjak uzimaju energiju iz mreže pri čemu ne plaćaju naknadu za korištenje mreže. Kako se povećava broj FNE, pojavljuju se viškovi energije koji dovode do porasta napona, povećanih tokova snaga od potrošača prema mreži te do porasta gubitaka. To predstavlja problem operatoru distribucijskog sustava kojemu se smanjuju prihodi od naknade za korištenje mreže dok mu se u isto vrijeme povećavaju troškovi za pokrivanje gubitaka zbog čega je neto mjerenje nepovoljan obračunski model za operatora distribucijskog sustava. Od 1. siječnja 2026. na snazi je novi

obračunski model za kupce korisnike postrojenja za samoopskrbu temeljen na neto obračunu. Jedinična cijena isporučene električne energije na kraju obračunskog razdoblja i određuje se prema jednadžbi (2-2) [8]. Za razliku od kupca s vlastitom proizvodnjom kod kojeg se prosječna jedinična cijena množi s faktorom 0.9, ovdje je uveden faktor cijene koji može iznositi od 0 do najviše 1.

$$C_i = \begin{cases} kSO \cdot PKC_i & \text{ako je } E_{\text{preuzeto},i} \geq E_{\text{isporučeno},i} \\ kSO \cdot PKC_i \cdot \frac{E_{\text{preuzeto},i}}{E_{\text{isporučeno},i}} & \text{ako je } E_{\text{preuzeto},i} < E_{\text{isporučeno},i} \end{cases} \quad (2-2)$$

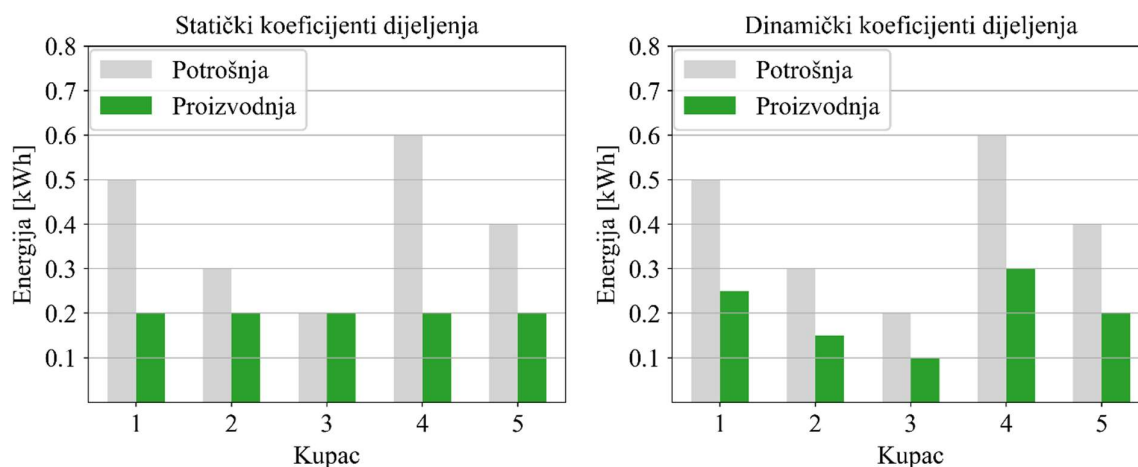
gdje je:

- kSO – faktor cijene.

Kako se kod neto obračuna razlika između preuzete i isporučene energije određuje svakih 15 minuta, na kraju obračunskog razdoblja odvojeno se obračunavaju preuzeta i isporučena energija, a kupci za svu preuzetu energiju plaćaju naknadu za korištenje mreže, neto obračun je povoljan obračunski model za operatora distribucijskog sustava. Neto obračun potiče aktivne kupce da izravno potroše što više vlastite proizvedene energije kako bi ostvarili veću uštedu. To mogu postići promjenom svojih navika tako da vremenski odgodiva trošila uključuju u vrijeme s više proizvodnje te ugradnjom sustava pohrane energije u koje mogu pohraniti višak proizvedene energije i koristiti ga onda kada nema proizvodnje. Neto obračun će također potaknuti aktivne kupce da FNE dimenzioniraju u skladu sa svojim potrebama.

2.1.3. Dijeljenje energije

Kada se govori o dijeljenju energije u stvarnom vremenu, govori se o količini proizvedene energije koja će se dodijeliti kupcima u svakom vremenskom koraku. Postoje dva pristupa dijeljenju, a to su statički pristup kojim se svakom kupcu u svakom vremenskom koraku dodjeljuje isti udio u proizvedenoj energiji te dinamički pristup kojim se svakom kupcu u svakom vremenskom koraku dodjeljuje udio prema potrošnji. Statički pristup pruža transparentnost prema svim kupcima dok dinamički pristup može doprinijeti većoj potrošnji vlastite energije [18]. Udjeli u proizvedenoj energiji koji se dodjeljuju kupcima mogu se nazvati koeficijenti dijeljenja. Razlika između statičkih i dinamičkih koeficijenata dijeljenja energije može se vidjeti na Slika 2.6. kada je proizvodnja FNE u vremenskom koraku u kojem se provodi dijeljenje manja od ukupne potrošnje te na Slika 2.7. kada je proizvodnja FNE jednaka ukupnoj potrošnji.

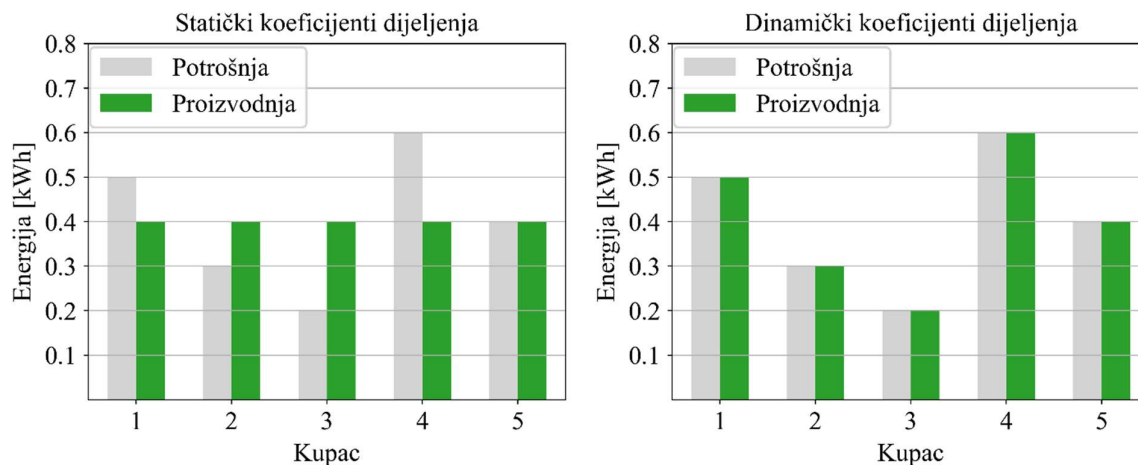


Slika 2.6. Usporedba statičkih i dinamičkih koeficijenata dijeljenja kada je proizvodnja manja od ukupne potrošnje

Kada su koeficijenti dijeljenja jednaki, svakom kupcu u svakom vremenskom koraku pripada jednak udio u proizvedenoj energiji. Na primjeru 5 kupaca, ako je u vremenskom koraku proizvedeno 1 kWh, svakom kupcu pripada 0.2 kWh (Slika 2.6.), a ako je proizvedeno 2 kWh, svakom kupcu pripada 0.4 kWh (Slika 2.7.). Kako kupac 2 i 3 u promatranom vremenskom koraku troše manje energije nego što im pripada, pojavljuje se višak energije koji kupci mogu isporučiti opskrbljivaču i za tu energiju dobiti naknadu. Druga mogućnost je da višak energije podijele s kupcima koji u tom vremenskom koraku troše više energije nego što im pripada, odnosno imaju manjak energije. Na promatranom primjeru kupac 2 može dati kupcu 1 svoj višak u iznosu od 0.1 kWh dok kupac 3 može dati kupcu 4 svoj višak u iznosu od 0.2 kWh u promatranom vremenskom koraku. Iako se statički koeficijenti čine jednostavnijim za implementaciju zbog toga što se određuju samo jednom, potrebno je uvesti dodatne varijable koje će predstavljati količinu razmjene energije između kupaca u slučaju obračuna razmjene na kraju obračunskog razdoblja te vrijednost razmjene energije u slučaju da se obračun vrši u svakom vremenskom koraku.

S druge strane, dinamički koeficijenti dijeljenja prilagođavaju se potrošnji u svakom vremenskom koraku [18] zbog čega nema potrebe za dodatnim varijablama. Kada se dinamički koeficijenti određuju proporcionalno potrošnji, kupcima koji u promatranom vremenskom koraku imaju veću potrošnju pripada veći udio u proizvedenoj energiji. Na primjeru dijeljenja za 5 kupaca, kada proizvodnja iznosi polovinu ukupne potrošnje, kupcu 4 koji u promatranom vremenskom koraku troši 0.6 kWh pripada 0.3 kWh proizvedene energije dok kupcu 3 koji u promatranom

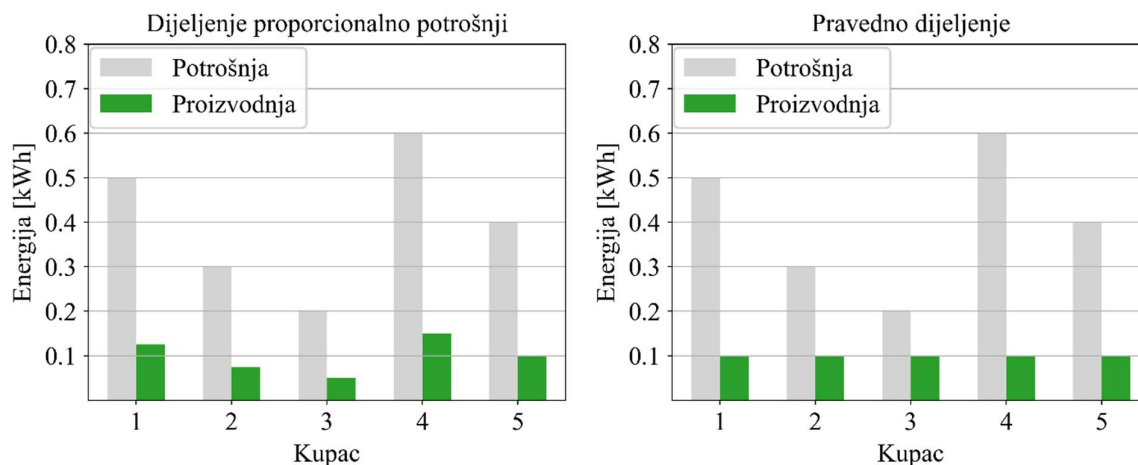
vremenskom koraku troši 0.2 kWh, pripada 0.1 kWh proizvedene energije (Slika 2.6.). Kada je proizvodnja jednaka ukupnoj potrošnji, svakom kupcu pripada udio u proizvedenoj energiji jednak potrošnji pa nema potrebe za dodatnim dijeljenjem između kupaca (Slika 2.7.).



Slika 2.7. Usporedba statičkih i dinamičkih koeficijenata dijeljenja kada je proizvodnja jednaka ukupnoj potrošnji

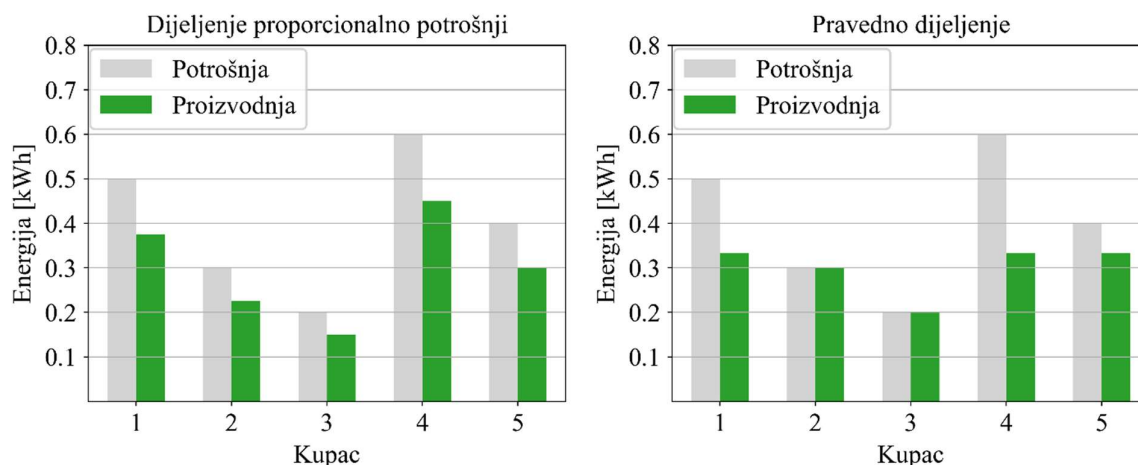
Dijeljenje proporcionalno potrošnji, neki autori smatraju nepravednim jer diskriminira kupce s manjom potrošnjom, zbog čega predlažu pravedno dijeljenje [22], [23]. Način na koji se energija dijeli primjenom pravednog dijeljenja se može objasniti na primjeru čaša različitog volumena u koje je potrebno raspodijeliti vodu iz bokala. Prvo se voda toči jednako u sve čaše dok se jedna čaša ne napuni, zatim se voda toči jednako u preostale čaše dok se druga čaša ne napuni, onda u preostale čaše dok se sve čaše ne napune. Kada se isti pristup primjeni na dijeljenje energije, proizvedena energija se prvo dijeli jednako na sve kupce, a kada se kupcima s malom potrošnjom podmiri sva potrošnja, preostala energija se dijeli na kupce s većom potrošnjom. Postupak se nastavlja dok se ne podijeli energija koja je dostupna u promatranom vremenskom koraku.

Usporedba proporcionalnog i pravednog dijeljenja prikazana je na Slika 2.8. u slučaju kada proizvedena energija u FNE iznosi 25 % ukupne potrošnje i na Slika 2.9. kada proizvedena energija iznosi 75 % ukupne potrošnje. Kada se energija dijeli proporcionalno potrošnji, proizvodnja u iznosu od 0.5 kWh se dijeli tako da svaki kupac podmiri 25 % svoje potrošnje (Slika 2.8.) dok se proizvodnja u iznosu od 1.5 kWh dijeli tako da svaki kupac podmiri 75 % svoje potrošnje u promatranom vremenskom koraku (Slika 2.9.).



Slika 2.8. Usporedba dinamičkog proporcionalnog i pravednog dijeljenja kada je proizvodnja značajno manja od ukupne potrošnje

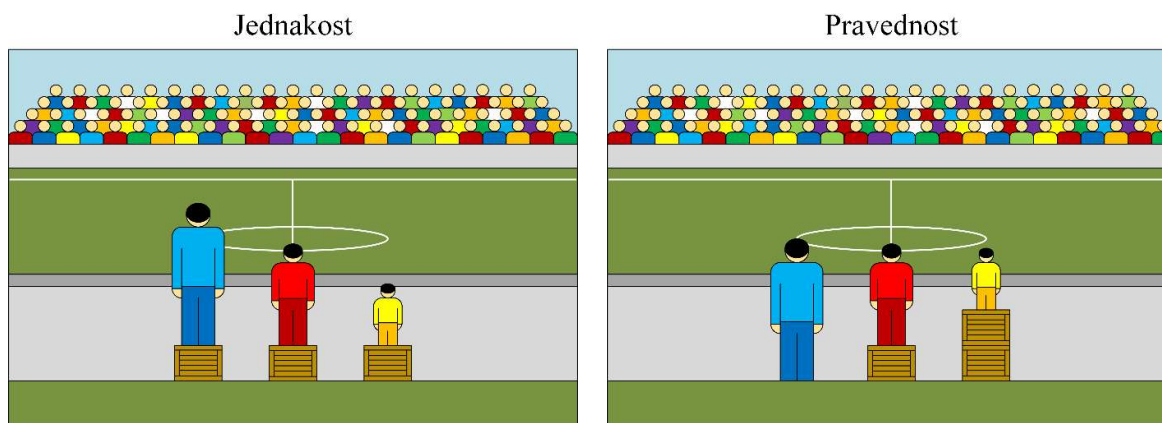
Kada se energija dijeli pravedno, proizvodnja u iznosu od 0.5 kWh se dijeli jednako na sve kupce, odnosno svakom kupcu pripada 0.1 kWh u promatranom vremenskom koraku (Slika 2.8.). Kada proizvodnja FNE iznosi 1.5 kWh, kupcu 2 pripada 0.3 kWh, a kupcu 3 pripada 0.2 kWh, koliko iznosi njihova potrošnja u promatranom vremenskom koraku, a preostalih 1 kWh se dijeli jednako na kupce 1, 4 i 5 (Slika 2.9.). Implementacija pravednog dijeljenja je nešto složenija od dijeljenja proporcionalno potrošnji jer je u svakom vremenskom koraku potrebno prvo poredati iznose potrošnje kupaca od najmanje do najveće i tek onda provesti dijeljenje.



Slika 2.9. Usporedba dinamičkog proporcionalnog i pravednog dijeljenja kada je proizvodnja malo manja od ukupne potrošnje

2.1.4. Pravedni suvlasnički udjeli u fotonaponskoj elektrani

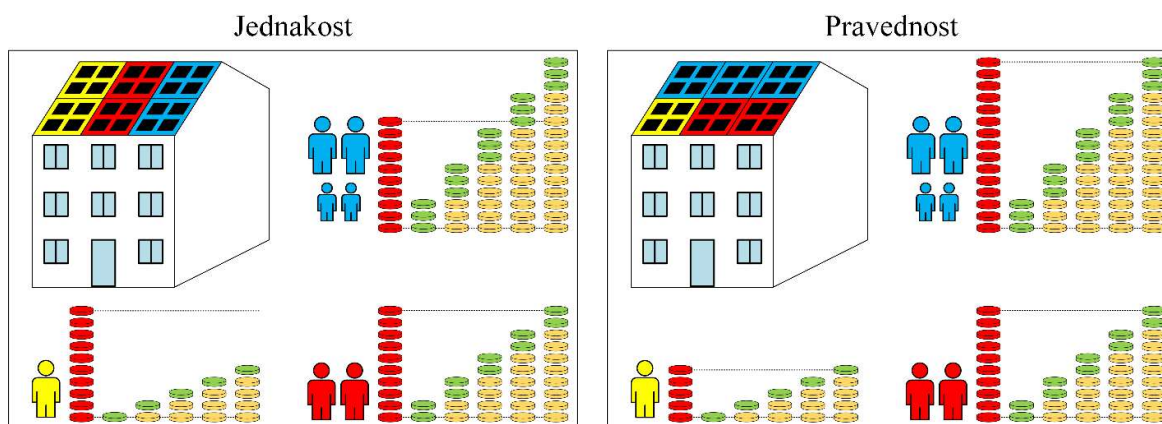
Kada suvlasnici višestambene zgrade zajednički investiraju u FNE, oni postaju i suvlasnici FNE, odnosno svaki suvlasnik ima određeni suvlasnički udio u FNE. Prema tom udjelu određuje se udio svakog suvlasnika u investicijskim i operativnim troškovima. Prilikom određivanja suvlasničkih udjela može se voditi načelom pravednosti i načelom jednakosti. Razlike između načela jednakosti i načela pravednosti [24] najlakše je objasniti na primjeru tri dječaka koja su došli gledati utakmicu preko zida, kako je prikazano na Slika 2.10. Zbog visine zida, nisu mogli gledati utakmicu, pronašli su tri drvene kutije i svaki dječak je stao na jednu kutiju. Dječaci su se vodili načelom jednakosti (engl. *equality*) prema kojem svakom pojedincu pripadaju jednaki resursi, prava i prilike, pri čemu se potrebe pojedinca ne uzimaju u obzir [25]. Iako pojedinci kreću iz iste početne pozicije, krajnji ishodi su različiti. Zbog različitih visina, najviši i srednji dječak mogu gledati utakmicu dok najmanji čak ni s kutijom ne vidi utakmicu. Kako najviši dječak vidi preko zida bez da stoji na kutiji, dao je svoju kutiju najmanjem dječaku, tako da sada svi mogu pratiti događanja na terenu. Dječaci su se sada vodili načelom pravednosti (engl. *equity*) prema kojem se u obzir uzimaju potrebe pojedinca [25]. Resursi, prava i prilike se dijele prema potrebama, odnosno visini u primjeru, a krajnji ishod je jednak za svakog pojedinca.



Slika 2.10. Primjer jednakosti i pravednosti

Na Slika 2.11. prikazano je kako se načelo jednakosti i načelo pravednosti primjenjuju prilikom određivanja suvlasničkih udjela u FNE na primjeru tri različita kućanstva. U prvom kućanstvu živi obitelj s dvoje djece, u drugom par bez djece, dok je u trećem kućanstvu jedna osoba. Kada se primjeni načelo jednakosti, kućanstva imaju jednake suvlasničke udjele neovisno o potrebama za električnom energijom, a time i jednake udjele u troškovima investicije. Zbog toga

će kućanstvo koje troši više vlastite proizvedene energije i ostvaruje veću uštedu, ranije otplatiti svoj udio u investiciji. S druge strane, kućanstvu koje troši najmanje će trebati puno više vremena da otplati svoj udio u investiciji. Primjenom načela pravednosti, suvlasnički udjeli se određuju prema potrebama za električnom energijom pa tako obitelj s dvoje djece ima najveći suvlasnički udio, a time i udio u investiciji, dok samac ima najmanji udio. Pravednim suvlasničkim udjelima se postiže da se investicija svim suvlasnicima otplati u približno isto vrijeme.



Slika 2.11. Primjena jednakosti i pravednosti prilikom određivanja suvlasničkih udjela

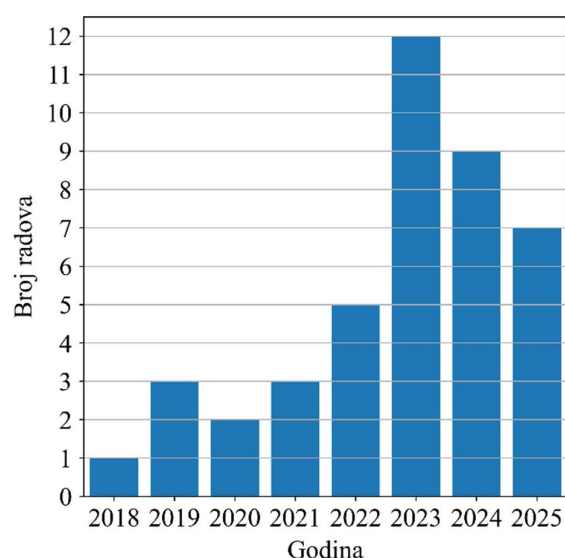
Kako bi razlike između jednakosti i pravednosti bile jasnije, u Tablica 2.2. prikazana je usporedba jednakosti i pravednosti na temelju raspodjele resursa, potreba i krajnjeg ishoda na primjeru dječaka koji gledaju utakmicu i na primjeru suvlasničkih udjela u FNE. Iako se načelo jednakosti zbog jednake raspodjele resursa čini pravednim rješenjem, prilikom određivanja suvlasničkih udjela u FNE treba se voditi načelom pravednosti.

Tablica 2.2. Usporedba jednakosti i pravednosti

	Jednakost	Pravednost
Gledanje utakmice	- svi dječaci stoje na jednoj kutiji - visina dječaka nije uzeta u obzir - visoki i srednji dječak gledaju utakmicu dok najmanji dječak od zida ne vidi utakmicu	- visoki dječak ne stoji na kutiji, srednji dječak stoji na jednoj, a najmanji stoji na dvije kutije - svi dječaci sada mogu gledati utakmicu
Suvlasnički udjeli u FNE	- jednaki suvlasnički udjeli - potrošnja kupaca nije uzeta u obzir - obitelj brzo otplaćuje svoj udio, par nešto kasnije, dok samac najkasnije otplati svoj udio	- obitelj ima najveći suvlasnički udio, par ima srednji suvlasnički udio, a samac ima najmanji suvlasnički udio - svi suvlasnici otplaćuju svoje udjele u isto vrijeme

2.2. Pregled literature

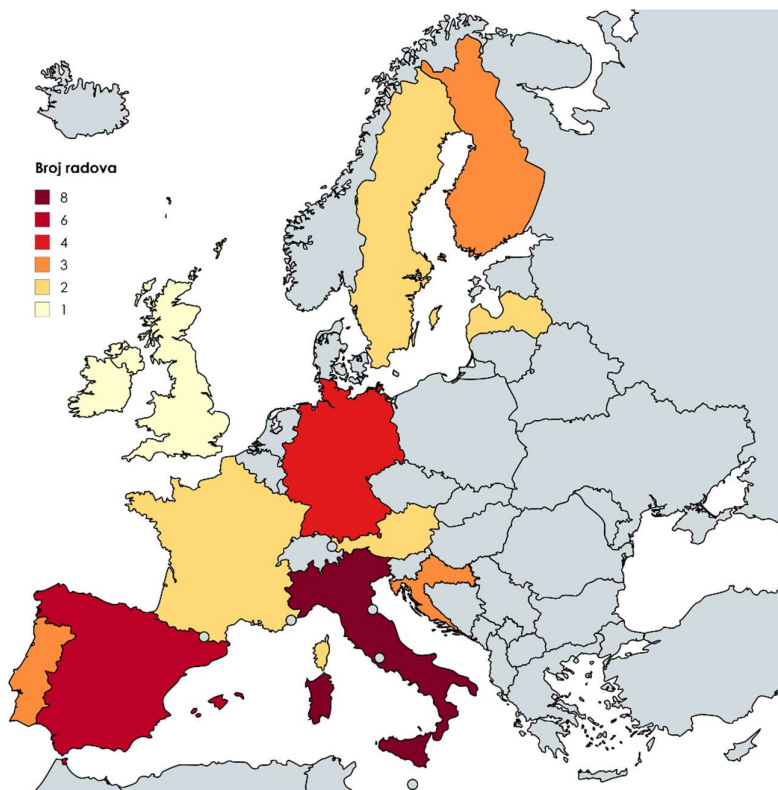
Zajednička proizvodnja i dijeljenje energije aktivno se istražuje u zadnjih nekoliko godina. Znanstveni radovi u kojima se proučava navedena tematika pretraživani su u relevantnim znanstvenim bazama, kao što su IEEE Xplore, Elsevier i MDPI. Nakon provedenog pregleda literature s otvorenim pristupom, odabrano je ukupno 42 znanstvena rada. Odabrani znanstveni radovi objavljeni su razdoblju od 2018. do 2025. godine, a od toga je 36 radova objavljeno od 2021. do 2025. godine. Broj objavljenih znanstvenih radova po godinama prikazan je grafikonom na Slika 2.12. Može se vidjeti da je 2023. objavljeno 12 radova dok je u 2022. objavljeno 5 radova.



Slika 2.12. Broj objavljenih znanstvenih radova na temu zajedničke proizvodnje i dijeljenja energije po godinama

Više objavljenih radova u 2023. je odgovor na energetske krize iz 2022. koja je dovela do visokih cijena električne energije [26] što je potaknulo da se još više građana uključi u proizvodnju vlastite energije, uključujući i stanare višestambenih zgrada. Također, prema revidiranoj direktivi EU o obnovljivim izvorima energije iz 2023. godine (REDIII), članice EU trebaju donijeti zakonsku regulativu koja olakšava lokalnim zajednicama proizvodnju vlastite energije [1]. Od ukupnog broja radova, 27 radova je objavljeno u međunarodnim znanstvenim časopisima, a 15 u zbornicima međunarodnih znanstvenih skupova. Od ukupno 42 odabrana rada, 36 ih se može svrstati u izvorne znanstvene radove dok su preostalih 6 pregledni znanstveni radovi.

Kada se pogleda broj objavljenih radova u kojima se istražuje zajednička proizvodnja i dijeljenje energije po europskim državama, kako je prikazano kartom na Slika 2.13. napravljenom pomoću alata *MapChart* [27], može se vidjeti da je najviše radova objavljeno u Italiji, ukupno 9, te 6 u Španjolskoj. Zatim slijede 4 rada objavljena u Njemačkoj te 4 rada u kojima su autori iz više članica EU, a s 3 objavljena rada zastupljeni su Portugal, Finska i Hrvatska.



Slika 2.13. Broj objavljenih radova po državama

2.2.1. Prostorne granice i broj kupaca uključenih u dijeljenje

Prilikom istraživanja zajedničke proizvodnje i dijeljenja energije susreću se testni sustavi s različitim prostornim granicama, različitim ukupnim brojem te različitim kategorijama krajnjih kupaca. Zajednička proizvodnja i dijeljenje energije se može provoditi na razini samo jedne zgrade, na razini stambenog bloka ili kompleksa te na razini niskonaponske distribucijske mreže [18]. Najviše je zastupljena jedna zgrada te kupci iz kategorije kućanstvo, dok je ukupan broj kupaca uglavnom manji od 10 pa se tako u [28] energija dijeli između 3, u [22], [29], [30] između 4, u [31] između 5, a u [32] između 6 kupaca. Manja stambena zgrada s 8 kupaca promatrana je u [33]–[35], zgrada s 9 kupaca promatrana je u [36] dok je u [37] promatrana generička stambena

zgrada s 10 kupaca. U literaturi se mogu pronaći i testni sustavi sa zgradama s više od 10 kupaca pa je tako u [38], [39] istraživanje primijenjeno na zgradu s 12 stanova, u [40] je promatrana zgrada s 20 stanova dok je u [41] istraživanje primijenjeno na zgradu s 31 stanom. Neki autori promatraju dobiti od zajedničke proizvodnje na razini cijele zgrade pa u radovima ne navode broj stanova [42]. Najveći broj kupaca u jednoj zgradi je u [43] gdje su autori promatrali 3 različita testna sustava. Prvi testni sustav je zgrada sa 144 stana, drugi zgrada sa 120 stanova, a treći je niz od 12 dvoetažnih stanova. Osim kupaca iz kategorije kućanstvo u dijeljenje energije su ponekad uključeni i kupci iz kategorije poduzetništvo kao što je to u [44] gdje u dijeljenju sudjeluje 16 stanova te 11 uredskih prostora. U dijeljenje energije u [45] uključeno je 2 kućanstva i 1 poslovna djelatnost, a u [46] u dijeljenju sudjeluje 11 kućanstava i 5 poslovnih djelatnosti.

Osim jedne zgrade, testni sustav se može sastojati od više susjednih zgrada pa se govori o stambenom bloku, odnosno kompleksu. Često površina krova jedne zgrade nije dovoljna ili prikladna za instalaciju dovoljno velike elektrane što je prednost dijeljenja na razini bloka [47]. U [48] su prematane dvije lokacije u Finskoj. Na prvoj lokaciji nalaze se 3 zgrade s ukupno 190 stambenih i 11 poslovnih jedinica dok se na drugoj lokaciji nalaze 2 zgrade s ukupno 114 stambenih jedinica. Autori u [49] promatrali su iste lokacije u Finskoj, samo što je na prvoj lokaciji u dijeljenje uključeno 224 stana i 11 poslovnih prostora, a na drugoj 114 stanova. Kompleksi se mogu sastojati samo od poslovnih objekata kao što je to slučaju [50] gdje je istraživanje rađeno za 3 zgrade. Istraživanje se nekada provodi i na velikim stambenim kompleksima koji obuhvaćaju veće gradsko područje kao što je to u [51] gdje su autori promatrali 109 zgrada s ukupno 2674 stanova. U nekim radovima dijeljenje energije se provodi na više različitih testnih sustava, kao što je slučaj u [52] gdje autori promatraju tri različita testna sustava. Prvi testni sustav je na razini jedne zgrade, drugi na razini stambenog bloka, a treći na razini gradske četvrti ili manjeg grada. U radu [53] provedeno je dimenzioniranje zajedničke FNE u slučaju 10 većih zgrada, od kojih svaka ima od 10 do 20 stanova te u slučaju 10 manjih zgrada od kojih svaka ima od 3 do 6 stanova.

U djelu literature dijeljenje se provodi na širem području, odnosno granicom se može smatrati niskonaponska distribucijska mreža. Iako se dijeljenje provodi na većem području, za dijeljenje je potrebno minimalno 2 kupca koji mogu biti iz različitih kategorija pa se tako u [54] dijeljenje provodi između 4 kupca, a to su paviljon, vijećnica, tržnica i škola dok se u [55] dijeljenje provodi između 2 kućanstava te komercijalne i poljoprivredne djelatnosti. Autori u [56] su istražili i usporedili isplativost dijeljenja na istom testnom sustavu u 8 država članica EU. Testni sustav se

sastoji od zgrade sa 6 kupaca iz kategorije kućanstvo i jednim kupcem iz kategorije poduzetništvo te 4 zasebna kućanstva i 2 zasebna kupca iz kategorije poduzetništvo. Broj kupaca koji sudjeluju u dijeljenju može biti fiksni kao što je to u [57] gdje testni sustav čini 10 kupaca, u [23], [58], [59] gdje se testni sustav sastoji od 20 obiteljskih kuća te u [60] gdje se dijeljenje energije provodi između 1203 kućanstava i 20 komercijalnih djelatnosti. S druge strane, veličina testnog sustava odnosno broj kupaca koji je uključen u dijeljenje može biti promjenjiv, kao što je to u [61], [62]. U dijeljenje se uz različite kategorije kupaca mogu uključiti i baterijski spremnici energije (BES) [32]–[34], [38], [50], [57] te punionice za električna vozila (EV) [44], [56]. Uloga BES je pohrana viška proizvedene energije tijekom dana koja se može koristiti za podmirivanje potrošnje u večernjim satima kada nema dovoljno proizvedene energije [63].

2.2.2. Način na koji se provodi dijeljenje energije

U literaturi se mogu pronaći tri različita pristupa na koji se promatraju podaci o proizvodnji i potrošnji [64]. Prvi slučaj je zajednička proizvodnja i agregirani podaci o potrošnji na razini jedne zgrade ili stambenog bloka što se primjenjuju prilikom dimenzioniranja sustava i određivanja ukupne dobrobiti, ali ne daje uvid u dobrobiti svakog sudionika pojedinačno. U drugom slučaju proizvodnja je zajednička dok se podaci o potrošnji promatraju pojedinačno za svakog sudionika. Kod takvog pristupa provodi se dijeljenje ukupne proizvedene energije i promatra se dobrobit pojedinačno za svakog sudionika. U trećem slučaju promatra se individualna proizvodnja i individualna potrošnja što je uobičajeno za energetske zajednice gdje je granica testnog sustava niskonaponska distribucijska mreža i dijele se viškovi proizvedene energije.

Način na koji je u literaturi provedeno dijeljenje može se opisati s dva pristupa određivanju koeficijenata dijeljenja, a to su statički i dinamički pristup [18]. Dinamički koeficijenti se određuju za svaki vremenski korak čime se kupce potiče da prilagode potrošnju, za razliku od statičkih koji se ne mijenjaju i ne potiču promjenu potrošnje [65]. Dijeljenje energije prema jednakim statičkim koeficijentima primijenjeno je u [57]–[59]. Statički koeficijenti su često određeni prema udjelu u ukupnoj potrošnji kao što je to u [31], [39], [45], [57], [58]. Ponekad se mogu susresti primjeri određivanja statičkih koeficijenata prema snazi FNE [40], [45], površini stambene jedinice [49] te udjelu u investiciji [45]. Autori u [30] su osim jednakih statičkih koeficijenata i statičkih koeficijenata prema udjelu u investiciji, uveli hibridne koeficijente dijeljenja koji su dobiveni tako da se 50 % proizvedene energije dijeli jednako, a 50 % prema udjelu u investiciji. Nekada se prilikom određivanja statičkih koeficijenata primjenjuju optimizacijske metode [39], [40].

Dinamički koeficijenti dijeljenja se najčešće određuju proporcionalno potrošnji električne energije u svakom vremenskom koraku [23], [35]. Dijeljenjem proporcionalno potrošnji kupcima s većom potrošnjom pripada više energije zbog čega neki autori predlažu pravedno dijeljenje na temelju pravedne raspodjele prema kojem se energija dijeli jednako na sve kupce, a kada je dostupno više energije onda se dijeli na kupce s većom potrošnjom [22], [23]. Autori u [28] su uz dinamičke koeficijente proporcionalne potrošnji i dinamičke koeficijente na temelju pravedne raspodjele, predložili metodu koja potiče potrošnju u vremenu proizvodnje tako što su dinamičke koeficijente odredili na temelju korelacije između krivulje proizvodnje i krivulje potrošnje. Dinamički koeficijenti dijeljenja mogu se određivati korištenjem optimizacijskih metoda [55]. U [37] je prilikom određivanja dinamičkih koeficijenata primijenjena višeciljna optimizacija s ciljem maksimizacije vlastite potrošnje i ciljem minimizacije troškova za električnu energiju.

U radovima se često promatraju i uspoređuju statički i dinamički pristupi određivanju koeficijenata dijeljenja kao što je to slučaj u [46]. Zakonom su regulirani statički koeficijenti prema suvlasničkim udjelima, a autori su dodatno određivali optimalne dinamičke koeficijenti s ciljem minimizacije troškova. Dijeljenje u [54] provedeno je prema statičkim koeficijentima koji su u prvom slučaju jednaki, a u drugom slučaju proporcionalni ukupnoj potrošnji te prema dinamičkim koeficijentima proporcionalnim potrošnji. Autori u [50] su promatrali statičko dijeljenje prema ukupnoj potrošnji, dinamičko dijeljenje proporcionalno potrošnji te optimalno dinamičko dijeljenje. Kao nedostatak statičkih koeficijenata navedena je pojava viškova proizvodnje, a kod dinamičkog dijeljenja što se svi kupci tretiraju jednako. Zbog toga su autori predložili poboljšano dinamičko dijeljenje gdje se uvodi prioritet za određene kupce. U [29] je uspoređeno statičko dijeljenje prema ukupnoj potrošnji i dinamičko proporcionalno potrošnji. Autori su zaključili da dinamičko dijeljenje dovodi do veće uštede nego statičko dijeljenje. Autori u [48] su provodili statičko dijeljenje na temelju 4 kriterija i optimalnih dinamičkih koeficijenata s ciljem maksimizacije vlastite potrošnje. Statički koeficijenti su definirani kao jednaki te na temelju površine stanova, vlasničkih udjela i udjela u ukupnoj godišnjoj potrošnji. Dijeljenje energije se može provoditi i unutar energetske zajednice kada članovi zajednice s vlastitom proizvodnjom podmire potrošnju i onda dijele višak s ostalim članovima zajednice [21]. Dijeljenje unutar energetske zajednice promatrano je u [32], [44], [60], [61]. Međutim, u [66] je definirana razlika između dijeljenja i trgovanja. Dijeljenje energije se može provesti kada je proizvodno postrojenje zajednički kontrolirano od svih sudionika. Ako je proizvodno postrojenje pod nadzorom jednog sudionika onda se govori o trgovanju energijom.

Vremenski korak dijeljenja je definiran zakonskom regulativom u pojedinim državama, ali u literaturi je najčešće određen vremenskim korakom ulaznih podataka. Podaci o proizvodnji električne energije u satnoj rezoluciji preuzimaju se iz *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) [37]–[39], [48], [49]. Osim navedenih radova, vremenski korak dijeljenja od 60 minuta zastupljen je u [28], [30], [31], [40], [45], [46], [55], [57], [59]–[61]. Meteorološki podaci u [54] su dobiveni iz meteorološke stanice s vremenskim korakom od 1 minute, međutim dijeljenje se vrši u koracima od 15 minuta. Dijeljenje s vremenskim korakom od 15 minuta također je primijenjeno u [22], [29], [32], [35], [37], [44]. Ulazni podaci o potrošnji u [50] su s rezolucijom 10 minuta, međutim dijeljenje energije se provodi s vremenskim korakom od 30 minuta. Podaci o potrošnji u literaturi se dobivaju mjerenjem [59], [61] ili se koriste stvarni podaci [35], [49], [54]. U [22] podaci su dobiveni od jednog tipičnog profila skaliranjem na različite godišnje potrošnje i pomicanjem profila potrošnje za jedan sat naprijed ili nazad. Često se zbog nedostupnosti stvarnih podataka koriste alati za generiranje podataka o potrošnji [34], [38], [40], [56].

2.2.3. Instalirana snaga fotonaponske elektrane

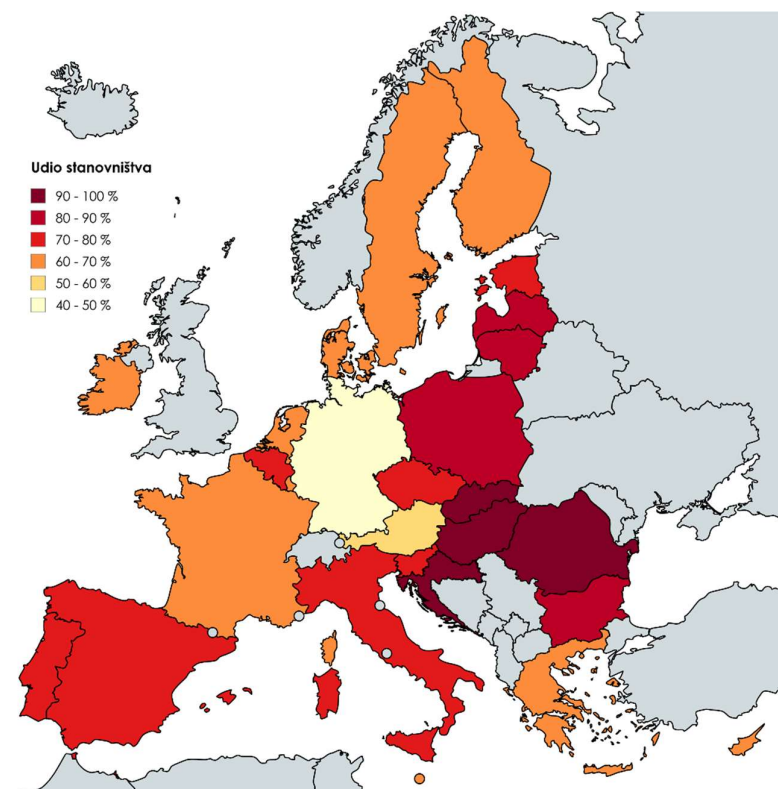
Instalirana snaga FNE u literaturi može biti unaprijed određena, može se odrediti slobodno, a može se provesti i postupak određivanja optimalne instalirane snage. U literaturi koja fokus istraživanja stavlja na dijeljenje energije, instalirana snaga FNE je često unaprijed određena ili se definira slobodno [22], [28], [29], [32], [35], [40], [44]–[46], [56], [59], [67], [68], ponekad s dvije ili više različitih snaga [33], [34], [49], [61], [62]. Kako bi se ocijenila isplativost FNE, potrebno je provesti tehno-ekonomsku analizu FNE za određeni vremenski period. Jednostavne analize se mogu provesti pomoću alata za tablične proračune kao što je *Microsoft Excel*, dok su za složene analize prikladni *MATLAB* ili *Python*, a mogu se koristiti i specijalizirani programski paketi za analizu FNE kao što su *Polysun simulation software* [41], [69] ili *HOMER* [70], [71]. Vremenski period za koji se provodi tehno-ekonomska analiza uglavnom se odabire na temelju životnog vijeka FNE, zbog čega je najviše zastupljen vremenski period od 20 godina [34], [38], [51]–[53], [72]–[74]. Životni vijek FNE definiran je vremenom tijekom kojeg degradacija FN modula neće pasti ispod 80 %, što je uglavnom dulje od 20 godina pa se u literaturi može susresti vremenski period od 25 [58], [69], [75], [76], te 30 godina [62]. U nekim slučajevima analiza se provodi za vremenski period od 15 godina kao što je to u slučaju [43]. Funkcija cilja prilikom određivanja optimalne instalirane snaga FNE je najčešće maksimizacija neto sadašnje vrijednosti (engl. *Net Present Value* – NPV) [51]–[53], [58], [71]–[73], [75]–[79].

Pozitivna neto sadašnja vrijednost znači da se investicija otplatila, a vrijeme nakon kojeg neto sadašnja vrijednost FNE postane pozitivna se može definirati kao vrijeme povrata investicije (engl. *Payback Period* – PBP). Vrijeme povrata investicije prikazano je u [33], [35], [38], [58], [69], [75], [79], [80] kao jedan od pokazatelja isplativosti investicije u FNE. Za razliku od većine literature gdje se spominje vrijeme povrata investicije, u [51], [71] se navodi diskontirano vrijeme povrata (engl. *Discounted Payback Period* – DPP). Kao funkcija cilja u literaturi se susreće i minimizacija neto sadašnjeg troška (engl. *Net Present Cost* – NPC) [74], minimizacija troškova za električnu energiju [80] te minimizacija investicijskih gtroškova [81]. Od ostalih financijskih pokazatelja, prilikom određivanja optimalne snage FNE u literaturi su zastupljeni interna stopa povrata (engl. *Internal Rate of Return* – IRR) [71], [72], [76] te povrat ulaganja (engl. *Return on Investment* – ROI) [76], [78] i nivelirani trošak električne energije (engl. *Levelized Cost of Electricity* – LCOE) [76]–[78]. Na isplativost investicije u FNE utjecaj ima obračunski model prema kojem se obračunavaju viškovi predane električne energije. U literaturi je najviše zastupljen obračunski model neto mjerenje [35], [41], [69], [71], [80] dok su u [76], [79], [82], [83] uspoređeni obračunski modeli neto mjerenje i neto obračun.

2.2.4. Suvlasnički udjeli u fotonaponskoj elektrani i pojedinačno vrijeme povrata investicije

Pregledom literature koja proučava dijeljenje energije u višestambenim zgradama, može se primijetiti da je vlasništvo FNE jasno definirano u samo nekoliko radova. U [22] i [37] krajnji kupci nemaju vlasništvo u FNE, nego su vlasnici zgrade ti koji investiraju i posjeduju FNE. Lokacije koje su promatrane u navedenoj literaturi su u Njemačkoj i Austriji koje su prema podacima Eurostata [7] države EU s najmanjim udjelom stanovništva koji živi u vlastitoj nekretnini. U [33] i [34] investitor i vlasnik FNE je tvrtka za pružanje energetske usluge (engl. *Energy Service Company* – ESCo). Specifičan slučaj je [44] gdje je također ESCo investitor koji na početku ima 100 % vlasništva, a s vremenom krajnji kupci povećavaju suvlasničke udjele dok ESCo smanjuje svoj udio u vlasništvu. Nakon 4 godine krajnji kupci imaju 50 % vlasništva, a nakon 12 godina i 9 mjeseci imaju 100 % vlasništva. S druge strane, krajnji kupci imaju suvlasništvo u Hrvatskoj [35], Latviji [43], Italiji [38], [51], Španjolskoj [45], [46], [58] te Švedskoj [61]. Kada se pogleda karta koja prikazuje udio stanovništva po državama EU koji živi u vlastitoj nekretnini na Slika 2.14., napravljena pomoću alata *MapChart* [27], može se vidjeti da je u Švedskoj taj udio između 60 i 70 %, a u Italiji i Španjolskoj između 70 i 80 %. Najveći udio stanovništva koje živi u vlastitoj nekretnini je u istočnoj Europi, gdje se ističu Hrvatska, Mađarska,

Slovačka i Rumunjska s udjelom iznad 90 %, dok je u Poljskoj, Bugarskoj, Litvi i Latviji taj udio između 80 i 90 %. Može se vidjeti povezanost vlasništva kupaca nad FNE i vlasništva nekretnine u kojoj kupci žive, odnosno veća je vjerojatnost da će krajnji kupci investirati u FNE ako su vlasnici svoje nekretnine. Suvlasnički udjeli krajnjih kupaca u FNE mogu biti međusobno jednaki [43], [61], mogu se odrediti slobodno [45], [58] te prema udjelu u ukupnoj potrošnji [35], [46].



Slika 2.14. Udio stanovništva koji živi u vlastitoj nekretnini

Pojedinačno vrijeme povrata investicije za kupce uključenje u dijeljenje energije koji su ujedno i suvlasnici jasno je prikazano u radovima [35], [58]. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema udjelu kupaca u ukupnoj potrošnji, pojavljuju se značajne razlike u vremenu povrata investicije pojedinih suvlasnika, koje ovise o načinu na koji se provodi dijeljenje energije. Autori u [35] su promatrali neto mjerenje na mjesečnoj i 15-minutnoj razini te ključ dijeljenja energije na mjesečnoj i 15-minutnoj razini. U slučaju neto mjerenja na razini mjeseca i mjesečnog ključa dijeljenja, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je godinu i pol, dok je u slučaju neto mjerenja na razini 15 minuta i mjesečnog ključa dijeljenja, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije nešto više od jedne godine.

2.3. Plan istraživanja i očekivani znanstveni doprinosi

Nakon provedenog pregleda literature u kojoj se istražuje dijeljenje u višestambenim zgradama vidljivo je da su u fokusu istraživanja različiti pristupi dijeljenju energije. Rezultati se prvenstveno promatraju kroz uštedu koju ostvaruju kupci uključeni u dijeljenje na razini godine. Radovi u kojima se istražuje isplativost investicije u FNE na krovovima višestambenih zgrada uglavnom promatraju agregirane podatke o potrošnji i ukupnu dobit. Vrlo mali broj radova obuhvaća zajedničku proizvodnju s aspekta dijeljenja i s aspekta investicije u FNE. Kada se promatra vlasništvo FNE, samo je nekoliko primjera gdje su krajnji kupci ujedno i vlasnici FNE što se može povezati s činjenicom da kupci u većini slučajeva nisu vlasnici nekretnine u kojoj žive. U primjerima u kojima su kupci investitori i suvlasnici FNE često nedostaje uvid u krajnji ishod investicije za uključene krajnje kupce. Kao krajnji ishod se može promatrati vrijeme povrata investicije za svakog kupca uključenog u dijeljenje koji je ujedno i suvlasnik, što je prikazano samo u dva rada. U jednom radu suvlasnički udjeli u zajedničkoj FNE su određeni na temelju instalirane snage pojedinačnih FNE dok su u drugom radu određeni na temelju ukupne potrošnje što nije pravedan pristup zbog razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije.

Ovo istraživanje za cilj ima predložiti metodu prema kojoj će se odrediti pravedni suvlasnički udjeli u zajedničkoj FNE višestambene zgrade. Metoda će se vrednovati na temelju vremena povrata investicije pojedinih suvlasnika. Pravednim suvlasničkim udjelima mogu se smatrati udjeli koji će rezultirati s minimalnim razlikom između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. Kako bi se potvrdilo da je predložena metoda određivanja suvlasničkih udjela pravedna, uz deterministički pristup koji podrazumijeva jedan krajnji ishod, potrebno je provesti vrednovanje metode stohastičkim pristupom kako bi se u obzir uzele promjene proizvodnje i potrošnje tijekom godina. U literaturi koja proučava dijeljenje energije snaga elektrane je često unaprijed definirana, a kako je ovo istraživanje usmjereno na višestambene zgrade koje na krovu nemaju instaliranu FNE, provest će se postupak dimenzioniranja FNE prema potrošnji kupaca uključenih u dijeljenje i očekivanoj proizvodnji električne energije na odabranoj lokaciji. U obzir će se uzeti i promjena modela prema kojem se obračunava višak isporučene energije za kupce iz kategorije kućanstvo. Prema novom modelu obračuna isporučene energije uvodi se faktor cijene o kojem će ovisiti cijena isporučene energije, a time i ostvarena dobit što će utjecati na iznos optimalne instalirane snage FNE. Pregledom literature utvrđeno je da se dijeljenje obično provodi na manjim sustavima do 10 kupaca. Takav manji sustav je dovoljan da se pokaže način na koji se

pristupa dijeljenju energije na kupce s dovoljno različitom potrošnjom. Za istraživanje je odabrana jedna manja generička višestambena zgrada s 10 kupaca uključenih u dijeljenje. Plan istraživanja se može svesti u nekoliko koraka kako je opisano u nastavku:

1. Prvi korak je preuzimanje podataka o intenzitetu sunčevog zračenja i temperaturi za odabranu lokaciju iz baze podataka s otvorenim pristupom, gdje su dostupni podaci dobiveni satelitskim mjerenjima, s vremenskim intervalom 15 minuta. Zatim se na temelju intenziteta sunčevog zračenja i temperature modelira očekivana proizvodnja FNE za odabranu lokaciju.
2. Zbog nedostupnih podataka o potrošnji s vremenskim korakom 15 minuta, generirat će se sintetički podaci o potrošnji različitih kućanstava. Prvo će se provesti mjerenje potrošnje različitih uređaja u kućanstvu s vremenskom intervalom od 1 minute. Zatim će se za svako kućanstvo u zgradi definirati parametri potrošnje kojima će se u obzir uzeti veličina stana, broj članova kućanstva te vrijeme korištenja uređaja. Na temelju parametara potrošnje, modelirat će se stohastički podaci o potrošnji svakog kućanstva za svaki dan u godini. Potrošnja električne energije za hlađenje će se modelirati na temelju toplinskih karakteristika zgrade i meteoroloških podataka.
3. Sljedeći korak je izrada matematičkog modela za određivanje optimalne instalirane snage FNE višestambene zgrade, prema obračunskom modelu za kupce iz kategorije kućanstvo. Naglasak je stavljen na faktor cijene o kojemu ovisi jedinična cijena isporučene energije. Optimalna instalirana snaga FNE se određuje prema maksimalnoj dobiti tijekom životnog vijeka FNE kroz najveću očekivanu neto sadašnju vrijednost na kraju životnog vijeka pri čemu je ograničenje instalirane snage dostupna površina krova. Pri određivanju optimalne instalirane snage FNE podaci su agregirani, odnosno ne promatra se potrošnja pojedinih kućanstava u višestambenoj zgradi.
4. Kada se odredi optimalna snaga FNE, na redu je izrada matematičkog modela za dinamičko dijeljenje energije na kupce u višestambenoj zgradi. Dinamičko dijeljenje će se provoditi na dva načina, a to su dinamičko dijeljenje proporcionalno potrošnji i dinamičko dijeljenje na temelju pravedne raspodjele.
5. Sljedeći korak je određivanje suvlasničkih udjela u zajedničkoj FNE prema udjelu u ukupnoj potrošnji električne energije, prema udjelu u potrošnji vlastite energije, prema ostvarenoj uštedi te prema ostvarenoj dobiti. Zatim slijedi usporedba metoda određivanja suvlasničkih udjela u FNE višestambene zgrade na temelju determinističkog pristupa gdje

se pretpostavlja da se proizvodnja i potrošnji neće mijenjati tijekom godina. Pretpostavlja se linearna degradacija modula te linearni rast cijene električne energije. Suvlasnički udjeli koji dovedu do minimalne razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije smatrati će se pravednim suvlasničkim udjelima.

6. Posljednji korak je vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela na temelju stohastičkog pristupa, odnosno rezultata Monte Carlo simulacija. Monte Carlo simulacije se primjenjuje kako bi se istražili različiti mogući ishodi zbog nepredvidivih promjena potrošnje i proizvodnje te rasta cijene električne energije. Nepredvidivost proizvodnje se postiže modeliranjem proizvodnje na temelju meteoroloških podataka za različite godine koje su nasumično odabirane. Nepredvidivost potrošnje se postiže stohastičkim podacima o potrošnji te kroz povećanje potrošnje. Nepredvidivost rasta cijene se postiže nasumičnim odabirom godišnje stope inflacije. Za izradu matematičkih modela i provođenje simulacija koristiti će se programski jezik *Python* u *Anaconda* programskom okruženju.

Na temelju pregleda dostupne literature utvrđene je prostor za istraživanje koji se može sažeti kroz sljedeće tri točke:

1. Nema jasno definiranog načina na koji se određuju pravedni suvlasnički udjeli u FNE višestambene zgrade kada su kupci uključeni u dijeljenje ujedno i suvlasnici FNE.
2. Ne postoji jasan uvid u pojedinačno vrijeme povrata investicije suvlasničkih udjela, kako za jedan krajnji ishod u slučaju determinističkog pristupa, tako i za više različitih krajnjih ishoda u slučaju stohastičkog pristupa.
3. Novi obračunski model za kupce iz kategorije kućanstvo u Republici Hrvatskoj nije primijenjen u literaturi.

Na temelju utvrđenog prostora u literaturi te prethodno opisanog plana istraživanja, definirani su sljedeći znanstveni doprinosi koji će se ostvariti ovim istraživanjem:

1. Metoda dimenzioniranja fotonaponske elektrane višestambene zgrade s ciljem maksimizacije dobiti u ovisnosti o faktoru cijene.
2. Metoda određivanja ekonomski pravednih suvlasničkih udjela u fotonaponskoj elektrani višestambene zgrade.
3. Vrednovanje predložene metode određivanja ekonomski pravednih suvlasničkih udjela u fotonaponskoj elektrani višestambene zgrade primjenom Monte Carlo simulacija.

3. METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA ULAZNIH PODATAKA

Kako bi se istražilo dijeljenje energije i određivanje suvlasničkih udjela u FNE višestambene zgradi potrebni su ulazni podaci, a to su proizvodnja električne energije iz FNE i potrošnja električne energije kupaca u višestambenoj zgradi koji su uključeni u dijeljenje energije. Kako nisu dostupni podaci o proizvodnji FNE, potrebno je procijeniti proizvodnju na temelju meteoroloških podataka za odabranu lokaciju. Osim za procjenu proizvodnje FNE, meteorološki podaci potrebni su i za procjenu potrošnje električne energije za toplinske potrebe koje se u ovom slučaju odnose samo na hlađenje prostora, dok se za zagrijavanje prostora i zagrijavanje potrošne tople vode koristi zemni plin.

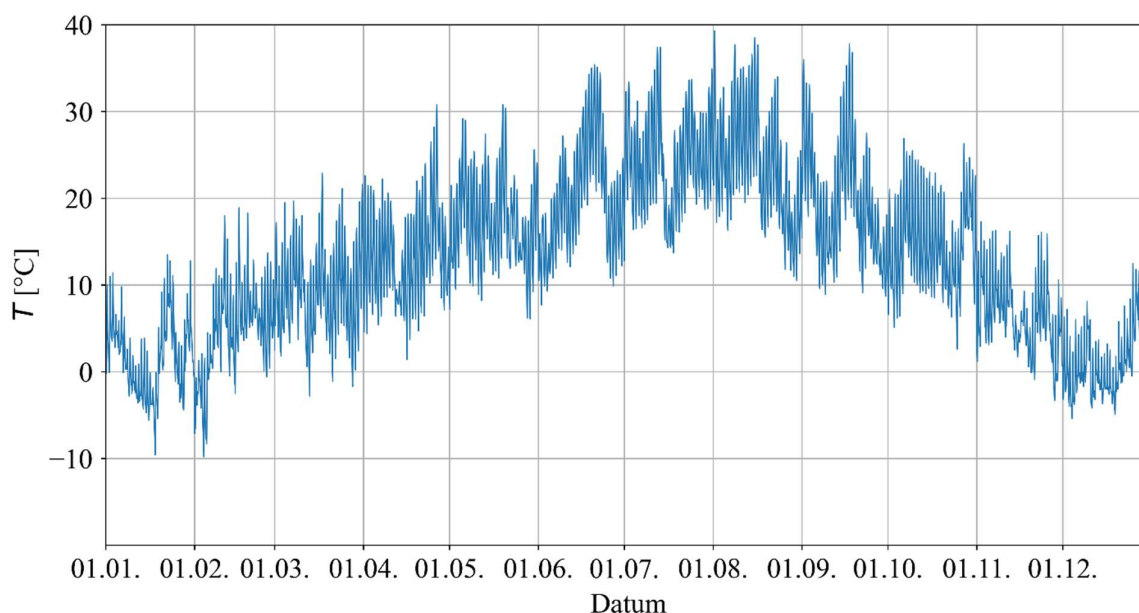
3.1. Meteorološki podaci

Intenzitet sunčevog zračenja i temperatura zraka mogu se dobiti mjerenjem na odabranoj lokaciji, prikupljanjem podataka iz najbliže meteorološke postaje te korištenjem satelitskih podataka. Prednosti i nedostaci navedenih pristupa dobivanju meteoroloških podataka opisani su u nastavku:

- Mjerenje intenziteta sunčevog zračenja na lokaciji daje uvid u stvarne podatke za odabranu lokaciju, međutim mjerenje na lokaciji se rijetko primjenjuje zbog potrebe za nabavom i postavljanjem skupih mjernih uređaja te zbog dugotrajnog procesa mjerenja i prikupljanja potrebnih podataka.
- Prikupljanje podataka iz meteorološke postaje ne zahtjeva nabavu i postavljanje opreme za mjerenje te ne zahtjeva vrijeme kako bi se prikupili potrebni podaci pošto su izmjereni podaci već dostupni. Nedostatak je potencijalno velika udaljenost najbliže meteorološke postaje od odabrane lokacije.
- Korištenje satelitskih podataka se najčešće koristi iz razloga što su satelitski podaci dostupni za bilo koju lokaciju na svijetu te za više uzastopnih godina. Dok neke baze imaju neograničen i otvoren pristup satelitskim podacima, druge baze naplaćuje pristup podacima ili imaju ograničen otvoreni pristup što se može navesti kao nedostatak. Također podaci u bazama se ne ažuriraju svake godine što znači da u nekom trenutku možda nisu dostupni podaci za posljednjih nekoliko godina.

3.1.1. Satelitski podaci

Satelitski podaci o intenzitetu sunčevog zračenja i temperaturi zraka potrebni za procjenu proizvodnje iz FNE na nekoj lokaciji uglavnom se preuzimaju iz sustava PVGIS [84] gdje su dostupne prosječne satne vrijednosti. Kako se dijeljenje energije provodi u skoro stvarnom vremenu, što podrazumijeva vremenski korak od 15 minuta, podaci dostupni kroz PVGIS nisu dovoljni za daljnje istraživanje. Američki *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) kroz svoju bazu podataka *National Solar Radiation Database* (NSRDB) [85] omogućuje pristup prosječnim 15-minutnim satelitskim podacima te rezolucijom od 4 km. Podaci za Europu dostupni su za vremensko razdoblje od 2005. do 2022. te za tipičnu meteorološku godinu (engl. *Typical Meteorological Year* – TMY). Tipična meteorološka godina nije stvarna godina nego su to sintetički podaci koji se dobiju tako da se za svaki mjesec u godini odabere jedan tipični mjesec iz podataka izmjerenih tijekom vremenskog razdoblja od više uzastopnih godina [86]. Kako tipična meteorološka godina predstavlja tipične uvjete na nekoj lokaciji, često se koristi za procjenu proizvodnje FNE. Prosječni 15-minutni podaci o temperaturi zraka na odabranoj lokaciji u gradu Osijeku (45.54° N, 18.73° S) tijekom tipične meteorološke godine prikazani su na Slika 3.1. Minimalna temperatura zraka tijekom tipične meteorološke godine iznosi -9.8 °C, maksimalna 39.3 °C, dok je srednja godišnja temperatura zraka 13.1 °C.

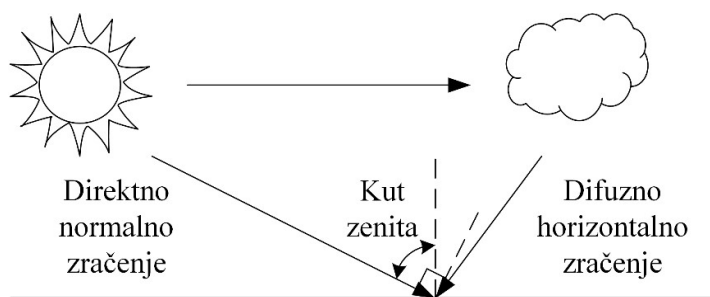


Slika 3.1. Temperatura zraka na odabranoj lokaciji tijekom tipične meteorološke godine

U sustavu PVGIS, korisnici mogu unijeti nagib i azimut, tehnologiju te snagu FN modula na temelju čega dobiju podatke o očekivanoj proizvodnji FNE. Također se mogu dobiti i prosječni satni podaci o intenzitetu sunčevog zračenja na površini FN modula iz kojih se može procijeniti proizvodnja FNE. S druge strane, iz podataka preuzetih iz NSRDB ne može se izravno procijeniti proizvodnja. Potrebno je prvo odrediti vrijednosti intenziteta sunčevog zračenja na površini FN modula iz navedenih dobivenih podataka, a to su:

- intenzitet direktnog normalnog sunčevog zračenja
- intenzitet difuznog horizontalnog sunčevog zračenja
- intenzitet globalnog horizontalnog sunčevog zračenja
- kut zenita
- položaj sunca
- refleksivnost površine

Direktno normalno zračenje je izravno sunčevo zračenje dok je difuzno horizontalno sunčevo zračenje dio sunčevog zračenja raspršen u atmosferi [87]. Direktno i difuzno sunčevo zračenje se mogu vidjeti na grafičkom prikazu na Slika 3.2.



Slika 3.2. Prikaz direktnog normalnog i difuznog horizontalnog sunčevog zračenja

Intenzitet globalnog horizontalnog sunčevog zračenja određuje se iz intenziteta direktnog normalnog i intenziteta difuznog horizontalnog zračenja korištenjem jednadžbe (3-1).

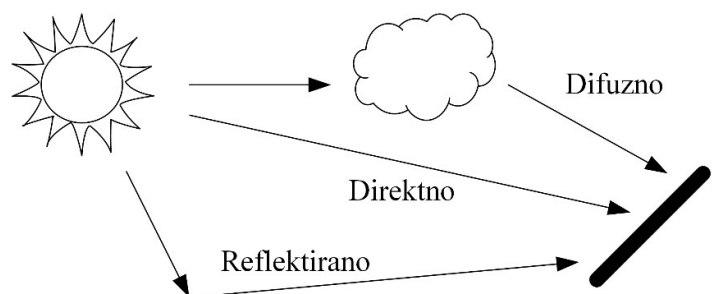
$$G_{GH} = G_{DN} \cdot \cos(Z) + G_{DH} \quad (3-1)$$

gdje je:

- G_{GH} [W/m²] – intenzitet globalnog horizontalnog sunčevog zračenja,
- G_{DN} [W/m²] – intenzitet direktnog normalnog sunčevog zračenja,
- Z [°] – kut zenita,
- G_{DH} [W/m²] – intenzitet difuznog horizontalnog sunčevog zračenja.

3.1.2. Intenzitet sunčevog zračenja na površini pod nagibom

Sunčevo zračenje na površini pod nagibom sastoji se od direktne, difuzne i reflektirane komponente sunčevog zračenja kako je grafički prikazano na Slika 3.3. Direktno sunčevo zračenje je ono koje izravno dolazi na površinu pod nagibom, difuzna komponenta se odnosi na sunčevo zračenje raspršeno u atmosferi dok reflektirana komponenta predstavlja sunčevo zračenje koje se reflektira od površine. Difuzna komponenta sunčevog zračenja ovisi o naoblaci i česticama u atmosferi dok reflektirano sunčevo zračenje ovisi o površini. Refleksivnost površine (engl. *surface albedo*) se može definirati kao udio reflektiranog zračenja u upadnom zračenju [88]. Urbane asfaltirane površine imaju vrijednost blizu 0 što znači da se velik dio zračenja apsorbira dok snijeg i led imaju vrijednost blizu 1 što znači da se velik dio zračenja reflektira.



Slika 3.3. Prikaz direktnog, difuznog i reflektiranog sunčevog zračenja

Za određivanje intenziteta sunčevog zračenja na površini pod nagibom korišten je izotropski model kojeg su razvili Liu i Jordan 1963. godine [89]. U obzir je uzeta pretpostavka da je difuzno sunčevo zračenje jednako u svim smjerovima što je značajno pojednostavilo model. Intenzitet sunčevog zračenja na površini pod nagibom primjenom izotropskog modela određuje se kao zbroj direktne, difuzne i reflektirane komponente sunčevog zračenja prema jednadžbi (3-2).

$$G_{\text{tilted},t} = G_{\text{direct},t} + G_{\text{diffuse},t} + G_{\text{reflected},t} \quad (3-2)$$

gdje je:

- $G_{\text{tilted},t}$ [W/m²] – intenzitet sunčevog zračenja na površini pod nagibom u vremenskom koraku t ,
- $G_{\text{direct},t}$ [W/m²] – intenzitet direktnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t ,
- $G_{\text{diffuse},t}$ [W/m²] – intenzitet difuznog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t ,
- $G_{\text{reflected},t}$ [W/m²] – intenzitet reflektiranog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t .

Direktna komponenta sunčevog zračenja određuje se kao umnožak direktnog normalnog sunčevog zračenja i kosinusa upadnog kuta sunca korištenjem jednadžbe (3-3). Difuzna komponenta sunčevog zračenja određuje se iz difuznog horizontalnog zračenja korištenjem jednadžbe (3-4), dok se reflektirana komponenta sunčevog zračenja određuje iz globalnog horizontalnog zračenja uzimajući u obzir refleksivnost površine prema jednadžbi (3-5).

$$G_{\text{direct},t} = G_{\text{DN},t} \cdot \cos(\theta_t) \quad (3-3)$$

gdje je:

- $G_{\text{DN},t}$ [W/m²] – intenzitet direktnog normalnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t ,
- θ_t [°] – upadni kut sunca u vremenskom koraku t .

$$G_{\text{diffuse},t} = G_{\text{DH},t} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (3-4)$$

gdje je:

- $G_{\text{DH},t}$ [W/m²] – intenzitet difuznog horizontalnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t ,
- β [°] – nagib površine na kojoj se računa intenzitet sunčevog zračenja.

$$G_{\text{reflected},t} = G_{\text{GH},t} \cdot \rho_{\text{ground},t} \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (3-5)$$

gdje je:

- $G_{\text{GH},t}$ [W/m²] – intenzitet globalnog horizontalnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t ,
- $\rho_{\text{ground},t}$ – refleksivnost površine u vremenskom koraku t .

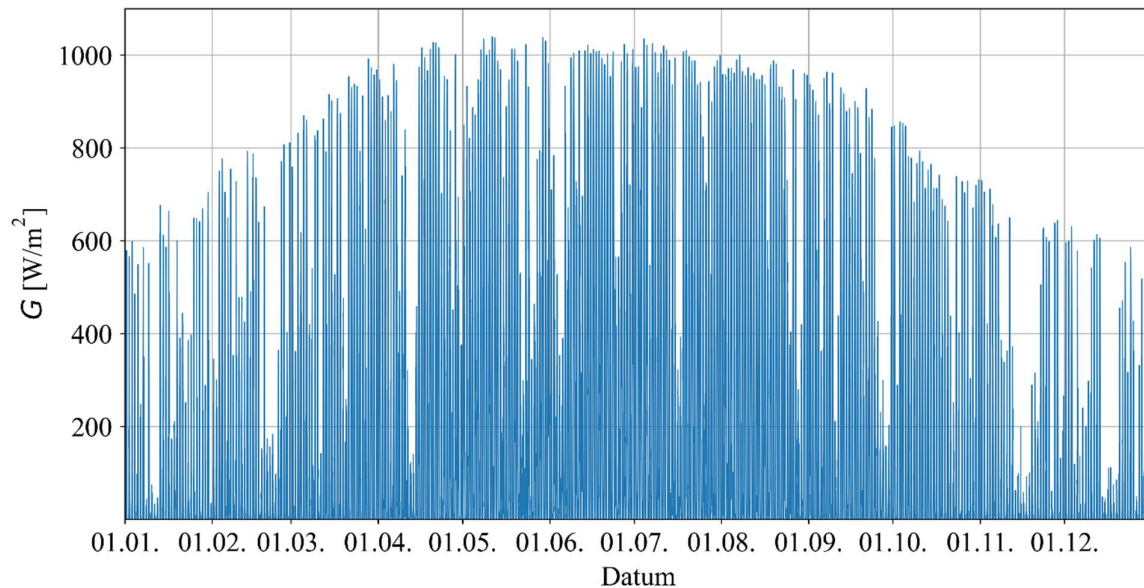
Upadni kut sunca može se definirati kao kut između sunčevih zraka i pravca okomitog na površinu pod nagibom. Kosinus upadnog kuta sunca u vremenskom koraku t može se odrediti prema jednadžbi (3-6). Uz nagib i azimut površine na kojoj se računa intenzitet sunčevog zračenja, potrebno je znati kut zenita te položaj sunca u svakom vremenskom koraku.

$$\cos(\theta_t) = \cos(Z_t) \cdot \cos \beta + \sin(Z_t) \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha_{\text{sun},t} - \alpha) \quad (3-6)$$

gdje je:

- $Z_t [^\circ]$ – kut zenita u vremenskom koraku t ,
- $\alpha_{\text{sun},t} [^\circ]$ – položaj sunca u vremenskom koraku t ,
- $\alpha [^\circ]$ – azimut površine na kojoj se računa intenzitet sunčevog zračenja.

Prosječne 15-minutne vrijednosti intenziteta sunčevog zračenja na površini s nagibom od 20° i azimutom 0° tijekom tipične meteorološke godine na odabranoj lokaciji u gradu Osijeku (45.54° N, 18.73° S) prikazane su na Slika 3.4. Ukupna energija sunčevog zračenja tijekom cijele godine iznosi 1530 kWh/m^2 . U sustavu PVGIS, gdje su podaci dostupno zaključno s 2023. godinom, na istoj lokaciji, uz isti nagib i azimut, dobije se 1560 kWh/m^2 .



Slika 3.4. Prosječne 15-minutne vrijednosti intenziteta sunčevog zračenja na površini s nagibom od 20° i azimutom 0° tijekom tipične meteorološke godine na odabranoj lokaciji

3.2. Proizvodnja fotonaponske elektrane

Kako nisu dostupni podaci o proizvodnji električne energije iz FNE na odabranoj lokaciji potrebno je pomoću modela FNE procijeniti proizvodnju za svaki vremenski korak t . Izlazna snaga FN modula određuje se na temelju intenziteta sunčevog zračenja, površine modula i učinkovitosti prema jednadžbi (3-7). Kada se u jednadžbu uvrsti intenzitet sunčevog zračenja 1000 W/m^2 kao rezultat se dobije nazivna snaga FN modula koja se određuje pri standardnim testnim uvjetima (engl. *Standard Test Conditions* – STC).

$$P_{\text{modul},25} = G_{\text{modul}} \cdot A_{\text{modul}} \cdot \frac{\eta_{\text{modul}}}{100} \quad (3-7)$$

gdje je:

- $P_{\text{modul},25} [\text{W}]$ – izlazna snaga FN modula pri temperaturi FN ćelije 25°C ,
- $G_{\text{modul}} [\text{W/m}^2]$ – intenzitet sunčevog zračenja na površini FN modula,
- $A_{\text{modul}} [\text{m}^2]$ – površina FN modula,
- $\eta_{\text{modul}} [\%]$ – učinkovitost FN modula.

Standardni testni uvjeti su intenzitet sunčevog zračenja 1000 W/m^2 i temperatura FN ćelije 25°C . U stvarnoj primjeni teško je postići standardne testne uvjete jer je temperatura FN ćelije pri intenzitetu sunčevog zračenja 1000 W/m^2 veća od 25°C . Nadalje, pri porastu temperature FN ćelije iznad 25°C dolazi do smanjenja izlazne snage FN modula prema jednadžbi (3-8).

$$P_{\text{modul}} = P_{\text{modul},25} \cdot \left[1 - \frac{\gamma}{100} \cdot (T_{\text{cell}} - 25) \right] \quad (3-8)$$

gdje je:

- $P_{\text{modul}} [\text{W}]$ – izlazna snaga FN modula,
- $\gamma [\%/^\circ\text{C}]$ – temperaturni koeficijent snage,
- $T_{\text{cell}} [^\circ\text{C}]$ – temperatura FN ćelije.

Nominalna radna temperatura ćelije (engl. *Nominal Operating Cell Temperature* – NOCT) izmjerena je pri intenzitetu sunčevog zračenja 800 W/m^2 i temperaturi zraka 20°C . Podatak o nominalnoj radnoj temperaturi ćelije potreban je za procjenu stvarne temperature FN ćelije i dan je od strane proizvođača u specifikacijama FN modula.

Temperatura FN ćelije u vremenskom koraku t određuje se iz temperature zraka i intenziteta sunčevog zračenja prema jednadžbi (3-9). Kada se odredi temperatura FN ćelije, kombinacijom izraza (3-7) i (3-8) određuje se izlazna snaga FN modula u vremenskom koraku t prema jednadžbi (3-10).

$$T_{\text{cell},t} = T_{\text{air},t} + \frac{NOCT - 20}{800} \cdot G_{\text{modul},t} \quad (3-9)$$

gdje je:

- $T_{\text{cell},t} [^{\circ}\text{C}]$ – temperatura FN ćelije u vremenskom koraku t ,
- $T_{\text{air},t} [^{\circ}\text{C}]$ – temperatura zraka u vremenskom koraku t ,
- $NOCT [^{\circ}\text{C}]$ – nominalna radna temperatura FN ćelije,
- $G_{\text{modul},t} [\text{W}/\text{m}^2]$ – intenzitet sunčevog zračenja na površini modula u vremenskom koraku t .

$$P_{\text{modul},t} = G_{\text{modul},t} \cdot A_{\text{modul}} \cdot \frac{\eta_{\text{modul}}}{100} \cdot \left[1 - \frac{\gamma}{100} \cdot (T_{\text{cell},t} - 25) \right] \cdot \frac{k_{\text{degradation},t}}{100} \quad (3-10)$$

gdje je:

- $P_{\text{modul},t} [\text{W}]$ – izlazna snaga FN modula u vremenskom koraku t ,
- $k_{\text{degradation},t} [\%]$ – degradacija FN modula u vremenskom koraku t .

FN modul je izvor električne energije istosmjerne struje pa je potreban izmjenjivač kako bi se FN moduli povezali s izmjeničnim potrošačima i mrežom. Izlazna snaga FNE za odabrani broj FN modula određuje se prema izrazu (3-11). Kada je poznata izlazna snaga FNE u vremenskom koraku t može se odrediti električna energija proizvedena u FNE množenjem snage s vremenskim korakom u satima prema izrazu (3-12). Potrošnja i proizvodnja električne energije se obračunavaju u kWh zbog čega se izraz dijeli s 1000 kako bi se dobila energija u kWh.

$$P_{\text{pv},t} = n_{\text{modul}} \cdot P_{\text{modul},t} \cdot \frac{\eta_{\text{inv}}}{100} \quad (3-11)$$

gdje je:

- $P_{\text{pv},t} [\text{W}]$ – izlazna snaga FNE u vremenskom koraku t ,
- $n_{\text{modul}} [\text{W}]$ – broj FN modula,
- $\eta_{\text{inv}} [\%]$ – učinkovitost FN izmjenjivača.

$$E_{pv,t} = P_{pv,t} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \Delta t \quad (3-12)$$

gdje je:

- $E_{pv,t}$ [kWh] – proizvedena električna energija u FNE u vremenskom koraku t ,
- Δt [h] – vremenski korak.

3.2.1. Specifikacije odabranog FN modula

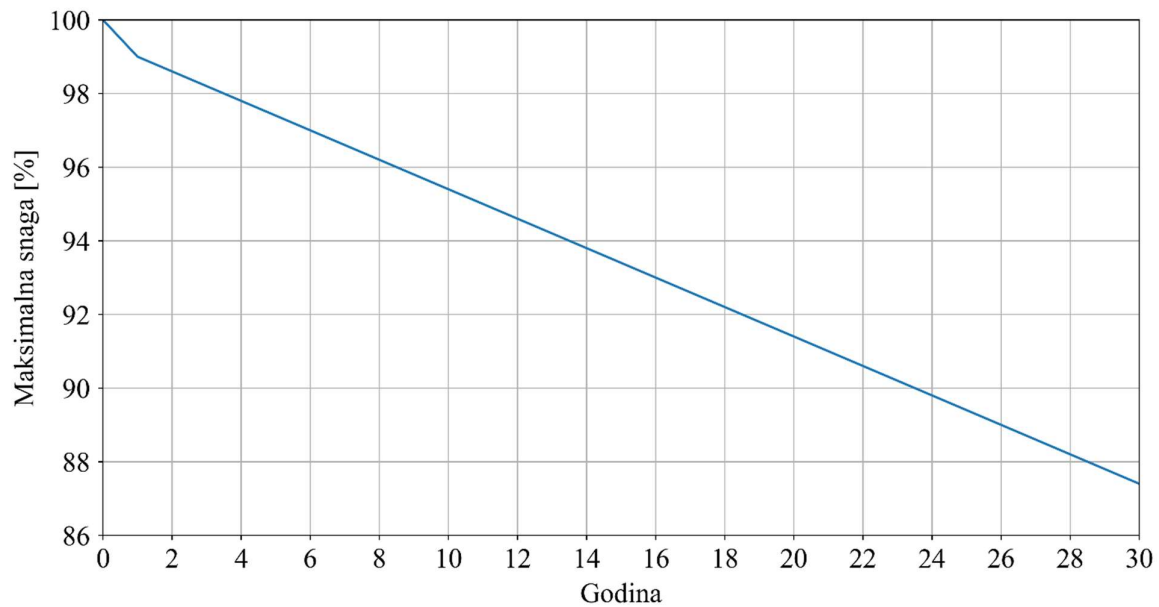
Specifikacije odabranog FN modula nazivne snage 500 W potrebne za procjenu proizvodnje FNE prikazane su u Tablica 3.1. prema podacima danim od strane proizvođača [90]. Tehnologija izrade odabranog FN modula je monokristalni silicij. Dimenzije FN modula su potrebne prilikom određivanja najvećeg broja FN modula odnosno maksimalne instalirane snage FNE. Za instaliranu snagu FNE od 1 kW potrebna su 2 FN modula što znači da je površina FNE po 1 kW instalirane snage 4.448 m².

Tablica 3.1. Specifikacije FN modula TSM-500 NEG18R.28

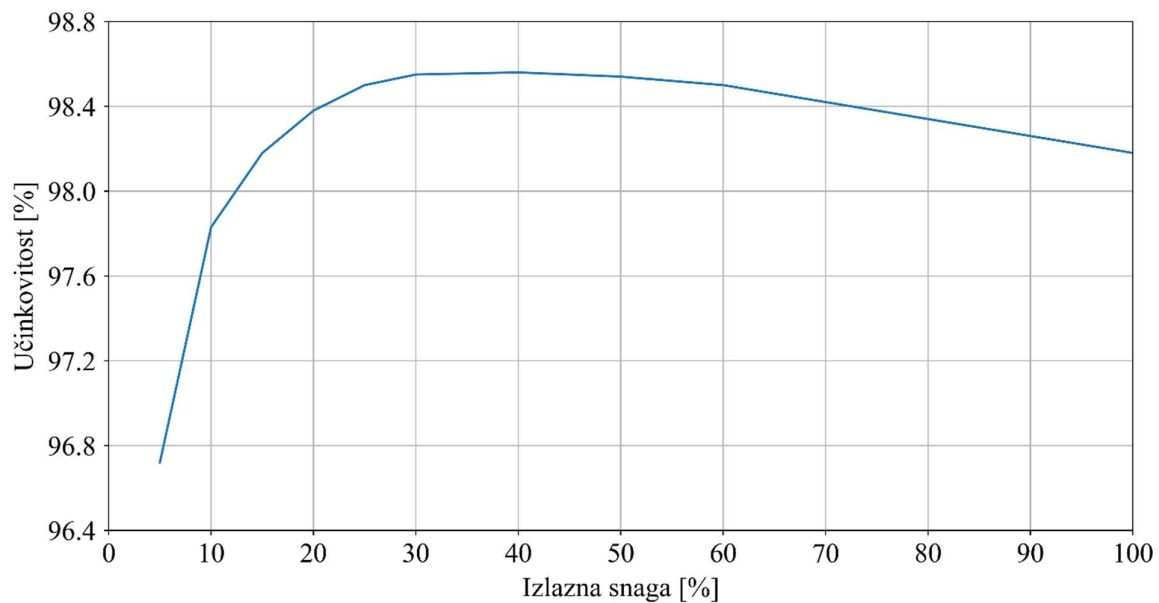
Parametar FN modula	Vrijednost
Snaga FN modula pri STC	500 W
Učinkovitost FN modula	22.5 %
NOCT	43 °C
Temperaturni koeficijent snage	0.29 %/°C
Visina FN modula	1961 mm
Širina FN modula	1134 mm
Površina FN modula	2.224 m ²

Maksimalna izlazna snaga FN modula smanjuje se tijekom vremena zbog čega je u obzir uzet utjecaj degradacije FN modula. Proizvođač garantira da degradacija neće biti veća od 1 % u prvoj godini te 0.4 % u svakoj sljedećoj godini do ukupno 30 godina [90] kako prikazuje graf na Slika 3.5. Maksimalna izlazna snaga FN modula nakon 30 godina će iznositi minimalno 87.4 % nazivne snage. Nakon što prođe 30 godina, degradacija FN modula može biti veća nego što proizvođač garantira za prvih 30 godina, zbog čega je pretpostavljeni životni vijek FNE upravo 30 godina. Učinkovitost izmjenjivača ovisi o izlaznoj snazi kako prikazuje Slika 3.6. prema specifikacijama odabranog izmjenjivača [91]. Kada je izlazna snaga izmjenjivača između 25 i 60 % nazivne snage, učinkovitost je preko 98.5 %. Najveća učinkovitost FN izmjenjivača se

postiže pri opterećenju izmjenjivača s 40 % nazivne snage. Kada je izmjenjivač opterećen više od 60 % nazivne snage, učinkovitost se smanjuje i pri 100 % opterećenja je ispod 98.2 %. Pri manjem opterećenju, učinkovitost izmjenjivača je također manja te pri 10 % opterećenja iznosi 97.8 %.



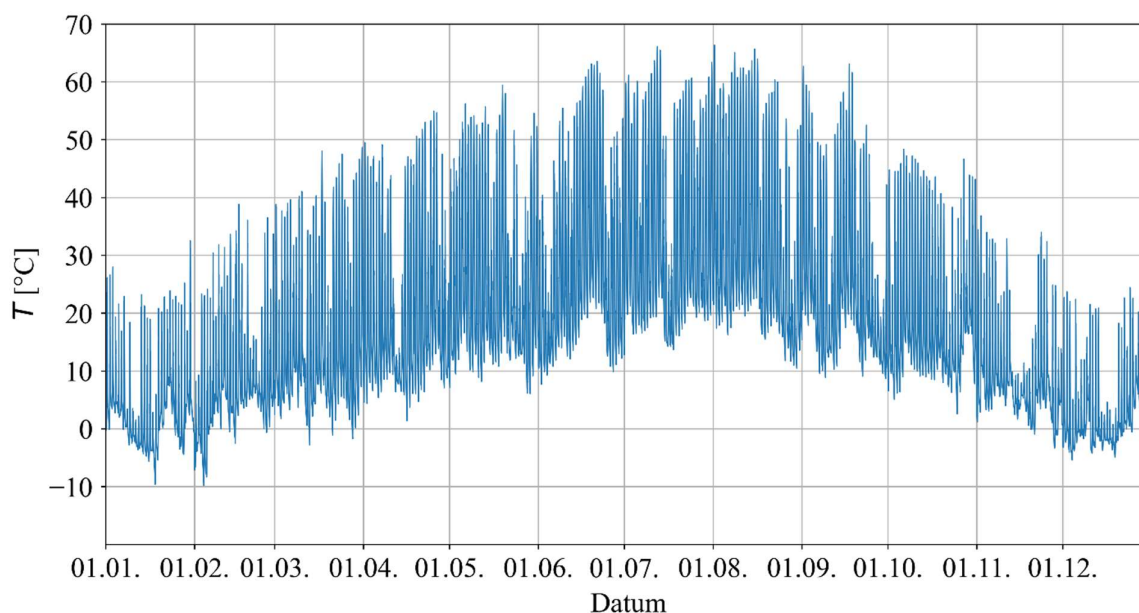
Slika 3.5. Utjecaj degradacije na maksimalnu snagu FN modula



Slika 3.6. Učinkovitost FN izmjenjivača u ovisnosti o izlaznoj snazi

3.2.2. Podaci o proizvodnji za tipičnu meteorološku godinu

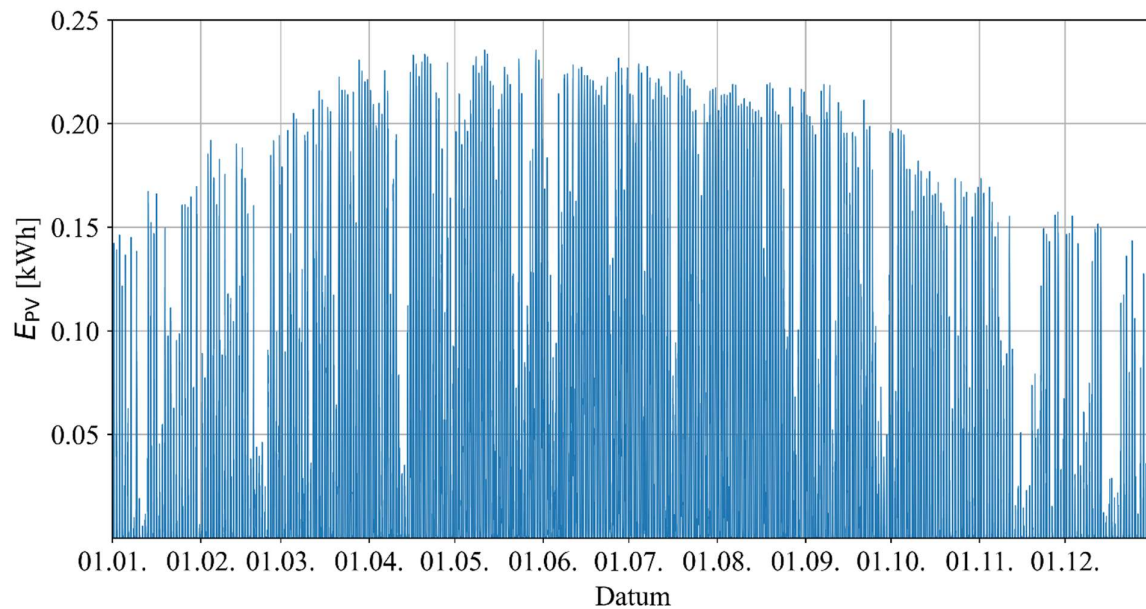
Temperatura FN ćelije tijekom tipične meteorološke godine prikazana je na Slika 3.7. Tijekom promatrane godine, minimalna temperatura ćelije je -9.8°C kao i minimalna temperatura zraka. S druge strane, maksimalna temperatura ćelije je 66.4°C što je za 27.1°C više od maksimalne temperature zraka. Razlog je što je maksimalna temperatura zraka izmjerena na ljetni dan pri visokom intenzitetu sunčevog zračenja što dovodi do zagrijavanja ćelije. Srednja godišnja temperatura ćelije je 18.2°C odnosno za 5.1°C više od srednje godišnje temperature zraka.



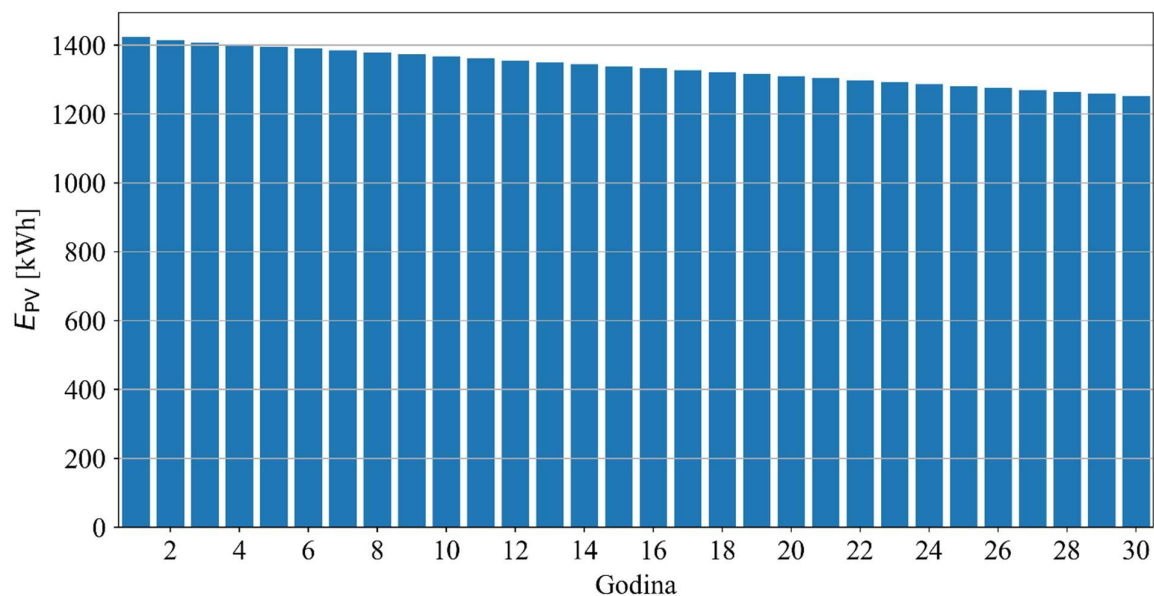
Slika 3.7. Temperatura FN ćelije tijekom tipične meteorološke godine

Podaci o proizvodnji FNE tijekom tipične meteorološke godine s vremenskim korakom od 15 minuta pri 1 kW instalirane snage prikazani su na Slika 3.8. Proizvodnja FNE je veća tijekom ljetnih mjeseci što je i očekivano zbog većeg intenziteta sunčevog zračenja. Vidljiv je i utjecaj temperature ćelije na smanjenje snage. Iako intenzitet sunčevog zračenja u pojedinim vremenskim koracima prelazi 1000 W/m^2 , zbog visoke temperature ćelije, snaga FNE je manja od 1 kW odnosno proizvedeno je manje od 0.25 kWh u svakom vremenskom koraku. Proizvodnja električne energije iz FNE po 1 kW instalirane snage po godinama tijekom vremenskog razdoblja od 30 godina prikazana je na Slika 3.9. Iz godine u godinu se vidi smanjenje ukupne proizvedene električne energije što je posljedica degradacije FN modula. Najviše električne energije po 1 kW

instalirane snage, 1424 kWh, proizvedeno je tijekom prve godine. U drugoj godini je proizvedeno 1413.43 kWh, dok je u trećoj godini proizvedeno 1408 kWh. Proizvedena električna energije po 1 kW instalirane snage u zadnjoj godini iznosi 1252 kWh.



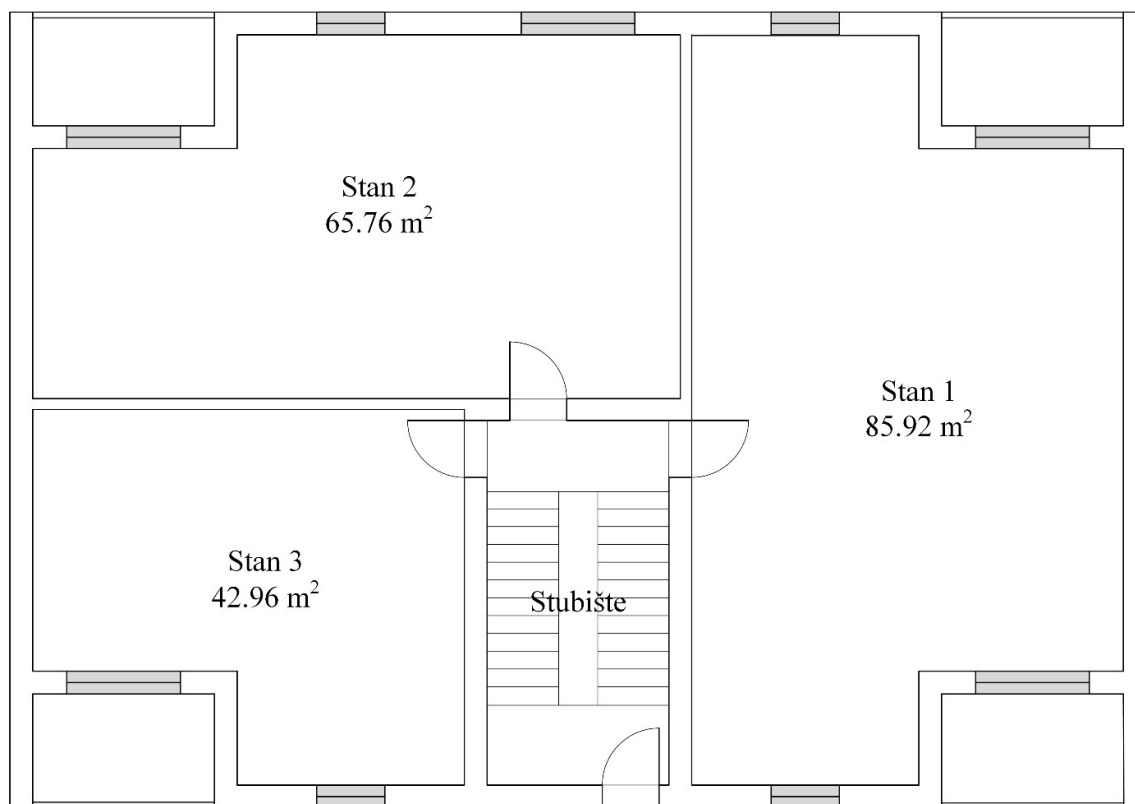
Slika 3.8. Podaci o proizvodnji FNE tijekom tipične meteorološke godine za snagu 1 kW



Slika 3.9. Godišnja proizvodnja FNE za snagu 1 kW tijekom 30 godina

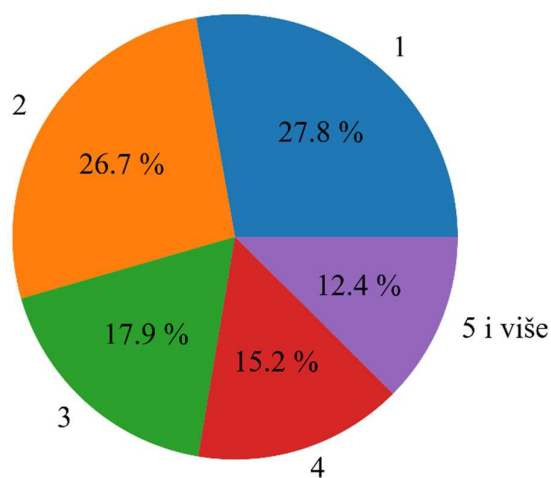
3.3. Potrošnja električne energije u višestambenoj zgradi

Višestambene zgrade u gradu Osijeku uglavnom su manje zgrade, do 5 katova i upravo su takve zgrade obuhvaćene istraživanjem. Promatrane su tipske zgrade s kosim krovom koje se mogu pronaći u nekoliko naselja u gradu Osijeku i sastoje se od prizemlja i 4 kata, ukupno 5 etaža te imaju 15 ili 20 stanova. Za pokrivanje toplinskih potreba, grijanje prostora i grijanje vode, koristi se zemni plin te nemaju dizalo, pumpe za vodu ni toplinsku podstanicu zbog čega ukupna potrošnja električne energije nije velika. Postoji nekoliko podtipova zgrada i u svakom podtipu je zastupljena jedna ili dvije veličine stana. Za istraživanje je potrebna zgrada u kojoj su zastupljene različite veličine kućanstava prema broju članova zbog čega je definirana jedna generička višestambena zgrada s tri različite veličine stana. Fiktivna višestambena zgrada po uzoru na promatrane tipske zgrade ima ukupno 5 etaža, prizemlje i 4 kata, uz pretpostavku da sve etaže imaju isti raspored stanova. Na svakoj etaži nalaze se po 3 stana: stan površine 85.92 m^2 , stan površine 65.76 m^2 i stan površine 42.96 m^2 . kako prikazuje Slika 3.10. Nagib krova je 20° čime se definira i nagib FN modula, uz pretpostavku da je zgrada orijentirana prema jugu, odnosno da je azimut 0° .



Slika 3.10. Prikaz jedne etaže višestambene ugrade

Broj članova kućanstava određen je na temelju podataka iz posljednjeg popisa stanovništva Republike Hrvatske 2021. godine [92]. Dijagram na Slika 3.11. prikazuje udio kućanstava u Hrvatskoj prema broju članova. U Hrvatskoj je 2021. godine bilo ukupno 1,435,440 kućanstava. Od toga je najviše kućanstava s 1 članom, 399,075 ili 27.8 % te s 2 člana, 382,844 ili 26.7 %. Kućanstava s 3 člana je bilo 256,679 ili 17.9 %, dok je kućanstava s 4 člana nešto manje, 218,344 ili 15.2 %. Najmanje je bilo velikih kućanstava s 5 i više članova, 178,498 ili 12.4 %.



Slika 3.11. Broj kućanstava prema broju članova u Republici Hrvatskoj

Na temelju podataka o broju kućanstava prema broju članova određeno je koliko je članova kućanstva u stambenim jedinicama u višestambenoj zgradi kako je prikazano u Tablica 3.2. Članovi kućanstva su raspoređeni prema veličini stanova tako da kućanstva s 4 i 5 članova budu u stanu površine 85.92 m², a kućanstva s 1 članom u stanu površine 42.96 m². Kada se zbroje članovi svih kućanstava dobije se da u višestambenoj zgradi živi ukupno 39 osoba u 15 stambenih jedinica.

Tablica 3.2. Stanovi u višestambenoj zgradi prema površini i broju članova kućanstva

Etaža	Stan	A [m ²]	Osoba	Stan	A [m ²]	Osoba	Stan	A [m ²]	Osoba
P	1	85.92	5	2	65.76	3	3	42.96	2
1	1	85.92	5	2	65.76	3	3	42.96	1
2	1	85.92	4	2	65.76	2	3	42.96	1
3	1	85.92	4	2	65.76	2	3	42.96	1
4	1	85.92	3	2	65.76	2	3	42.96	1

Pretpostavka je da će u dijeljenje energije biti uključeno 60 % suvlasnika višestambene zgrade, odnosno 9 od 15. Ako se tomu doda još i OMM zajedničke potrošnje to je ukupno 10 kupaca koji sudjeluju u dijeljenju energije. U Tablica 3.3. prikazani su kupci koji sudjeluju u dijeljenju energije odabrani tako da bude po 3 velika, 3 srednja i 3 najmanja stana, pri čemu se vodilo računa da se zadrži udio kućanstava prema broju članova kućanstava na temelju podataka iz posljednjeg popisa stanovništva. U dijeljenju energije sudjeluje po 1 kućanstvo s 5 i 4 člana, po 2 kućanstva s 3 i 2 člana te 3 kućanstva s 1 članom što je ukupno 22 osobe u 9 stambenih jedinica.

Tablica 3.3. Kupci u višestambenoj zgradi uključeni u dijeljenje energije

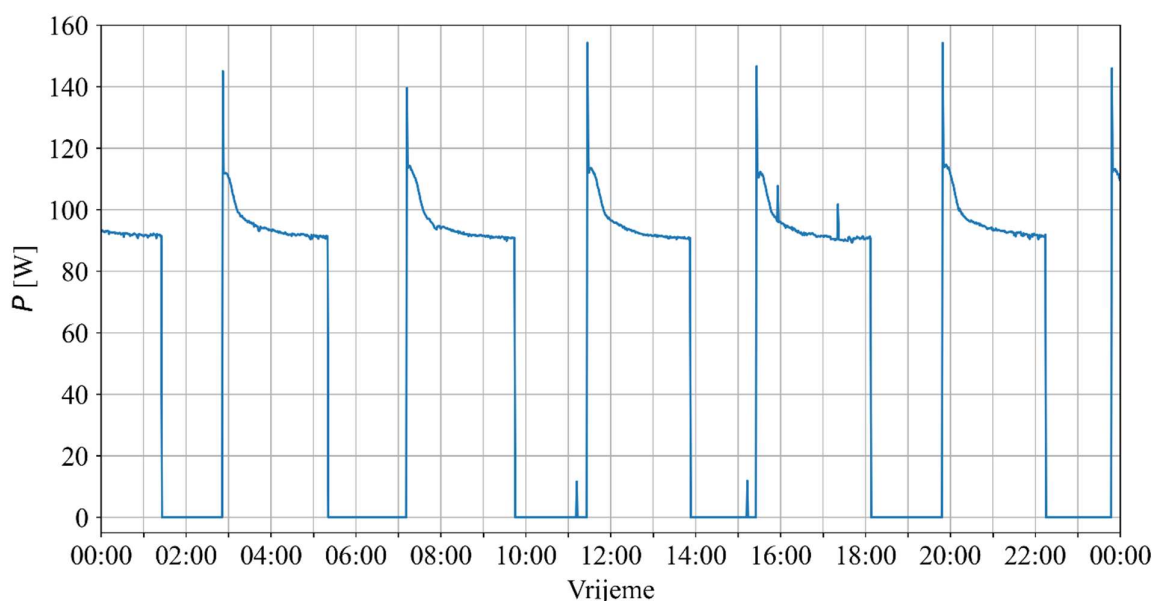
Kupac	Tip	Stan	Članova	Kupac	Tip	Stan	Članova
1	Stan	1	5	6	Stan	2	2
2	Stan	1	4	7	Stan	3	1
3	Stan	1	3	8	Stan	3	1
4	Stan	2	3	9	Stan	3	1
5	Stan	2	2	10	ZP		

3.3.1. Sintetički podaci o potrošnji

Dijeljenje u skoro stvarnom vremenu zahtjeva podatke o potrošnji električne energije svih kupaca koji sudjeluju u dijeljenju s vremenskim korakom od 15 minuta. Zbog nedostupnosti podataka o stvarnoj potrošnji različitih kućanstava koji bi se mogli primijeniti na kućanstva u promatranoj fiktivnoj višestambenoj zgradi, koristiti će se sintetički podaci o potrošnji električne energije. Prvi korak je mjerenje profila potrošnje različitih uređaja u kućanstvu, zatim se na temelju navika potrošnje i broja članova modelira potrošnja uređaja dok se potrošnja električne energije za hlađenje procjenjuje na temelju meteoroloških podataka.

Za mjerenje potrošnje korišten je mjerni uređaj VOLTcraft SEM5000 koji uz prikaz električnih veličina na ekranu ima mogućnost zapisa izmjerenih vrijednosti na SD karticu čime se omogućuje analiza i obrada podataka. Vremenski korak zapisa je 1 minuta, a pohranjuju se podaci o djelatnoj snazi, prividnoj snazi, faktoru snage te efektivnim vrijednostima napona i struje. Za istraživanje su potrebni podaci o potrošnji električne energije zbog čega je naglasak na mjerenju djelatne snage uređaja. Raspon mjerenja djelatne snage je od 0.3 do 3680 W, mjerna nesigurnost je 2 % kada je djelatna snaga veća od 10 W. Mjerna nesigurnost za iznos djelatne snage u rasponu od 3 do 10 W je 10 %, dok za djelatnu snagu manju od 3 W mjerna nesigurnost iznosi 0.03 W.

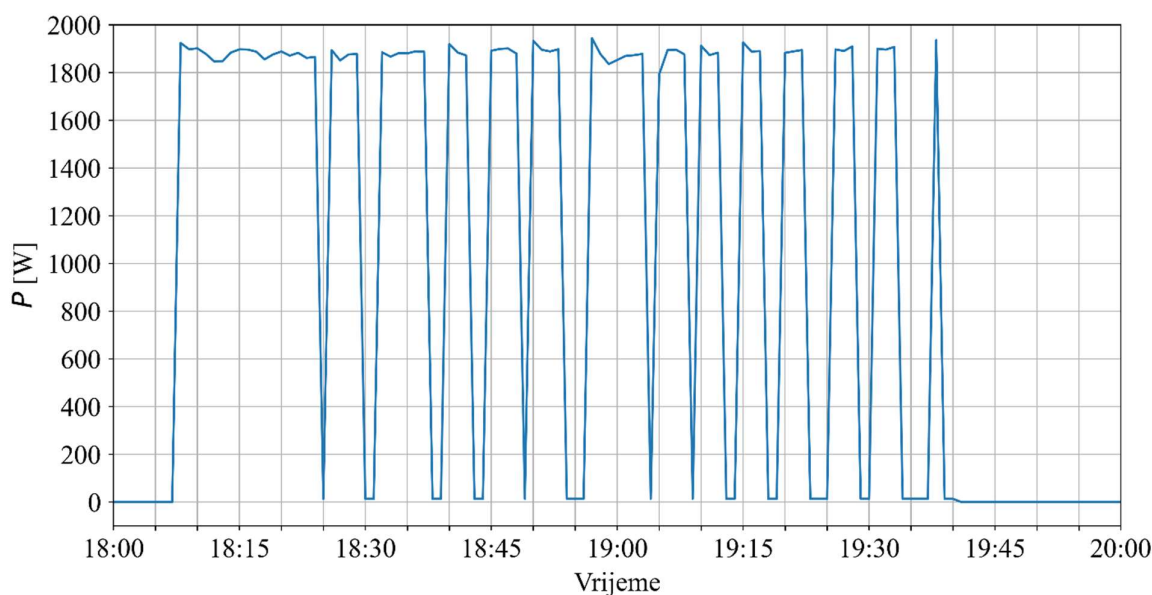
U nastavku su prikazani izmjereni profili potrošnje uređaja koji su značajniji potrošači električne energije u kućanstvima. Jedan od uređaja koji se nalazi u svakom kućanstvu je hladnjak za koji je na Slika 3.12. prikazana djelatna snaga izmjerena tijekom jednog dana. Mogu se lako uočiti dva režima rada hladnjaka, kada je kompresor uključen i kada je kompresor isključen, što je kasnije primijenjeno na modeliranje potrošnje hladnjaka. Izmjerena maksimalna djelatna snaga hladnjaka pojavljuje se u trenutku uključivanja kompresora hladnjaka, a nakon toga se iznos djelatne snage smanjuje. Iako većinu vremena hladnjak radi s djelatnom snagom koja je manja od djelatne snage uređaja s električnim grijačima, hladnjak radi neprestano zbog čega je značajan potrošač električne energije u kućanstvu.



Slika 3.12. Izmjerena djelatna snaga hladnjaka tijekom jednog dana

Iz izmjerene djelatne snage može se vidjeti način na koji mjerni uređaj zapisuje izmjerene vrijednosti na SD karticu. Zapis nakon svake minute nije srednja vrijednost u prethodnoj minuti nego je to trenutna vrijednost u tom trenutku zbog čega se na slici može primijetiti samo šest otvaranja hladnjaka tijekom dana, pri čemu su dva otvaranja snimljena u istom trenutku s uključanjem kompresora hladnjaka. Očekivano je da je broj otvaranja hladnjaka tijekom dana znatno veći međutim zbog načina na koji se zapisuju podaci takve kratkotrajne promjene potrošnje ne mogu se snimiti korištenim uređajem. Za potrebe istraživanja to ne predstavlja veliki problem pošto se promatraju podaci o potrošnji s vremenskim korakom 15 minuta, odnosno promjene koje traju kraće od 1 minute neće značajno utjecati na ukupnu potrošnju tijekom promatranih 15 minuta.

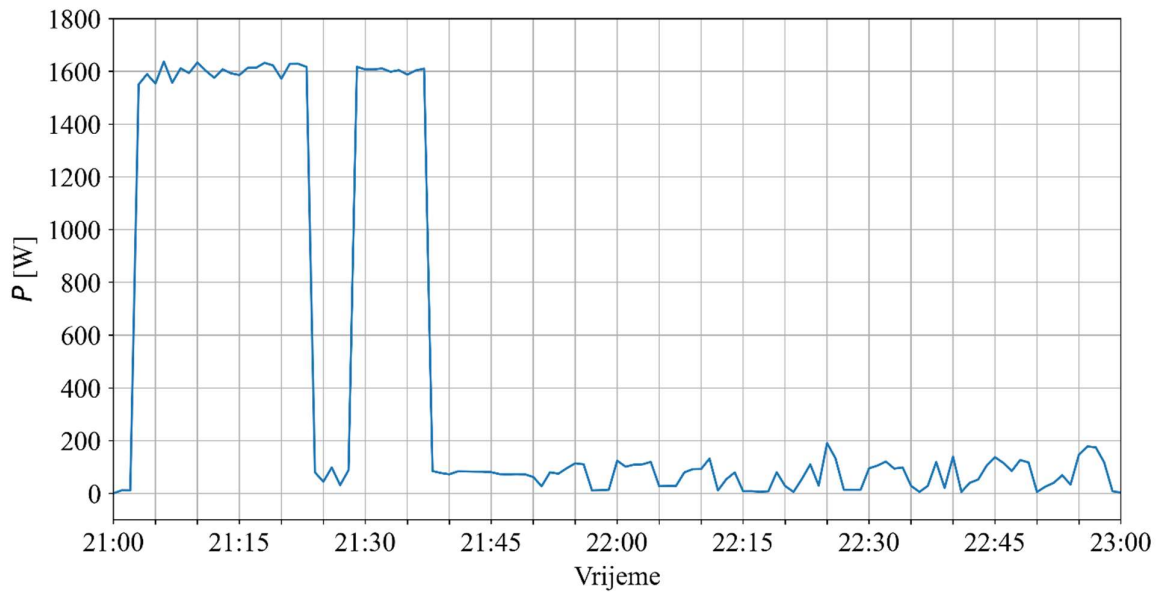
Značajni dio potrošnje električne energije u kućanstvu odlazi na pripremu hrane. Takvi uređaji ne rade cijeli dan, ali zbog električnih grijača imaju veliku djelatnu snagu te u kraćem vremenu potroše značajne količine električne energije. Tu se ubrajaju samostojeći električni štednjaci, ugradbene ploče i pećnice, mikrovalne pećnice te manji uređaji poput tostera, friteza na vrući zrak, pekača za kruh i vafle. Na Sliku 3.13. prikazana je izmjerena djelatna snaga električnog štednjaka kada je uključena samo pećnica. Nakon početnog zagrijavanja pećnice na željenu temperaturu, termostatski isključuje i uključuje grijače kako bi se održavala podešena temperatura u pećnici. Prilikom modeliranja potrošnje pećnice slučajnim odabirom će se definirati vrijeme uključenja i trajanje rada pećnice kako bi se postigla stohastika potrošnje.



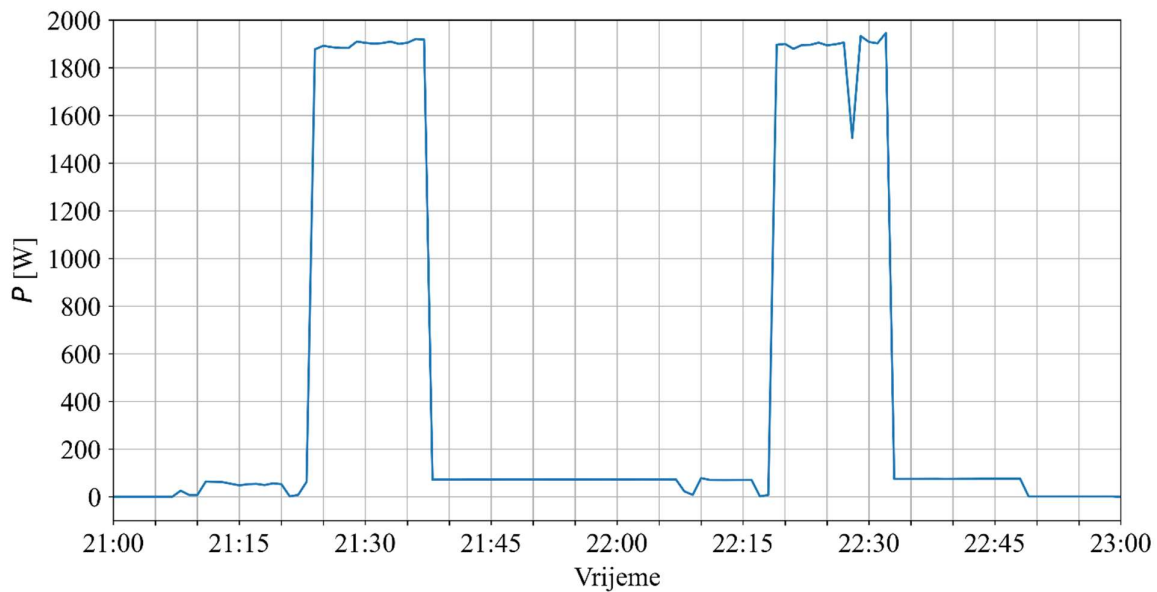
Slika 3.13. Izmjerena djelatna snaga električnog štednjaka kada je samo pećnica uključena

Uređaji za pranje rublja i posuđa također imaju električne grijače zbog čega su značajniji potrošači u kućanstvu. Izmjerena djelatna snaga perilice rublja tijekom jednog ciklusa pranja na temperaturi od 60 °C prikazana je na Sliku 3.14. Vidi se da je grijač za zagrijavanje vode bio uključen dva puta na početku ciklusa kada je izmjerena djelatna snaga 1600 W, prvo tijekom 21 minute, a zatim tijekom 9 minuta. U drugom dijelu ciklusa dominantno radi elektromotor i izmjerena djelatna snaga ne prelazi 200 W. Potrošnja električne energije tijekom promatranog ciklusa pranja iznosi 0.905 kWh. Na Sliku 3.15. prikazana je izmjerena djelatna snaga perilice posuđa tijekom jednog ciklusa pranja. Ovdje se mogu primijetiti dva perioda s uključenim

grijačem u trajanju od 14 minuta. Tijekom promatranog ciklusa pranja, potrošnja električne energije iznosi 0.958 kWh. Prilikom modeliranja potrošnje uređaja s definiranim ciklusom rada, pretpostavit će se da uređaj uvijek radi prema istom ciklusu rada, dok će se stohastika potrošnje postići slučajnim odabirom vremena početka ciklusa pranja.



Slika 3.14. Izmjerena djelatna snaga perilice rublja tijekom jednog ciklusa pranja



Slika 3.15. Izmjerena djelatna snaga perilice posuđa tijekom jednog ciklusa pranja

Prilikom modeliranja potrošnje za svakog kupca se definiraju parametri kojima se nastoji opisati navike potrošnje posebno za svakog kupca. Referentno vrijeme doručka i večere svakim danom te vrijeme ručka neradnim danom za svakog kupca definirano je parametrima potrošnje prikazanim u Tablica 3.4. Kako su uređaji za pripremu hrane značajni potrošači u kućanstvu, vrijeme korištenja tih uređaja će najviše utjecati na konačne podatke o potrošnji električne energije. Prilikom modeliranja potrošnje prvo se slučajnim odabirom definira vrijeme početka obroka unutar referentnog vremenskog intervala od 30 minuta u slučaju doručka te 60 minuta u slučaju večere i ručka. Nakon toga se slučajnim odabirom definira hoće li se za pripremu ručka ili večere koristiti pećnica, grijače ploče, ili oboje. Zatim se definira trajanje pripreme hrane slučajnim odabirom između 60 i 180 minuta u slučaju večere i ručka. U slučaju doručka vrijeme pripreme je znatno kraće, do 30 minuta i modelirana je samo potrošnja ploče za kuhanje.

Tablica 3.4. Referentno vrijeme početka obroka za svakog kupaca

Kupac	Vrijeme doručka	Vrijeme ručka	Vrijeme večere
1	07:00 - 07:30	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00
2	07:30 - 08:00	13:00 - 14:00	19:00 - 20:00
3	07:30 - 08:00	12:30 - 13:30	19:00 - 20:00
4	07:00 - 07:30	13:30 - 14:30	18:00 - 19:00
5	06:30 - 07:00	12:00 - 13:00	19:30 - 20:30
6	07:00 - 07:30	14:00 - 15:00	20:00 - 21:00
7	06:00 - 06:30	12:30 - 13:30	19:00 - 20:00
8	07:00 - 06:30	14:00 - 15:00	20:00 - 21:00
9	06:30 - 07:00	13:30 - 14:30	19:30 - 20:30

U Tablica 3.5. prikazana su referentna vremena, odnosno referentni vremenski intervali unutar kojih se uključuju perilica rublja i perilica posuđa te referentni godišnji broj ciklusa pranja i sušenja rublja. Za perilicu posuđa se pretpostavlja da se koristi svaki dan pa za nju nije definiran referentni broj ciklusa u jednoj godini. Referentni godišnji broj ciklusa pranja je dobiven na temelju pretpostavljenog tjednog broja ciklusa, od 1 do 2 ciklusa tjedno za najmanja kućanstva, te od 6 do 7 ciklusa tjedno ta najveća kućanstva. Prilikom modeliranja potrošnje za svakog kupca slučajnim odabirom se definira ukupan godišnji broj ciklusa te dani kada će se uključivati perilica rublja, a zatim vrijeme uključenja perilice unutar referentnog vremenskog intervala. Svaki puta kada se generira nova godišnja potrošnja za nekog kupca, odabire se neki drugi broj ciklusa tijekom godine i različiti dani kada će se uključiti perilica čime se postiže stohastika potrošnje.

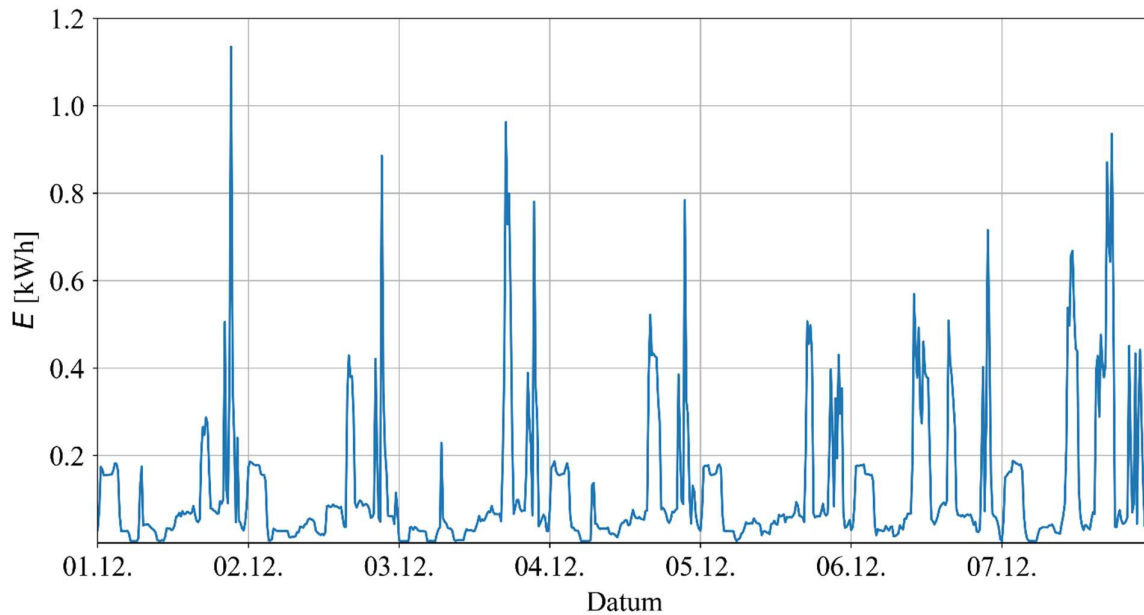
Vrijeme uključenja sušilice rublje je po završetku ciklusa pranja, dok su donja i gornja granica referentnog intervala godišnjeg broja sušenja dvostruko manje od donje i gornje granice referentnog intervala godišnjeg broja pranja. Drugim riječima, pretpostavlja se da se ciklus sušenja rublja pokreće nakon svakog drugog ciklusa pranja.

Tablica 3.5. Godišnji broj ciklusa i referentno vrijeme početka ciklusa

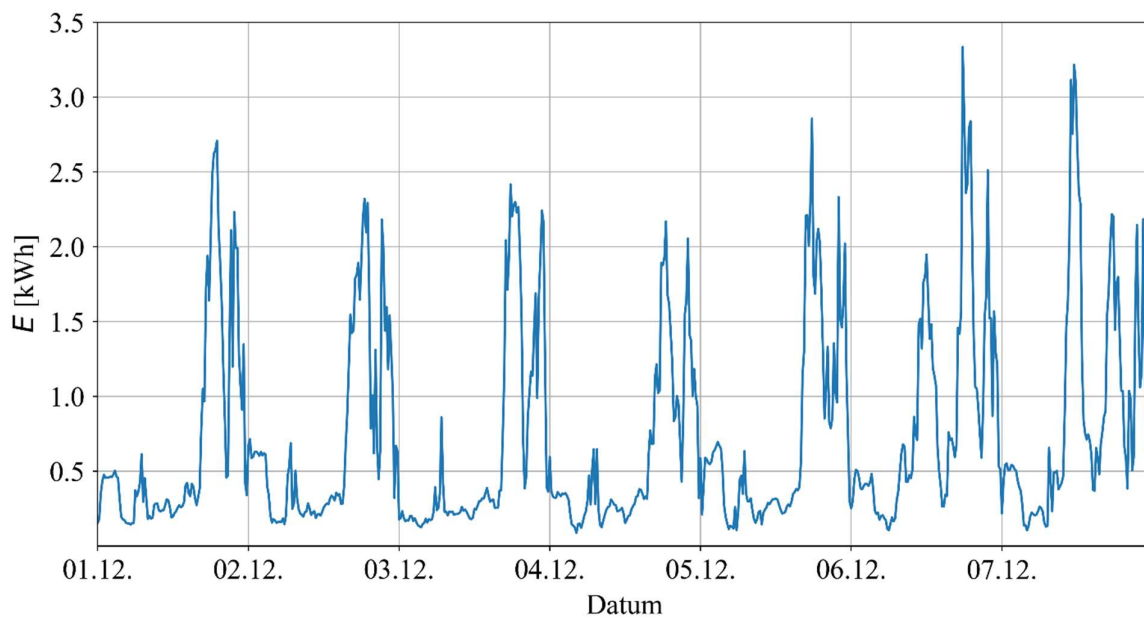
Kupac	Osoba	Godišnji broj pranja	Godišnji broj sušenja	Vrijeme početka pranja rublja	Vrijeme početka pranja posuda
1	5	312 - 360	156 - 180	21:00 - 22:00	20:00 - 21:00
2	4	260 - 312	130 - 156	21:30 - 22:30	21:00 - 22:00
3	3	208 - 260	104 - 130	21:00 - 22:00	21:00 - 22:00
4	3	208 - 260	104 - 130	21:30 - 22:30	20:00 - 21:00
5	2	156 - 208	-	22:00 - 23:00	21:30 - 22:30
6	2	156 - 208	-	22:30 - 23:30	22:00 - 23:00
7	1	52 - 104	-	21:00 - 22:00	21:00 - 22:00
8	1	52 - 104	-	22:30 - 23:30	22:00 - 23:00
9	1	52 - 104	-	22:00 - 23:00	21:30 - 22:30

Dobiveni podaci o potrošnji za kupca 1 s vremenskim korakom 15 minuta, za 7 uzastopnih dana od 1.12. do 7.12., prikazani su na Slika 3.16. gdje se jasno može vidjeti razlika u potrošnji tijekom radnog i neradnog dana. Radnim danom su izražena dva perioda veće potrošnje, poslijepodne kada se priprema večera i navečer kada se uključuju perilica rublja i perilica posuđa. Vrh potrošnje za vrijeme pripreme večere je veći ako se istovremeno koriste pećnica i ploča za kuhanje. Može se dogoditi i da se vršna potrošnja pojavi kasnije navečer ako se u isto vrijeme uključe grijači u perilici rublja i perilici posuđa. Neradnim danom, odnosno subotom i nedjeljom se pojavljuje povećana potrošnja priepodne kada se priprema ručak. Iz profila potrošnje se mogu vidjeti navike potrošnje kroz vrijeme kada se uključuju pojedini uređaji u kućanstvu. Kako to vrijeme nije isto svaki dan i kako se ne koriste svi uređaji jednako svakog dana postigla se nepredvidivost potrošnje što znači da se svaki put generiraju novi podaci o potrošnji različiti od prethodno generiranih podataka. Na Slika 3.17. prikazani su podaci o potrošnji svih kupaca u višestambenoj zgradi koji su uključeni u dijeljenje, tijekom istih 7 dana. Vršna potrošnja radnim danima je u popodnevnim i ranim večernjim satima kada su svi kod kuće i pripremaju večeru, dok neradnim danom vršna potrošnja može biti navečer, ali i oko podneva ako su svi kupci kod kuće i pripremaju ručak. Drugi večernji vrh potrošnje se nastavlja na prvi pošto dio kućanstava uključuje

perilicu posuđa dok dio kućanstava još nije završio s pripremom večere. Korištenje sušilice rublja je također vidljivo iz prikazanih podataka o potrošnji i kako je već ranije rečeno, sušilice rublja se uključuju po završetku ciklusa rada perilice rublja.

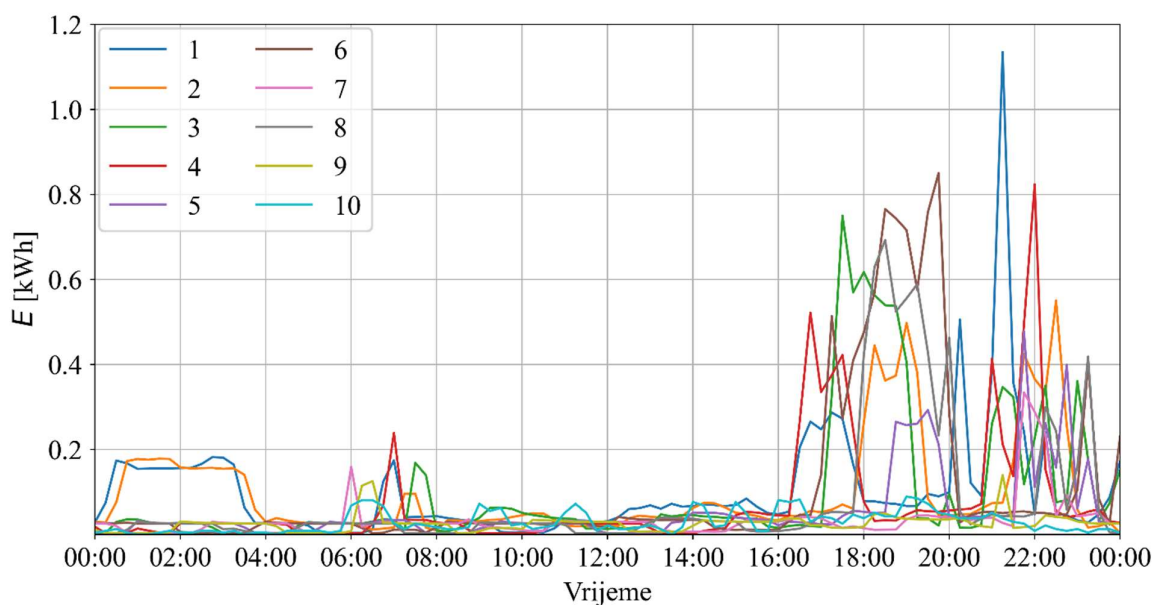


Slika 3.16. Podaci o potrošnji kupca 1 tijekom jednog tjedna



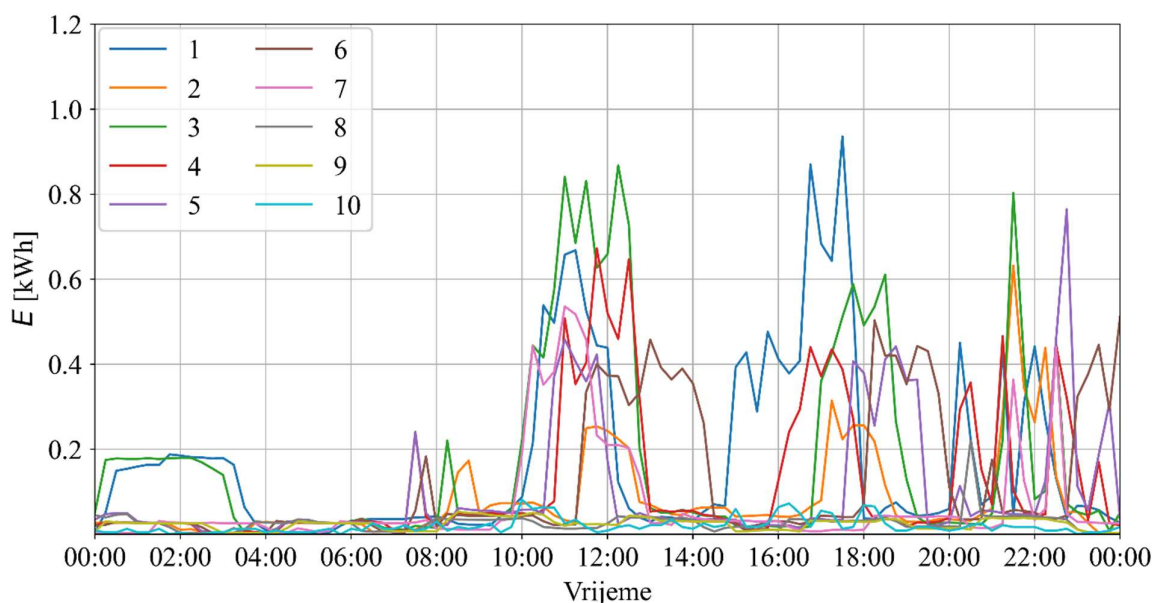
Slika 3.17. Ukupni podaci o potrošnji svih kupaca tijekom jednog tjedna

Pretpostavka je da u svim kućanstvima žive aktivno zaposlene osobe zbog čega je dnevna potrošnja tijekom radnog dana vrlo mala što se može vidjeti na Slika 3.18. koja prikazuje podatke o potrošnji svih kupaca uključenih u dijeljenje tijekom jednog radnog dana s vremenskim korakom 15 minuta. U periodu između 08:00 i 16:00 sati rade hladnjaci te različiti elektronički uređaji u stanju mirovanja, a nakon 16:00 sati kada se ljudi vraćaju s posla počinje rasti potrošnja. Ovim pristupom modeliranju potrošnje se uspjelo postići da kupci u svakom vremenskom koraku imaju različitu potrošnju što je bitno prilikom dijeljenja energije. Drugim riječima, cilj je bio izbjeći da u svakom vremenskom koraku svi kupci troše proporcionalne količine električne energije. To je posebno vidljivo nakon 16.00 sati kada kućanstva uključuju uređaje u različito vrijeme, ali različita potrošnja u svakom vremenskom koraku se može uočiti tijekom cijelog dana.



Slika 3.18. Podaci o potrošnji svih kupaca uključenih u dijeljenje tijekom radnog dana

Neradnim danima potrošnja tijekom dana je veća što se vidi na Slika 3.19. koja prikazuje podatke o potrošnji svih kupaca uključenih u dijeljenje tijekom jednog neradnog dana s vremenskim korakom 15 minuta. Kako je u obzir uzeta pretpostavka da ljudi neradnim danom ustaju kasnije, može se uočiti kasnije vrijeme doručka neradnim danom, između 07:00 i 09:00 sati, u odnosu na vrijeme doručka radnim danom, između 06:00 i 08:00. Uspješno se postiglo da svako kućanstvo ručak pravi korištenjem različitih uređaja s različitom duljinom trajanja, a time se dolazi do različitih podataka o potrošnji za svakog kupca tijekom promatranog dana.



Slika 3.19. Podaci o potrošnji svih kupaca uključenih u dijeljenje tijekom neradnog dana

3.3.2. Potrošnja električne energije za hlađenje

Potrošnja električne energije za hlađenje procijenjena je na temelju meteoroloških podataka za odabranu lokaciju i toplinska svojstva zgrade. Izračun se vrši posebno za svaku od tri veličine stana gdje je uzeta pretpostavka da svi stanovi iste površine imaju istu potrošnju električne energije za hlađenje. Također se pretpostavlja da je željena temperatura ista u svim stanovima i da nema izmjene topline između stanova i prostora unutar zgrade. Orijentacija stana prema stranama svijeta utječe na potrošnju energije za hlađenje. U Tablica 3.6. prikazani su površina i volumen prostora, površine zidova i prozora prema stranama svijeta te ukupno za svaku veličinu stana. Stan 1 orijentiran je na istok, jug i sjever, dok su prozori orijentirani na jug i sjever. Stan 2 orijentiran je na zapad i sjever pri čemu su prozori orijentirani samo na sjever dok je stan 3 orijentiran na jug i zapad pri čemu su prozori orijentirani samo na jug.

Tablica 3.6. Površine zidova i prozora prema stranama svijeta te ukupne površine

Stan	A [m ²]	V [m ³]	Površina zidova [m ²]					Površina prozora [m ²]		
			Istok	Zapad	Sjever	Jug	Ukupno	Sjever	Jug	Ukupno
1	85.92	197.62	28.52	0	11.12	11.12	50.76	5.44	5.44	10.88
2	65.76	151.25	0	13.80	16.56	0	30.36	8.44	0	8.44
3	42.96	98.89	0	14.26	0	11.12	25.38	0	5.44	5.44

Svaka stambena jedinica se promatra kao jedna zona kako bi se pojednostavio proračun što znači da se pretpostavlja jednaka temperatura unutar cijele stambene jedinice. Unutarnja temperatura zraka u svakom vremenskom koraku t određuje se iz unutarnje temperature zraka u prethodnom koraku $t-1$ i toplinskih dobitaka u vremenskom koraku t prema jednadžbi (3-13).

$$T_{\text{indoor},t} = T_{\text{indoor},t-1} + \frac{Q_{\text{transfer},t} + Q_{\text{vent},t} + Q_{\text{int},t} + Q_{\text{sol},t}}{V_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}}} \cdot 3600 \quad (3-13)$$

gdje je:

- $T_{\text{indoor},t} [^{\circ}\text{C}]$ – unutarnja temperatura zraka u vremenskom koraku t ,
- $Q_{\text{transfer},t} [\text{kWh}]$ – prijenos topline kroz građevne elemente u vremenskom koraku t ,
- $Q_{\text{vent},t} [\text{kWh}]$ – prijenos topline ventilacijom prostora u vremenskom koraku t ,
- $Q_{\text{int},t} [\text{kWh}]$ – unutarnji toplinski dobici u vremenskom koraku t ,
- $Q_{\text{sol},t} [\text{kWh}]$ – solarni toplinski dobici u vremenskom koraku t ,
- $V_{\text{air}} [\text{m}^3]$ – volumen zraka koji se nalazi u stambenoj jedinici,
- $\rho_{\text{air}} [\text{kg}/\text{m}^3]$ – gustoća zraka,
- $c_{\text{air}} [\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}]$ – specifični toplinski kapacitet zraka.

Prijenos topline kroz građevne elemente određuje se iz površine zidova i prozora, koeficijenta prolaska topline i razlike između temperature zraka u vremenskom koraku t i unutarnje temperature zraka u prethodnom vremenskom koraku $t-1$ prema jednadžbi (3-14).

$$Q_{\text{transfer},t} = (A_{\text{wall}} \cdot U_{\text{wall}} + A_{\text{window}} \cdot U_{\text{window}}) \cdot (T_{\text{air},t} - T_{\text{indoor},t-1}) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (3-14)$$

gdje je:

- $A_{\text{wall}} [\text{m}^2]$ – ukupna površina zidova za promatranu stambenu jedinicu,
- $U_{\text{wall}} [\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ – koeficijent prolaska topline kroz zidove,
- $A_{\text{window}} [\text{m}^2]$ – ukupna površina prozora za promatranu stambenu jedinicu,
- $U_{\text{window}} [\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ – koeficijent prolaska topline kroz prozore.

Prijenos topline ventilacijom u vremenskom koraku t određuje se na temelju broja izmjena zraka i razlike između temperature zraka u vremenskom koraku t i unutarnje temperature zraka u prethodnom vremenskom koraku $t-1$ prema jednadžbi (3-15).

$$Q_{\text{vent},t} = n_{\text{exchange}} \cdot V_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} \cdot (T_{\text{air},t} - T_{\text{indoor},t-1}) \cdot \frac{1}{3600} \cdot \Delta t \quad (3-15)$$

gdje je:

- n_{exchange} – broj izmjena zraka u jednom satu.

Unutarnji toplinski dobici pojavljuju se zbog uređaja koji emitiraju toplinu u prostor poput hladnjaka ili rasvjetnih tijela te zbog boravka ljudi unutar prostora. Određuju se množenjem specifičnih unutarnjih toplinskih dobitaka za stambene prostore s površinom stambenog prostora prema jednadžbi (3-16).

$$Q_{\text{int},t} = q_{\text{int}} \cdot A \cdot \frac{1}{1000} \cdot \Delta t \quad (3-16)$$

gdje je:

- q_{int} [W/m²] – specifični unutarnji toplinski dobici za stambene prostore,
- A [m²] – površina stambene jedinice.

Solarni dobici u vremenskom koraku t određuju se množenjem površina građevnih elemenata s koeficijentima solarnih dobitaka i intenzitetom sunčevog zračenja na površini pod nagibom od 90° posebno za istok, zapad i jug prema jednadžbama (3-17), (3-18) i (3-19) dok su solarni dobici za sjever zanemareni. Ukupni solarni dobici u vremenskom koraku t dobiju se zbrajanjem solarnih dobitaka po stranama svijeta prema jednadžbi (3-20).

$$Q_{\text{sol,east},t} = (A_{\text{wall,east}} \cdot k_{\text{sol,wall}} + A_{\text{window,east}} \cdot k_{\text{sol>window}) \cdot G_{\text{east},t} \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (3-17)$$

gdje je:

- $Q_{\text{sol,east},t}$ [kWh] – solarni toplinski dobici sa istoka u vremenskom koraku t ,
- $A_{\text{wall,east}}$ [m²] – površina zidova za promatranu stambenu jedinicu prema istoku,
- $k_{\text{sol,wall}}$ – koeficijent solarnih dobitaka za zidove,
- $A_{\text{window,east}}$ [m²] – površina prozora za promatranu stambenu jedinicu prema istoku,
- $k_{\text{sol>window}$ – koeficijent solarnih dobitaka za prozore,
- $G_{\text{east},t}$ [W/m²] – intenzitet sunčevog zračenja sa istoka u vremenskom koraku t .

$$Q_{\text{sol,west,t}} = (A_{\text{wall,west}} \cdot k_{\text{sol,wall}} + A_{\text{window,west}} \cdot k_{\text{sol,window}}) \cdot G_{\text{west,t}} \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (3-18)$$

gdje je:

- $Q_{\text{sol,west,t}}$ [kWh] – solarni toplinski dobici sa zapada u vremenskom koraku t ,
- $A_{\text{wall,west}}$ [m²] – površina zidova za promatranu stambenu jedinicu prema zapadu,
- $A_{\text{window,west}}$ [m²] – površina prozora za promatranu stambenu jedinicu prema zapadu,
- $G_{\text{west,t}}$ [W/m²] – intenzitet sunčevog zračenja sa zapada u vremenskom koraku t .

$$Q_{\text{sol,south,t}} = (A_{\text{wall,south}} \cdot k_{\text{sol,wall}} + A_{\text{window,south}} \cdot k_{\text{sol,window}}) \cdot G_{\text{south,t}} \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (3-19)$$

gdje je:

- $Q_{\text{sol,south,t}}$ [kWh] – solarni toplinski dobici s juga u vremenskom koraku t ,
- $A_{\text{wall,south}}$ [m²] – površina zidova za promatranu stambenu jedinicu prema jugu,
- $A_{\text{window,south}}$ [m²] – površina prozora za promatranu stambenu jedinicu prema jugu,
- $G_{\text{south,t}}$ [W/m²] – intenzitet sunčevog zračenja s juga u vremenskom koraku t .

$$Q_{\text{sol,t}} = Q_{\text{sol,east,t}} + Q_{\text{sol,west,t}} + Q_{\text{sol,south,t}} \quad (3-20)$$

Za svaki vremenski korak t tijekom godine računa se unutarnja temperatura zraka bez korištenja klima uređaja za hlađenje. Dok je unutarnja temperatura manja ili jednaka od željene temperature prostora, klima uređaj se ne koristi. Kada unutarnja temperatura zraka prelazi željenu temperaturu, računa se toplinska energija hlađenja prema izrazu (3-21).

$$Q_{\text{cooling,t}} = \begin{cases} 0 & \text{ako je } T_{\text{indoor,t}} \leq T_{\text{desire}} \\ Q_{\text{transfer,t}} + Q_{\text{vent,t}} + Q_{\text{int,t}} + Q_{\text{sol,t}} & \text{ako je } T_{\text{indoor,t}} > T_{\text{desire}} \end{cases} \quad (3-21)$$

gdje je:

- $Q_{\text{cooling,t}}$ [kWh] – toplinska energija hlađenja u vremenskom koraku t .
- T_{desire} [°C] – željena unutarnja temperatura zraka.

Potrošnja električne energije klima uređaja u vremenskom koraku t određuje se dijeljenjem toplinske energije hlađenja s učinkovitosti klima uređaja, koja predstavlja omjer između korisne toplinske energije i uložene električne energije, prema izrazu (3-22).

$$E_{\text{cooling},t} = \frac{Q_{\text{cooling},t}}{\eta_{\text{cooling}}} \quad (3-22)$$

gdje je:

- $E_{\text{cooling},t}$ [kWh] – potrošnja električne energije za hlađenje u vremenskom koraku t .
- η_{cooling} – učinkovitost hlađenja.

U Tablica 3.7. prikazani su parametri potrebni prilikom proračune električne energije za hlađenje. Promatrane tipske višestambene zgrade prema kojima je definirana generička višestambena zgrada za potrebe istraživanja su karakteristične zbog fasadne opeke. U metodologiji provođenja energetskih pregleda [93] dani su koeficijenti prolaska topline za karakteristične građevne dijelove. Vanjski zid fiktivne zgrade je sendvič zid koji se sastoji od 29 cm šuplje opeke, 5 cm toplinske izolacije i 12 cm fasadne opeke za koji je naveden koeficijent prolaska topline $0.44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Prozori su PVC s dvostrukim izolacijskim staklom s plinovitim punjenjem, lowe premazom i trostrukim brtvljenjem za koje je naveden koeficijent prolaska topline $1.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Specifični unutarnji toplinski dobici za stambene prostore iznose 5 W/m^2 prema normi HRN EN ISO 13790:2008 [94]. Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja za kontinentalnu Hrvatsku, prema normi HRN EN ISO 13790:2008 iznosi 22°C . U modelu se pretpostavlja da se željena temperatura održava cijelo vrijeme što s 22°C dovodi do velike potrošnje energije za hlađenje zbog čega je željena temperatura u modelu 24°C .

Tablica 3.7. Parametri potrebni za proračun energije za hlađenje

Parametar	Vrijednost
Gustoća zraka	1.225 kg/m^3
Specifični toplinski kapacitet zraka	$1.007 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
Koeficijent prolaska topline (zidovi)	$0.44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Koeficijent prolaska topline (prozori)	$1.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Broj izmjena zraka po satu	2
Specifični unutarnji toplinski dobici	5 W/m^2
Koeficijent solarnih dobitaka (zidovi)	0.014
Koeficijent solarnih dobitaka (prozori)	0.1728
Učinkovitost hlađenja	3.5
Željena temperatura	24°C

3.3.3. Referentna godišnja potrošnja električne energije

Na temelju opisanog načina dobivanja sintetičkih podataka o potrošnji i modela za procjenu potrošnje električne energije za hlađenje dobiveni su potrebni podaci o potrošnji električne energije. Radni i neradni dani, definirani su za 2025. godinu dok je potrošnja električne energije za hlađenje procijenjena prema meteorološkim podacima za tipičnu meteorološku godinu. Referentna godišnja potrošnja električne energije kupaca uključenih u dijeljenje energije, godišnja potrošnja u višoj i nižoj tarifi, te godišnja potrošnja energije za hlađenje prikazana je u Tablica 3.8.

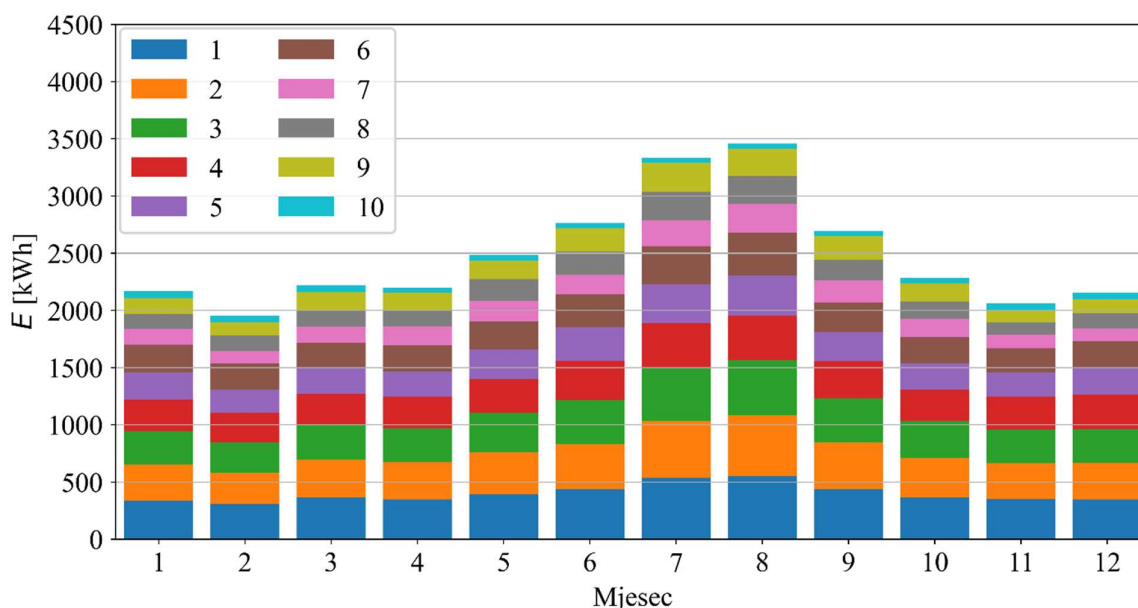
Godišnja potrošnja najviše ovisi o broju osoba u kućanstvu pa je tako referentna godišnja potrošnja kupca 1 s 5 članova kućanstva 4773 kWh, a kupca 2 s 4 člana 4426 kWh. Osim broja osoba, na godišnju potrošnju utječe i veličina stana odnosno potrošnja električne energije za hlađenje pa je tako godišnja potrošnja kupca 4 značajno manja od kupca 3 iako imaju isti broj članova kućanstva. Kupac 10 koji predstavlja OMM zajedničke potrošnje ima najmanju godišnju potrošnju u iznosu od 622 kWh. Kako se radi o manjoj višestambenoj zgradi u kojoj nema dizala, zajednička potrošnja je samo rasvjeta zajedničkih prostora, a to su stubište i podrumске prostorije. Različite navike potrošnje pojedinih kupca se mogu vidjeti kod razlika u potrošnji električne energije u višoj odnosno nižoj tarifi. Najveći udio svoje potrošnje u višoj dnevnoj tarifi ostvario je kupac 1 dok je najveći udio svoje potrošnje u nižoj tarifi ostvario kupac 8. Ukupna godišnja potrošnja električne energije svih kupaca koji sudjeluju u dijeljenju energije je 29,784 kWh od čega 21,663 kWh u višoj tarifi i 8121 kWh u nižoj tarifi.

Tablica 3.8. Referentna godišnja potrošnja električne energije kupaca uključenih u dijeljenje

Kupac	Ukupna potrošnja [kWh]	Potrošnja VT [kWh]	Potrošnja NT [kWh]	Potrošnja energije za hlađenje [kWh]
1	4773	3605	1168	755
2	4426	3173	1253	755
3	4137	3033	1104	755
4	3688	2686	1002	390
5	3059	2175	884	390
6	3083	2198	885	390
7	1966	1453	513	505
8	2006	1423	583	505
9	2024	1455	569	505
10	622	462	160	0
Ukupno	29,784	21,663	8121	4950

Potrošnja energije za hlađenje najveća je u velikim stanovima, što je i očekivano. Godišnja potrošnja klima uređaja iznosi 755 kWh što čini do 18.25 % godišnje potrošnje kupaca. Najmanja potrošnja energije za hlađenje je u stanu srednje veličine, a glavni razlog je orijentacija stana prema sjeveru i zapadu zbog čega su solarni dobici manji nego kod stanova orijentiranih prema jugu. Iznos godišnje potrošnje klima uređaja je 390 kWh što je do 12.75 % godišnje potrošnje kupaca. Najmanji stanovi zbog orijentacije prema jugu imaju veću potrošnju energije za hlađenje, 505 kWh što je i do 25.69 % godišnje potrošnje kupaca. Ukupna potrošnja energije za hlađenje je 4950 kWh što čini 16.62 % ukupne godišnje potrošnje električne energije.

Na Slika 3.20. prikazana je potrošnja svih kupaca koji sudjeluju u dijeljenju energije u višestambenoj zgradi po mjesecima. Vidljiva je veća potrošnja u ljetnim mjesecima, od svibnja do rujna, zbog rada klima uređaja. Najveća potrošnja zabilježena je u kolovozu, ukupno 3458 kWh, dok pojedinačno najveća potrošnja iznosi 550 kWh kod kupca 1, a najmanja ne računajući zajedničku potrošnju 236 kWh kod kupca 9. Najmanja potrošnja zabilježena je u veljači zbog najmanjeg broja dana, ukupno 1954 kWh, dok pojedinačno najveća potrošnja u veljači iznosi 308 kWh kod kupca 1, a najmanja ne računajući zajedničku potrošnju 108 kWh kod kupca 7. Zajednička potrošnja se kreće od 58 do 62 kWh u zimskim mjesecima, dok je u ljetnim mjesecima nešto manja, od 44 do 48 kWh zbog većeg iskorištenja dnevnog svjetla.



Slika 3.20. Potrošnja električne energije kupaca koji sudjeluju u dijeljenju po mjesecima

4. METODA DIMENZIONIRANJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE VIŠESTAMBENE ZGRADE S CILJEM MAKSIMIZACIJE DOBITI U OVISNOSTI O FAKTORU CIJENE

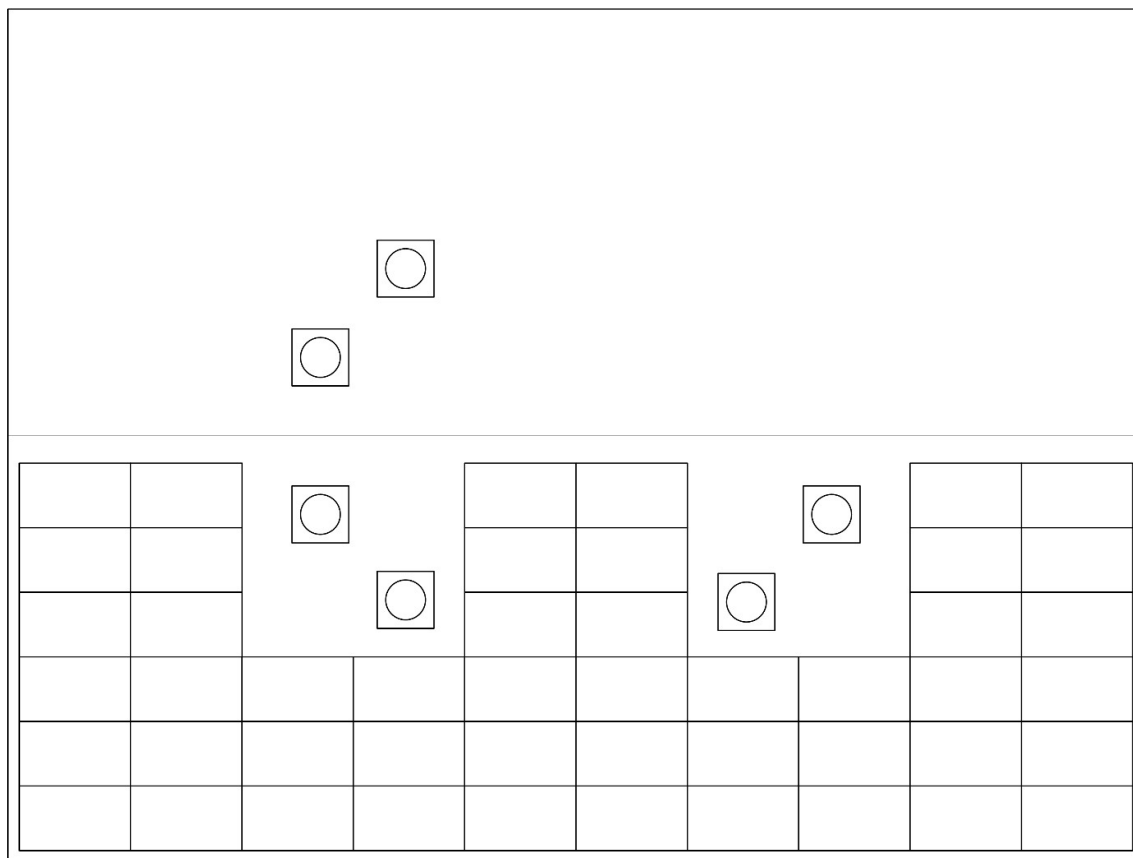
Kako bi se suvlasnici višestambene zgrade odlučili za investiciju u zajedničku FNE, investicija treba biti isplativa, što se može promatrati kroz očekivanu dobit na kraju životnog vijeka FNE. Dobit za suvlasnike FNE višestambene zgrade sastoji se od uštede ostvarene izravnom potrošnjom vlastite energije i zarade od isporučenih viškova proizvedene električne energije koja nije izravno potrošena. Iznos uštede ovisi o navikama potrošnje, što se više vlastite energije izravno potroši, ostvarena ušteda na kaju obračunskog razdoblja je veća. Jedinična cijena preuzete energije veća je od jedinične cijene isporučene energije čime se kupce potiče da prilagode svoju potrošnju proizvodnji, odnosno da što više vlastite energije izravno potroše.

Jedinična cijena isporučene električne energije ovisi o faktoru cijene koji može iznositi maksimalno 1, a minimalno 0. Što je veći faktor cijene, veća je zarada od isporučenih viškova, a time i ukupna ostvarena dobit. Osim o faktoru cijene, na cijenu isporučene energije značajno utječe i količina isporučene energije u odnosu na preuzetu energiju tijekom obračunskog razdoblja. Što je više isporučene nego preuzete energije, cijena isporučene energije je manja, a time i ostvarena zarada te ukupna dobit. Zbog toga je potrebno odrediti optimalnu instaliranu snagu FNE za koju se cijena isporučene energije, a time i ostvarena zarada neće značajno smanjiti, odnosno očekivana dobit će biti maksimalna. Kako se faktor cijene smanjuje od 1 prema vrijednosti 0, zarada postaje manja, odnosno dobit se svodi na ostvarenu uštedu. To dovodi do optimalne instalirane snage FNE pri kojoj će se pokriti što više vlastite potrošnje uz što manje isporučenih viškova.

4.1. Postupak dimenzioniranja fotonaponske elektrane

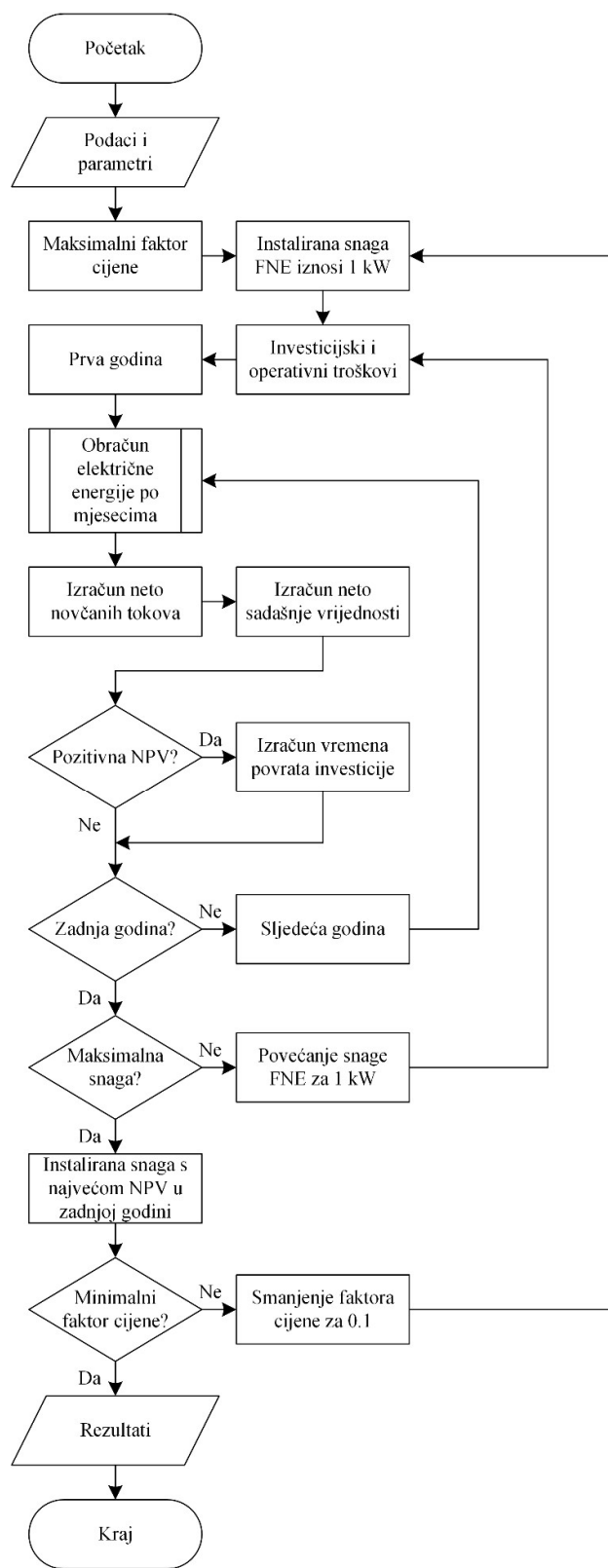
Dimenzioniranje FNE u ovisnosti o faktoru cijene provodi se za 11 različitih vrijednosti faktora cijene u koracima od 0.1, od maksimalne vrijednosti 1 do minimalne vrijednosti 0. Instalirana snaga FNE se povećava do maksimalne snage koja je određena površinom krova višestambene zgrade. Dimenzije krova su 20 m i 7.5 m što dovodi do površine krova orijentirane prema jugu od 150 m². Kada bi se cijela površina krova orijentirana prema jugu mogla iskoristiti za postavljanje FN modula, moglo bi se postaviti ukupno 60 FN modula, što uz nazivnu snagu jednog modula od 500 W dovodi do maksimalne instalirane snage FNE od 30 kW. Kako je grijanje

u promatranoj stambenoj zgradi etažno i u svakom stanu se nalazi kotao na zemni plin, na krovu se nalazi više dimnjaka koji smanjuju raspoloživu površinu krova. Na raspoloživu površinu krova može se postaviti najviše 48 FN modula kako je prikazano na Slika 4.1. što dovodi do maksimalne instalirane snage FNE od 24 kW.

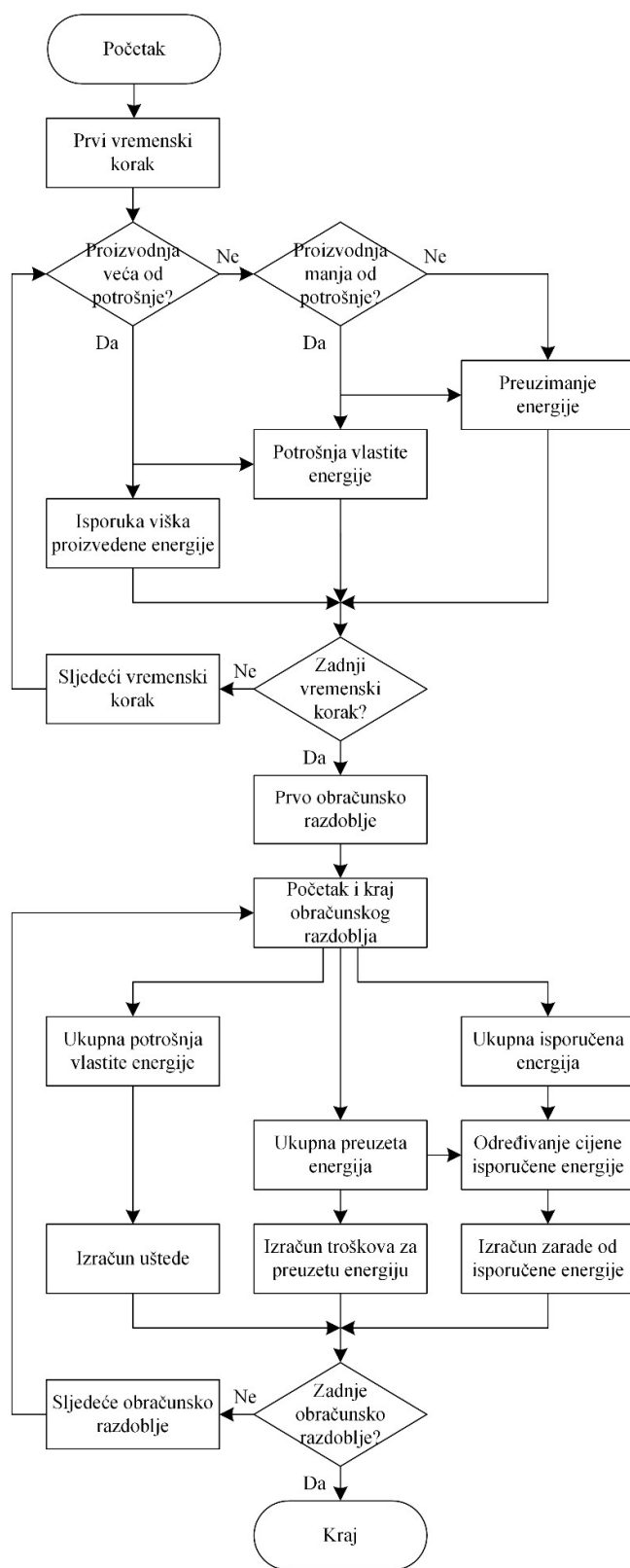


Slika 4.1. Maksimalna iskorištenost površine krova za postavljanje FN modula

Postupak dimenzioniranja FNE prikazan je dijagramom toka na Slika 4.2. Za svaku vrijednost faktora cijena u koracima od 0.1, instalirana snaga se povećava u koracima od 1 kW do maksimalnih 24 kW. Pretpostavka je da investicijski i operativni troškovi rastu proporcionalno instaliranoj snazi FNE. Tijekom životnog vijeka od 30 godina pretpostavlja se ista potrošnja te očekivana proizvodnja na temelju meteoroloških podataka za tipičnu meteorološku godinu uz degradaciju FN modula od 1 % u prvoj i 0.4 % svake sljedeće godine. Za svaku godinu tijekom životnog vijeka provodi se obračun preuzete i isporučene energije po mjesecima. Prvo se određuje preuzeta i isporučena energija u svakom vremenskom koraku t , zatim se određuje ukupna preuzeta i isporučena energija po mjesecima te obračun što prikazuje dijagram toka na Slika 4.3.



Slika 4.2. Postupak dimenzioniranja FNE u ovisnosti o faktoru cijene



Slika 4.3. Obračun preuzete i isporučene električne energije po mjesecima

Ukupna potrošnja električne energije višestambene zgrade u svakom vremenskom koraku t jednaka je zbroju potrošnje svih kupaca uključenih u dijeljenje. Potrošnja vlastite energije u vremenskom koraku t određuje se prema izrazu (4-1) i jednaka je ukupnoj potrošnji ako je proizvodnja veća ili jednaka od ukupne potrošnje, odnosno proizvodnji ako je proizvodnja manja od ukupne potrošnje. Kada proizvodnja u vremenskom koraku t nije dovoljna za pokrivanje ukupne potrošnje određuje se preuzeta energija kao razlika između ukupne potrošnje i proizvodnje prema izrazu (4-2). Kada je proizvodnja veća od ukupne potrošnje u vremenskom koraku t višak proizvedene energije se obračunava kao isporučena energija prema izrazu (4-3).

$$E_{\text{self},t} = \begin{cases} E_{\text{demand},t} & \text{ako je } E_{\text{pv},t} \geq E_{\text{demand},t} \\ E_{\text{pv},t} & \text{ako je } 0 < E_{\text{pv},t} < E_{\text{demand},t} \\ 0 & \text{ako je } E_{\text{pv},t} = 0 \end{cases} \quad (4-1)$$

gdje je:

- $E_{\text{self},t}$ [kWh] – potrošnja vlastite električne energije u vremenskom koraku t ,
- $E_{\text{demand},t}$ [kWh] – ukupna potrošnja električne energije u vremenskom koraku t ,
- $E_{\text{pv},t}$ [kWh] – proizvodnja FNE u vremenskom koraku t .

$$E_{\text{import},t} = E_{\text{demand},t} - E_{\text{self},t} \quad (4-2)$$

gdje je:

- $E_{\text{import},t}$ [kWh] – preuzeta električna energija u vremenskom koraku t .

$$E_{\text{export},t} = \begin{cases} E_{\text{pv},t} - E_{\text{demand},t} & \text{ako je } E_{\text{pv},t} > E_{\text{demand},t} \\ 0 & \text{ako je } E_{\text{pv},t} \leq E_{\text{demand},t} \end{cases} \quad (4-3)$$

gdje je:

- $E_{\text{export},t}$ [kWh] – isporučena električna energija u vremenskom koraku t .

Nakon što se odredi potrošnja vlastite energije i razmjena energije s mrežom za svaki vremenski korak u godini određuje se potrošnja vlastite energije i razmjena energije s mrežom za svako obračunsko razdoblje. Ukupna potrošnja vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i određuje se prema izrazu (4-4), dok se potrošnja vlastite energije u višoj, odnosno u nižoj tarifi određuje prema izrazu (4-5), odnosno prema izrazu (4-6).

$$E_{\text{self},i} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{\text{self},t} \quad (4-4)$$

$$E_{\text{selfVT},i} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=T1}^{T2-1} E_{\text{self},t} \quad (4-5)$$

$$E_{\text{selfNT},i} = \sum_{D1}^{D2} \left(\sum_{t=1}^{T1-1} E_{\text{self},t} + \sum_{t=T2}^T E_{\text{self},t} \right) \quad (4-6)$$

gdje je:

- $E_{\text{self},i}$ [kWh] – potrošnja vlastite električne energije tijekom obračunskog razdoblja i ,
- $D1$ – prvi dan obračunskog razdoblja i ,
- $D2$ – zadnji dan obračunskog razdoblja i ,
- T – broj vremenskih koraka tijekom jednog dana,
- $E_{\text{selfVT},i}$ [kWh] – potrošnja vlastite električne energije u višoj tarifi,
- $T1$ – vrijeme početka više tarife,
- $T2$ – vrijeme početka niže tarife,
- $E_{\text{selfNT},i}$ [kWh] – potrošnja vlastite električne energije u nižoj tarifi.

Na temelju potrošnje vlastite energije za vrijeme trajanja više i niže tarife tijekom obračunskog razdoblja i te na temelju jedinične cijene električne energije u višoj, odnosno nižoj tarifi, uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te porez na dodanu vrijednost (PDV), određuje se ostvarena ušteda prema jednadžbi (4-7).

$$C_{\text{saving},i} = E_{\text{selfVT},i} \cdot C_{\text{VT}} + E_{\text{selfNT},i} \cdot C_{\text{NT}} \quad (4-7)$$

gdje je:

- $C_{\text{saving},i}$ [€] – ušteda ostvarena tijekom obračunskog razdoblja i ,
- C_{VT} [€/kWh] – jedinična cijena električne energije u višoj tarifi uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV,
- C_{NT} [€/kWh] – jedinična cijena električne energije u nižoj tarifi uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV.

Ukupna preuzeta energija tijekom obračunskog razdoblja i određuje se prema izrazu (4-8), dok se preuzeta energije za vrijeme trajanja više, odnosno niže tarife određuje prema izrazu (4-9), odnosno izrazu (4-10).

$$E_{\text{import},i} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{\text{import},t} \quad (4-8)$$

$$E_{\text{importVT},i} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=T1}^{T2-1} E_{\text{import},t} \quad (4-9)$$

$$E_{\text{importNT},i} = \sum_{D1}^{D2} \left(\sum_{t=1}^{T1-1} E_{\text{import},t} + \sum_{t=T2}^T E_{\text{import},t} \right) \quad (4-10)$$

gdje je:

- $E_{\text{import},i}$ [kWh] – preuzeta električna energija tijekom obračunskog razdoblja i ,
- $E_{\text{importVT},i}$ [kWh] – preuzeta električna energija u višoj tarifi,
- $E_{\text{importNT},i}$ [kWh] – preuzeta električna energija u nižoj tarifi.

Na temelju količine električne energije preuzete za vrijeme trajanja više, odnosno za vrijeme trajanja niže tarife tijekom obračunskog razdoblja i te na temelju jedinične cijene električne energije u višoj, odnosno nižoj tarifi, uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV, određuju se troškovi za preuzetu električnu energiju tijekom obračunskog razdoblja i prema izrazu (4-11).

$$C_{\text{import},i} = E_{\text{importVT},i} \cdot C_{\text{VT}} + E_{\text{importNT},i} \cdot C_{\text{NT}} \quad (4-11)$$

gdje je:

- $C_{\text{import},i}$ [€] – troškovi za preuzetu električnu energiju tijekom obračunskog razdoblja i .

Ukupna isporučena energija tijekom obračunskog razdoblja i može se odrediti prema izrazu (4-12). Kada su poznati iznosi ukupne preuzete i isporučene energije tijekom obračunskog razdoblja, može se odrediti jedinična cijena isporučene energije prema izrazu (4-13). U slučaju da je više energije preuzeto nego isporučeno tijekom obračunskog razdoblja, jedinična cijena isporučene energije jednaka je umnošku faktora cijene i prosječne jedinične cijene preuzete

električne energije. U slučaju da je više električne energije isporučeno nego preuzeto tijekom obračunskog razdoblja, jedinična cijena isporučene električne energije se umanjuje proporcionalno omjeru preuzete i isporučene energije. Prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču unutar obračunskog razdoblja određuje se prema jednadžbi (4-14) i ovisi o tome koliko je električne energije preuzeto za vrijeme trajanja više, odnosno niže tarife tijekom obračunskog razdoblja.

$$E_{\text{export},i} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{\text{export},t} \quad (4-12)$$

gdje je:

- $E_{\text{export},i}$ [kWh] – isporučena električna energija tijekom obračunskog razdoblja i .

$$c_{\text{export},i} = \begin{cases} kSO \cdot PKC_i & \text{ako je } E_{\text{export},i} \leq E_{\text{import},i} \\ kSO \cdot PKC_i \cdot \frac{E_{\text{import},i}}{E_{\text{export},i}} & \text{ako je } E_{\text{export},i} > E_{\text{import},i} \end{cases} \quad (4-13)$$

gdje je:

- $c_{\text{export},i}$ [€/kWh] – jedinična cijena isporučene energije unutar obračunskog razdoblja i ,
- kSO – faktor cijene,
- PKC_i [€/kWh] – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupca plaća opskrbljivaču unutar obračunskog razdoblja, pri čemu naknada za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV nisu uključeni.

$$PKC_i = \frac{E_{\text{importVT},i} \cdot C_{vt} + E_{\text{importNT},i} \cdot C_{nt}}{E_{\text{import},i}} \quad (4-14)$$

gdje je:

- C_{vt} [€/kWh] – jedinična cijena električne energije u višoj tarifi bez naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV-a,
- C_{nt} [€/kWh] – jedinična cijena električne energije u nižoj tarifi bez naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV-a.

Kada je poznata jedinična cijena isporučene električne energije za obračunsko razdoblje i može se odrediti zarada od isporučene električne energije tijekom promatranog obračunskog razdoblja množenjem isporučene električne energije s jediničnom cijenom isporučene električne energije prema jednadžbi (4-15).

$$C_{\text{export},i} = E_{\text{export},i} \cdot c_{\text{export},i} \quad (4-15)$$

gdje je:

- $C_{\text{export},i}$ [€] – zarada od isporučene energije tijekom obračunskog razdoblja i .

Nakon što se odrede ušteda ostvarena potrošnjom vlastite energije i zarada od isporučene energije za svako obračunsko razdoblje u godini, mogu se odrediti godišnji neto novčani tokovi kao suma uštede i zarade ostvarene tijekom jedne godine umanjena za godišnje troškove održavanja FNE prema izrazu (4-16).

$$NCF_j = \sum_{i=1}^{12} C_{\text{saving},i} + \sum_{i=1}^{12} C_{\text{rxport},i} - OPEX_j \quad (4-16)$$

gdje je:

- NCF_j [€] – neto novčani tokovi u godini j ,
- $OPEX_j$ [€] – troškovi održavanja FNE u godini j .

Očekivana neto sadašnja vrijednost FNE na kraju godine j jednaka je sumi diskontiranih godišnjih neto novčanih tokova za sve godine zaključno sa godinom j umanjena za troškove investicije u FNE prema izrazu (4-17).

$$NPV_j = -CAPEX + \sum_{j=1}^j \frac{NCF_j}{(1+r)^j} \quad (4-17)$$

gdje je:

- NPV_j [€] – neto sadašnja vrijednost FNE na kraju godine j ,
- $CAPEX$ [€] – troškovi investicije u FNE,
- r – diskontna stopa.

Veća neto sadašnja vrijednost FNE na kraju životnog vijeka ukazuje na veću ostvarenu dobit tijekom životnog vijeka. Optimalna instalirana snaga FNE je ona pri kojoj će se tijekom životnog vijeka ostvariti najveća dobit, odnosno najveća neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka. Kada neto sadašnja vrijednost FNE postigne pozitivnu vrijednost dolazi do povrata investicije u FNE. Očekivano vrijeme povrata investicije u FNE određuje se prema izrazu (4-18) tako da se godini koje je nastupila prije godine u kojoj neto sadašnja vrijednost postaje pozitivna dodaje novčani iznos koji još nije otplaćen podijeljen s očekivanim diskontiranim neto novčanim tokovima u godini u kojoj dolazi do povrata investicije.

$$PBP = j - 1 + \frac{|NPV_{j-1}|}{\frac{NCF_j}{(1+r)^j}} \quad (4-18)$$

gdje je:

- PBP – očekivano vrijeme povrata investicije u FNE.

4.1.1. Parametri ekonomske analize

Parametri potrebni za ekonomsku analizu FNE prikazani su u Tablica 4.1. Ukupni investicijski troškovi u FNE pretpostavljeni su na 1000 €/kW dok se godišnji troškovi održavanja FNE pretpostavljaju na 2 % početne investicije odnosno 20 €/kW. Također treba uzeti u obzir i trošak zamjene izmjenjivača nakon 10 i 20 godina procijenjen na 15 % početne investicije odnosno 150 €/kW. Pretpostavlja se linearni rast cijena tijekom životnog vijeka FNE uz godišnju stopu inflacije u iznosu od 2 %.

Tablica 4.1. Financijski parametri potrebno za ekonomsku analizu FNE

Parametar	Vrijednost
Faktor cijene	0...1
Troškovi investicije	1000 €/kW
Troškovi održavanja	20 €/kW
Troškovi zamjene izmjenjivača	150 €/kW
Životni vijek	30 godina
Stopa inflacije	2 %
Diskontna stopa	3.19 %

Diskontnu stopu objavljuje Ministarstvo Financija Republike Hrvatske [95] na temelju odluke Europske Komisije [96] svakih 6 mjeseci. Prilikom postupka dimenzioniranja FNE uzeta je diskontna stopa u iznosu od 3.19 % koja je stupila na snagu 1. siječnja 2026.

4.1.2. Cijena električne energije

Kako u dijeljenju energije sudjeluju kupci iz kategorije kućanstvo, za obračun električne energije primijenjen je tarifni model bijeli s višom i nižom tarifom. Tijekom zimskog računanja vremena, viša tarifa je na snazi od 07:00 do 21:00 sat, dok je niža tarifa na snazi od 21:00 do 07:00 sati. Tijekom ljetnog računanja vremena, viša tarifa je na snazi od 08:00 do 22:00 sata, dok je niža tarifa na snazi od 22:00 do 08:00 sata.

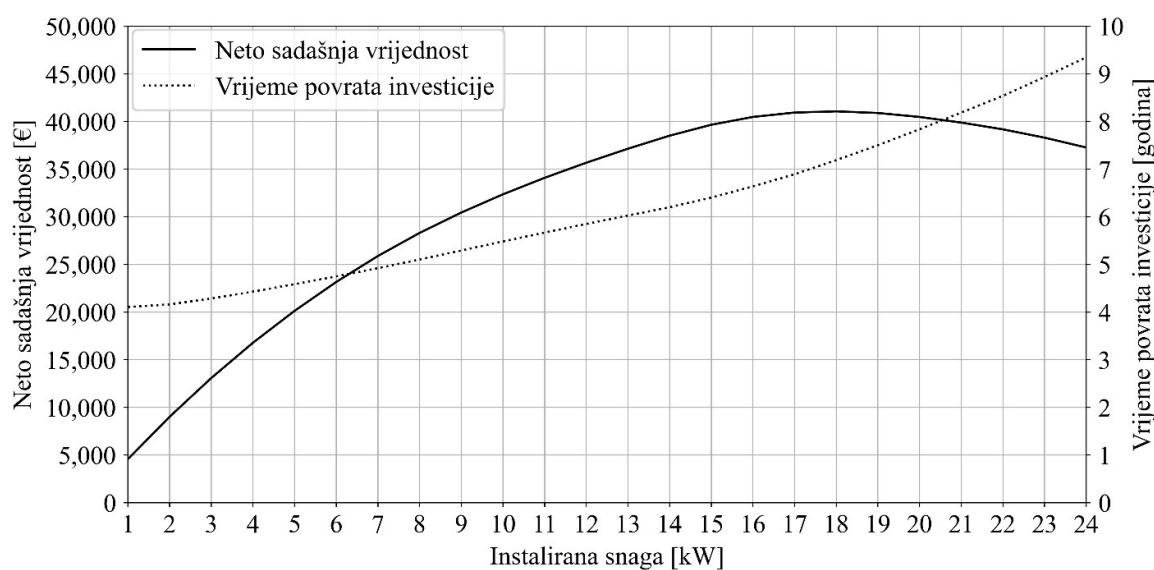
Iznosi tarifnih stavki za opskrbu električnom energijom kupaca iz kategorije kućanstvo u okviru univerzalne usluge prikazani su u Tablica 4.2. Cijene su preuzete s mrežnih stranica HEP – Elektre i na snazi su od 1. studenoga 2025. [97]. U navedenoj tablici također su prikazani i iznosi tarifnih stavki za prijenos i distribuciju električne energije za kupce iz kategorije kućanstvo, preuzeti s mrežnih stranica HEP – Operatora distribucijskog sustava i na snazi od 1. siječnja 2026. [98]. Prilikom izračuna ukupne jedinične cijene električne energije u obzir treba uzeti i naknadu za obnovljive izvore i visokoučinkovitu kogeneraciju te PDV u iznosu od 13 %. Osim varijabilnog dijela računa za električnu energiju koji ovisi o potrošnji električne energije, u ukupni račun za obračunsko razdoblje ulazi i fiksni dio računa odnosno dio koji ne ovisi o potrošnji električne energije. Fiksne stavke na računu za opskrbu električnom energijom su naknada za opskrbu u iznosu od 0.982 €/mesečno i naknada za obračunsko mjerno mjesto u iznosu od 1.724 €/mesečno. Fiksni dio računa uključujući PDV u iznosu od 13 % iznosi 3.0578 €/mesečno. Uz pretpostavku da cijena električne energije raste linearno 2 % svake godine, ukupna jedinična cijena električne energije će nakon 30 godina biti veća za 60 %, odnosno iznositi će 0.3184 €/kWh u višoj tarifi te 0.1620 €/kWh u nižoj tarifi.

Tablica 4.2. Cijena električne energije za kućanstvo prema tarifnom modelu bijeli

Stavka	Viša tarifa	Niža tarifa
Opskrba električnom energijom	0.097189 €/kWh	0.047688 €/kWh
Naknada za distribuciju	0.044446 €/kWh	0.020514 €/kWh
Naknada za prijenos	0.021256 €/kWh	0.008175 €/kWh
Naknada OIE	0.013239 €/kWh	
Ukupna jedinična cijena s PDV-om	0.199027 €/kWh	0.101266 €/kWh

4.2. Instalirana snaga fotonaponske elektrane za maksimalni faktor cijene

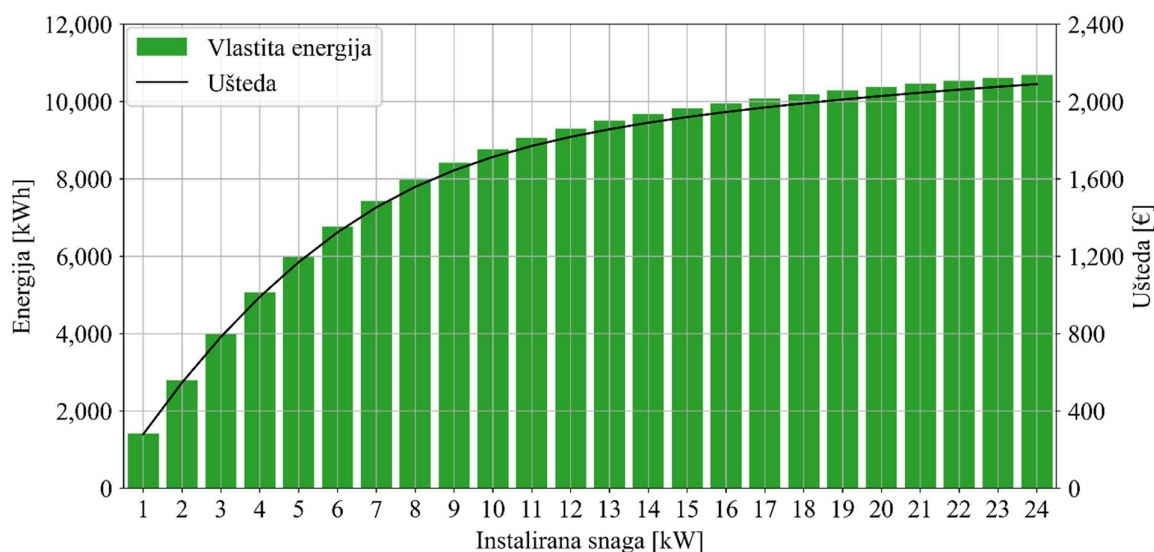
U prvom koraku se dimenzionira zajednička FNE vrši se pri maksimalnom faktoru cijene koji je najpovoljniji za krajnje kupce zbog toga što će rezultirati najvećom jediničnom cijenom isporučene električne energije, a time i najvećom ostvarenom zaradom. Na Slika 4.4. prikazana je neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka FNE i vrijeme povrata investicije u ovisnosti o instaliranoj snazi. S povećanjem instalirane snage FNE, povećava se neto sadašnja vrijednost te se pri instaliranoj snazi od 18 kW postiže najveću vrijednost u iznosu od 41,063.00 €. Kako se instalirana snaga dodatno povećava, dolazi do smanjenja neto sadašnje vrijednosti koji pri maksimalnoj instaliranoj snazi FNE od 24 kW iznosi 37,271.10 €. Očekivano vrijeme povrata investicije se povećava s instaliranom snagom FNE zbog rasta investicijskih troškova, za optimalnu instaliranu snagu FNE od 18 kW vrijeme povrata je 7.19 godina dok pri maksimalnoj instaliranoj snazi FNE od 24 kW vrijeme povrata iznosi 9.35 godina.



Slika 4.4. Neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka FNE i vrijeme povrata investicije u ovisnosti o instaliranoj snazi

Vlastita energija proizvedena u FNE koristi se za vlastitu potrošnju, a ono što se ne potroši izravno isporučuje se opskrbljivaču. Na Slika 4.5. prikazana je godišnja potrošnja vlastite energije te ostvarena ušteda u prvoj godini rada FNE u ovisnosti o instaliranoj snazi. S povećanjem instalirane snage vidljivo je značajno povećanje potrošnje vlastite energije za manje instalirane

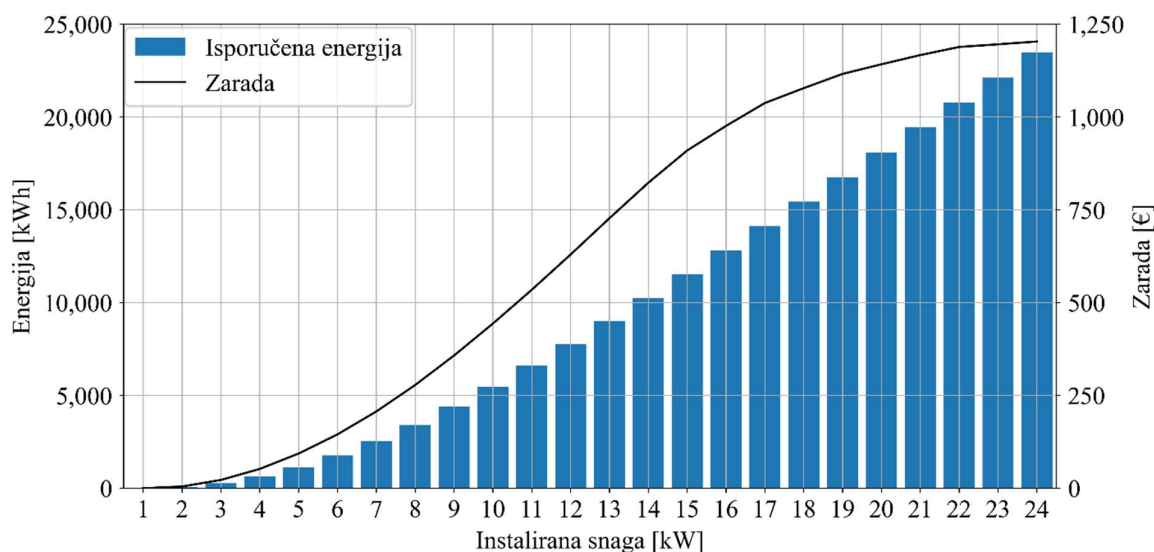
snage dok za veće instalirane snage to povećanje nije toliko izraženo. Kako ostvarena ušteda ovisi o potrošnji vlastite energije, isti trend je vidljiv i kod ovisnosti ostvarene uštede o instaliranoj snazi FNE. Rast ostvarene godišnje uštede za svaki instalirani kW je više izražen kod manjih instaliranih snaga, dok je pri većim instaliranim snagama rast ostvarene godišnje uštede po instaliranom kW manje izražen. Pri nekoj instaliranoj snazi povećanje uštede postaje puno manje od investicijskih i operativnih troškova koji rastu linearno s instaliranom snagom zbog čega daljnje povećanje instalirane snage FNE postaje manje isplativo.



Slika 4.5. Potrošnja vlastite energije i ostvarena ušteda u ovisnosti o instaliranoj snazi

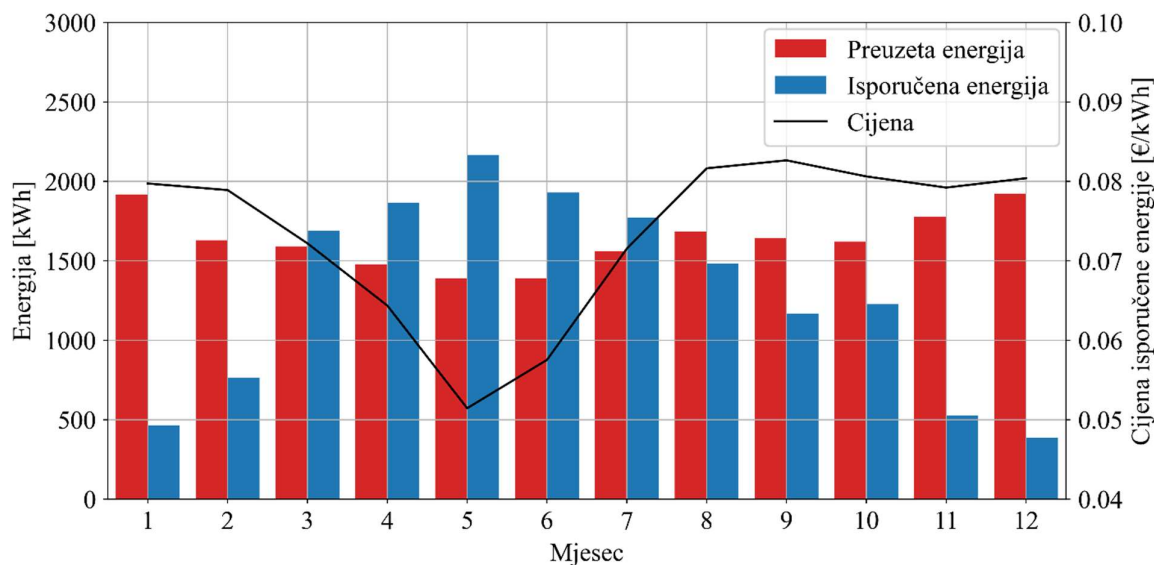
Proizvedena električna energija koja se ne potroši kroz izravno podmirivanje potrošnje isporučuje se opskrbljivaču i za tu energiju opskrbljivač kupcu isplaćuje naknadu koja će se u ovom slučaju promatrati kao zarada od isporučene energije. Slika 4.6. prikazuje isporučenu električnu energiju te zaradu od isporučene električne energije u prvoj godini rada FNE u ovisnosti o instaliranoj snazi. Pri manjim instaliranim snagama, više proizvedene energije se izravno iskoristi za podmirivanje potrošnje nego što se isporuči opskrbljivaču. Pri instaliranoj snazi FNE od 14 kW više energije je isporučeno opskrbljivaču nego što je iskorišteno kroz izravno podmirivanje potrošnje. Kada je instalirana snaga FNE 23 kW, dvostruko više energije je isporučeno opskrbljivaču nego što je iskorišteno kroz izravno podmirivanje potrošnje. Kako rast potrošnje vlastite energije usporava s rastom instalirane snage FNE, raste količine proizvedene energije koja nije iskorištena kroz podmirivanje potrošnje nego je isporučena opskrbljivaču.

Međutim, iako količina isporučene energije kontinuirano raste s povećanjem instalirane snage, rast zarade od isporučene energije ne prati količinu isporučene energije. Pri maloj instaliranoj snazi, zbog malo isporučene energije, zarada je zanemariva u odnosu na ostvarenu uštedu. Kako se povećava instalirana snaga sve je više isporučene energije i zarada značajno raste, ali pri nekoj instaliranoj snazi rast zarade usporava iako količina isporučene energije i dalje raste. Kako se zarada računa kao produkt količine isporučene energije i jedinične cijene isporučene energije potrebno je vidjeti što se događa s jediničnom cijenom isporučene energije.



Slika 4.6. Isporučena električna energija i ostvarena zarada u ovisnosti o instaliranoj snazi

Izračun jedinične cijene isporučene električne energije ovisi o količini preuzete i isporučene energije i kada se tijekom obračunskog razdoblja više energije isporuči nego što se preuzme, jedinična cijena se umanjuje za omjer preuzete i isporučene energije. Slika 4.7. prikazuje jediničnu cijenu isporučene električne energije po mjesecima tijekom prve godine rada FNE pri optimalnoj instaliranoj snazi. U siječnju i veljači te od kolovoza do prosinca, više je energije preuzeto nego isporučeno te jedinična cijena isporučene energije ovisi o količini energije preuzete u višoj odnosno nižoj tarifi. Za detalje je potrebno pogledati Tablica 4.3. u kojoj je prikazana potrošnja vlastite energije, razmjena energije, količina preuzete energije u višoj i nižoj tarifi te jedinična cijena isporučene električne energije po mjesecima. Najveća jedinična cijena isporučene energije, u iznosu od 0.0826 €/kWh, ostvarena je u rujnu zbog najviše preuzete energije u višoj tarifi u odnosu na energiju preuzetu u nižoj tarifi.



Slika 4.7. Jedinična cijena isporučene energije po mjesecima

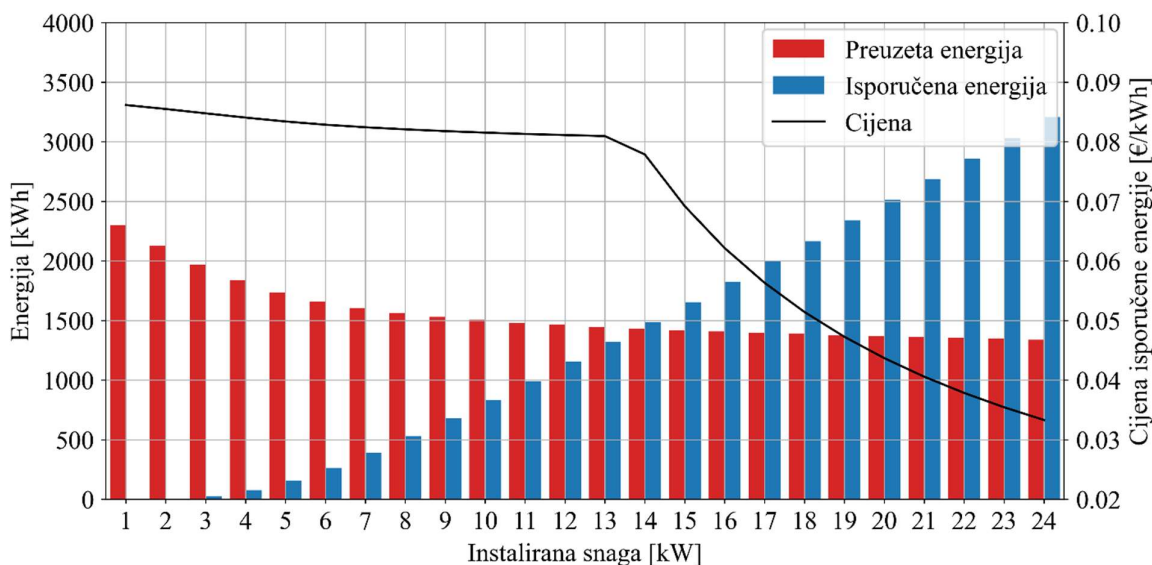
Tablica 4.3. Razmjena energije po mjesecima

Mjesec	$E_{demand,i}$ [kWh]	$E_{pv,i}$ [kWh]	$E_{self,i}$ [kWh]	$E_{import,i}$ [kWh]	$E_{importVT,i}$ [kWh]	$E_{importNT,i}$ [kWh]	$E_{export,i}$ [kWh]	$C_{export,i}$ [€/kWh]
1	2171	715	251	1919	1182	737	464	0.0797
2	1954	1087	324	1630	977	653	763	0.0789
3	2219	2317	630	1589	882	707	1687	0.0722
4	2199	2587	720	1479	956	523	1867	0.0644
5	2483	3262	1095	1388	871	517	2167	0.0514
6	2763	3302	1372	1391	859	532	1930	0.0575
7	3336	3547	1775	1561	1007	554	1772	0.0715
8	3458	3257	1773	1685	1101	584	1484	0.0816
9	2694	2218	1051	1643	1107	536	1167	0.0826
10	2285	1893	665	1620	1026	594	1228	0.0806
11	2065	813	288	1777	1076	701	525	0.0792
12	2157	625	237	1920	1208	712	388	0.0804
Ukupno	29,784	25,623	10,181	19,602	12,252	7350	15,422	-

Od ožujka do srpnja više energije je isporučeno nego preuzeto što je dovelo do smanjenja jedinične cijene isporučene energije. Najviše električne energije se proizvede od svibnja do kolovoza. Međutim u srpnju i kolovozu se najviše proizvedene energije izravno potroši kroz podmirivanje potrošnje zbog povećanih potreba za hlađenjem prostora. Količina isporučene

energije je malo veća od količine preuzete energije u srpnju dok je u kolovozu količina isporučene energije manja od količine preuzete energije. U svibnju nema velike potrebe za hlađenjem prostora što je dovelo do manje energije koje je izravno potrošena, dok je više energije isporučene opskrbljivaču. Zbog množenja s omjerom preuzete i isporučene energije u svibnju je ostvarena najniža jedinična cijene isporučene energije u iznosu od 0.0514 €/kWh.

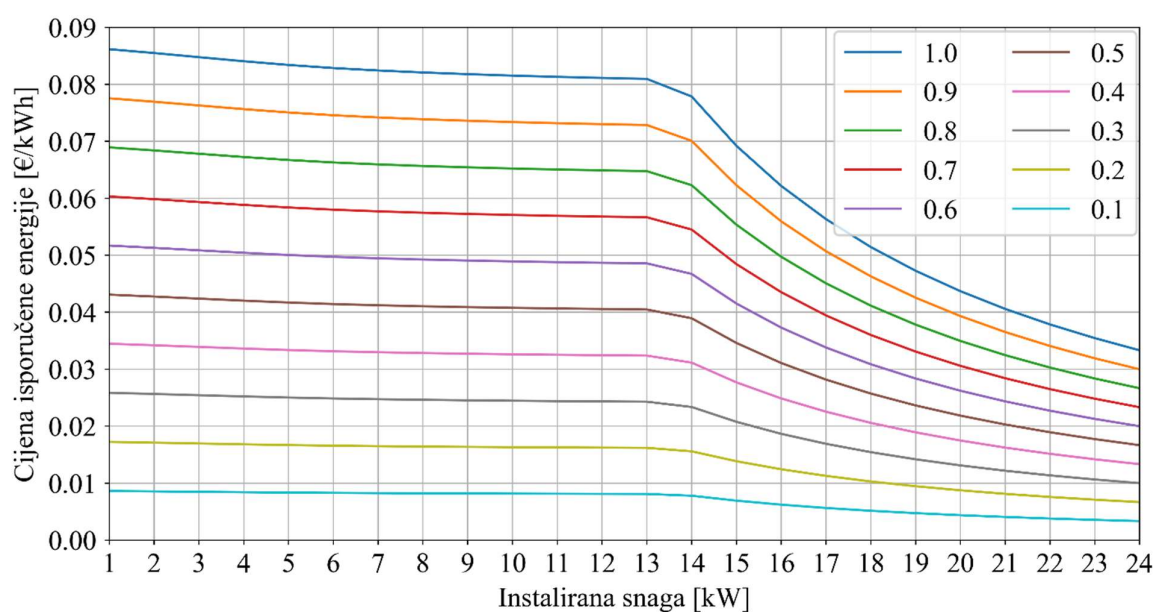
Zbog velike proizvodnje i male potrošnje vlastite energije svibanj je mjesec s najnižom ostvarenom jediničnom cijenom isporučene energije. Na Slika 4.8. prikazana je ovisnost jedinične cijene isporučene energije o instaliranoj snazi FNE u mjesecu svibnju. Dok je instalirana snaga FNE manja od 14 kW, više je preuzete nego isporučene energije što rezultira s višom jediničnom cijenom isporučene energije. Primjetan je blagi pad jedinične cijene isporučene energije zbog toga što se povećanjem instalirane snage FNE smanjuje količina energije preuzeta u višoj tarifi dok količina energija preuzeta u nižoj tarifi ostaje nepromijenjena ili se neznatno smanjuje. Količina isporučene energije je u konstantnom rastu, ali to se ne odražava na iznos jedinične cijene isporučene energije sve dok je količina isporučene energije manja od količine preuzete energije. Kada je instalirana snaga FNE 14 kW ili više, više je isporučene nego preuzete energije što je uzrok značajnom padu jedinične cijene isporučene energije. Iako količina isporučene energije raste, zbog niže jedinične cijene isporučene energije zarada od isporučene energije se smanjuje što predimenzioniranu FNE čini manje isplativom.



Slika 4.8. Jedinična cijena isporučene energije u svibnju u ovisnosti o instaliranoj snazi

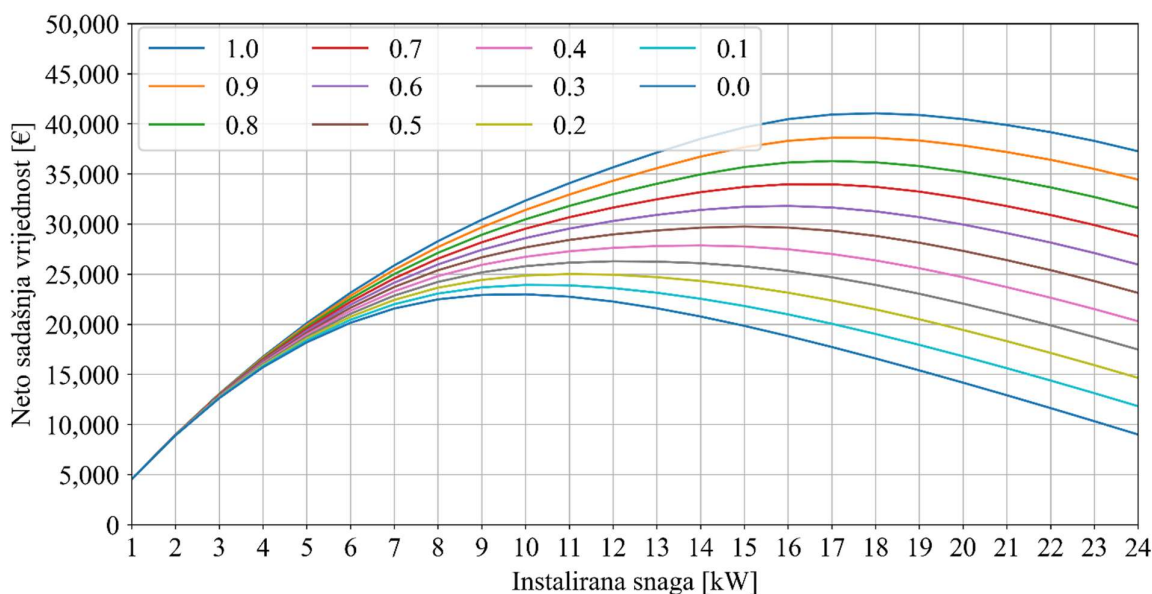
4.3. Instalirana snaga fotonaponske elektrane u ovisnosti o faktoru cijene

U nastavku će se promatrati utjecaj vrijednosti faktora cijene na optimalnu instaliranu snagu FNE. Faktor cijene na temelju kojeg se računa jedinična cijena isporučene električne energije smanjuje se od vrijednosti 1 do 0 u koracima od 0.1. Što je vrijednost faktora cijene manja to je apsolutni pad jedinične cijene električne energije zbog manje preuzete energije u višoj tarifi s povećanjem instalirane snage manje izražen, što se može vidjeti na Slika 4.9. Isto vrijedi i za apsolutni pad jedinične cijene električne energije zbog više isporučene nego preuzete energije pri većoj instaliranoj snazi koji je manje izražen kod manjih vrijednosti faktora cijene.



Slika 4.9. Jedinična cijena isporučene energije u svibnju u ovisnosti o instaliranoj snazi za različite faktore cijene

Manja jedinična cijena isporučene energije rezultira s manjom zaradom što dovodi do manje neto sadašnje vrijednosti FNE. Neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka u ovisnosti o instaliranoj snazi FNE za različite faktore cijene prikazana je na Slika 4.10. Do 3 kW instalirane snage neto sadašnja vrijednost se ne razlikuje značajno jer se sva proizvedena energija iskoristi za podmirivanje potrošnje pa nema zarade od viškova isporučenih opskrbljivaču. Kako se instalirana snaga povećava, veći su viškovi proizvedene energije koji se isporučuju opskrbljivaču zbog čega je utjecaj faktora cijene na zaradu, a time i na krajnju neto sadašnju vrijednost više izražen.

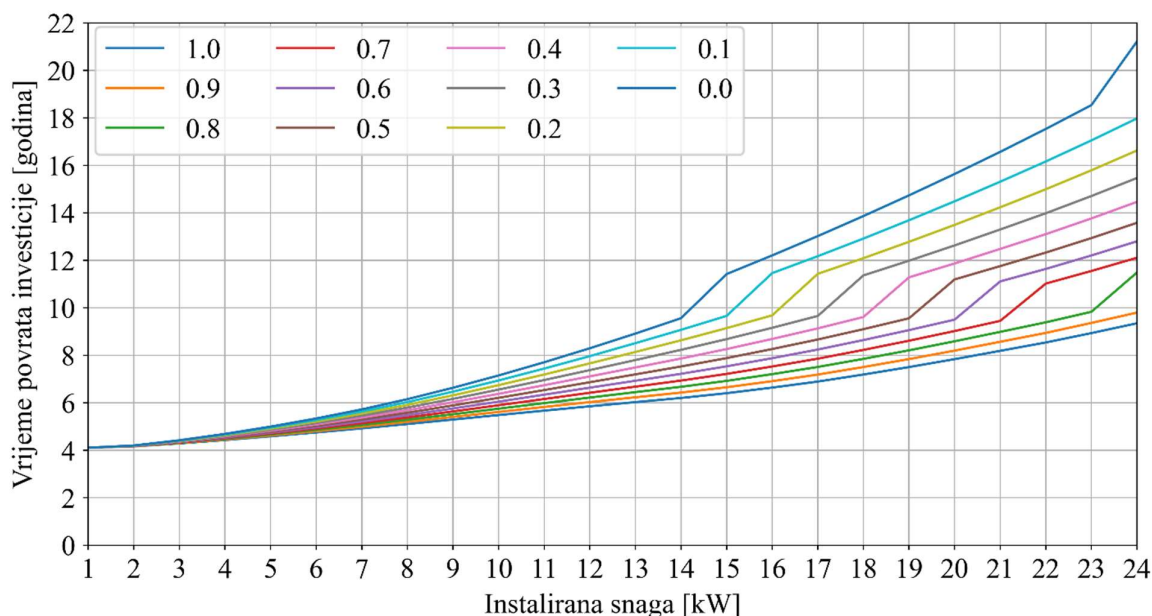


Slika 4.10. Neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka u ovisnosti o snazi za različite faktore cijene

Instalirana snaga od 18 kW koja se pokazala optimalnom pri faktoru cijene 1 dovodi do neto sadašnje vrijednosti na kraju životnog vijeka u iznosu od 41,063.00 €. Međutim, pri faktoru cijene 0.5, neto sadašnja vrijednost pada ispod 30,000 €, a pri faktoru cijene 0 je ispod 20,000 €. Sa smanjenjem faktora cijene, zbog manje zarade od isporučene energije, smanjuje se neto sadašnja vrijednost pri nekoj instaliranoj snazi. Kada se pogleda maksimum krivulje koja prikazuje ovisnost neto sadašnje vrijednosti o instaliranoj snazi za neki faktor cijene može se primijetiti da se iznos maksimuma smanjuje sa smanjenjem faktora cijene. Dodatno, ako se pogleda instalirana snaga pri kojoj se postiže maksimum neto sadašnje vrijednosti, odnosno optimalna instalirana snaga, može se vidjeti da se optimalna instalirana snaga smanjuje sa smanjenjem faktora cijene.

Kako iznos neto sadašnje vrijednosti na kraju životnog vijeka pri instaliranoj snazi FNE do 3 kW ne ovisi o faktoru cijene tako i očekivano vrijeme povrata investicije pri instaliranoj snazi do 3 kW ne ovisi o faktoru cijene. Kako se instalirana snaga povećava tako utjecaj faktora cijene na vrijeme povrata investicije sve više dolazi do izražaja, kako je prikazano na Slika 4.11. Za instaliranu snagu FNE 18 kW koja se pokazala optimalnom pri faktoru cijene 1 očekivano vrijeme povrata investicije je 7.19 godina, s faktorom cijene 0.5 očekivano vrijeme povrata raste na 9 godina, a s faktorom cijene 0 očekivano vrijeme povrata je 14 godina. Drugim riječima, za neku

instaliranu snagu očekivano vrijeme povrata se povećava kako se smanjuje faktor cijene. Zbog manje zarade od isporučene energije potrebno je više vremena kako bi se otplatila investicija, odnosno investicija postaje manje isplativa. S povećanjem instalirane snage, rast očekivanog vremena povrata je više izražen što je faktor cijene manji pa je pri 24 kW za povrat potrebno manje od 10 godina s faktorom cijene 1 i više od 20 godina s faktorom cijene 0.



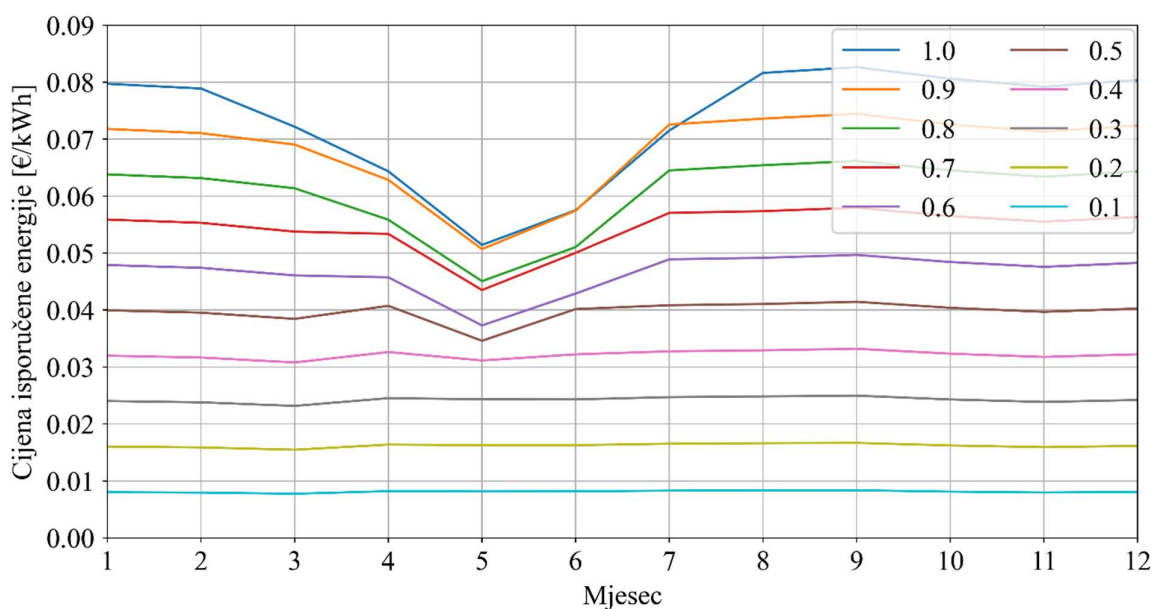
Slika 4.11. Vrijeme povrata investicije u ovisnosti o snazi za različite faktore cijene

U Tablica 4.4. prikazana je optimalna instalirana snaga FNE, najveća neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka i očekivano vrijeme povrata investicije za faktor cijene u koracima od 0.1 od maksimalne vrijednosti 1 do minimalne vrijednosti 0. Pri faktoru cijene 0.9 optimalna instalirana snaga je 17 kW što je za 1 kW manje nego pri faktoru cijene 1, ali očekivano vrijeme povrata ostaje 7.19 godina. Kada se faktor cijene smanji na 0.8, optimalna instalirana snaga ostaje 17 kW uz očekivano vrijeme povrata od 7.51 godina. Instalirana snaga od 15 kW je optimalno rješenje pri faktoru cijene 0.5, dok je pri minimalnom faktoru cijene optimalno rješenje 10 kW. Najdulje očekivano vrijeme povrata je 7.88 godina za faktor cijene 0.6 kada je optimalna instalirana snaga 16 kW i za faktor cijene 0.5 kada je optimalna snaga 15 kW. S druge strane, najkraće vrijeme povrata je za faktor cijene 0.1 s instaliranom snagom 10 kW. Najveća neto sadašnja vrijednost razlikuje se za više od 2000 € pri faktoru cijene iznad 0.5 dok je pri faktoru cijene 0.1 razlika manja od 1000 €.

Tablica 4.4. Optimalna instalirana snaga FNE u ovisnosti o faktoru cijene

Faktor cijene	Instalirana snaga [kW]	NPV [€]	PBP [godina]
1.0	18	41,063.00	7.19
0.9	17	38,619.90	7.19
0.8	17	36,300.20	7.51
0.7	16	33,985.50	7.53
0.6	16	31,821.00	7.88
0.5	15	29,756.80	7.88
0.4	14	27,877.40	7.86
0.3	12	26,299.30	7.37
0.2	11	25,029.20	7.19
0.1	10	23,941.20	6.94
0.0	10	23,006.00	7.15

Na Sliku 4.12. prikazana je jedinična cijena isporučene energije po mjesecima pri optimalnoj instaliranoj snazi za različite faktore cijene. Kada faktor cijene iznosi 0.4 ili više vidljiv je pad cijene od ožujka do srpnja, a razlog za to je snaga veća od 14 kW što dovodi do više isporučene energije. Pri faktoru cijene manjem od 0.4, snaga je manja od 14 kW zbog čega je u svim mjesecima manje isporučene nego preuzete energije pa ne dolazi do pada cijene.



Slika 4.12. Jedinična cijena isporučene energije po mjesecima za različite faktore cijene

5. METODE ODREĐIVANJA SUVLASNIČKIH UDJELA U FOTONAPONSKOJ ELEKTRANI VIŠESTAMBENE ZGRADE

Nakon što je određena optimalna instalirana snaga FNE višestambene zgrade, potrebno je odrediti pravedne suvlasničke udjele prema kojima će se definirati udjeli u troškovima investicije, udjeli u godišnjim troškovima održavanja FNE te udjeli u proizvedenoj električnoj energiji koja pripada suvlasnicima u svakom obračunskom razdoblju. Kako se potrošnja i navike potrošnje razlikuju između kupaca jednaki suvlasnički udjeli se neće promatrati tijekom istraživanja. U obzir će se uzeti sljedeći načini odrađivanja suvlasničkih udjela:

1. Suvlasnički udjeli prema ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije.
2. Suvlasnički udjeli na temelju godišnje potrošnje vlastite energije.
3. Suvlasnički udjeli na temelju očekivane godišnje uštede.
4. Suvlasnički udjeli na temelju očekivane godišnje dobiti.

Za prvi način određivanja suvlasničkih udjela dovoljni su podaci o godišnjoj potrošnji kupaca koji su već dostupni, dok je za ostale načine određivanja suvlasničkih udjela potrebno simulirati dijeljenje energije u višestambenoj zgradi tijekom jedne godine na temelju referentnih podataka o potrošnji i proizvodnje FNE za tipičnu meteorološku godinu, s vremenskim korakom od 15 minuta. Dijeljenje energije će se provoditi dinamički što podrazumijeva određivanje novih koeficijenata dijeljenja u svakom vremenskom koraku. Promatrat će se dva načina dinamičkog određivanja koeficijenata dijeljenja:

1. Određivanje dinamičkih koeficijenata proporcionalnih potrošnji.
2. Određivanje dinamičkih koeficijenata na temelju pravedne raspodjele.

Prva metoda određivanja dinamičkih koeficijenata je najviše zastupljena u literaturi prvenstveno zbog jednostavne implementacije. Dijeljenje energije proporcionalno potrošnji potiče prilagodbu potrošnje električne energije zbog čega kupci s većom potrošnjom budu nagrađeni dok kupci s malom potrošnjom ostaju zakinuti. Zbog toga se u literaturi predlaže metoda dijeljenja na temelju pravedne raspodjele kod koje se proizvedena energija dijeli ravnopravno tako da kupci s manjom potrošnjom dobiju onoliko energije koliko im je potrebno za podmirivanje potrošnje, a kupci s većom potrošnjom dobiju isto toliko energije ili više ako je u promatranom vremenskom koraku dostupno više proizvedene energije.

5.1. Dijeljenje i obračun energije u višestambenoj zgradi

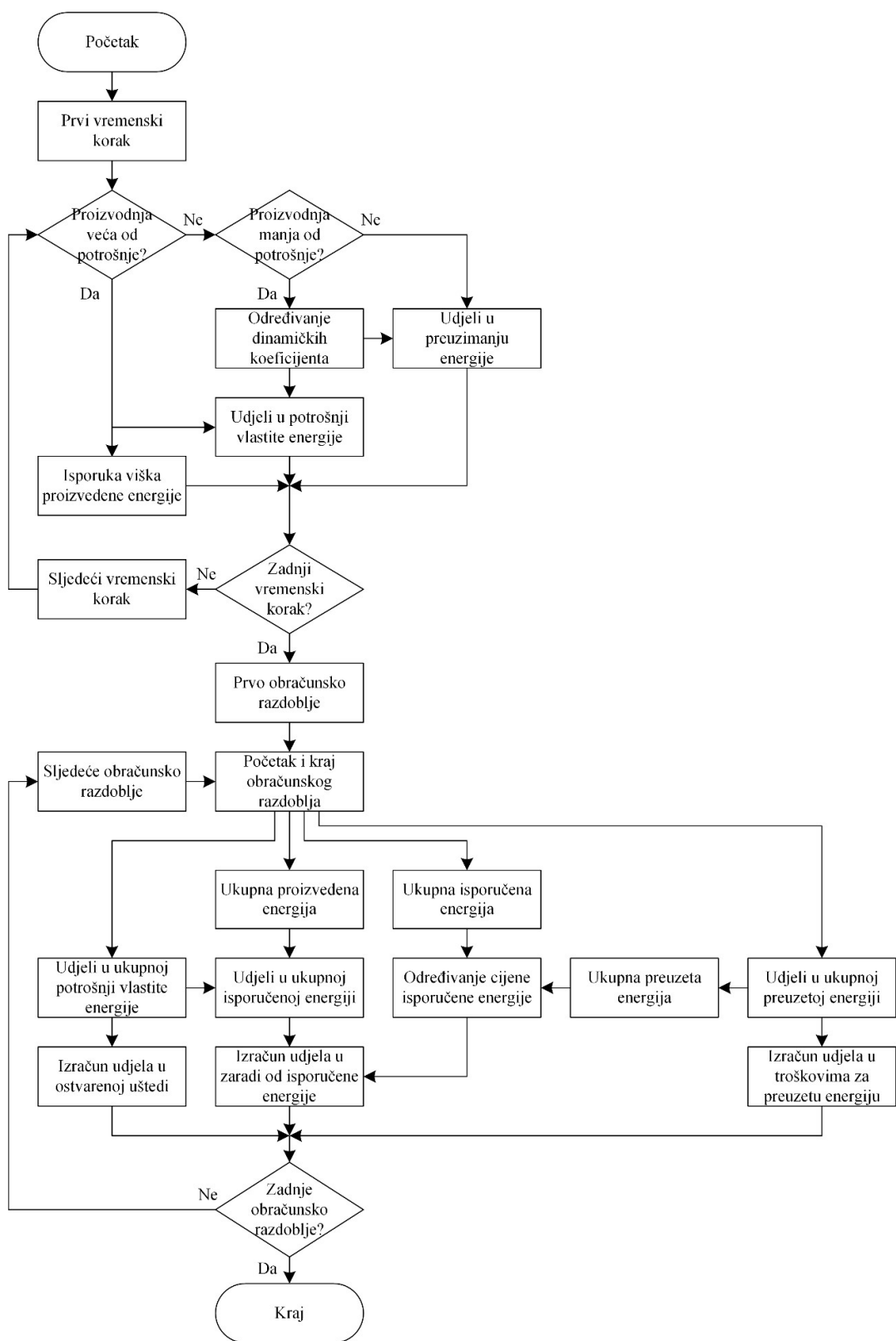
Za svakog kupca koji sudjeluje u dijeljenju provodi se obračun preuzete i isporučene električne energije po obračunskim razdobljima kako je prikazano dijagramom toka na Slika 5.1. Prvo je potrebno odrediti potrošnju vlastite energije i preuzetu energiju za svakog kupca k te višak proizvedene električne energije koji je isporučen u svakom vremenskom koraku t . Nakon toga se određuju udjeli kupaca u potrošnji vlastite energije te u preuzetoj energiji po obračunskim razdobljima, iz kojih se određuje ostvarena ušteda te troškovi za preuzetu električnu energiju po obračunskim razdobljima. Na temelju suvlasničkih udjela u FNE, ukupne proizvedene energije u FNE te udjela kupaca u potrošnji vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja određuju se udjeli kupaca u isporučenoj energiji. Cijena isporučene energije potrebna za izračun zarade od isporučene energije određuje se na temelju ukupne isporučene i preuzete energije tijekom obračunskog razdoblja i jednaka je za sve kupce uključene u dijeljenju.

Na temelju potrošnje kupaca koji sudjeluju u dijeljenju i proizvodnje u svakom vremenskom koraku t određuje se koliko svaki kupac k sudjeluje u potrošnji vlastite energije prema jednadžbi (5-1). Ako je proizvodnja u vremenskom koraku t veća ili jednaka od ukupne potrošnje kupaca, potrošnja kupca k u vremenskom koraku t je potpuno pokrivena iz proizvodnje. Ako je proizvodnja u vremenskom koraku t manja od ukupne potrošnje kupaca, proizvedena električna energija u vremenskom koraku t dijeli se na kupce u skladu s dinamičkim koeficijentima dijeljenja.

$$E_{\text{self},t,k} = \begin{cases} E_{\text{demand},t,k} & \text{ako je } E_{\text{pv},t} \geq \sum_{k=1}^K E_{\text{demand},t,k} \\ E_{\text{pv},t} \cdot \text{Sharing}_{t,k} & \text{ako je } 0 < E_{\text{pv},t} < \sum_{k=1}^K E_{\text{demand},t,k} \\ 0 & \text{ako je } E_{\text{pv},t} = 0 \end{cases} \quad (5-1)$$

gdje je:

- $E_{\text{self},t,k}$ [kWh] – sudjelovanje kupca k u potrošnji vlastite energije u vremenskom koraku t ,
- $E_{\text{demand},t,k}$ [kWh] – potrošnja kupca k u vremenskom koraku t ,
- $E_{\text{pv},t}$ [kWh] – proizvodnja FNE u vremenskom koraku t ,
- K – ukupan broj kupaca koji sudjeluju u dijeljenju energije,
- $\text{Sharing}_{i,k}$ – koeficijent dijeljenja energije kupca k u vremenskom koraku t .



Slika 5.1. Dijeljenje i obračun energije u višestambenoj zgradi

Koeficijenti dijeljenja energije određuju se dinamički što znači da se u svakom vremenskom koraku t određuju novi koeficijenti pri čemu mora biti zadovoljen uvjet da je zbroj koeficijenata dijeljenja energije svih kupaca k u svakom vremenskom koraku t jednak 1. Kada se dinamički koeficijenti dijeljenja energije određuju prema udjelu kupca k u ukupnoj potrošnji u vremenskom koraku t , za određivanje koeficijenata koristi se jednačba (5-2).

$$Sharing_{t,k} = \frac{E_{demand,t,k}}{\sum_{k=1}^K E_{demand,t,k}} \quad (5-2)$$

Za određivanje dinamičkih koeficijenata dijeljenja na temelju pravedne raspodjele prvo je potrebno potrošnju kupaca sortirati od kupca s najmanjom potrošnjom do kupca s najvećom potrošnjom u svakom vremenskom koraku t . Prilikom određivanja koeficijenta dijeljenja za kupca s najmanjom potrošnjom u vremenskom koraku t primjenjuje se izraz (5-3) dok se za svakog sljedećeg kupca primjenjuje izraz (5-4).

$$Sharing_{t,k} = \begin{cases} \frac{1}{K} & \text{ako je } \frac{E_{pv,t}}{K} \leq E_{demand,t,k} \\ \frac{E_{demand,t,k}}{E_{pv,t}} & \text{ako je } \frac{E_{pv,t}}{K} > E_{demand,t,k} \end{cases} \quad (5-3)$$

$$Sharing_{t,k} = \begin{cases} \frac{1}{K - (k - 1)} & \text{ako je } \frac{E_{pv,t} \cdot (1 - \sum_{k=1}^{k-1} Sharing_{t,k})}{K - (k - 1)} \leq E_{demand,t,k} \\ \frac{E_{demand,t,k}}{E_{pv,t}} & \text{ako je } \frac{E_{pv,t} \cdot (1 - \sum_{k=1}^{k-1} Sharing_{t,k})}{K - (k - 1)} > E_{demand,t,k} \end{cases} \quad (5-4)$$

Potrošnju električne energije kupca k koja se ne pokrije iz proizvedene električne energije u vremenskom koraku t potrebno je nadomjestiti preuzimanjem električne energije. Električna energija koju je kupac k preuzeo u vremenskom koraku t određuje se prema izrazu (5-5).

$$E_{import,t,k} = E_{demand,t,k} - E_{self,t,k} \quad (5-5)$$

gdje je:

- $E_{import,t,k}$ [kWh] – električna energija koju je kupac k preuzeo u vremenskom koraku t .

Višak proizvedene električne energije koji nije izravno iskorišten kroz potrošnju vlastite energije u vremenskom koraku t računa se kao isporučena električna energija prema izrazu (5-6). Višak se pojavljuje kada je proizvodnja veća od ukupne potrošnje u vremenskom koraku t .

$$E_{\text{export},t} = \begin{cases} E_{\text{pv},t} - \sum_{k=1}^K E_{\text{demand},t,k} & \text{ako je } E_{\text{pv},t} > \sum_{k=1}^K E_{\text{demand},t,k} \\ 0 & \text{ako je } E_{\text{pv},t} \leq \sum_{k=1}^K E_{\text{demand},t,k} \end{cases} \quad (5-6)$$

gdje je:

- $E_{\text{export},t}$ [kWh] – isporučena električna energija u vremenskom koraku t .

Udio kupca k u potrošnji vlastite energije na kraju obračunskog razdoblja i određuje se kao zbroj potrošnje vlastite energije u svakom vremenskom koraku t tijekom obračunskog razdoblja prema jednadžbi (5-7). Kako se cijena električne energije razlikuje u višoj i nižoj tarifi potrebno je zasebno odrediti udio u potrošnji vlastite energije u višoj tarifi prema izrazu (5-8) te udio u potrošnji vlastite energije u nižoj tarifi prema izrazu (5-9).

$$E_{\text{self},i,k} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{\text{self},t,k} \quad (5-7)$$

$$E_{\text{selfVT},i,k} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=T1}^{T2-1} E_{\text{self},t,k} \quad (5-8)$$

$$E_{\text{selfNT},i,k} = \sum_{D1}^{D2} \left(\sum_{t=1}^{T1-1} E_{\text{self},t,k} + \sum_{t=T2}^T E_{\text{self},t,k} \right) \quad (5-9)$$

gdje je:

- $E_{\text{self},i,k}$ [kWh] – udio kupca k u potrošnji vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i ,
- $D1$ – prvi dan obračunskog razdoblja i ,
- $D2$ – zadnji dan obračunskog razdoblja i ,
- T – broj vremenskih koraka tijekom jednog dana,
- $E_{\text{selfVT},i,k}$ [kWh] – udio kupca k u potrošnji vlastite energije u višoj tarifi,
- $T1$ – vrijeme početka više tarife,
- $T2$ – vrijeme početka niže tarife,
- $E_{\text{selfNT},i,k}$ [kWh] – udio kupca k u potrošnji vlastite energije u nižoj tarifi.

Potrošnjom vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i kupac k ostvaruje uštedu koja se određuje prema jednadžbi (5-10) kao zbroj uštede ostvarene u višoj i nižoj tarifi.

$$C_{\text{saving},i,k} = E_{\text{selfVT},i,k} \cdot C_{\text{VT}} + E_{\text{selfNT},i,k} \cdot C_{\text{NT}} \quad (5-10)$$

gdje je:

- $C_{\text{saving},i,k}$ [€] – ušteda koju je kupac k ostvario potrošnjom vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i ,
- C_{VT} [€/kWh] – jedinična cijena električne energije u višoj tarifi uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV,
- C_{NT} [€/kWh] – jedinična cijena električne energije u nižoj tarifi uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV.

Električna energija koju je kupac k preuzeo od opskrbljivača tijekom obračunskog razdoblja i računa se prema izrazu (5-11). Potrebno je posebno izračunati preuzetu električnu energiju u višoj tarifi prema izrazu (5-12) te u nižoj tarifi prema izrazu (5-13).

$$E_{\text{import},i,k} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{\text{import},t,k} \quad (5-11)$$

$$E_{\text{importVT},i,k} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=T1}^{T2-1} E_{\text{import},t,k} \quad (5-12)$$

$$E_{\text{importNT},i,k} = \sum_{D1}^{D2} \left(\sum_{t=1}^{T1-1} E_{\text{import},t,k} + \sum_{t=T2}^T E_{\text{import},t,k} \right) \quad (5-13)$$

gdje je:

- $E_{\text{import},i,k}$ [kWh] – električna energija koju je kupac k preuzeo od opskrbljivača tijekom obračunskog razdoblja i ,
- $E_{\text{importVT},i,k}$ [kWh] – električna energija koju je kupac k preuzeo od opskrbljivača tijekom obračunskog razdoblja i u višoj tarifi,
- $E_{\text{importNT},i,k}$ [kWh] – električna energija koju je kupac k preuzeo od opskrbljivača tijekom obračunskog razdoblja i u nižoj tarifi,

Za električnu energiju preuzetu od opskrbljivača u obračunskom razdoblju i za svakog kupca k određuje se trošak preuzete električne energije prema jednadžbi (5-14) kao zbroj troška za preuzetu električnu energiju za vrijeme trajanja više i niže tarife.

$$C_{\text{import},i,k} = E_{\text{selfVT},i,k} \cdot C_{\text{VT}} + E_{\text{selfNT},i,k} \cdot C_{\text{NT}} \quad (5-14)$$

gdje je:

- $C_{\text{import},i,k}$ [€] – trošak kupca k za preuzetu električnu energiju u obračunskom razdoblju i .

Električna energija koja se nije iskoristila kroz potrošnju isporučena je opskrbljivaču. Ukupna isporučena električna energija tijekom obračunskog razdoblja i određuje se prema (5-15).

$$E_{\text{export},i} = \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{\text{export},t} \quad (5-15)$$

gdje je:

- $E_{\text{export},i}$ [kWh] – ukupna isporučena električna energija na kraju obračunskog razdoblja i .

Jedinična cijena električne energije isporučene opskrbljivaču tijekom obračunskog razdoblja i određuje se na temelju ukupne isporučene i preuzete energije tijekom obračunskog razdoblja prema izrazu (5-16). Određena cijena vrijedi za sve kupce uključene u dijeljenje.

$$c_{\text{export},i} = \begin{cases} kSO \cdot PKC_i & \text{ako je } E_{\text{export},i} \leq \sum_{k=1}^K E_{\text{import},i,k} \\ kSO \cdot PKC_i \cdot \frac{\sum_{i=1}^K E_{\text{import},i,k}}{E_{\text{export},i}} & \text{ako je } E_{\text{export},i} > \sum_{k=1}^K E_{\text{import},i,k} \end{cases} \quad (5-16)$$

gdje je:

- $c_{\text{export},i}$ [€/kWh] – jedinična cijena isporučene energije unutar obračunskog razdoblja i ,
- kSO – faktor cijene,
- PKC_i [€/kWh] – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupca plaća opskrbljivaču unutar obračunskog razdoblja, pri čemu naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV nisu uključeni.

Prosječna cijena električne energije kupljene od opskrbljivača unutar obračunskog razdoblja i određuje se prema izrazu (5-17).

$$PKC_i = \frac{\sum_{k=1}^K E_{\text{importVT},i,k} \cdot C_{vt} + \sum_{k=1}^K E_{\text{importNT},i,k} \cdot C_{nt}}{\sum_{k=1}^K E_{\text{import},i,k}} \quad (5-17)$$

gdje je:

- C_{vt} [€/kWh] – jedinična cijela električne energije u višoj tarifi bez naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV-a,
- C_{nt} [€/kWh] – jedinična cijela električne energije u nižoj tarifi bez naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV-a.

Udio kupca k u ukupnoj električnoj energiji isporučenoj opskrbljivaču tijekom obračunskog razdoblja i određuje se tako da se od udjela u ukupnoj proizvedenoj energiji koji pripada kupcu k prema suvlasničkom udjelu u FNE oduzme udio kupca k u potrošnji vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i prema jednadžbi (5-18).

$$E_{\text{export},i,k} = Share_k \cdot \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{pv,t} - E_{\text{self},i,k} \quad (5-18)$$

gdje je:

- $E_{\text{export},i,k}$ [kWh] – udio u isporučenoj energiji koji pripada kupcu k u obračunskom razdoblju i .
- $Share_k$ – suvlasnički udio kupca k u FNE.

Zarada koju je kupac k ostvario na temelju udjela u isporučenoj energiji na kraju obračunskog razdoblja i određuje se kao umnožak udjela u isporučenoj energiji i jedinične cijene isporučene energije prema izrazu (5-19).

$$C_{\text{export},i,k} = E_{\text{export},i,k} \cdot c_{\text{export},i} \quad (5-19)$$

gdje je:

- $C_{\text{export},i,k}$ [kWh] – zarada kupca k od isporučene energije u obračunskom razdoblju i .

5.2. Određivanje suvlasničkih udjela

Pretpostavka je da su suvlasnici višestambene zgrade uključeni u dijeljenje energije proizvedene u FNE ujedno i suvlasnici FNE. Kako bi suvlasnici FNE odredili tko će koliko sudjelovati u troškovima investicije i troškovima održavanja te koliki udio u proizvedenoj energiji će im pripasti u svakom obračunskom razdoblju, potrebno je odrediti suvlasničke udjele u FNE višestambene zgrade. U okviru ovog istraživanja suvlasnički udjeli u FNE će se određivati pomoću četiri različite metode koje su opisane i demonstrirane u nastavku.

5.2.1. Suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji

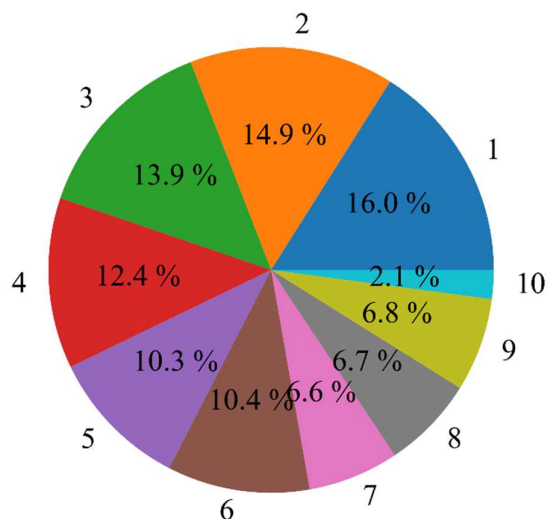
Prva metoda određivanja suvlasničkih udjela u FNE višestambene zgrade koja se promatra u okviru ovog istraživanja je na temelju podataka o ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije. Ovaj pristup odabran je zbog svoje zastupljenosti u literaturi, a razlog za to je što su podaci o ukupnoj godišnjoj potrošnji dostupni za OMM svih kućanstva, uključujući OMM koja nisu opremljena naprednim brojilima električne energije. Suvlasnički udio kupca k proporcionalan ukupnoj potrošnji određuje se dijeljenjem ukupne godišnje potrošnje kupca k s ukupnom godišnjom potrošnjom električne energije svih kupaca uključenih u dijeljenje energije prema izrazu (5-20). Kako su za potrebe istraživanja korišteni podaci o potrošnji kućanstava u stvarnom vremenu, te su ti podaci ulazni podaci, ukupna godišnja potrošnja kućanstva dobije se zbrajanjem potrošnje u svakom vremenskom koraku t tijekom godine.

$$Share_k = \frac{\sum_{t=1}^N E_{demand,t,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^N E_{demand,t,k}} \quad (5-20)$$

gdje je:

- N – broj vremenskih koraka u jednoj godini.

Suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji ne ovise o načinu na koji se određuju dinamički koeficijenti dijeljenja niti o faktoru cijene, što vrijedi ako se promatraju relativni suvlasnički udjeli u FNE. S druge strane, apsolutni suvlasnički udjeli iskazani kroz udio u instaliranoj snazi FNE će naravno ovisiti o optimalnoj instaliranoj snazi FNE koja ovisi o faktoru cijene. Udjeli u ukupnoj godišnjoj potrošnji kupaca uključenih u dijeljenje energije, koji su ujedno i suvlasnici, prikazani su dijagramom na Slika 5.2.



Slika 5.2. Udjeli kupaca uključenih u dijeljenje energije u ukupnoj godišnjoj potrošnji

Detaljni podaci o ukupnoj godišnjoj potrošnji, relativni suvlasnički udjeli te pripadajući apsolutni udjeli u instaliranoj snazi od 18 kW prikazani su u Tablica 5.1. Ukupna godišnja potrošnja svih kupaca u referentnoj godini iznosi 29,784 kWh. Najveću pojedinačnu potrošnju u iznosu od 4774 kWh ima kupac 1 što predstavlja 16 % ukupne godišnje potrošnje. OMM zajedničke potrošnje višestambene zgrade, odnosno kupac 10, ima najmanju godišnju potrošnju u iznosu od 622 kWh što predstavlja 2.1 % ukupne godišnje potrošnje.

Tablica 5.1. Određivanje suvlasničkih udjela prema ukupnoj godišnjoj potrošnji

Kupac	Ukupna potrošnja [kWh]	Udio	Udio [kW]
1	4773	0.1603	2.885
2	4426	0.1486	2.675
3	4137	0.1389	2.500
4	3688	0.1238	2.229
5	3059	0.1027	1.849
6	3083	0.1035	1.863
7	1966	0.0660	1.188
8	2006	0.0674	1.212
9	2024	0.0680	1.223
10	622	0.0209	0.376
Ukupno	29,784	1.0000	18.000

Prikazani pristup određivanju suvlasničkih udjela temelji se na pretpostavci da će kućanstva koja imaju veću godišnju potrošnju trošiti više vlastite energije proizvedene u zajedničkoj FNE te prema tome trebaju više sudjelovati u troškovima investicije i troškovima održavanja. Međutim, podatak o ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije ne daje uvid u vrijeme i navike potrošnje. Drugim riječima, dva kupca koji imaju jednaku godišnju potrošnju, zbog različitih navika potrošnje neće jednako sudjelovati u potrošnji vlastite energije. Jedan kupac će imati veću potrošnju preko dana i time izravno trošiti više vlastite energije dok će drugi više trošiti noću te tako trošiti manje vlastite energije, ako ne prilagodi svoju potrošnju. Za razliku od metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji, kod narednih metoda određivanja suvlasničkih udjela potrebno je prvo simulirati dijeljenje energije u stvarnom vremenu tijekom jedne godine kako bi se odredili suvlasnički udjeli.

5.2.2. Suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije

U odnosu na podatke o ukupnoj godišnjoj potrošnji električne energije, podaci o potrošnji električne energije u stvarnom vremenu daju uvid u vrijeme i navike potrošnje. Ideja za drugu metodu je na temelju podataka o potrošnji u stvarnom vremenu odrediti koliko će pojedini kupci trošiti vlastite energije te na temelju udjela u potrošnji vlastite energije odrediti suvlasničke udjele u FNE. Preduvjet za primjenu ove metode je da su podaci o potrošnji u stvarnom vremenu dostupni za sve kupce uključenje u dijeljenje tijekom barem jedne godine. Kako se na početku ne zna koliko će svaki suvlasnik trošiti vlastite energije, provodi se simulacija dijeljenja energije tijekom jedne godine na temelju očekivane proizvodnje za tipičnu meteorološku godinu i referentnih podataka o potrošnji električne energije u stvarnom vremenu za prethodno razdoblje od barem jedne godine. Suvlasnički udio kupca k na temelju potrošnje vlastite energije određuje se dijeljenjem potrošnje vlastite energije kupca k s ukupnom potrošnjom vlastite energije svih kupaca uključenih u dijeljenje energije prema izrazu (5-21).

$$Share_k = \frac{\sum_{t=1}^N E_{self,t,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^N E_{self,t,k}} \quad (5-21)$$

Tablica 5.2. prikazuje relativne suvlasničke udjele kupaca određene na temelju potrošnje vlastite energije u referentnoj godini te apsolutne udjele u instaliranoj snazi pri optimalnoj snazi FNE za faktor cijene 1 u iznosu od 18 kW. Određivanje suvlasničkih udjela provedeno je pri dinamičkom dijeljenju proporcionalno potrošnji i pri dinamičkom dijeljenju na temelju pravedne

raspodjele. Mogu se primijetiti promjene suvlasničkih udjela u odnosu na udjele određene na temelju ukupne potrošnje. Značajnije povećanje suvlasničkih udjela vidljivo je kod kupca 1 te kod kupaca 7, 8 i 9 dok je kod kupaca 4, 5 i 6 primjetno smanjenje udjela. Kada se pogledaju kupci 5 i 6, prema ukupnoj potrošnji kupac 5 ima manji suvlasnički udio, ali kako troši više vlastite energije, pripada mu veći suvlasnički udio prema potrošnji vlastite energije. Prema ukupnoj potrošnji kupac 7 ima značajno manji suvlasnički udio od kupaca 5 i 6, dok prema potrošnji vlastite energije kupcu 7 pripada veći suvlasnički udio od kupca 6 i nešto manji udio od kupca 5.

Tablica 5.2. Određivanje suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije

Kupac	Dijeljenje proporcionalno potrošnji			Dijeljenje na temelju pravedne raspodjele		
	Potrošnja vlastite energije [kWh]	Udio	Udio [kW]	Potrošnja vlastite energije [kWh]	Udio	Udio [kW]
1	1778	0.1746	3.143	1691	0.1660	2.989
2	1483	0.1456	2.621	1458	0.1432	2.577
3	1390	0.1365	2.457	1369	0.1344	2.420
4	1175	0.1154	2.077	1124	0.1104	1.987
5	839	0.0824	1.483	859	0.0843	1.518
6	812	0.0797	1.435	840	0.0825	1.485
7	835	0.0820	1.476	866	0.0850	1.531
8	803	0.0788	1.419	846	0.0831	1.495
9	824	0.0809	1.456	860	0.0844	1.520
10	245	0.0241	0.433	271	0.0266	0.479
Ukupno	10,184	1.0000	18.000	10,184	1.0000	18.000

Način određivanja dinamičkih koeficijenata dijeljenja utječe na suvlasničke udjele što se može jasno vidjeti kroz podatke o potrošnji vlastite energije. Dijeljenje proporcionalno potrošnji rezultira s većom potrošnjom vlastite energije kod kupaca koji imaju veću potrošnjom što se odražava na veće suvlasničke udjele pri dijeljenju proporcionalno potrošnji nego pri dijeljenju na temelju pravedne raspodjele za prva 4 kupca. Razlika je najviše vidljiva kod kupaca 1 i 4 što znači da se njihova potrošnja najviše podudara s proizvodnjom. S druge strane, dijeljenjem na temelju pravedne raspodjele kupcima s manjom potrošnjom pripada više vlastite energije što se odražava na suvlasničke udjele koji su veći pri dijeljenju na temelju pravedne raspodjele nego pri dijeljenju proporcionalno potrošnji za preostalih 6 kupaca. Kupcima s najvećom potrošnjom u oba slučaja će pripasti najviše vlastite energije, ali u drugom slučaju se proizvedena energija prvo jednako

dijeli na sve kupce, a tek kasnije na kupce s većom potrošnjom. Kako se smanjuje faktor cijene, tako se smanjuje optimalna instalirana snaga što dovodi do manje količine proizvedene energije pa može doći do promjene u relativnim suvlasničkim udjelima kako je prikazano u Tablica 5.3. pri dijeljenju proporcionalno potrošnji. Smanjenjem instalirane snage smanjuju su se iznosi suvlasničkih udjela kod kupaca 1, 4 i 5 dok su se kod ostalih kupaca suvlasnički udjeli povećavaju. Promjene nisu značajne, a najveća promjena je smanjenje suvlasničkog udjela za 0.7 % kada se instalirana snaga smanji s 18 kW na 10 kW.

Tablica 5.3. Suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije u ovisnosti o instaliranoj snazi pri dinamičkom dijeljenju energije proporcionalno potrošnji

Kupac	Instalirana snaga				
	18 kW	16 kW	14 kW	12 kW	10 kW
1	0.1746	0.1739	0.1731	0.1722	0.1711
2	0.1457	0.1457	0.1458	0.1459	0.1460
3	0.1365	0.1365	0.1366	0.1367	0.1368
4	0.1154	0.1141	0.1126	0.1108	0.1088
5	0.0824	0.0824	0.0822	0.0820	0.0817
6	0.0797	0.0799	0.0801	0.0803	0.0804
7	0.0820	0.0823	0.0828	0.0834	0.0841
8	0.0789	0.0796	0.0804	0.0814	0.0825
9	0.0809	0.0814	0.0820	0.0827	0.0836
10	0.0241	0.0242	0.0243	0.0246	0.0250

S druge strane, kada se dinamičko dijeljenje energije provodi na temelju pravedne raspodjele, jasno se može vidjeti smanjenje iznosa suvlasničkih udjela sa smanjenjem instalirane snage kod prva 4 kupca te povećanje iznosa suvlasničkih udjela kod preostalih 6 kupaca, kako je prikazano u Tablica 5.4. Razlog za to je pravedna raspodjela energije prema kojoj se energija prvo dijeli jednako na sve kupce, a kada se podmiri potrošnja kupaca s manjom potrošnjom preostala energija se dijeli na kupce s većom potrošnjom. Kod dijeljenja na temelju pravedne raspodjele promjene su više izražene nego kod dijeljenja proporcionalno potrošnji pa je tako najveća promjena smanjenje suvlasničkog udjela kupca 1 za 1.1 % pri smanjenju instalirane snage s 18 kW na 10 kW. Navedena promjena može se povezati s pravednom raspodjelom energije zbog koje se kod kupca s najvećom potrošnjom vlastite energije sa smanjenjem instalirane snage i smanjenjem količine dostupne proizvedene energije najviše smanjila potrošnja vlastite energije.

Tablica 5.4. Suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije u ovisnosti o instaliranoj snazi pri dinamičkom dijeljenju energije na temelju pravedne raspodjele

Kupac	Instalirana snaga				
	18 kW	16 kW	14 kW	12 kW	10 kW
1	0.1661	0.1644	0.1621	0.1592	0.1549
2	0.1431	0.1430	0.1428	0.1420	0.1402
3	0.1344	0.1345	0.1345	0.1342	0.1331
4	0.1103	0.1084	0.1061	0.1037	0.1011
5	0.0844	0.0845	0.0847	0.0849	0.0857
6	0.0824	0.0830	0.0836	0.0844	0.0854
7	0.0850	0.0857	0.0867	0.0882	0.0905
8	0.0831	0.0843	0.0857	0.0875	0.0900
9	0.0844	0.0853	0.0863	0.0878	0.0901
10	0.0267	0.0270	0.0274	0.0281	0.0292

5.2.3. Suvlasnički udjeli prema uštedi

U odnosu na suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije koji uzimaju u obzir količinu vlastite energije, suvlasnički udjeli prema ostvarenoj uštedi uzimaju u obzir i vrijednost vlastite energije koja nije ista u višoj i nižoj tarifi. Tijekom zimskog računanja vremena kada je niža tarifa na snazi od 21:00 do 07:00 vrlo malo energije će se proizvesti i iskoristiti za vrijeme niže tarife. Međutim, tijekom ljetnog računanja vremena niža tarifa je na snazi od 22:00 do 08:00 i tada se nešto više energije proizvede i iskoristi za podmirivanje potrošnje u nižoj tarifi. Proizvodnja i potrošnja vlastite energije u nižoj tarifi je u jutarnjim satima kada se ljudi bude i pripremaju za posao ili školu te prave doručak što dovodi do povećanja potrošnje. Suvlasnički udio kupca k koji je proporcionalan uštedi određuje se dijeljenjem uštede kupca k s ukupnom uštedom svih kupaca uključenih u dijeljenje prema izrazu (5-22).

$$Share_k = \frac{\sum_{i=1}^{12} C_{\text{saving},i,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{12} C_{\text{saving},i,k}} \quad (5-22)$$

Ostvarena godišnja ušteda kupaca prema kojoj su određeni suvlasnički udjeli, relativni iznosi suvlasničkih udjela te apsolutni udjeli u optimalnoj instaliranoj snazi koja iznosi 18 kW pri faktoru cijene 1 prikazani su u Tablica 5.5. Kako je potrebno provesti dijeljenje energije prilikom određivanja suvlasničkih udjela na temelju ostvarene uštede, prikazani su udjeli za dijeljenje

proporcionalno potrošnji i dijeljenje na temelju pravedne raspodjele. Promjene u suvlasničkim udjelima u odnosu na udjele određene prema potrošnji vlastite energije nisu značajne, a najveća promjena u suvlasničkom udjelu može se vidjeti kod kupca 1. To se može povezati s većom ukupnom potrošnjom te značajnije većom potrošnjom vlastite energije u višoj nego u nižoj tarifi zbog čega vrijednost potrošene vlastite energije ima veći utjecaj. Način određivanja dinamičkih koeficijenta dijeljenja na suvlasničke udjele utječe isto kao i u slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije. Dijeljenje proporcionalno potrošnji rezultira s većom ostvarenom uštedom nego dijeljenje na temelju pravedne raspodjele kod kupaca s većom ukupnom potrošnjom, dok dijeljenje na temelju pravedne raspodjele omogućuje kupcima s manjom ukupnom potrošnjom da ostvare veću uštedu, a time i veće suvlasničke udjele, nego što bi ostvarili dijeljenjem proporcionalno potrošnji.

Tablica 5.5. Određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj uštedi

Kupac	Dijeljenje proporcionalno potrošnji			Dijeljenje na temelju pravedne raspodjele		
	Ušteda [€]	Udio	Udio [kW]	Ušteda [€]	Udio	Udio [kW]
1	303.90	0.1759	3.167	288.81	0.1672	3.010
2	252.51	0.1462	2.632	248.02	0.1436	2.585
3	236.17	0.1367	2.461	232.49	0.1346	2.423
4	200.22	0.1159	2.087	191.24	0.1107	1.993
5	141.58	0.0820	1.475	145.13	0.0840	1.512
6	136.69	0.0791	1.425	141.53	0.0819	1.475
7	141.28	0.0818	1.472	146.72	0.0849	1.529
8	135.53	0.0785	1.412	143.10	0.0829	1.491
9	138.90	0.0804	1.448	145.21	0.0841	1.513
10	40.43	0.0234	0.421	44.96	0.0260	0.469
Ukupno	1727.21	1.0000	18.000	1727.21	1.0000	18.000

Pristup određivanju suvlasničkih udjela na temelju ostvarene uštede u obzir uzima samo vrijednost izravno iskorištene vlastite proizvedene energije. Međutim, proizvedena energija koja nije izravno iskorištena kroz podmirivanje potrošnje isporučuje se opskrbljivaču i za nju se ostvaruje zarada pa tako i isporučena energija ima svoju vrijednost. Iako je vrijednost isporučene energije manja od vrijednosti izravno potrošene energije, zbog velike količine isporučene energije u periodima s velikom proizvodnjom i malom potrošnjom, vrijednost isporučene energije može imati utjecaj na određivanje suvlasničkih udjela.

5.2.4. Suvlasnički udjeli prema dobiti

Kako bi se prilikom određivanja suvlasničkih udjela u FNE, uz vrijednost izravno potrošene energije, mogla promatrati i vrijednost isporučene energije, potrebno je promatrati dobit koju kupci ostvaruju od FNE. Suvlasnički udio kupca k prema ostvarenoj dobiti određuje se dijeljenjem dobiti koju je ostvario kupac k s ukupnom ostvarenom dobiti svih kupaca uključenih u dijeljenje energije prema izrazu (5-23).

$$Share_k = \frac{C_{profit,k}}{\sum_{k=1}^K C_{profit,k}} \quad (5-23)$$

gdje je:

- $C_{profit,k}$ [€] – dobit od FNE za kupca k tijekom jedne godine.

Dobit koju kupac k ostvaruje kroz izravnu potrošnju vlastite energije i isporuku viška proizvedene energije opskrbljivaču računa se kao suma očekivane uštede ostvarene potrošnjom vlastite energije i zarade od isporučene energije tijekom jedne godine, umanjena za udio u godišnjim troškovima održavanja FNE prema izrazu (5-24).

$$C_{profit,k} = \sum_{i=1}^{12} C_{saving,i,k} + \sum_{i=1}^{12} C_{rxport,i,k} - OPEX_k \quad (5-24)$$

gdje je:

- $OPEX_k$ [€] – udio kupca k u godišnjim troškovima održavanja FNE.

Ušteta koju je kupac k ostvario tijekom obračunskog razdoblja i određuje se prema izrazu (5-10) te ovisi o potrošnji vlastite energije i jediničnoj cijeni električne energije u višoj i nižoj tarifi. Potrošnja vlastite energije prema izrazu (5-1) ovisi o koeficijentu dijeljenja te navikama potrošnje, odnosno ostvarena ušteta ne ovisi o suvlasničkom udjelu. Zarada od isporučene energije u obračunskom razdoblju i računa se prema izrazu (5-19) te ovisi o udjelu u isporučenoj energiji i jediničnoj cijeni isporučene električne energije. Udio u isporučenoj energiji tijekom obračunskog razdoblja i određen je prema izrazu (5-18) iz kojeg se može vidjeti da ovisi o suvlasničkom udjelu. Prema tome zarada kupca k od isporučene energije tijekom obračunskog razdoblja i može se zapisati kao funkcija suvlasničkog udjela prema izrazu (5-25).

$$C_{\text{export},i,k} = \left(\text{Share}_k \cdot \sum_{D1}^{D2} \sum_{t=1}^T E_{\text{pv},t} - E_{\text{self},i,k} \right) \cdot c_{\text{export},i} \rightarrow C_{\text{export},i,k} = f(\text{Share}_k) \quad (5-25)$$

Udio u godišnjim troškovima održavanja FNE proporcionalan je suvlasničkom udjelu u FNE pa se tako udio kupca k u troškovima održavanja isto može zapisati kao funkcija suvlasničkog udjela prema izrazu (5-26).

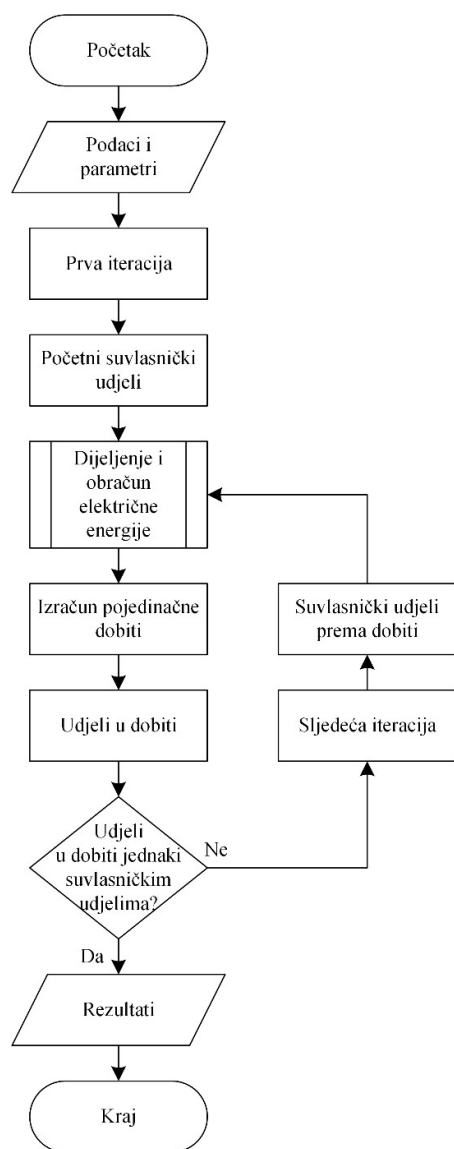
$$OPEX_k = \text{Share}_k \cdot OPEX \rightarrow OPEX_k = f(\text{Share}_k) \quad (5-26)$$

Kako su očekivana zarada od isporučene energije i troškovi održavanja za kupca k funkcije suvlasničkih udjela, očekivana dobit kupca k se također može zapisati kao funkcija suvlasničkog udjela prema izrazu (5-27).

$$C_{\text{profit},k} = f(\text{Share}_k) \quad (5-27)$$

Dobit koju kupac k , koji je ujedno i suvlasnik FNE, ostvari tijekom jedne godine ovisi o tome koliko iznosi suvlasnički udio kupca k u FNE. Prema tome da bi se odredio udio kupca k u ostvarenoj dobiti potrebno je znati koliki je suvlasnički udio kupca k u FNE zbog čega se suvlasnički udjeli na temelju ostvarene dobiti ne mogu jednostavno odrediti kao što je to slučaj s prethodno opisanim i demonstriranim načinima određivanja suvlasničkih udjela. Kako bi se odredili suvlasnički udjeli u FNE prema udjelima u ostvarenoj dobiti, potrebno je provesti iterativni postupak određivanja suvlasničkih udjela prema udjelima u dobiti koji je prikazan dijagramom toka na Slika 5.3.

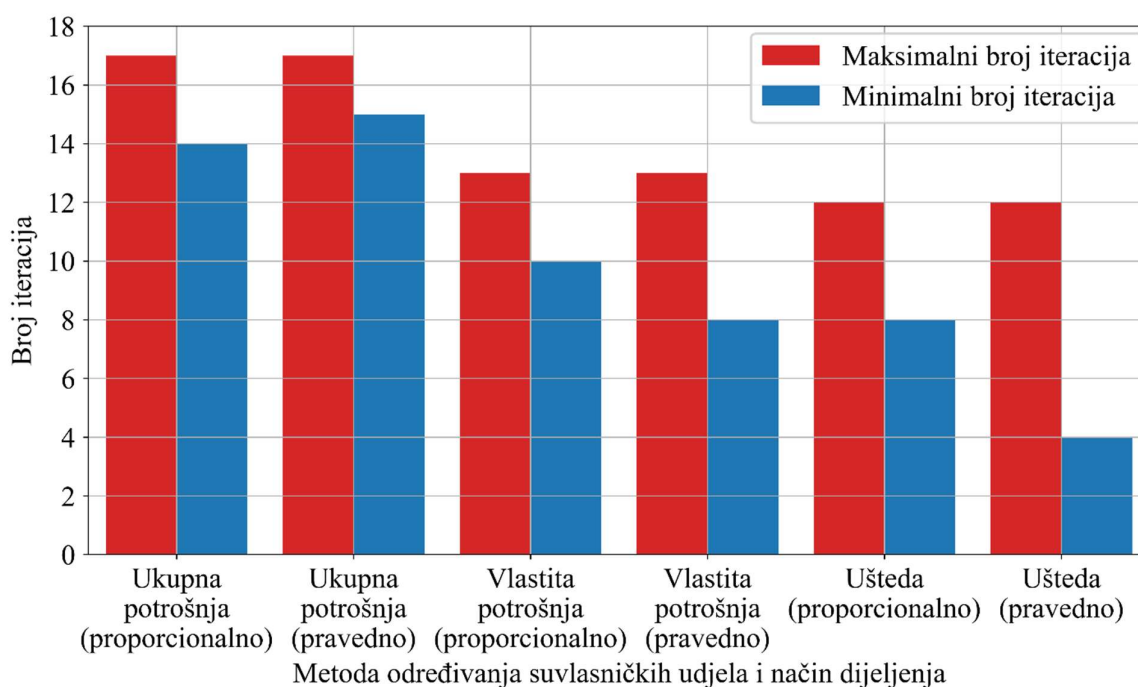
Za prvu iteraciju odabiru se suvlasnički udjeli određeni na neki od prethodno opisanih načina, nakon toga se simulira dijeljenje energije tijekom jedne godine na temelju referentnih podataka o potrošnji kupaca i proizvodnje FNE za tipičnu meteorološku godinu. Nakon što se provede dijeljenje, radi se obračun i određuje ostvarena dobit kupaca. Udio kupaca u ukupnoj dobiti razlikuje se od početnih suvlasničkih udjela. U drugoj iteraciji suvlasnički udjeli su jednaki udjelima u dobiti na kraju prve iteracije. Ponovno se simulira dijeljenje, radi se obračun i određuju udjeli u ostvarenoj dobiti. Suvlasnički udjeli u svakoj sljedećoj iteraciji jednaki su udjelima u ostvarenoj dobiti na kraju prethodne iteracije i iterativni postupak se ponavlja sve dok udjeli u dobiti svih kupaca ne budu jednaki suvlasničkim udjelima. Kada svi kupci imaju udio u ostvarenoj dobiti jednak suvlasničkom udjelu, iterativni postupak je završen.



Slika 5.3. Iterativni postupak određivanja suvlasničkih udjela prema udjelima u dobiti

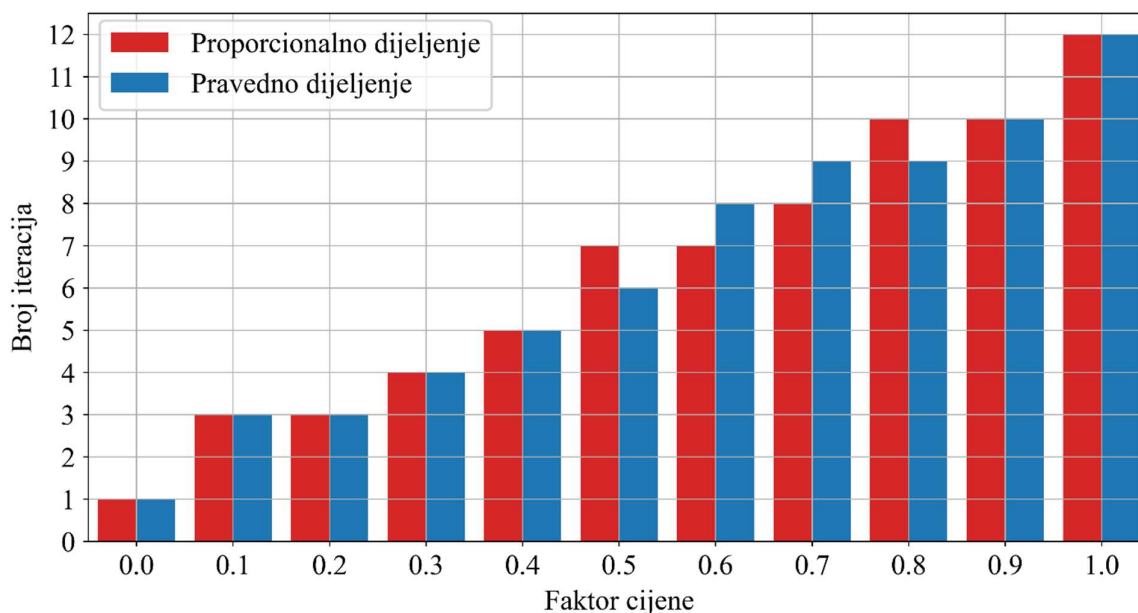
Broj iteracija potreban da bi se odredili suvlasnički udjeli prema dobiti ovisi o načinu na koji se provodi dijeljenje, suvlasničkim udjelima u prvoj iteraciji te o faktoru cijene. Na Slika 5.4. prikazan je maksimalan i minimalan broj iteracija u ovisnosti o suvlasničkim udjelima u prvoj iteraciji i načinu dijeljenja. Maksimalan broj iteracija ovisi o suvlasničkim udjelima u prvoj iteraciji, ali ne ovisi o načinu dijeljenja, dok minimalan broj iteracija ovisi o suvlasničkim udjelima u prvoj iteraciji i načinu dijeljenja. Kada su suvlasnički udjeli u prvoj iteraciji određeni prema ukupnoj potrošnji, potrebno je maksimalno 17 iteracija kako bi se odredili suvlasnički udjeli prema dobiti za sve kupce. Najmanji broj iteracija nakon kojeg se uspješno odredio suvlasnički udio

prema dobiti za nekog od kupaca je 14 u slučaju proporcionalnog i 15 u slučaju pravednog dijeljenja. Kada su suvlasnički udjeli u prvoj iteraciji određeni prema vlastitoj potrošnji, suvlasnički udjeli prema dobiti za sve kupce određeni su kroz maksimalno 13 iteracija dok je minimalni broj iteracija 10 uz proporcionalno i 8 uz pravedno dijeljenje. Uz suvlasničke udjele prema uštedi u prvoj iteraciji, suvlasnički udjeli prema dobiti se za neke kupce mogu odrediti nakon 8 iteracija u slučaju proporcionalnog dijeljenja i već nakon 4 iteracije u slučaju pravednog dijeljenja. Maksimalni broj iteracija kroz koje su određeni suvlasnički udjeli prema dobiti uz suvlasničke udjela prema uštedi u prvoj iteraciji je 12 iteracija zbog čega se u nastavku istraživanja za suvlasničke udjele u prvoj iteraciji odabiru suvlasnički udjeli određeni prema uštedi.



Slika 5.4. Broj iteracija potrebnih za određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj dobiti u ovisnosti o početnim suvlasničkim udjelima

Na Slika 5.5. prikazan je maksimalan broj iteracija potrebnih za određivanje suvlasničkih udjela prema dobiti u ovisnosti o faktoru cijene. Primjetno je da je maksimalan broj potrebnih iteracija veći što je faktor cijene veći pa je tako pri faktoru cijene 1 potrebno 12 iteracija, a već pri faktoru cijene 0.9 dovoljno je 10 iteracija, dok je s faktorom cijene 0.5 dovoljno 7 iteracija u slučaju dinamičkog dijeljenja proporcionalno potrošnji i 6 iteracija u slučaju dinamičkog dijeljenja na temelju pravedne raspodjele.



Slika 5.5. Broj iteracija potrebnih za određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj dobiti u ovisnosti o faktoru cijene

Kako se smanjuje faktor cijene, smanjuje se zarada od isporučene energije pa je ostvarena dobit dominantno ostvarena ušteda. Kada je faktor cijene 0, nema zarade od isporučene energije, odnosno ostvarena dobit jednaka je ostvarenoj uštedi umanjenoj za troškove održavanja čiji je iznos značajno manji od iznosa uštede pa se suvlasnički udjeli prema ostvarenoj dobiti odrede već u prvoj iteraciji. Prikazani broj iteracija je definiran na temelju potrebnih iteracija da se relativni iznosi suvlasničkih udjela izjednače s relativnim iznosima udjela u dobiti na šest decimalnih mjesta, što je zadani broj decimalnih mjesta u korištenom programskom okruženju. Međutim, treba napomenuti da su pri faktoru cijene 1, relativni iznosi suvlasničkih udjela s relativnim iznosima udjela u dobiti izjednačeni na četiri decimalna mjesta kroz 5 iteracija.

Tablica 5.6. prikazuje suvlasničke udjele kupaca određene prema dobiti i udjele u FNE s ukupnom instaliranom snagom u iznosu od 18 kW pri faktoru cijene 1. Utjecaj načina dijeljenja je kao i u prethodnim slučajevima vidljiv kroz suvlasničke udjele prva 4 kupca veće pri dijeljenju proporcionalno potrošnji, prema kojemu više proizvedene energije pripada kupcima s većom potrošnjom, nego pri dijeljenju na temelju pravedne raspodjele. S druge strane, suvlasnički udjeli preostalih 6 kupaca su veći u slučaju dijeljenja na temelju pravedne raspodjele nego u slučaju dijeljenja proporcionalno potrošnji.

Tablica 5.6. Određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj dobiti

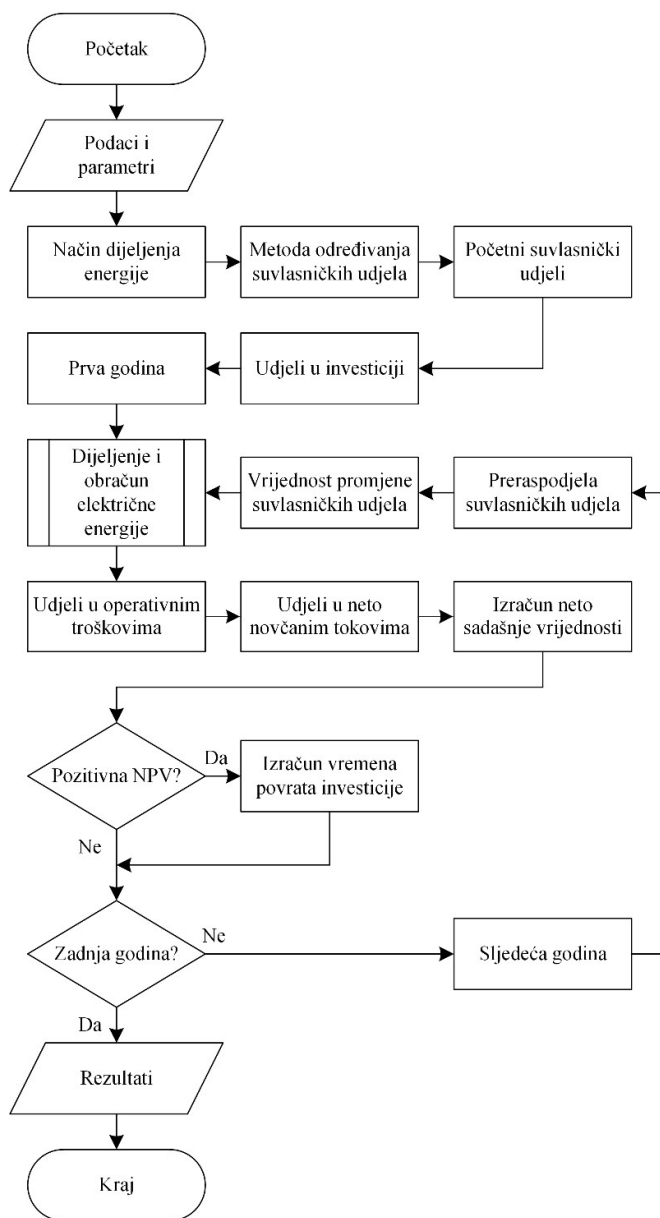
Kupac	Dijeljenje proporcionalno potrošnji			Dijeljenje na temelju pravedne raspodjele		
	Dobit [€]	Udio	Udio [kW]	Dobit [€]	Udio	Udio [kW]
1	468.51	0.1769	3.184	445.29	0.1681	3.026
2	387.69	0.1464	2.635	380.74	0.1438	2.588
3	362.44	0.1369	2.463	356.55	0.1346	2.423
4	308.94	0.1167	2.100	294.97	0.1114	2.005
5	215.96	0.0815	1.468	221.36	0.0836	1.505
6	208.11	0.0786	1.414	215.65	0.0814	1.466
7	216.43	0.0817	1.471	224.95	0.0849	1.529
8	207.27	0.0783	1.409	219.02	0.0827	1.489
9	212.36	0.0802	1.443	222.18	0.0839	1.510
10	60.68	0.0229	0.412	67.66	0.0255	0.460
Ukupno	2648.38	1.0000	18.000	2648.18	1.0000	18.000

Kada se suvlasnički udjeli prema dobiti usporede sa suvlasničkim udjelima prema potrošnji vlastite energije te suvlasničkim udjelima prema uštedi, mogu se uočiti manje promjene iznosa suvlasničkih udjela. Suvlasnički udio koji je određen prema potrošnji vlastite energije znači da će kupac imati spomenuti udio u ukupnoj proizvedenoj energije, a time i u ukupnoj isporučenoj energiji. Kako je vrijednost isporučene energije, odnosno ostvarena zarada manja od vrijednosti vlastite potrošnje, odnosno ostvarene uštede, udio u ukupnoj dobiti za kupce s manjom potrošnjom vlastite energije manji je od njihovih suvlasničkih udjela, dok je udio u ukupnoj dobiti za kupce s većom potrošnjom vlastite energije veći od njihovih suvlasničkih udjela. Kako se ušteda određuje na temelju potrošnje vlastite energije, isto objašnjenje vrijedi i za suvlasnički udio koji je određen prema ostvarenoj uštedi. Zbog toga se kod suvlasničkih udjela određenih prema dobiti može primijetiti povećanje iznosa suvlasničkih udjela kod prva 4 kupca te smanjenje iznosa suvlasničkih udjela kod preostalih 6 kupaca u odnosu na suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije i suvlasničke udjele prema uštedi.

Kod kupaca s malim razlikama u potrošnji vlastite energije te ostvarenoj uštedi se može dogoditi da kupac koji ima najveći suvlasnički udio prema potrošnji vlastite energije i uštedi, nema najveći suvlasnički udio prema dobiti. Ako se promatraju kupci od 5 do 9, može se primijetiti da kupac 5 ima najveći suvlasnički udio prema potrošnji vlastite energije i uštedi dok kupac 7 ima najveći suvlasnički udio prema dobiti.

5.3. Očekivano vrijeme povrata investicije

Ekonomski pravednim suvlasničkim udjelima mogu se smatrati suvlasnički udjeli za koje će se investicija u zajedničku FNE svim suvlasnicima isplatiti u približno isto vrijeme, odnosno ne smije proći previše vremena od trenutka kada prvi suvlasnik otplati investiciju do trenutka kada zadnji suvlasnik otplati investiciju. Očekivano vrijeme povrata investicije za sve suvlasnike FNE određuje se prema dijagramu toka na Slika 5.6.



Slika 5.6. Određivanja očekivanog vremena povrata investicije za suvlasnike FNE

Prvi korak je učitavanje potrebnih ulaznih podataka i parametara, koji su isti kao i prilikom određivanja optimalne instalirane snage FNE, međutim postoji nekoliko razlika koje su navedene i opisane u nastavku:

1. Podaci o potrošnji u stvarnom vremenu promatraju se pojedinačno za svakog kupca dok su se prilikom određivanja optimalne instalirane snage promatrali ukupni podaci o potrošnji svih kupaca u stvarnom vremenu.
2. Vremensko razdoblje za koje se provodi izračun iznosi 10 godina.
3. Dodatni parametar u odnosu na određivanje optimalne instalirane snaga je upravo instalirana snaga FNE koja je određena u ovisnosti o faktoru cijene.

Vremensko razdoblje za koje se provodi izračun prilikom određivanja optimalne instalirane snaga iznosi 30 godina na temelju očekivanog životnog vijeka FNE. Za potrebe određivanja očekivanog vremena povrata investicije svih suvlasnika FNE vremensko razdoblje iznosi 10 godina, a razlozi su sljedeći:

1. Ugovor s opskrbljivačem se potpisuje na vremensko razdoblje od 10 godina i tijekom tih 10 godina vrijede svi uvjeti definirani ugovorom, uključujući faktor cijene koji se koristi prilikom izračuna jedinične cijene isporučene energije.
2. Očekivano vrijeme povrata investicije je kraće od 10 godina.
3. Dva načina određivanja dinamičkih koeficijenata te četiri načina određivanja suvlasničkih udjela dovode do više slučajeva zbog čega je potrebno skratiti vrijeme izračuna i reducirati korištenje računalnih resursa.

Sljedeći korak je odabir jednog od dva načina na koji će se određivati dinamički koeficijenti dijeljenja te definiranje jedne od četiri metode određivanja suvlasničkih udjela. Zatim se na temelju referentnih podataka određuju početni suvlasnički udjeli i prema njima udjeli u troškovima investicije te operativnim troškovima u prvoj godini. Na temelju podataka o potrošnji svakog kupca te podataka o proizvodnji u stvarnom vremenu simulira se dijeljenje u skladu s dinamičkim koeficijentima dijeljenja. Zatim se određuje iznos ostvarene uštede te se vrši obračun preuzete i isporučene električne energije za svakog kupca uključenog u dijeljenje, u svakom obračunskom razdoblju tijekom jedne godine. Nakon što su poznati iznosi ostvarene uštede i zarade za svakog kupca po obračunskim razdobljima u nekoj godini, mogu se odrediti udjeli kupaca u neto novčanim tokovima u promatranoj godini prema izrazu (5-28).

$$NCF_{j,k} = \sum_{i=1}^{12} C_{\text{saving},i,k} + \sum_{i=1}^{12} C_{\text{rxport},i,k} - OPEX_{j,k} + C_{\text{share},j,k} \quad (5-28)$$

gdje je:

- $NCF_{j,k}$ [€] – udio kupca k u neto novčanim tokovima u godini j ,
- $OPEX_{j,k}$ [€] – udio kupca k u troškovima održavanja u godini j ,
- $C_{\text{share},j,k}$ [€] – vrijednost promjene suvlasničkog udjela kupca k u godini j .

U odnosu na izračun neto novčanih tokova za cijelu FNE, kod određivanja udjela kupaca u neto novčanim tokovima pojavljuje se vrijednost promjene suvlasničkog udjela. Na kraju svake godine određuju se novi suvlasnički udjeli koji vrijede u sljedećoj godini, prema jednoj od četiri metode obuhvaćene istraživanjem.

Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj udjelu u ukupnoj potrošnji, novi suvlasnički udjeli na kraju svake godine j određuju se prema izrazu (5-29). Na kraju prve godine promatra se udio kupca u ukupnoj potrošnji u prvoj godini, a na kraju svake sljedeće godine promatra se udio kupca u ukupnoj potrošnji u svim godinama zaključno s godinom j .

$$Share_{j,k} = \frac{\sum_{j=1}^j E_{\text{demand},j,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^j E_{\text{demand},j,k}} \quad (5-29)$$

gdje je:

- $Share_{j,k}$ – suvlasnički udio kupca k u godini j ,
- $E_{\text{demand},j,k}$ [kWh] – ukupna potrošnja kupca k u godini j .

U slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije, određivanje novih suvlasničkih udjela u godini j provodi se prema izrazu (5-30).

$$Share_{j,k} = \frac{\sum_{j=1}^j E_{\text{self},j,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^j E_{\text{self},j,k}} \quad (5-30)$$

gdje je:

- $E_{\text{self},j,k}$ [kWh] – udio kupca k u potrošnji vlastite energije u godini j .

Kada je za određivanje suvlasničkih udjela primijenjena metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi, novi suvlasnički udjeli na kraju svake godine j određuju se prema izrazu (5-31) dok se prema izrazu (5-32) određuju novi suvlasnički udjeli na kraju godine j kada je za određivanje suvlasničkih udjela primijenjena metoda određivanja suvlasnički udjeli prema dobiti.

$$Share_{j,k} = \frac{\sum_{j=1}^j C_{saving,j,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^j C_{saving,j,k}} \quad (5-31)$$

gdje je:

- $C_{saving,j,k}$ [€] – udio kupca k u ostvarenoj uštedi u godini j .

$$Share_{j,k} = \frac{\sum_{j=1}^j C_{profit,j,k}}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^j C_{profit,j,k}} \quad (5-32)$$

gdje je:

- $C_{profit,j,k}$ [€] – udio kupca k u ostvarenoj dobiti u godini j .

Ako se kupcu k na kraju godine j poveća suvlasnički udio u FNE to će dovesti do negativne vrijednosti promjene suvlasničkog udjela, odnosno kupac k mora platiti povećanje suvlasničkog udjela u FNE. Ako se kupcu k smanji suvlasnički udio u FNE na kraju godine j to dovodi do pozitivne vrijednosti promjene suvlasničkog udjela, odnosno kupac k na kraju godine dobije određeni iznos novca za smanjenje suvlasničkog udjela u FNE. Ukupan apsolutni iznos povećanja suvlasničkih udjela na kraju svake godine jednak je ukupnom apsolutnom iznosu smanjenja suvlasničkih udjela na kraju svake godine, odnosno suma vrijednosti promjene suvlasničkih udjela na kraju svake godini iznosi 0.

Za izračun vrijednosti promjene suvlasničkih udjela potrebno je prvo odrediti vrijednost suvlasničkog udjela kupca k na kraju godine j tako da se suvlasnički udio kupca k na kraju godine j pomnoži s ukupnim troškovima investicije u FNE prema jednadžbi (5-33).

$$Value_{j,k} = CAPEX \cdot Share_{j,k} \quad (5-33)$$

gdje je:

- $Value_{j,k}$ [€] – vrijednost suvlasničkog udjela kupca k u godini j .

Vrijednost promjene suvlasničkog udjela kupca k na kraju godine j određuje se prema jednadžbi (5-34) tako da se vrijednost suvlasničkog udjela kupca k na kraju godine j oduzme od vrijednosti suvlasničkog udjela kupca k na početku godine j , odnosno od vrijednosti suvlasničkog udjela na kraju prethodne godine.

$$C_{share,j,k} = Value_{j-1,k} - Value_{j,k} \quad (5-34)$$

Očekivana neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela kupca k u FNE na kraju godine j jednaka je sumi diskontiranih godišnjih novčanih tokova za sve godine zaključno s godinom j umanjenoj za udio kupca k u troškovima investicije u FNE prema izrazu (5-35).

$$NPV_{j,k} = -CAPEX_k + \sum_{j=1}^j \frac{NCF_{j,k}}{(1+r)^j} \quad (5-35)$$

gdje je:

- $NPV_{j,k}$ [€] – neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela kupca k u FNE na kraju godine j ,
- $CAPEX_k$ [€] – udio kupca k u troškovima investicije u FNE.
- r – diskontna stopa.

U godini u kojoj očekivana neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela kupca k u FNE postane veća od nule dolazi do povrata investicije u FNE za kupca k . Očekivano vrijeme povrata investicije u FNE za kupca k određuje se prema (5-36) tako da se godini koje je nastupila prije godine u kojoj je neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela kupca k postala pozitivna dodaje novčani iznos suvlasničkog udjela kupca k u FNE koji još nije otplaćen, podijeljen s udjelom kupca k u očekivanim diskontiranim neto novčanim tokovima u godini u kojoj je došlo do povrata investicije u FNE.

$$PBP_k = j - 1 + \frac{|NPV_{j-1,k}|}{\frac{NCF_{j,k}}{(1+r)^j}} \quad (5-36)$$

gdje je:

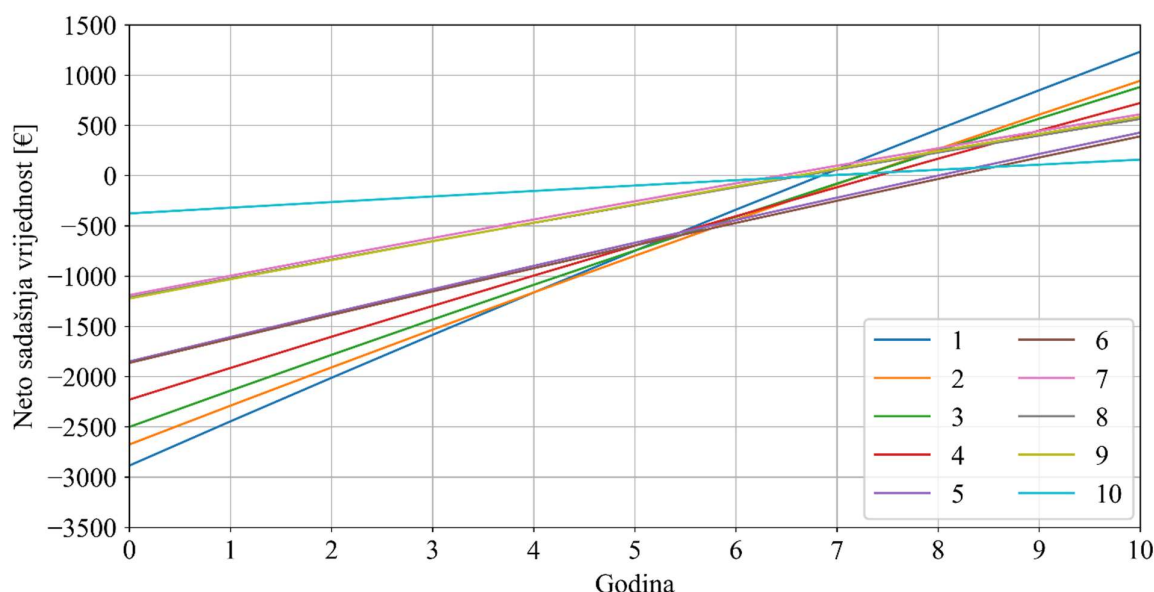
- PBP_k – očekivano vrijeme povrata investicije u FNE za kupca k .

5.4. Usporedba metoda određivanja suvlasničkih udjela

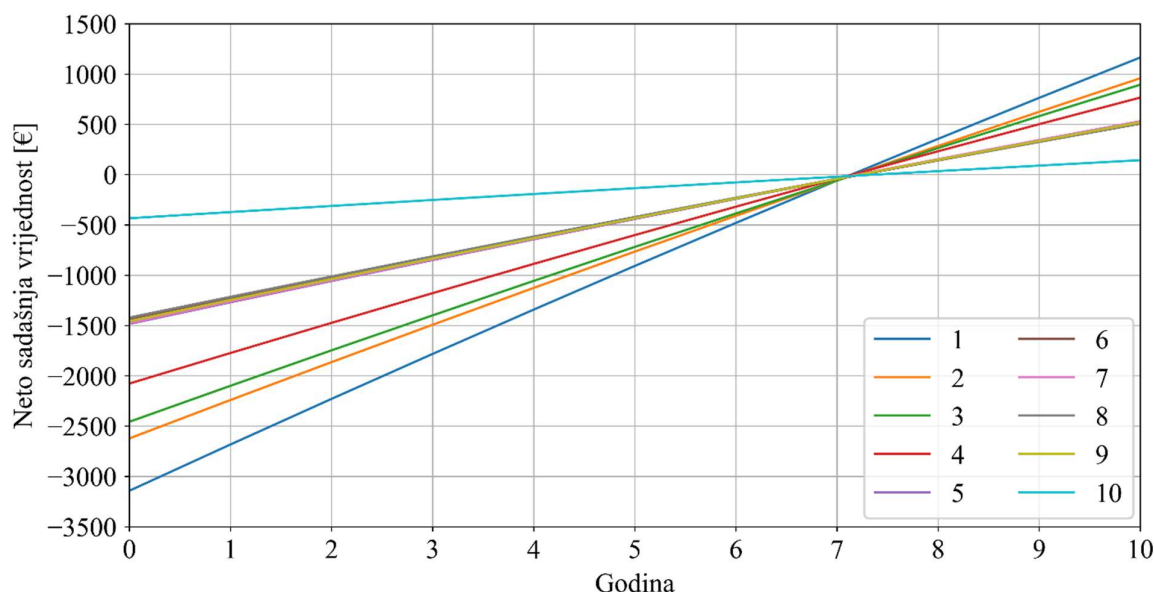
Kako bi se usporedile različite metode određivanja suvlasničkih udjela potrebno je provesti vrednovanje suvlasničkih udjela na temelju očekivanog vremena povrata investicije. Simulirat će se dijeljenje energije u stvarnom vremenu kroz razdoblje od 10 godina na temelju proizvodnje električne energije prema podacima za tipičnu meteorološku godinu i podataka o potrošnji za referentnu godinu. Usporedba će provesti prvo za dinamičko dijeljenje proporcionalno potrošnji, a nakon toga za dinamičko dijeljenje na temelju pravedne raspodjele.

5.4.1. Dinamičko dijeljenje proporcionalno potrošnji

Na temelju simulacije dijeljenja tijekom 10 godina izračunata je neto sadašnja vrijednost na kraju svake godine za kupce uključene u dijeljenje. Slika 5.7. prikazuje grafove neto sadašnjih vrijednosti suvlasničkih udjela kupaca kada su suvlasnički udjeli određeni prema ukupnoj potrošnji. Neto sadašnja vrijednost u nultoj godini predstavlja udio u investiciji koji je najveći za kupca 1, a najmanji za kupca 10. Iz grafova se može vidjeti kako neto sadašnje vrijednosti u različito vrijeme postaju pozitivne što dovodi do razlika u vremenu povrata. Suvlasnički udjeli na temelju potrošnje vlastite energije dovode do manje razlike u vremenu povrata što se može vidjeti iz grafova neto sadašnjih vrijednosti suvlasničkih udjela kupaca prikazanih na Slika 5.8.



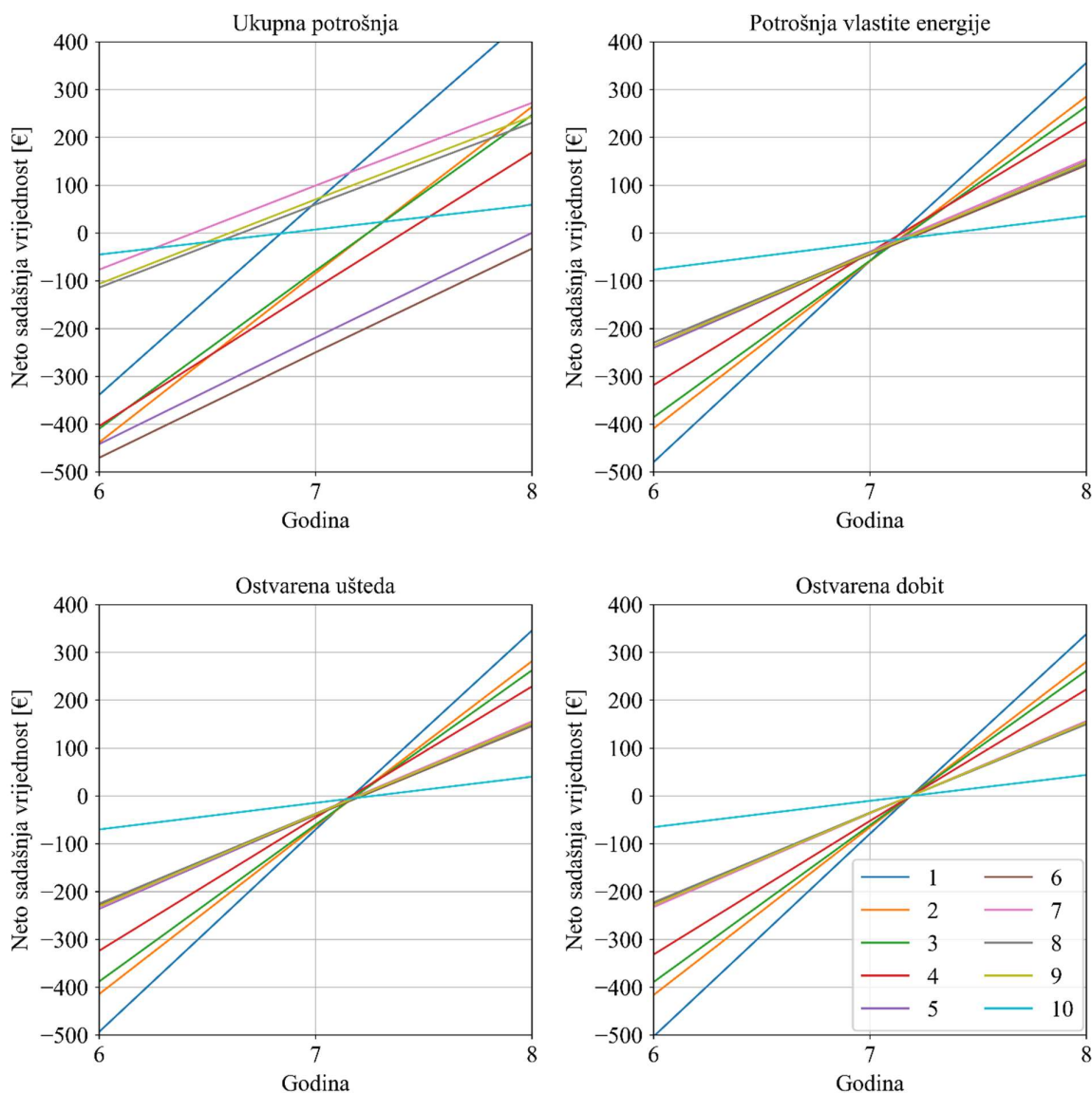
Slika 5.7. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji



Slika 5.8. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije

Prema ukupnoj potrošnji neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela kupca 1 ranije postaje pozitivna zbog toga što je suvlasnički udio manji od stvarnih potreba, dok je suvlasnički udio prema potrošnji vlastite energije primjetno veći kako bi se uskladio sa stvarnim potrebama. Kupcima 5 i 6 prema ukupnoj potrošnji pripadaju suvlasnički udjeli koji su veći od stvarnih potreba zbog čega neto sadašnje vrijednosti kasnije postanu pozitivne, dok kupcima 7, 8 i 9 zbog manje ukupne potrošnje pripadaju suvlasnički udjeli koji su manji od stvarnih potreba pa neto sadašnje vrijednosti ranije postanu pozitivne. Prema potrošnji vlastite energije, kupcima 5, 6, 7, 8 i 9 pripadaju približno jednaki suvlasnički udjeli koji su prilagođeni stvarnim potrebama zbog čega neto sadašnje vrijednosti njihovih suvlasničkih udjela postaju pozitivne u približno isto vrijeme.

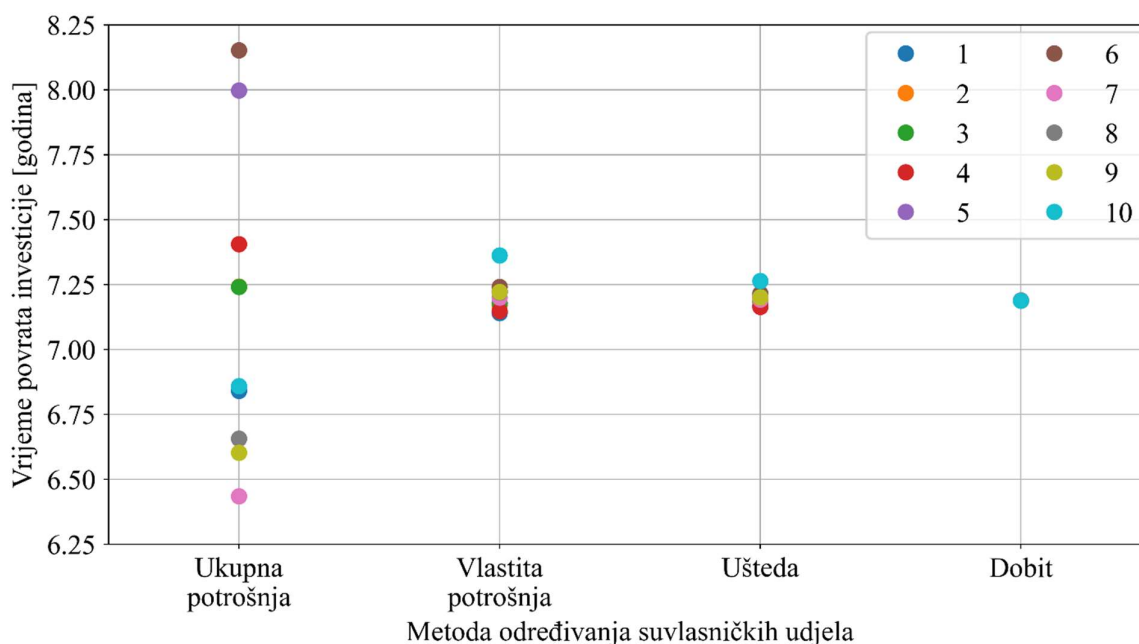
Razliku između neto sadašnjih vrijednosti suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije te suvlasničkih udjela prema uštedi i dobiti teško je uočiti iz prikaza za 10 godina. Zbog toga je za usporedbu na Slika 5.9. prikazan uvećani prikaz neto sadašnjih vrijednosti između 6. i 8. godine. Iz uvećanog prikaza mogu se vidjeti velike razlike u vremenu kada iznosi neto sadašnjih vrijednosti postaju pozitivni u slučaju suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji. Također se može vidjeti da u slučaju suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije, iznosi neto sadašnjih vrijednosti postaju pozitivni u različito vrijeme. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema uštedi razlike su manje dok su u slučaju suvlasničkih udjela prema dobiti razlike minimalne.



Slika 5.9. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela određenih korištenjem različitih metoda pri proporcionalnom dijeljenju

Očekivano vrijeme povrata investicije za suvlasničke udjele određene prema 4 metode prikazano je na Slika 5.10. U slučaju udjela prema ukupnoj potrošnji, kupac 7 ima najkraće vrijeme povrata investicije od 6.43 godine, dok kupac 6 ima najdulje vrijeme povrata investicije od 8.15 godina. Za manje od 7 godina, investicija će se isplatiti kupcima 7, 8, 9 i 10 kojima su pripali manji suvlasnički udjeli zbog manje ukupne potrošnje električne energije te kupcu 1 koji unatoč najvećoj ukupnoj potrošnji električne energije ima suvlasnički udio koji je manji u odnosu na

stvarnu udio u potrošnju vlastite energije. S druge strane, kupci 5 i 6 zbog prevelikih suvlasničkih udjela u odnosu na stvarne udjele u potrošnji vlastite energije imaju dulje vrijeme povrata investicije. Ukupno vrijeme koje protekne od trenutka kada kupac 7 otplati svoj udio u investiciji do trenutka kada kupac 6 otplati svoj udio u investiciji je 1.72 godine odnosno 20.6 mjeseci zbog čega se suvlasnički udjeli određeni prema ukupnoj potrošnji ne mogu smatrati pravednim suvlasničkim udjelima.

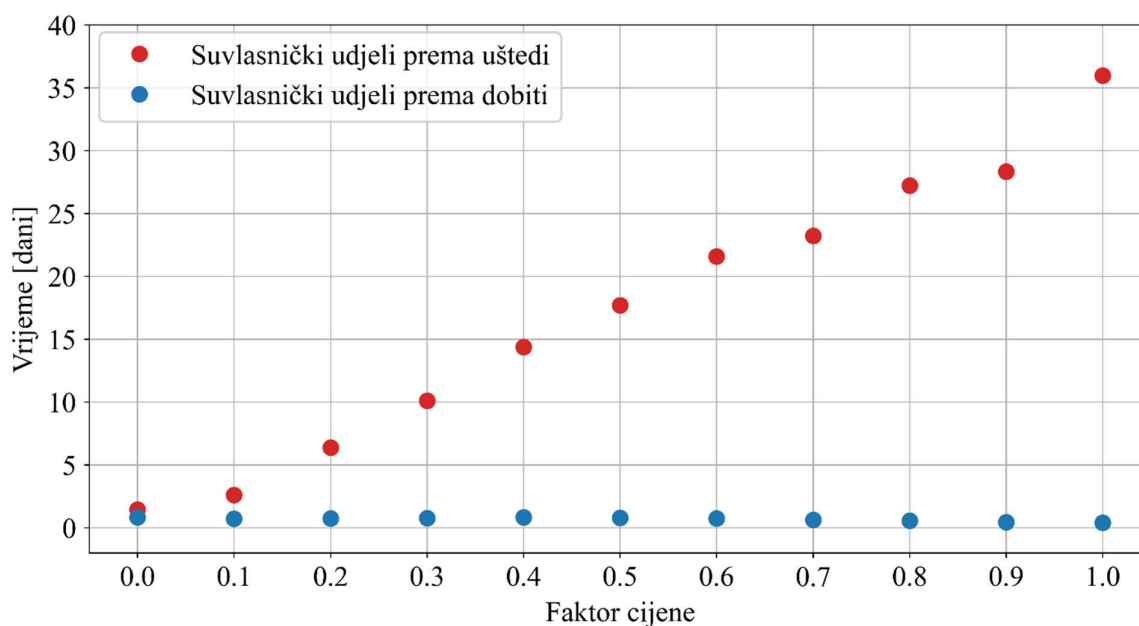


Slika 5.10. Očekivano vrijeme povrata investicije za suvlasničke udjele određene korištenjem različitih metoda pri proporcionalnom dijeljenju

Kada se suvlasnički udjeli određuju prema vlastitoj potrošnji, vrijeme koje protekne od trenutka kada prvi kupac otplati investiciju do trenutka kada posljednji kupac otplati investiciju je 0.22 godina, odnosno 2.7 mjeseci. Razlog za to je što su suvlasnički udjeli prema vlastitoj potrošnji prilagođeni potrebama, odnosno svakom kupcu pripada udio prema tome koliko troši vlastite energije. Prvi će svoj udio u investiciji otplatiti kupac 1 za 7.14 godina dok će zadnji svoj udio u investiciji otplatiti kupac 10 za 7.36 godina. Može se vidjeti da kupac 10 ima dulje vrijeme povrata investicije od ostalih kupaca. U slučaju suvlasničkih udjela prema uštedi, kupac 10 i dalje ima najdulje vrijeme povrata investicije, ali ipak manje nego u slučaju suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije. Vrijeme koje protekne od trenutka kada prvi kupac otplati investiciju

do trenutka kada zadnji kupac otplati investiciju je sada nešto više od mjesec dana, točnije 34 dana. Najkraće vrijeme povrata investicije od 7.17 godina ima kupac 1 dok najdulje vrijeme povrata investicije od 7.26 godina ima kupac 10. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema udjelima u dobiti, svi kupci otplate svoje udjele u investiciji isti dan ubog čega se suvlasnički udjeli prema dobiti mogu smatrati pravednim suvlasničkim udjelima.

O faktoru cijene ovisi zarada od isporučene energije, a time i dobit koju kupci ostvaruju. Kako se optimalna instalirana snaga mijenja ovisno o faktoru cijene, to utječe i na očekivano vrijeme povrata investicije. Na Sliku 5.11. prikazana je usporedba razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije e za suvlasničke udjele prema uštedi i dobiti, u ovisnosti o faktoru cijene. Pri proporcionalnom dijeljenju kada faktor cijene iznosi 1, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je 1 dan u slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti te 34 dana u slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi. Kada se primjeni metoda određivanja suvlasničkih udjeli prema uštedi razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije značajno se smanjuje sa smanjenjem faktora cijene pa je tako pri faktoru cijene 0.9 razlika 29 dana, pri faktoru cijene 0.5 razlika je 18 dana, a pri faktoru cijene 0.2 razlika je 7 dana, odnosno jedan tjedan.



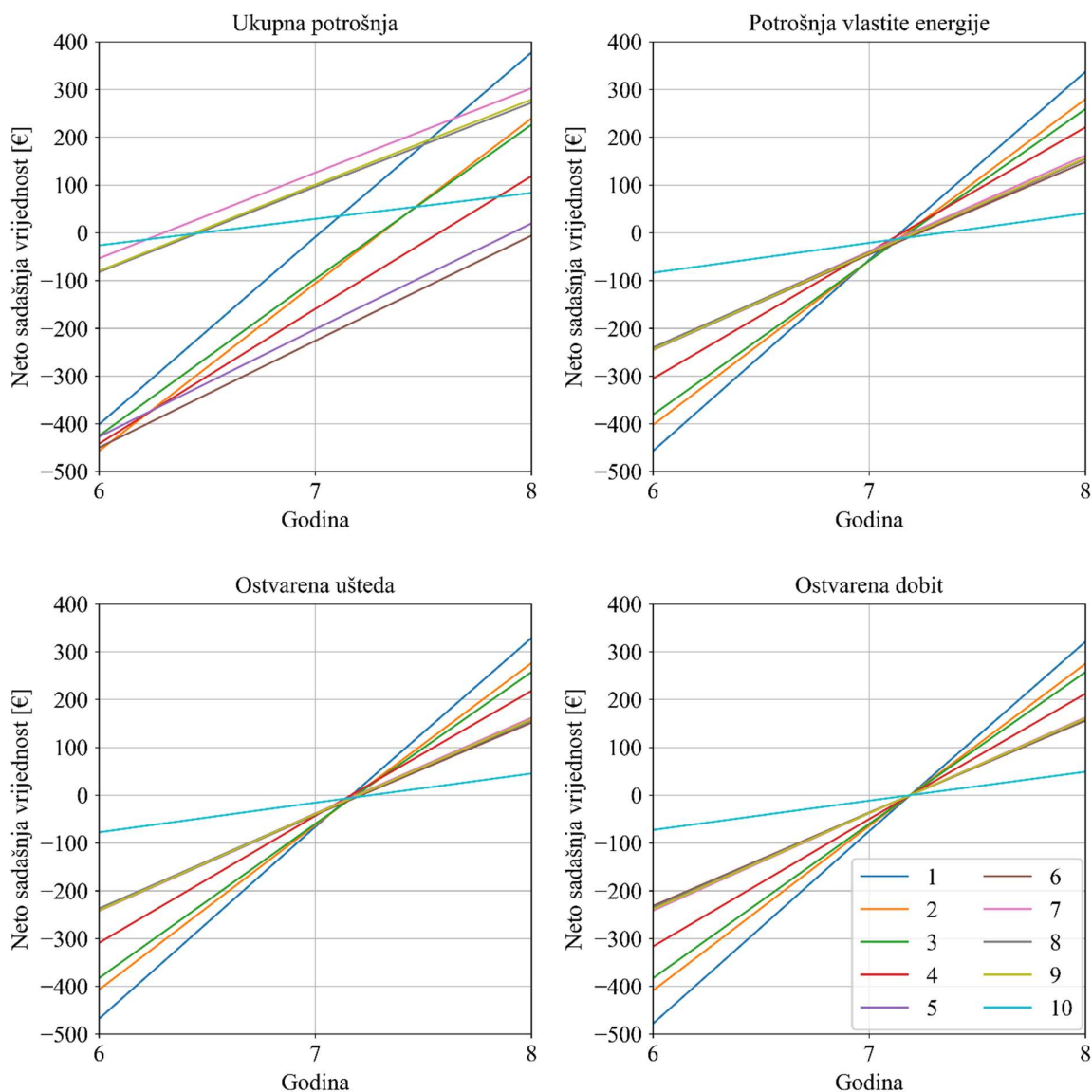
Slika 5.11. Usporedba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata za suvlasničke udjele prema uštedi i dobiti u ovisnosti o faktoru cijene pri proporcionalnom dijeljenju

S druge strane, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se suvlasnički udjeli određuju prema dobiti ne mijenja se u ovisnosti o faktoru cijene. Kako se faktor cijene smanjuje, razlike između metode određivanja suvlasničkih udjele prema uštedi i metode određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti postaje sve manja, a razlog za to je što se sa smanjenjem faktora cijene smanjuje zarada od isporučene energije, odnosno ostvarena dobit je dominantno ušteda. Kada je faktor cijene 0, nema zarade od isporučene energije, odnosno dobit je jednaka uštedi umanjenoj za troškove održavanja. Zbog toga će se investicija svim kupcima isplatiti isti dan u slučaju udjela prema dobiti, te unutar 2 dana u slučaju udjela prema uštedi.

5.4.2. Dinamičko dijeljenje na temelju pravedne raspodjele

Primjenom dinamičkog dijeljenja na temelju pravedne raspodjele dobiju se rezultati slični onima dobivenim uz dinamičko dijeljenje proporcionalno potrošnji, međutim postoje manje razlike. Uvećani prikaz grafova neto sadašnjih vrijednosti suvlasničkih udjela kupaca određenih pomoću 4 različite metode prikazan je na Slika 5.12. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji, može se uočiti da neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela kupca 1 kasnije postane pozitivna u odnosu na dijeljenje proporcionalno potrošnji zato što kupac 1 uz isti suvlasnički udio pri dijeljenju na temelju pravedne raspodjele dobije manje energije za podmirivanje potrošnje zbog čega ostvaruje manju uštedu te u konačnici ostvaruje manju dobit. S druge strane, kupcima 7, 8 i 9 pripada više energije na temelju pravedne raspodjele zbog čega ostvaruju veću uštedu i uz isti suvlasnički udio iznosi neto sadašnjih vrijednosti ranije postanu pozitivni nego u slučaju dijeljenja proporcionalno potrošnji.

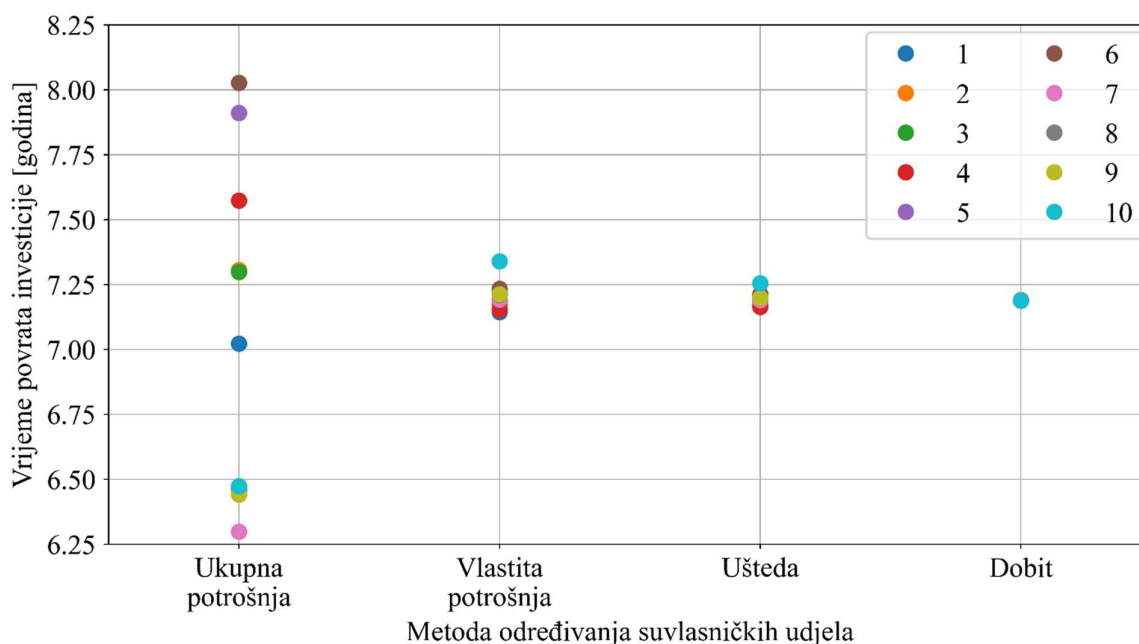
Kupci 5 i 6 i u slučaju dijeljenja na temelju pravedne raspodjele prolaze najgoru odnosno iznosi njihovih neto sadašnjih vrijednosti zadnji postanu pozitivni, a razlog za to je što iako imaju znatno veću ukupnu potrošnju od kupaca 7, 8 i 9, imaju približno jednaku potrošnju vlastite energije. Zbog toga suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije daju puno bolje rezultate, odnosno iznosi neto sadašnjih vrijednosti suvlasničkih udjela svih kupaca postaju pozitivni u približno isto vrijeme. Međutim, ako se dobro pogleda uvećani prikaz, primijete se razlike u trenucima kada iznosi neto sadašnjih vrijednosti postaju pozitivni. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema uštedi, rezultati su nešto bolji, ali i dalje se mogu uočiti male razlike u trenucima kada iznosi neto sadašnjih vrijednosti suvlasničkih udjela postanu pozitivni. Kao i u slučaju dijeljenja proporcionalno potrošnji, najbolji rezultati se dobiju pri određivanju suvlasničkih udjela prema dobiti kada iznosi suvlasničkih udjela postanu pozitivni u isto vrijeme.



Slika 5.12. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela određenih korištenjem različitih metoda pri pravednom dijeljenju

Očekivano vrijeme povrata investicije za suvlasničke udjele određenih pomoću 4 metode kada se energija dijeli na temelju pravedne raspodjele prikazano je na Slika 5.13. Kada su suvlasnički udjeli određeni prema ukupnoj potrošnji, najkraće vrijeme povrata od 6.30 godina postigao je kupac 7, dok je najdulje vrijeme od 8.03 godina postigao kupac 6. Vrijeme povrata za kupce s najmanjom potrošnjom, a to su kupci 7, 8, 9 i 10, je manje od 6.5 godina dok svi ostali kupci imaju vrijeme povrata iznad 7 godina. Jasno se može vidjeti utjecaj dijeljenja na temelju

pravedne raspodjele kojim se kupcima s manjom potrošnjom dodjeljuje više energije nego u slučaju dijeljenja proporcionalno potrošnji. Ukupno vrijeme koje je proteklo od trenutka u kojem je kupac 7 otplatio svoj udio u investiciji do trenutka u kojem je kupac 6 otplatio svoj udio u investiciji je 1.73 godina, odnosno 20.7 mjeseci, što je neznatno više nego u slučaju dijeljenja proporcionalno potrošnji. Zbog velike razlike u očekivanim vremenima povrata investicije suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji se ni u ovom slučaju ne mogu smatrati pravednim.

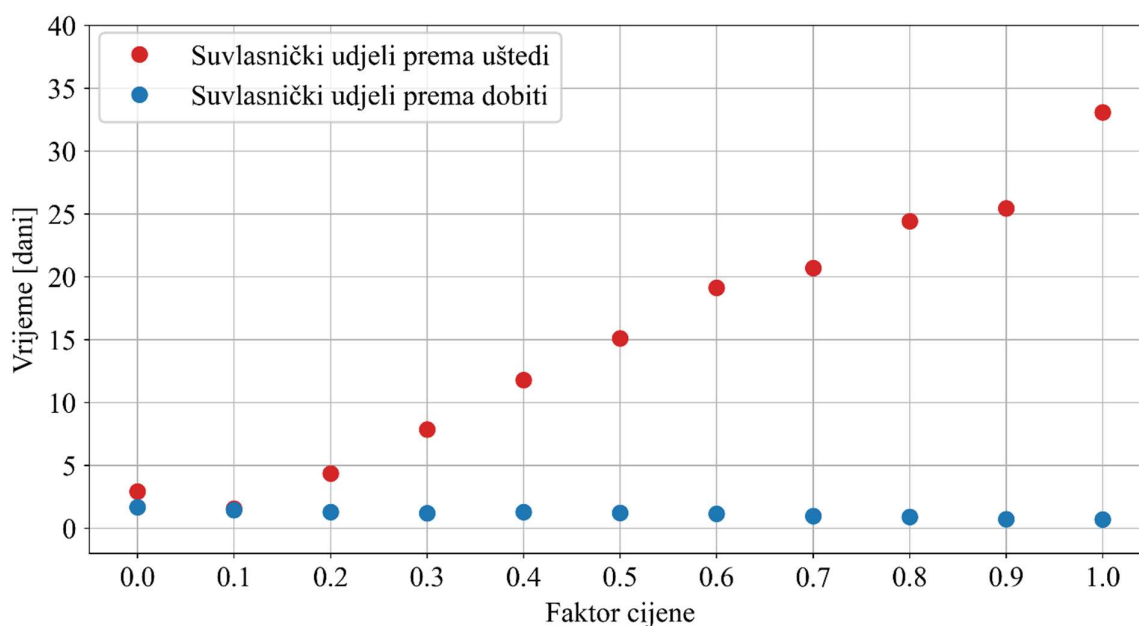


Slika 5.13. Očekivano vrijeme povrata investicije za suvlasničke udjele određene korištenjem različitih metoda pri pravednom dijeljenju

U slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema udjelu u vlastitoj potrošnji, kupac 1 otplati svoj udio u investiciji kroz 7.14 godina, dok kupac 10 svoj udio otplati kroz 7.34 godina. Vrijeme koje protekne od trenutka u kojem kupac 1 otplati svoj udio u investiciji do trenutka u kojem kupac 10 otplati svoj udio je 0.20 godina, odnosno 2.4 mjeseca što je manje nego u slučaju dijeljenja proporcionalno potrošnji. I u ovom slučaju je vrijeme povrata udjela u investiciji nešto veće za kupac 10, ali manje nego u prethodnom slučaju. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema udjelu kupaca u uštedi, vrijeme povrata udjela u investiciji za kupca 10 je i dalje nešto veće. Može se očekivati da će od trenutka kada prvi kupac otplati svoj udio u investiciji do trenutka kada posljednji kupca otplati svoj udio u investiciji proći 33 dana, što je dan manje u usporedbi s

dijeljenjem proporcionalno potrošnji. Svoj udio će prvi otplatiti kupac 4 za 7.17 godina, dok će svoj udio posljednji kupac 10 za 7.26 godina. U slučaju da su suvlasnički udjeli određeni prema dobiti, svi kupci će svoje udjele u investiciji otplatiti isti dan, zbog čega se suvlasnički udjeli prema dobiti mogu smatrati pravednim i u slučaju pravednog dijeljenja.

Na Slika 5.14. prikazana je usporedba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele određene prema uštedi i dobiti u ovisnosti o faktoru cijene pri pravednom dijeljenju. Kako se faktor cijene smanjuje tako se smanjuje razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se suvlasnički udjeli određuju prema uštedi, dok se u slučaju suvlasničkih udjela prema dobiti ne mijenja značajno. Pri faktoru cijene 1, razlika je 1 dan u slučaju suvlasničkih udjela prema dobiti te 33 dana u slučaju suvlasničkih udjela prema uštedi, dok pri faktoru cijene 0.5 u slučaju suvlasničkih udjela prema uštedi razlika 15 dana. Kada faktor cijene iznosi 0.1, razlika je manja od 2 dana neovisno o metodi određivanja suvlasničkih udjela dok je uz faktor cijene 0 razlika 3 dana u slučaju udjela prema uštedi te 2 dana u slučaju udjela prema dobiti. Razlog za malu razliku pri malom faktoru cijene je smanjenje zarade, odnosno dobit je jednaka uštedi umanjenoj za troškove održavanja.



Slika 5.14. Usporedba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata za suvlasničke udjele prema uštedi i dobiti u ovisnosti o faktoru cijene pri pravednom dijeljenju

6. VREDNOVANJE METODA ODREĐIVANJA SUVLASNIČKIH UDJELA U FOTONAPONSKOJ ELEKTRANI VIŠESTAMBENE ZGRADE

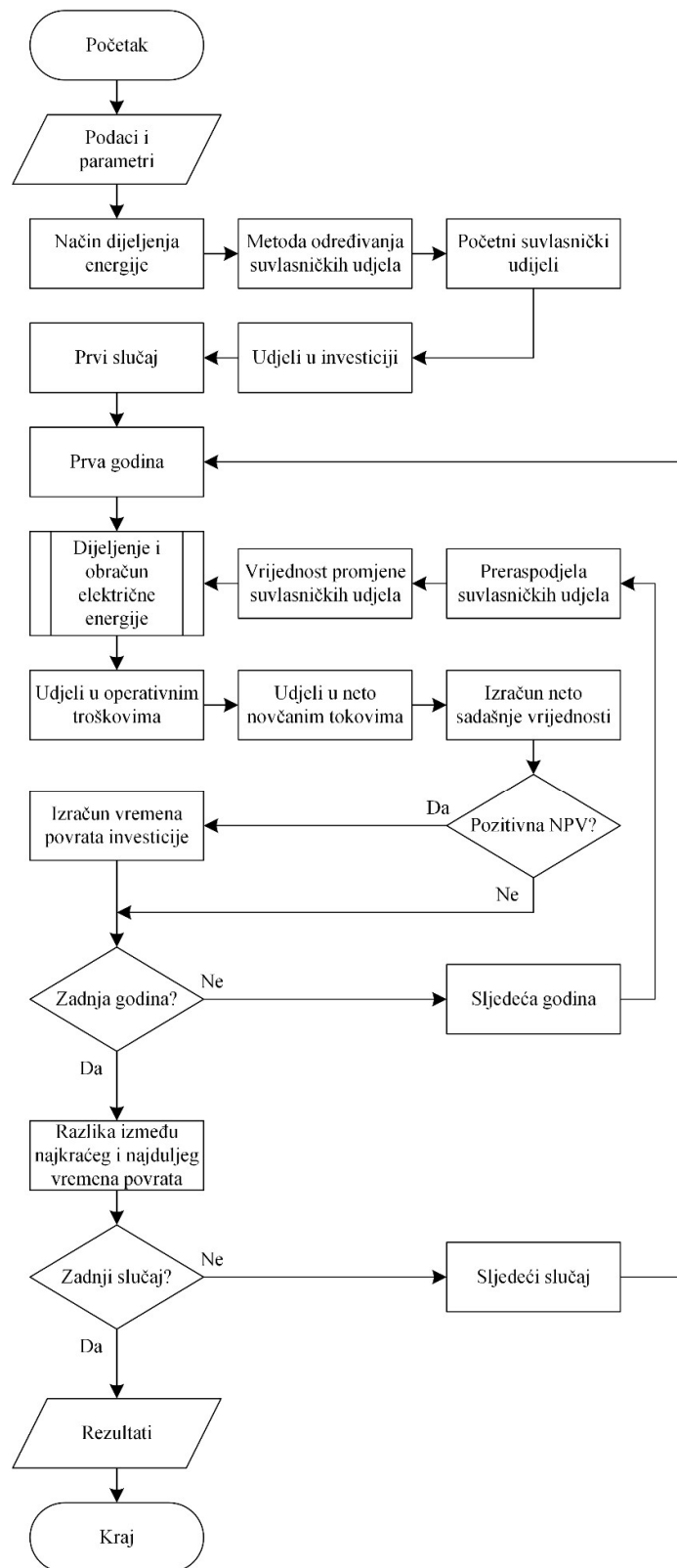
Očekivano vrijeme povrata investicije suvlasničkih udjela kupaca u zajedničkoj FNE u prethodnom poglavlju određeno je determinističkim pristupom u kojem je moguć samo jedan krajnji ishod za svaki od načina dijeljenja energije i za svaku metodu određivanja suvlasničkih udjela. Podaci o proizvodnji tijekom svih 10 godina su procijenjeni na temelju podataka za tipičnu meteorološku godinu, podaci o potrošnji tijekom svih 10 godina su jednaki referentnim podacima o potrošnji, a stopa inflacije je 2 % godišnje. Uz primjenu determinističkog pristupa nije došlo do promjene udjela kupaca u ukupnoj potrošnji, dok su se udjeli kupaca u potrošnji vlastite energije, uštedi i dobiti minimalno promijenili zbog degradacije FN modula i smanjenja proizvodnje električne energije tijekom godina. Predložena metoda određivanja ekonomski pravednih suvlasničkih udjela u FNE višestambene zgrade prema udjelu u dobiti rezultirala je s očekivanim vremenom povrata udjela u investiciji za sve suvlasnike unutar jednog dana, čime se pokazala boljom u usporedbi s metodom određivanja suvlasničkih udjela prema udjelima u ukupnoj potrošnji, metodom određivanja suvlasničkih udjela prema udjelima u potrošnji vlastite energije te metodom određivanja suvlasničkih udjela prema udjelima u uštedi.

U stvarnoj primjeni ne postoji samo jedan krajnji ishod pošto je proizvodnja električne energije iz FNE nepredvidiva, potrošnja električne energije i navike potrošnje se mijenjaju što nije moguće točno predvidjeti, rast cijene električne energije se također ne može točno predvidjeti, odnosno moguće je više krajnjih ishoda. Također se može očekivati dulji vremenski period unutar kojega će se udio u investiciji otplatiti svim suvlasnicima. Vrednovanje različitih metoda određivanja suvlasničkih udjela potrebno je provesti na temelju krajnjeg ishoda za više različitih simuliranih slučajeva, odnosno primjenom Monte Carlo simulacija. Monte Carlo metodu razvio je poljski matematičar, nuklearni fizičar i računalni znanstvenik Stanislaw Marcin Ulam, a inspiracija za metodu je vjerojatnost dobitka u igrama na sreću [99] zbog čega metoda nosi naziv po gradu Monte Carlo u kneževini Monako, poznatom po kockarnicama i igrama na sreću. Metoda se temelji na ponavljanju simulacija za slučajne ulazne podatke, a krajnji rezultat je vjerojatnost određenog rješenja. Monte Carlo metoda je korisna za vrednovanje složenih matematičkih modela sa stajališta brzine i točnosti [100], odnosno daje uvid u ponašanje modela u stvarnoj primjeni s nepredvidivim ulaznim varijablama.

Vrednovanje odabrane metode određivanja suvlasničkih udjela provodi se prema dijagramu toka prikazanom na Slika 6.1. Prvo je potrebno učitati ulazne podatke i parametre, zatim se odabire jedan od dva načina dinamičkog dijeljenja te jedna od četiri metode određivanja suvlasničkih udjela. Na temelju početnih suvlasničkih udjela dobivenih prema referentnim podacima, određuju se udjeli suvlasnika u troškovima investicije. Odabiru se ulazni podaci za prvi slučaj, a to su proizvodnja, potrošnja svih kupaca uključenih u dijeljenje energije te cijena električne energije tijekom vremenskog razdoblja od 10 godina na temelju stope inflacije u svakoj godini. Za svaku godinu provodi se dinamičko dijeljenje s vremenskim korakom 15 minuta. Sljedeći korak je obračun ostvarene uštede te udjela u preuzetoj i isporučenoj energiji svih kupaca uključenih u dijeljenje za svako obračunsko razdoblje tijekom jedne godine. Zatim se određuju udjeli u neto novčanim tokovima te neto sadašnja vrijednost suvlasničkih udjela na kraju godine.

Za razliku od determinističkog pristupa gdje nema promjene potrošnje, u stohastičkom pristupu u obzir se uzimaju promjene navika i povećanje potrošnje zbog čega se na kraju svake godine vrši preraspodjela suvlasničkih udjela uz financijsku kompenzaciju promjene suvlasničkih udjela kroz vrijednost promjene suvlasničkih udjela. Novi suvlasnički udjeli određuju se primjenom iste metode kojom su određeni početni suvlasnički udjeli, a svrha je osigurati pravedne suvlasničke udjele tijekom cijelog vremenskog razdoblja korištenja FNE. Dijeljenje i obračun se provodi tijekom vremenskog razdoblja od 10 godina, pri čemu su u svakoj godini primijenjeni novi suvlasnički udjeli. U godini u kojoj neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela postane pozitivna, određuje se vrijeme povrata investicije.

Nakon što se odredi vrijeme povrata investicije svih suvlasnika za svaki slučaj, na temelju dobivenih rezultata provodi se vrednovanje metode određivanja suvlasničkih udjela. Krajnji rezultat za svaki slučaj je vrijeme povrata investicije svih suvlasnika te razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. Rezultat Monte Carlo simulacije je vjerojatnost da će pri odabranom načinu dijeljenja i metodi određivanja suvlasničkih udjela, vrijeme između povrata investicije svih suvlasnika biti unutar definiranog vremena. Cilj je provjeriti hoće li se metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ostvarenoj dobiti, koja se uz deterministički pristup pokazala najboljom, pokazati najboljim rješenjem kada se uvedu promjene proizvodnje i potrošnje. Pojedinačna vremena povrata investicije su potrebna kako bi se vidio utjecaj promjena navika i povećanja potrošnje na vrijeme povrata investicije svih kupaca uključujući i kupce koji ne mijenjaju navike i ne povećavaju potrošnju.



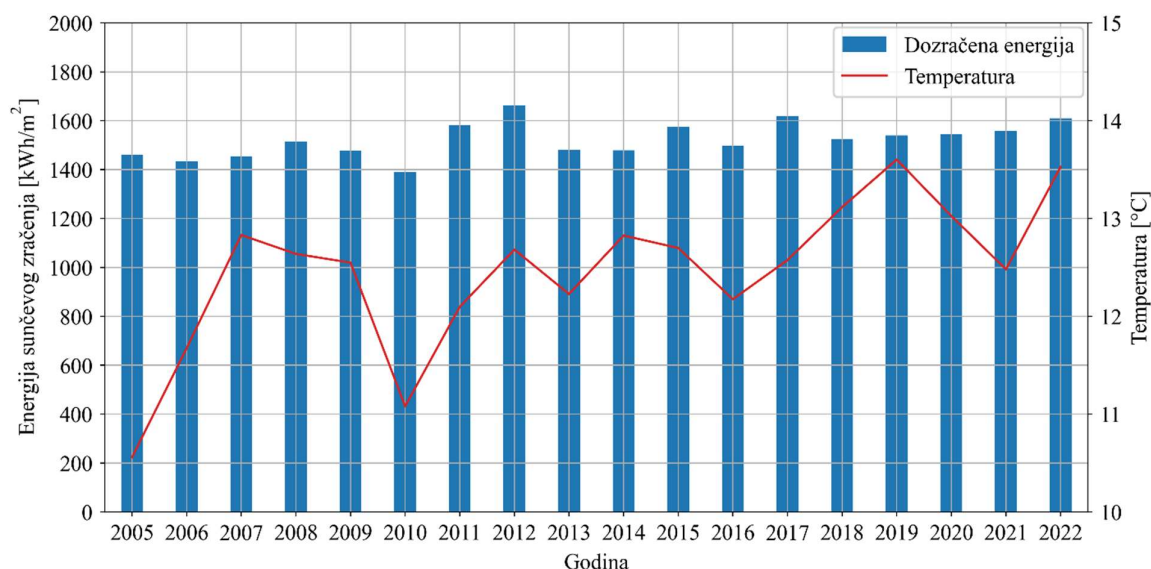
Slika 6.1. Vrednovanje metode određivanja suvlasničkih udjela u FNE

6.1. Ulazni podaci

Kako bi se postigao veliki broj različitih ishoda, za svaki simulirani slučaj potrebno je generirati nove ulazne podatke, a to su podaci o proizvodnji električne energije FNE, podaci o potrošnji električne energije te godišnji rast cijene električne energije. Kako bi se dobili različiti podaci o proizvodnji električne energije potrebni su povijesni meteorološki podaci o intenzitetu sunčevog zračenja i temperaturi zraka.

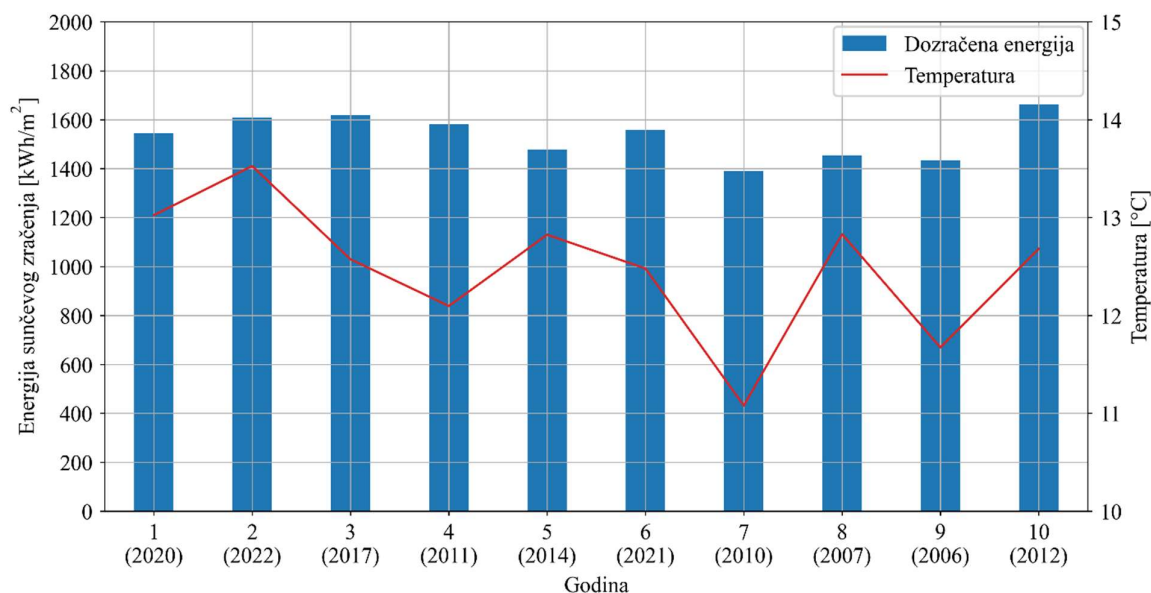
6.1.1. Intenzitet sunčevog zračenja i temperatura zraka

Povijesni satelitski podaci o intenzitetu sunčevog zračenja i temperaturi zraka s vremenskim korakom 15 minuta preuzeti su iz baze NSRDB [85] za vremensko razdoblje od 2005. do 2022. Korištenjem modela opisanog jednačbama (3-2) do (3-6) iz direktnog normalnog, difuznog horizontalnog i globalnog horizontalnog sunčevog zračenja dobiveno je sunčevo zračenje na površini modula. Slika 6.2. prikazuje godišnju energiju sunčevog zračenja na površini FN modula i srednju temperaturu zraka za razdoblje od 2005. do 2022. Najveća godišnja energija sunčevog zračenja na površini FN modula tijekom jedne godine je 1663 kWh/m^2 u 2012. godini dok je najmanja godišnja energija sunčevog zračenja 1389 kWh/m^2 u 2010. godini. Najviša srednja temperatura zraka je 13.6°C 2019. godine dok je najniža 10.6°C 2005. godine.



Slika 6.2. Godišnja energija sunčevog zračenja na površini FN modula i srednja temperatura zraka za vremensko razdoblje od 2005. do 2022.

Od 18 godina za koje su dostupni povijesni meteorološki podaci, u svakom simuliranom slučaju odabiru se meteorološki podaci iz 10 različitih godina slučajnim odabirom. Svaka godina može biti odabrana samo jednom, odnosno nema ponavljanja u istom slučaju. Godišnja energija sunčevog zračenja na površinu FN modula i srednja temperatura zraka za odabrane meteorološke godine na primjeru prvog slučaja prikazane su na Slika 6.3.

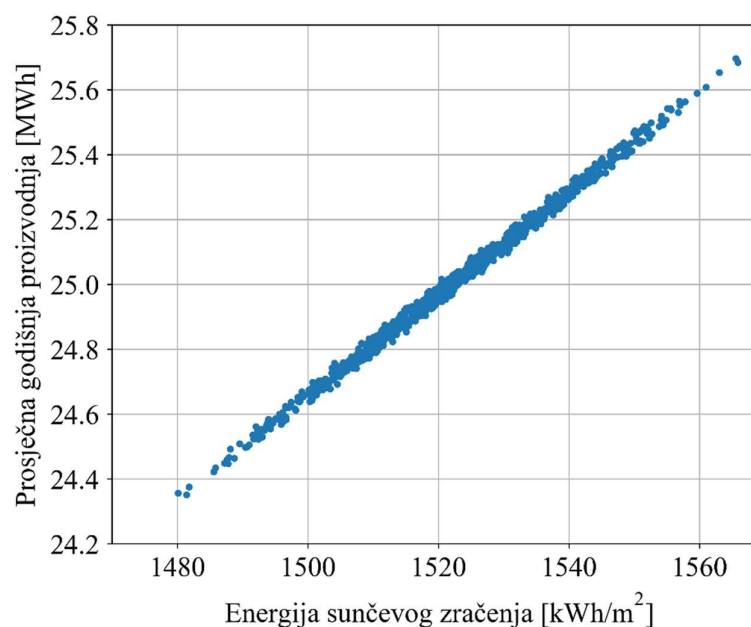


Slika 6.3. Energija sunčevog zračenja na površini modula i srednja temperatura zraka po godinama na primjeru prvog slučaja

Za prvu godinu odabrani su meteorološki podaci iz 2020. dok su za zadnju godinu odabrani meteorološki podaci iz 2012. godine. Najstarija godina iz koje su odabrani meteorološki podaci je 2006. dok je najnovija 2022. Najniža srednja temperatura zraka u iznosu od 11.1 °C pojavljuje se u 7. godini kada se pojavljuje i najmanja godišnja energija sunčevog zračenja na površini modula u iznosu od 1389 kWh/m². Najviša srednja temperatura zraka od 13.5 °C pojavljuje se u 2. godini, dok se najveća godišnja energija sunčevog zračenja na površini modula u iznosu od 1663 kWh/m² pojavljuje u zadnjoj godini. Srednja temperatura zraka u prvom slučaju iznosi 12.5 °C dok prosječna godišnja energija sunčevog zračenja na površini modula iznosi 1534 kWh/m². Što je u nekom slučaju više godina sa puno sunčevog zračenja poput 2011., 2012., 2017. ili 2022. to će prosječna godišnja energija sunčevog zračenja biti veća. Manja prosječna godišnja energija sunčevog zračenja ukazuje na više godina sa manje sunčevog zračenja poput 2006. ili 2010.

6.1.2. Proizvodnja fotonaponske elektrane

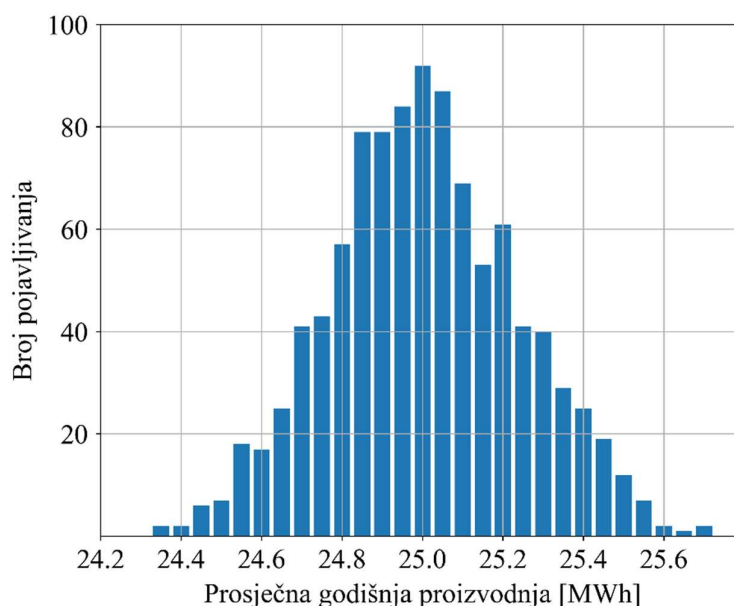
Na temelju intenziteta sunčevog zračenja na površini FN modula i temperature zraka s vremenskim korakom 15 minuta, korištenjem modela opisanog jednačbama (3-7) do (3-12), određena je proizvodnja FNE s vremenskim korakom 15 minuta. Kako nije praktično prikazati podatke o godišnjoj proizvodnji za svaku godinu u svim slučajevima, za svaki promatrani slučaj izračunata je prosječna godišnja proizvodnja FNE s instaliranom snagom 18 kW, kao srednja vrijednost godišnje proizvodnje tijekom vremenskog razdoblja od 10 godina. Na Sliku 6.4. prikazana je korelacija prosječne godišnje proizvodnje FNE instalirane snage 18 kW i prosječne godišnje energije sunčevog zračenja na površini FN modula. U slučajevima u kojima su odabrane godine s više sunčevog zračenja, veća je prosječna godišnja energija sunčevog zračenja, a time i prosječna godišnja proizvodnja električne energije.



Slika 6.4. Korelacija prosječne godišnja proizvodnja FNE i energije sunčevog zračenja

Iznos prosječne godišnje energije sunčevog zračenje na površini modula kreće se u rasponu od minimalnih 1480 kWh/m² do maksimalnih 1566 kWh/m². Najveća prosječna godišnja proizvodnja iznosi 25,696 kWh i postignuta je u slučaju s prosječnom godišnjom energijom sunčevog zračenja na površini modula u iznosu od 1565 kWh/m². Najmanja prosječna godišnja proizvodnja u iznosu od 24,351 kWh postignuta je u slučaju s prosječnom godišnjom energijom sunčevog zračenja na površini modula u iznosu od 1481 kWh/m².

Razdioba prosječne godišnje proizvodnje FNE prikazana je grafikonom na Slika 6.5. U više od 50 % slučajeva, točnije u 60.0 % slučajeva prosječna godišnja proizvodnja FNE instalirane snage 18 kW će biti u rasponu od 24.8 do 25.2 MWh. Vjerojatnost da će prosječna godišnja proizvodnja FNE biti manja od 24.8 MWh iznosi 16.1 %, u 3.5 % slučajeva će biti manja od 24.6 MWh, a samo u 0.2 % slučajeva će biti manja od 24.4 MWh. S druge strane, prosječna godišnja proizvodnja FNE će biti veća od 25.2 MWh u 23.9 % slučajeva, u 6.8 % slučajeva će biti veća od 25.4 MWh, dok će samo u 0.5 % slučajeva biti veća od 25.6 MWh.

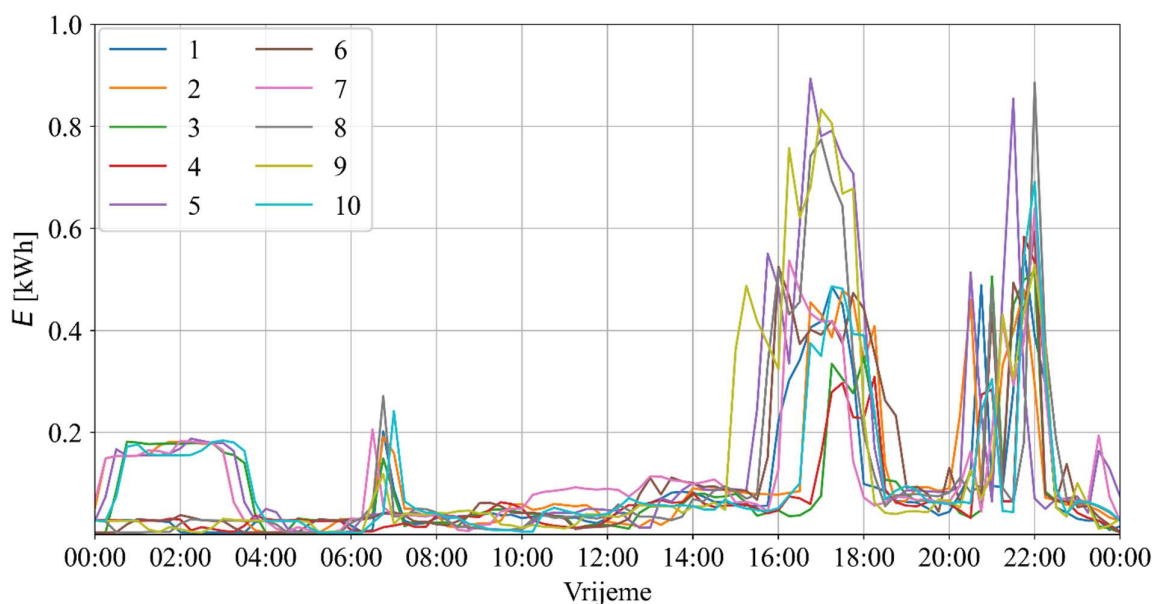


Slika 6.5. Razdioba prosječne godišnje proizvodnje FNE

6.1.3. Potrošnja električne energije

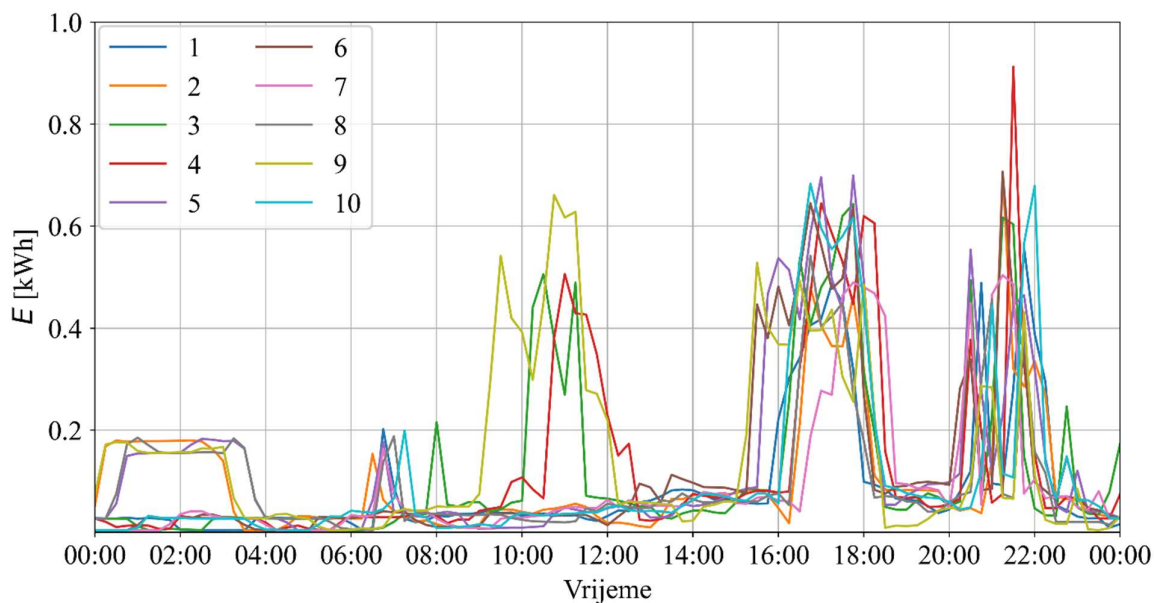
Pristup u kojemu se podaci o potrošnji električne energije generiraju tako da se slučajnim odabirom definira vrijeme početka i trajanje rada uređaja unutar nekog definiranog vremenskog raspona kao rezultat ima nepredvidivost potrošnje. Činjenica da se za svaki novi slučaj generiraju novi podaci o potrošnji električne energije koji su različiti od podataka generiranih u prethodnim slučajevima dovela je do razlika u potrošnji između simuliranih slučajeva. Na Slika 6.6. prikazani su podaci o potrošnji s vremenskim korakom 15 minuta tijekom jednog radnog dana za prvih 10 slučajeva u prvoj godini na primjeru kupca 1. Mogu se uočiti iste navike potrošnje u svim prikazanim slučajevima, ali razlike u vremenu uključenja i trajanju rada uređaja dovele su do razlika u podacima. Ako se pogleda period od 00:00 do 04:00 može se vidjeti da je sušilica rublja

radila u 4 od 10 slučajeva. Kada se promatra popodnevni period između 15:00 i 19:00 u kojem se povećala potrošnja zbog pripreme večere, primjećuje se da je u 3 slučaja potrošnja značajno veća nego u preostalih 7 slučajeva. Razlog za to je što su u 3 slučaja za pripremu večere korišteni pećnica i grijaće ploče, dok su u preostalim slučajevima korišteni samo pećnica ili samo grijaće ploče. Kada se provodi dijeljenje energije, zbog razlika u potrošnji kupcima u svakom slučaju pripadaju različiti udjeli u proizvedenoj energiji što će onda dovesti do različitih krajnjih ishoda.



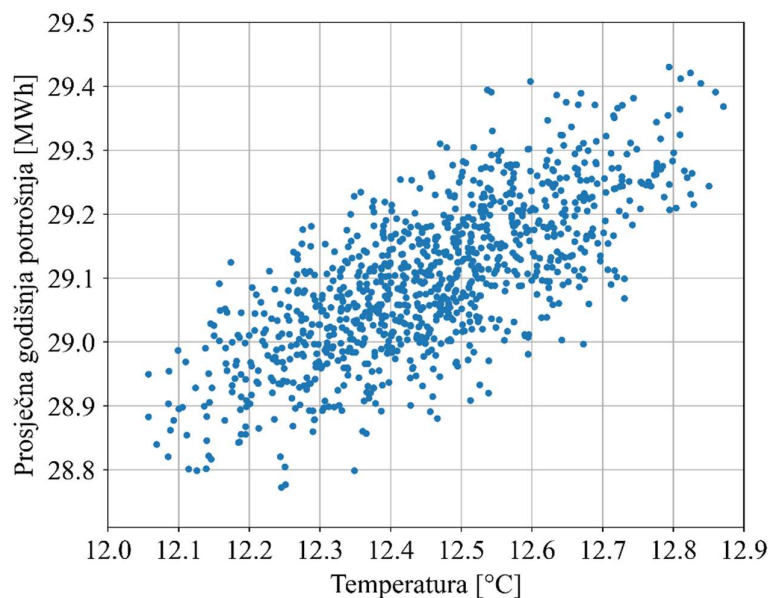
Slika 6.6. Podaci o potrošnji kupca 1 tijekom jednog dana u prvoj godini za prvih 10 slučajeva dobiveni Monte Carlo simulacijom

Osim što su vidljive razlike u potrošnji za više promatranih slučajeva u istoj godini, razlike postoje i između godina u jednom promatranom slučaju. Upravo te razlike između potrošnje vidljive su na Slika 6.7. koja prikazuje podatke o potrošnji s vremenskim korakom 15 minuta tijekom jednog odabranog dana kroz 10 godina na primjeru kupca 1. Može se vidjeti povećana potrošnja u periodu između 09:00 i 13:00 sati u 3., 4. i 9. godini zbog pripreme ručka što ukazuje na to da je u navedenim godinama odabrani dan neradni dan, odnosno subota ili nedjelja, dok je u ostalim godinama odabrani dan radni dan. To se postiglo tako da se za svaku godinu u vremenskom razdoblju od 2027. do 2036. generiraju zasebni podaci o potrošnji ovisno o radnim i neradnim danima u promatranoj godini. Takvim pristupom generiranju podataka o potrošnji se osiguralo da i bez promjena navika potrošnje ili povećanja potrošnje, postoji razlika u podacima o potrošnji između godina u jednom promatranom slučaju.



Slika 6.7. Podaci o potrošnji kupca 1 tijekom jednog dana za prvi slučaj tijekom 10 godina dobiveni Monte Carlo Simulacijom

Na razlike u potrošnji između pojedinih slučajeva te između godina utječe i potrošnja energije za hlađenje. Kako potrošnja energije za hlađenje ovisi o temperaturi zraka, postoji određena korelacija između potrošnje i srednje temperature zraka koja je prikazana na Slika 6.8.



Slika 6.8. Korelacija prosječne godišnje potrošnje i srednje temperature zraka

Minimalna prosječna godišnja potrošnja u iznosu od 27.77 MWh pojavila se u slučaju kada srednja temperatura zraka iznosi 12.24 °C, dok je minimalna srednja temperatura zraka 12.06 °C. S druge strane, maksimalna prosječna godišnja potrošnja u iznosu od 29.43 MWh pojavila se u slučaju kada je srednja temperatura zraka 12.79 °C dok maksimalna srednja temperatura zraka iznosi 12.87 °C. Iako se može primijetiti da se veća potrošnja pojavljuje u slučajevima s većom srednjom temperaturom zraka, ukupna potrošnja nije izravno ovisna o temperaturi zraka.

6.1.4. Promjene navika i povećanje potrošnje

Dvotarifni sustav s višom cijenom preko dana i nižom preko noći, potiče kupce na potrošnju u večernjim i noćnim satima. U to vrijeme se obično uključuju vremenski odgodiva trošila, a to su perilica rublja i perilica posuđa te sušilica rublja. Najviše električne energije u FNE se proizvodi preko dana kada je potrošnja u kućanstvima manja. Kako bi kupci koji su instalirali FNE iskoristili što više vlastite energije i ostvarili veću uštedu, vremenski odgodiva trošila mogu prebaciti u period s više proizvodnje. Pretpostavka je da će kupci brzo prilagoditi potrošnju, odnosno pomaknuti vrijeme rada vremenski odgodivih trošila već u prvoj godini.

Vremensko razdoblje tijekom kojeg se simulira dijeljenje i određuje vrijeme povrata investicije je 10 godina. U tom razdoblju se osim promjena navika, može očekivati i povećanje broja članova kućanstva, a time i povećanje potrošnje. Godina u kojoj dolazi do povećanja članova odabire se slučajnim odabirom između prvih 5 godina. To znači da se broj članova kućanstva u jednom slučaju može povećati u 1. godini, a u nekom drugom slučaju u 5. godini. Vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela će se provesti za 3 različita scenarija promjene navika i povećanja potrošnje kako slijedi:

- Scenarij 1: Pretpostavka je da neće doći do promjena navika potrošnje niti do povećanja potrošnje, odnosno parametri potrošnje se ne mijenjaju u odnosu na parametre prema kojima je generirana referentna potrošnja kupaca koji sudjeluju u dijeljenju.
- Scenarij 2: Dolazi do promjena navika potrošnje u prvoj godini zbog pomicanja vremenski odgodivih trošila kod kupaca 1, 3, 4, 5, 7 i 8. Dolazi do povećanja broja članova kućanstva i povećanja potrošnje kod kupaca 3, 5 i 7 u jednoj od prvih 5 godina.
- Scenarij 3: Svi kupci, osim kupca 10 koji predstavlja OMM zajedničke potrošnje, mijenjaju navike potrošnje, odnosno pomiču vremenski odgodivu potrošnju. Kod kupaca 3, 5 i 7 dolazi do povećanja broja članova kućanstva u jednoj od prvih 5 godina.

U Tablica 6.1. prikazano je referentno vrijeme uključivanja vremenski odgodivih trošila u sva 3 promatrana scenarija dok je u Tablica 6.2. prikazan broj članova kućanstva te referentni broj ciklusa pranja i sušenja rublja za scenarij 1 te zajednički za scenarije 2 i 3. Vrijeme u tablici predstavlja početno vrijeme referentnog intervala dok je završno vrijeme 60 minuta nakon početnog, odnosno vrijeme uključivanja se određuje nasumičnim odabirom unutar referentnog intervala. Kada se referentna vremena u scenariju 2 usporede s referentnim vremenima u scenariju 1, može se vidjeti da kupci 2, 6 i 9 nisu promijenili svoje navike, odnosno i dalje uključuju perilicu rublja i perilicu posuđa u večernjim satima. U scenariju 3 se može vidjeti da su svi kupci promijenili navike i počeli uključivati vremenski odgodiva trošila u periodima s više proizvodnje.

Tablica 6.1. Referentno vrijeme uključivanja vremenski odgodivih trošila po scenarijima

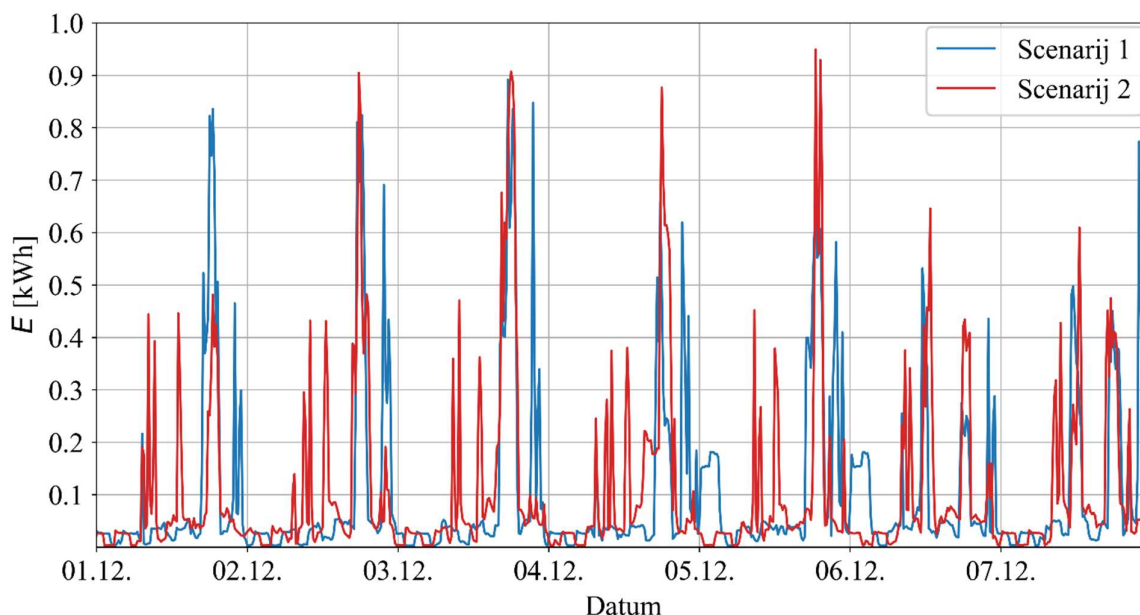
Kupac	Vrijeme početka pranja rublja			Vrijeme početka pranja posuđa		
	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
1	21:00	10:00	10:00	20:00	08:00	08:00
2	21:30	21:30	11:30	21:00	21:00	09:20
3	21:00	12:00	12:00	21:00	08:00	08:00
4	21:30	14:00	14:00	20:00	10:00	10:00
5	22:00	08:00	08:00	21:30	10:00	10:00
6	22:30	22:30	08:00	22:00	22:00	14:00
7	21:00	14:00	14:00	21:00	10:00	10:00
8	22:30	12:00	12:00	22:00	14:00	14:00
9	22:00	22:00	11:30	21:30	21:30	09:20

Tablica 6.2. Broj članova kućanstva te godišnji broj ciklusa pranja i sušenja po scenarijima

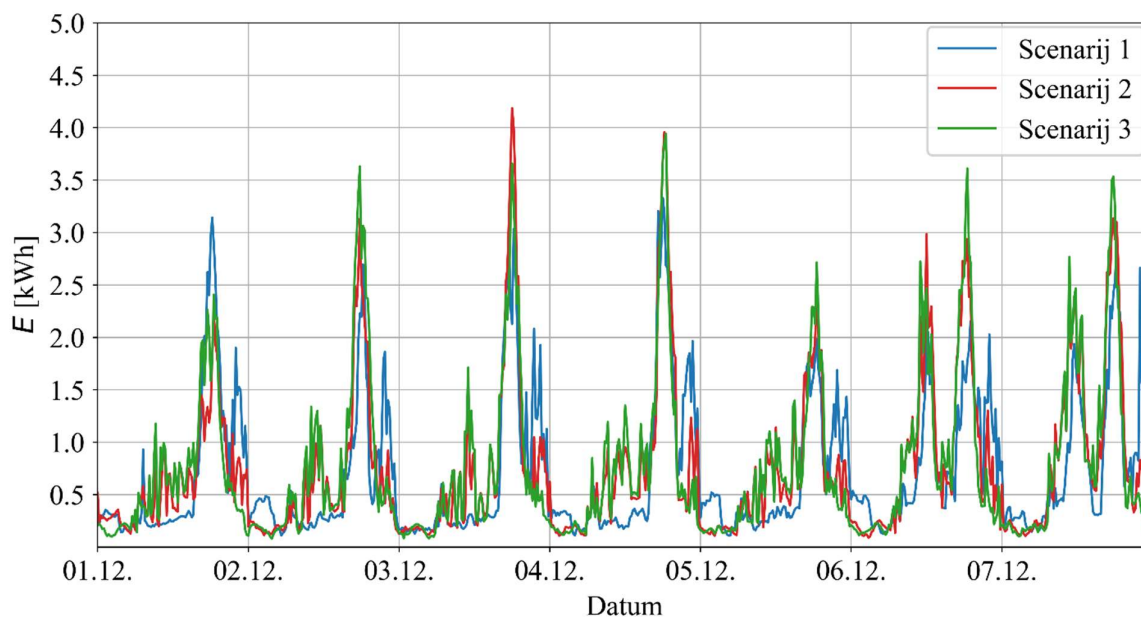
Kupac	Scenarij 1			Scenarij 2 i 3		
	Osoba	Broj pranja	Broj sušenja	Osoba	Broj pranja	Broj sušenja
1	5	312 - 360	156 - 180	5	312 - 360	156 - 180
2	4	260 - 312	130 - 156	4	260 - 312	130 - 156
3	3	208 - 260	104 - 130	4	260 - 312	130 - 156
4	3	208 - 260	104 - 130	3	208 - 260	104 - 130
5	2	156 - 208	-	3	208 - 260	104 - 130
6	2	156 - 208	-	2	156 - 208	-
7	1	52 - 104	-	2	156 - 208	-
8	1	52 - 104	-	1	52 - 104	-
9	1	52 - 104	-	1	52 - 104	-

Do povećanja broja članova kućanstva dolazi kod kupca 3 gdje broj članova raste s 3 na 4, zatim kod kupca 5 gdje se broj članova povećava s 2 na 3 te kod kupca 7 gdje se broj članova povećava s 1 na 2. Povećanje broja članova dovodi do veće potrošnje električne energije što se može vidjeti kroz veći referentni broj ciklusa pranja i sušenja u tablici. Ukupni broj osoba kod kupaca uključenih u dijeljenje povećava se s 22 na 25. Kada se pogleda raspodjela po kućanstvima, u scenariju 2 i 3 u dijeljenju sudjeluje 1 kućanstvo s 5 članova te po 2 kućanstva s 4, 3, 2 i 1 člana.

Usporedba potrošnje tijekom jednog tjedna u scenariju 1 i 2 na primjeru kupca 3 prikazana je na Slika 6.9. U scenariju 1 se može vidjeti kako se perilica rublja i perilica posuđa uključuju navečer dok se sušilica rublja uključuje u noćnim satima. U scenariju 2, u jutarnjim satima uključuje se perilica posuđa, oko podneva perilica rublja, a zatim sušilica rublja. Može se zaključiti da se vršna potrošnja u večernjim satima prebacila u period s više proizvodnje dok je vršna potrošnja u popodnevnim satima i dalje prisutna jer se vrijeme pripreme večere ne može pomaknuti bez narušavanja komfora. Usporedba ukupne potrošnje svih kupaca tijekom jednog tjedna u sva 3 scenarija prikazana je na Slika 6.10. Razlika je najviše vidljiva između scenarija 1 i 2 zbog toga što je 6 kupaca promijenilo svoje navike, a kod 3 kupca se povećala potrošnja. U scenariju 3 u usporedbi sa scenarijem 2, 3 kupca su promijenila navike dok ni kod jednog kupca nije došlo do povećanja potrošnje pa je razlika između scenarija 2 i 3 manje vidljiva.

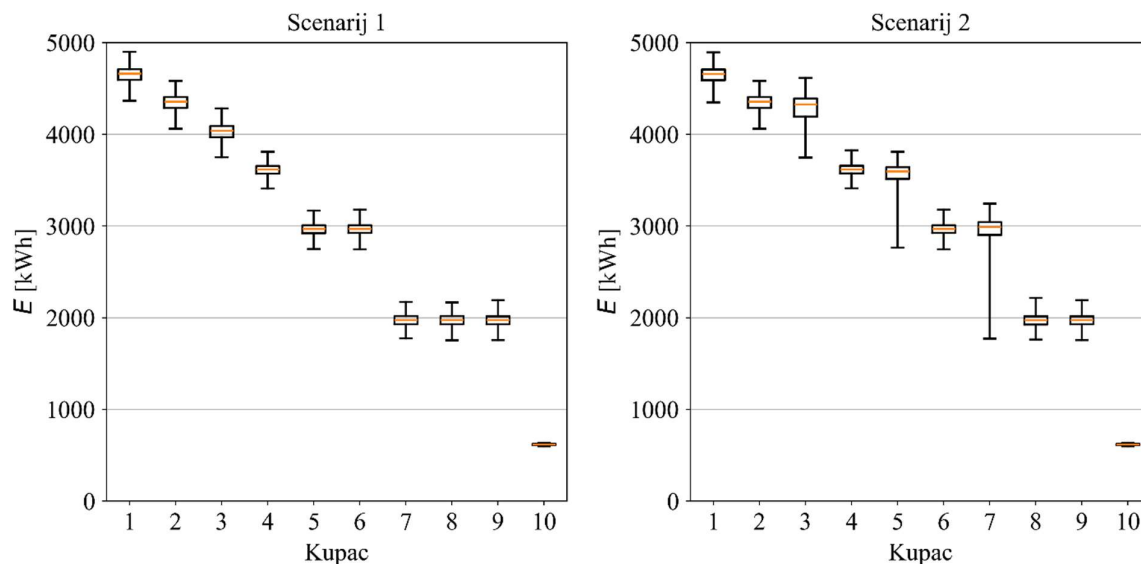


Slika 6.9. Podaci o potrošnji kupca 3 tijekom jednog tjedna u scenariju 1 i 2



Slika 6.10. Podaci o potrošnji svih kupaca tijekom jednog tjedna u promatranim scenarijima

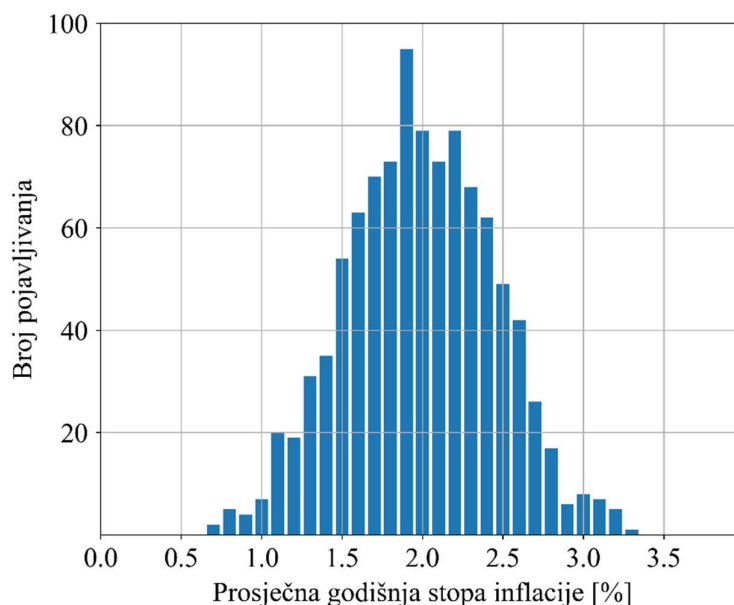
Na Slika 6.11. prikazana je razdioba godišnje potrošnje kupaca u scenariju 1 i scenariju 2 gdje se može jasno vidjeti povećanje godišnje potrošnje kod kupaca 3, 5 i 7. Promjene navika potrošnje kod ostalih kupaca se ne mogu jasno uočiti iz ukupne godišnje potrošnje. Razlike između maksimalne i minimalne godišnje potrošnje su veće kod kupaca s većom potrošnjom.



Slika 6.11. Razdioba godišnje potrošnje kupaca u scenariju 1 i scenariju 2

6.1.5. Rast cijene električne energije

U odnosu na prethodno poglavlje u kojem se očekivano vrijeme povrata investicije određivalo uz pretpostavku godišnje stope inflacije od 2 % svake godine, ovdje će se za svaki slučaj u svakoj godini slučajnim odabirom odrediti godišnja stopa inflacije. Minimalna godišnja stopa inflacije iznosi 0 %, dok maksimalna iznosi 4 %. Pretpostavka je da je godišnja stopa inflacije cijeli broj što znači da je u svakoj godini moguća stopa inflacije od 0, 1, 2, 3 ili 4 %. Nakon što je za svaku godinu u svim slučajevima odabrana stopa inflacije, za svaki slučaj je određena prosječna godišnja stopa inflacije kao prosjek inflacije u razdoblju od 10 godina. Razdioba prosječne godišnje stope inflacije prikazana je grafikonom na Slika 6.12.



Slika 6.12. Razdioba podataka o prosječnoj godišnje stope inflacije

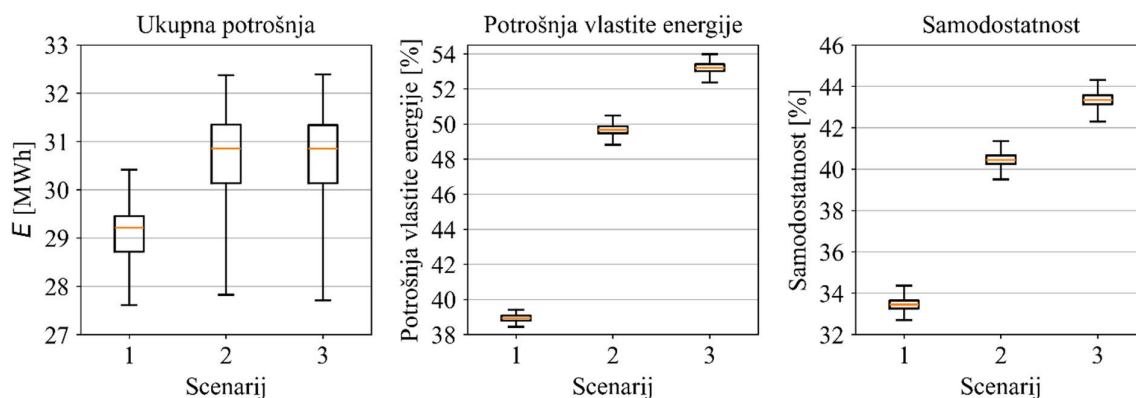
Prosječna godišnja stopa inflacije po slučajevima kreće se u rasponu od minimalnih 0.7 % do maksimalnih 3.3 %. U 71.6 % slučajeva, prosječna godišnja stopa inflacije kreće se u rasponu od 1.5 % do 2.5 %. Vjerojatnost da će prosječna godišnja stopa inflacije biti veća ili jednaka od 2.5 % iznosi 16.1 %, dok će samo u 2.1 % slučajeva biti veća ili jednaka 3 %. S druge strane, vjerojatnost da će prosječna godišnja stopa inflacije iznositi do 1.5 % iznosi 12.3 %, a samo će u 1.1 % slučajeva iznositi do 1 %. Pretpostavka je da prema istoj stopi inflacije raste cijena opskrbe, naknada za korištenje mreže te naknada za obnovljive izvore. Osim cijene električne energije, pretpostavka je da će prema istoj stopi inflacije rasti i godišnji troškovi održavanja.

6.2. Vrijeme povrata investicije po scenarijima

Kako bi se vidjelo koja metoda određivanja suvlasničkih udjela dovodi do najmanjih razlika u vremenu povrata investicije između suvlasnika, potrebno je usporediti vrijeme povrata za svaku metodu po scenarijima. Istraživanjem je obuhvaćeno 2 načina dinamičkog dijeljenja i 4 metode određivanja suvlasničkih udjela, što dovodi do ukupno 8 kombinacija u svakom scenariju. Zbog preglednosti rezultata za svaku promatranu kombinaciju načina dijeljenja i metode određivanja suvlasničkih udjela definirane su kratice tako da prvo i drugo slovo opisuju način dijeljenja, a treće i četvrto slovo opisuju metodu određivanja suvlasničkih udjela, kako slijedi:

- Proporcionalno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji (PS-TD).
- Proporcionalno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije (PS-SC).
- Proporcionalno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema uštedi (PS-SA).
- Proporcionalno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema dobiti (PS-PR).
- Pravedno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji (FS-TD).
- Pravedno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije (FS-SC).
- Pravedno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema uštedi (FS-SA).
- Pravedno dijeljenje i suvlasnički udjeli prema dobiti (FS-PR).

Dok su podaci o proizvodnji i rastu cijene isti u svim scenarijima, podaci o potrošnji se razlikuju u svakom scenariju. Ako se pogleda Slika 6.13. može se vidjeti da se ukupna godišnja potrošnja u scenariju 1 pojavljuje u rasponu od 27.610 do 30.43 MWh. U scenariju 2 dolazi do povećanja potrošnje, ali kako se povećanje potrošnje ne mora dogoditi odmah u prvoj godini, minimalna godišnja potrošnja iznosi 27.82 MWh dok maksimalna iznosi 32.38 MWh, što je povećanje godišnje potrošnje u iznosu manjem od 2000 kWh. Povećanje nije veliko zbog toga što se broj članova i potrošnja povećala samo kod 3 kupca. U scenariju 3 godišnja potrošnja se kreće u rasponu 27.71 MWh do 32.39 MWh te nema značajne razlike u odnosu na scenarij 2. Razlike između scenarija 2 i 3 ne mogu se vidjeti iz podataka o ukupnoj godišnjoj potrošnji zbog čega je potrebno pogledati potrošnju vlastite energije. U scenariju 1 potrošnja vlastite energije je između 38.4 i 39.4 % čime se podmiri između 32.7 i 34.4 % ukupne potrošnje. Zbog promjena navika u scenariju 2, potrošnja vlastite energije kreće se u rasponu od 48.8 do 50.5 %, dok je samodostatnost između 39.5 i 41.4 %. Kada preostali kupci promjene navike u scenariju 3, potrošnja vlastite energije je između 52.4 i 54.0 % dok samodostatnost iznosi od 42.3 do 44.3 %.



Slika 6.13. Ukupna potrošnja, potrošnja vlastite energije i samodostatnost po scenarijima

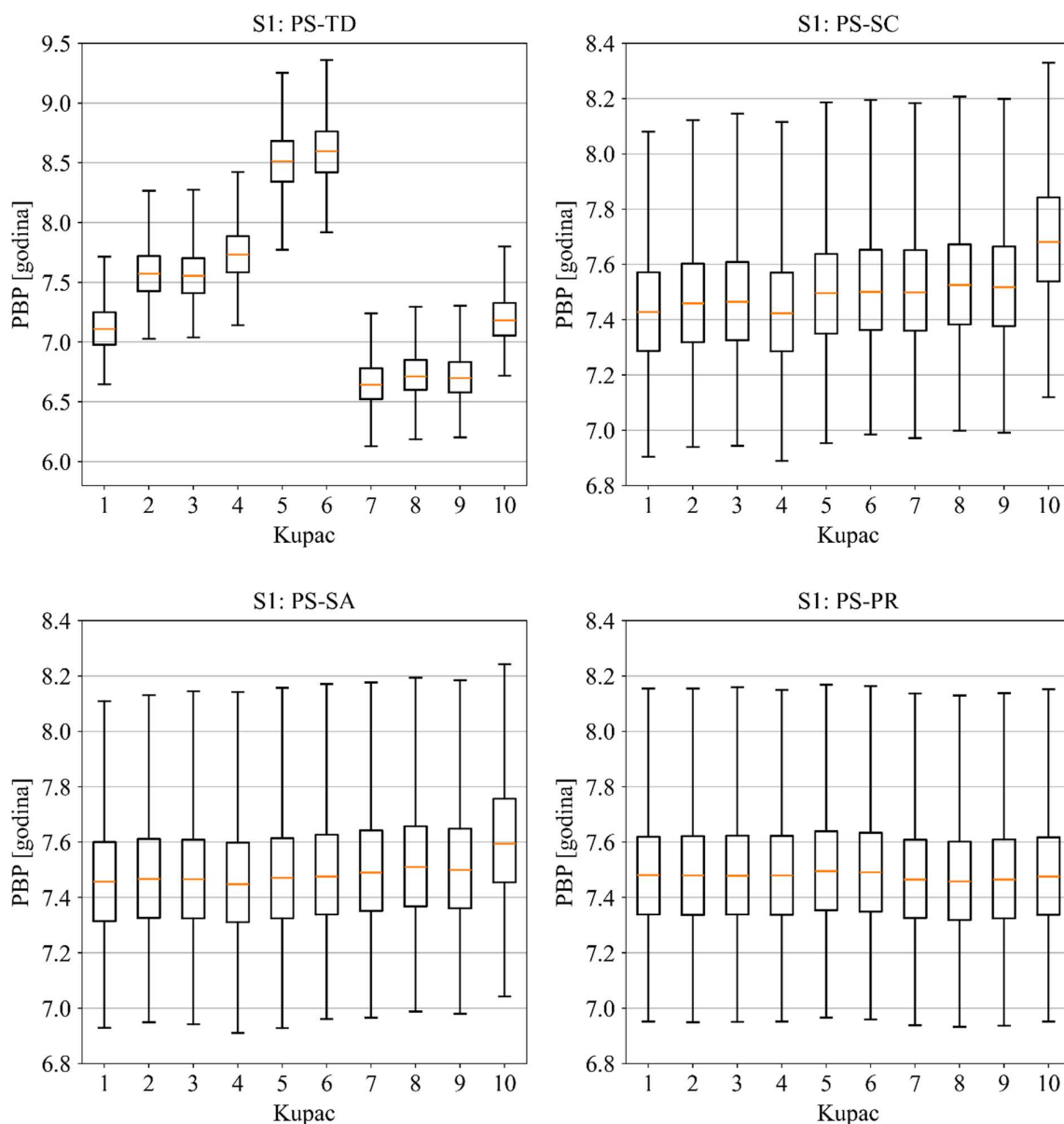
6.2.1. Scenarij 1

Za razliku od determinističkog pristupa gdje je moguć samo jedan krajnji ishod odnosno jedno vrijeme povrata investicije za svakog kupca, kod stohastičkog pristupa vrijeme povrata ovisi o ulaznim podacima. Povoljne meteorološke godine s puno sunčevog zračenja i većom proizvodnjom te većim rastom cijena će dovesti do veće uštede i zarade što će rezultirati s kraćim vremenom povrata i to će se smatrati povoljnim slučajevima. S druge strane, u slučaju manje proizvodnje i manjeg rasta cijena, ušteda i zarada, odnosno ostvarena dobit će biti manja što će dovesti do duljeg vremena otplate povrata i to će se smatrati nepovoljnim slučajevima.

Na Slika 6.14. prikazana je razdioba vremena povrata investicije po kupcima za 4 metode određivanja suvlasničkih udjela uz dijeljenje proporcionalno potrošnji u scenariju 1. Razlike u vremenu povrata su najveće kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji. Kupcima 7, 8 i 9 u povoljnim slučajevima investicija se otplati nakon malo više od 6 godina, dok je u nepovoljnim potrebno do 7.5 godina. U 50 % slučajeva vrijeme povrata je od 6.5 do 7 godina. Nešto dulje vrijeme povrata imaju kupci 1 i 10, do 8 godina u svim slučajevima, a u 50 % slučajeva od 7 do 7.5 godina. Najdulje vrijeme povrata imaju kupci 5 i 6, u povoljnim slučajevima vrijeme povrata je manje od 8 godina dok je u nepovoljnim slučajevima iznad 9 godina.

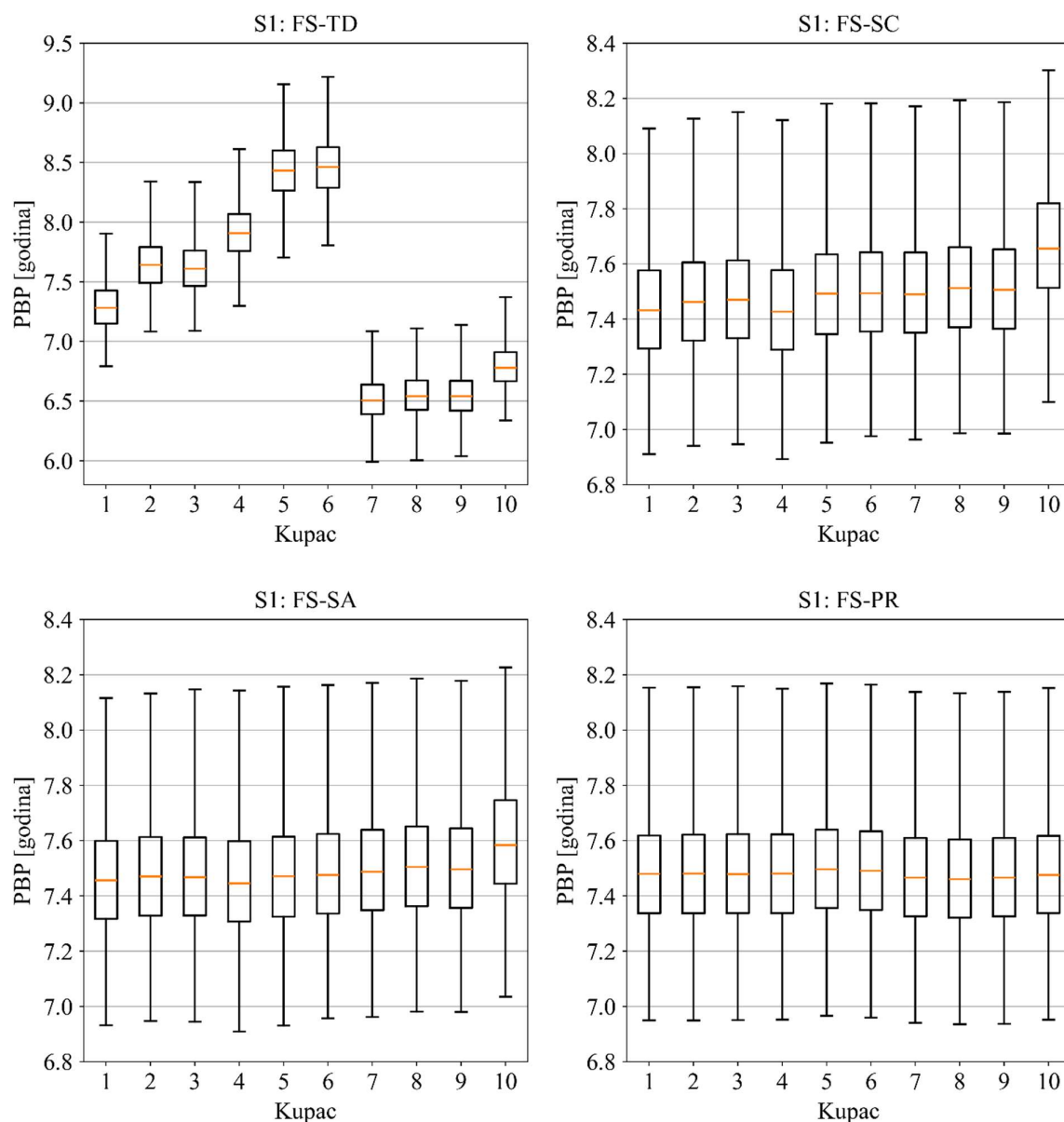
Prilikom određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije, razlike u vremenu povrata su manje izražene. Najbolje prolaze kupci 1 i 4 kod kojih je vrijeme povrata nešto kraće, dok kupac 10 ima najdulje vrijeme povrata. U odnosu na suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji gdje kupci 7, 8 i 9 imaju najkraće, a kupci 5 i 6 najdulje vrijeme povrata, u ovom slučaju

imaju podjednaku razdiobu vremena povrata. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema uštedi, kupci od 1 do 9 u povoljnim slučajevima imaju vrijeme povrata kraće od 7 godina, a u nepovoljnim između 8.1 i 8.2 godine. Jedino je kupcu 10 u povoljnim slučajevima potrebno više od 7 godina za povrat, a u nepovoljnim više od 8.2 godine. U slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti, vrijeme povrata je u povoljnim slučajevima svim kupcima kraće od 7 godina dok je u nepovoljnim ispod 8.2 godine. Razlike u vremenu povrata između kupaca su minimalne.



Slika 6.14. Razdioba vremena povrata investicije uz proporcionalno dijeljenje u scenariju 1

Slika 6.15. prikazuje razdiobu vremena povrata investicije po kupcima uz pravedno dijeljenje za 4 metode određivanja suvlasničkih udjela. Kada se provodi pravedno dijeljenje, mogu se uočiti manje razlike u vremenu povrata u odnosu na proporcionalno dijeljenje, a najviše su vidljive u slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji. Razlike u vremenu povrata nastaju zbog pravedne raspodjele kojom se više vlastite energije dodjeljuje kupcima s manjom potrošnjom, a manje kupcima s većom potrošnjom.

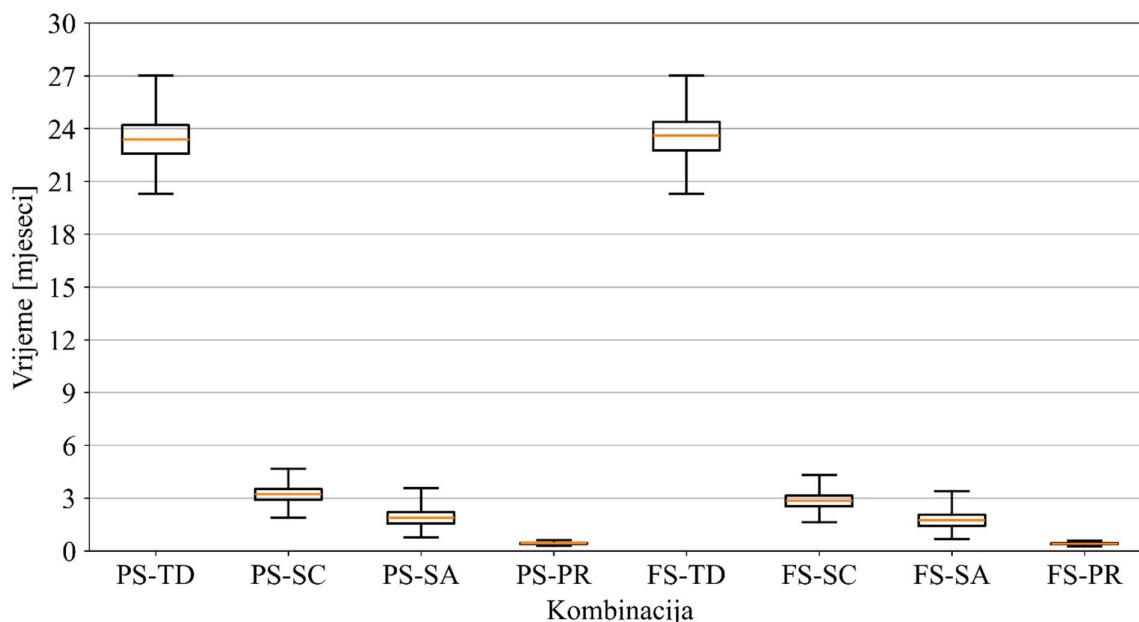


Slika 6.15. Razdioba vremena povrata investicije uz pravedno dijeljenje u scenariju 1

Kod prva 4 kupca vrijeme povrata investicije se povećalo pa je tako kupcu 4 u nepovoljnim slučajevima potrebno više od 8.5 godina za povrat investicije. Kod kupaca 5 i 6 koji imaju nešto manju potrošnju, vrijeme povrata je kraće u odnosu na proporcionalno dijeljenje, ali i dalje je najdulje. Smanjenje vremena povrata najviše je izraženo kod kupaca s najmanjom potrošnjom, a to su kupci 7, 8, 9 i 10. U povoljnim slučajevima, kupcima 7, 8 i 9 investicija se otplati nakon 6 godina, a u nepovoljnim za nešto više od 7 godina. Najveća promjena je vidljiva kod kupca 10, koji ima najmanji udio u ukupnoj potrošnji. U povoljnim slučajevima, kupcu 10 investicija se otplati za manje od 6.5 godina, a u nepovoljnim za nešto manje od 7.5 godina. Ako se promatra vrijeme povrata kupaca 1 i 10, može se primijetiti da je pri proporcionalnom dijeljenju kupac 1 bio u boljoj poziciji dok je pri pravednom dijeljenju kupac 10 u boljoj poziciji od kupca 1. Kod određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije i prema uštedi, promjena načina dijeljenja se puno manje odražava na vrijeme povrata investicije. Kada se suvlasnički udjeli kupaca određuju na temelju dobiti, nisu vidljive razlike između proporcionalnog i pravednog dijeljenja.

Kako vrijeme povrata investicije ovisi o ulaznim podacima u svakom slučaju, a jedan od ulaznih podataka je potrošnja koja se mijenja neovisno za svakog kupca, može se dogoditi da u nekim slučajevima od trenutka kada prvi kupac otplati svoj udio do trenutka kada posljednji kupac otplati svoj udio prođe više vremena nego u nekim drugim slučajevima pri istoj metodi određivanja suvlasničkih udjela. Zbog toga je potrebno promatrati razliku između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije.

Na Slika 6.16. prikazana je razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za sve načine dijeljenja i sve metode određivanja suvlasničkih udjela u scenariju 1. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je uglavnom iznad 20 mjeseci. U najboljem slučaju razlika je do 20 mjeseci dok u najgorem slučaju razlika do 27 mjeseci, neovisno o načinu dijeljenja. Ostale metode određivanja suvlasničkih udjela daju bolje rezultate i kod njih razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata je do 6 mjeseci u svim slučajevima. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema potrošnji vlastite energije razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata je do 5 mjeseci s proporcionalnim dijeljenjem te do nešto više od 4 mjeseca s pravednim dijeljenjem. Određivanje suvlasničkih udjela prema uštedi dovodi do razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata do 4 mjeseca. Primjenom metode određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata je manja od mjesec dana u svim slučajevima.

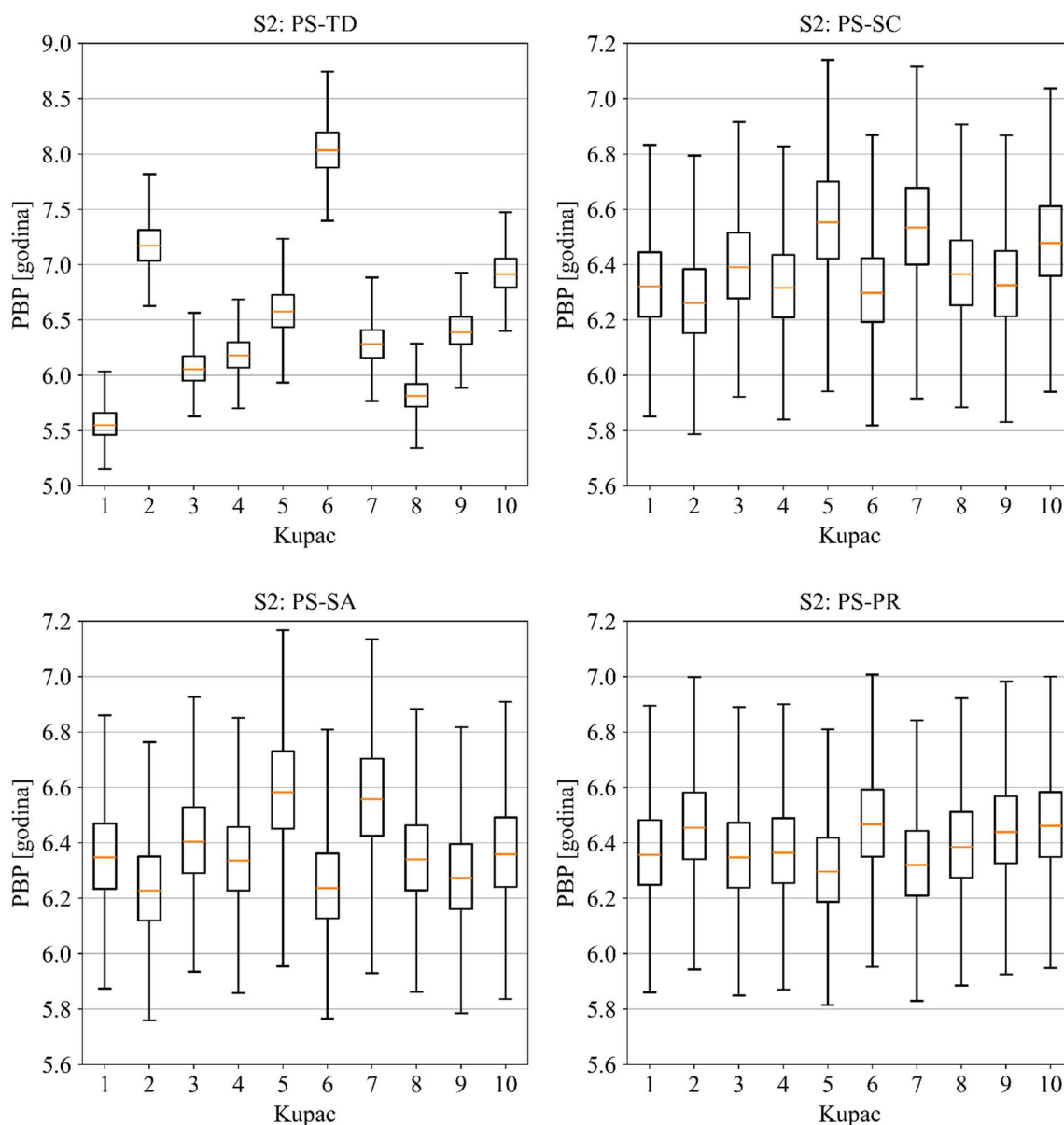


Slika 6.16. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u scenariju 1

6.2.2. Scenarij 2

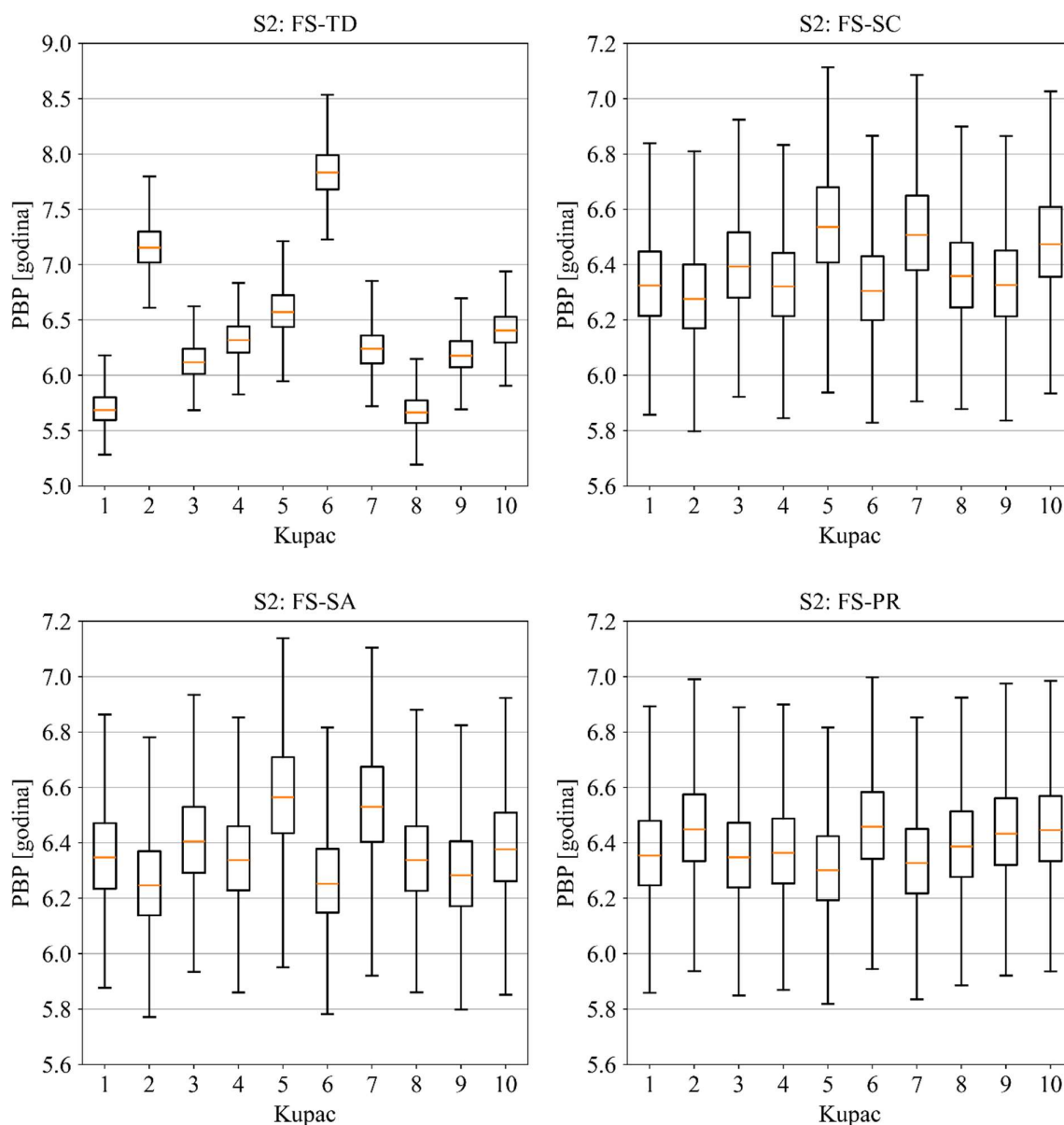
Razdioba vremena povrata investicije po kupcima za 4 metode određivanja suvlasničkih udjela pri proporcionalnom dijeljenju u scenariju 2 prikazana je na Slika 6.17. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji, kupcu 1 se u povoljnim slučajevima investicija otplati za nešto iznad 5 godina, a u nepovoljnim za 6 godina. To se može objasniti promjenom navika potrošnje čime kupac 1 troši više vlastite energije, ostvaruje veću uštedu i ranije otplaćuje svoj udio. Slično je i s kupcem 8 koji svoj udio otplati za manje od 5.5 godina u povoljnim slučajevima te za nešto manje od 6.5 godina u nepovoljnim. S druge strane, kupci koji nisu promijenili navike imaju dulje vrijeme povrata pa je tako kupcu 2 potrebno više od 6.5 godina za otplatu u povoljnim slučajevima, dok mu u nepovoljnim treba nešto manje od 8 godina. Najdulje vrijeme povrata ima kupac 6 koji u povoljnim slučajevima udio otplati za manje od 7.5 godina dok mu je u nepovoljnim potrebno između 8.5 i 9 godina. Navike se nisu mijenjale ni kod kupaca 9 i 10, ali zbog male potrošnje imaju manje udjele i kraće vrijeme povrata. U slučaju suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije, razlike između kupaca su manje nego u slučaju udjela prema ukupnoj potrošnji, ali veće u odnosu na scenarij 1. U povoljnim slučajevima, kupci koji ne mijenjaju navike i ne povećaju potrošnju, a to su kupci 2, 6 i 9, najranije otplate svoj udio u investiciji dok kupci 3, 5 i 7 koji mijenjaju navike i kojima raste potrošnja zadnji otplate svoj udio u investiciji. Razlog za

to je preraspodjela suvlasničkih udjela prema kojoj su kupcima 3, 5 i 7 zbog veće potrošnje vlastite energije povećani udjeli dok su kupcima 2, 6 i 9 smanjeni udjeli. U nepovoljnim slučajevima, kupci 5 i 7 zadnji otplaćuju svoje udjele, dok kupac 3 svoj udio otplati ranije. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema uštedi, razlike postaju izraženije pa tako kupci 2, 6 i 9 još ranije otplate svoju investiciju u povoljnim slučajevima, dok se u nepovoljnim slučajevima kupcima 5 i 7 dodatno produljilo vrijeme povrata.



Slika 6.17. Razdioba vremena povrata investicije uz proporcionalno dijeljenje u scenariju 2

Primjenom metode određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti, razlike u vremenu povrata se smanjuju. Sada se u povoljnim slučajevima investicija prvo otplati kupcima 3, 5 i 7 koji su povećali potrošnju i promijenili navike, zatim kupcima 1, 4 i 8 koji su promijenili navike, a zatim ostalima. U nepovoljnim slučajevima investicija se najranije otplati kupcima 5 i 7, nešto kasnije kupcima 1, 3, 4 i 8, a zatim ostalima. Kada se primjeni pravedno dijeljenje, promjene u vremenu povrata su vidljive kod udjela prema ukupnoj potrošnji, što se može vidjeti na Slika 6.18.

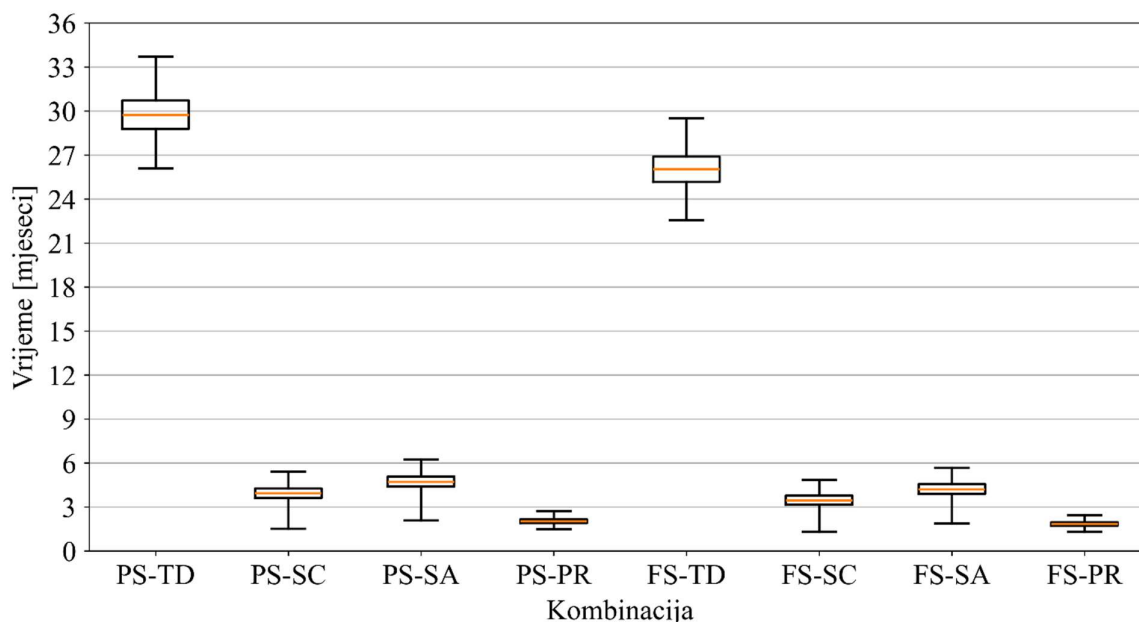


Slika 6.18. Razdioba vremena povrata investicije uz pravedno dijeljenje u scenariju 2

Pri pravednom dijeljenju, kod kupaca 1, 3 i 4 vrijeme povrata je dulje dok je kod kupaca 6 do 10 kraće. Smanjenje vremena povrata je naviše izraženo kod kupca 10 koji ima najmanju ukupnu potrošnju. U povoljnim slučajevima, vrijeme povrata udjela u investiciji za kupca 10 je manje od 6.5 godina s proporcionalnim dijeljenjem te manje od 6 godina s pravednim dijeljenjem. U nepovoljnim slučajevima, vrijeme povrata za kupca 10 je i do 7.5 godina s proporcionalnim dijeljenjem, dok je s pravednim dijeljenjem vrijeme povrata do 7 godina. I u ovom scenariju gdje su uvedene promjene navika i povećanje potrošnje se pokazalo da kupci s malom potrošnjom mogu ostati zakinuti u slučaj proporcionalnog dijeljenja. Kod ostalih metoda određivanja suvlasničkih udjela nisu vidljive značajnije razlike između proporcionalnog i pravednog dijeljenja.

Kod kupaca koji nisu promijenili navike, nije došlo do povećanja vremena povrata u odnosu na scenarij 1, što vrijedi za sve načine dijeljenja i metode određivanja suvlasničkih udjela. Razlog za to je što kupcima koji mijenjaju navike i povećavaju potrošnju rastu udjeli dok se ostalim kupcima smanjuju udjeli. Zbog povećanja potrošnje vlastite energije ostvarena je veća ušteda i dobit što je dovelo do ranijeg vremena povrata kod svih kupaca u odnosu na scenarij 1.

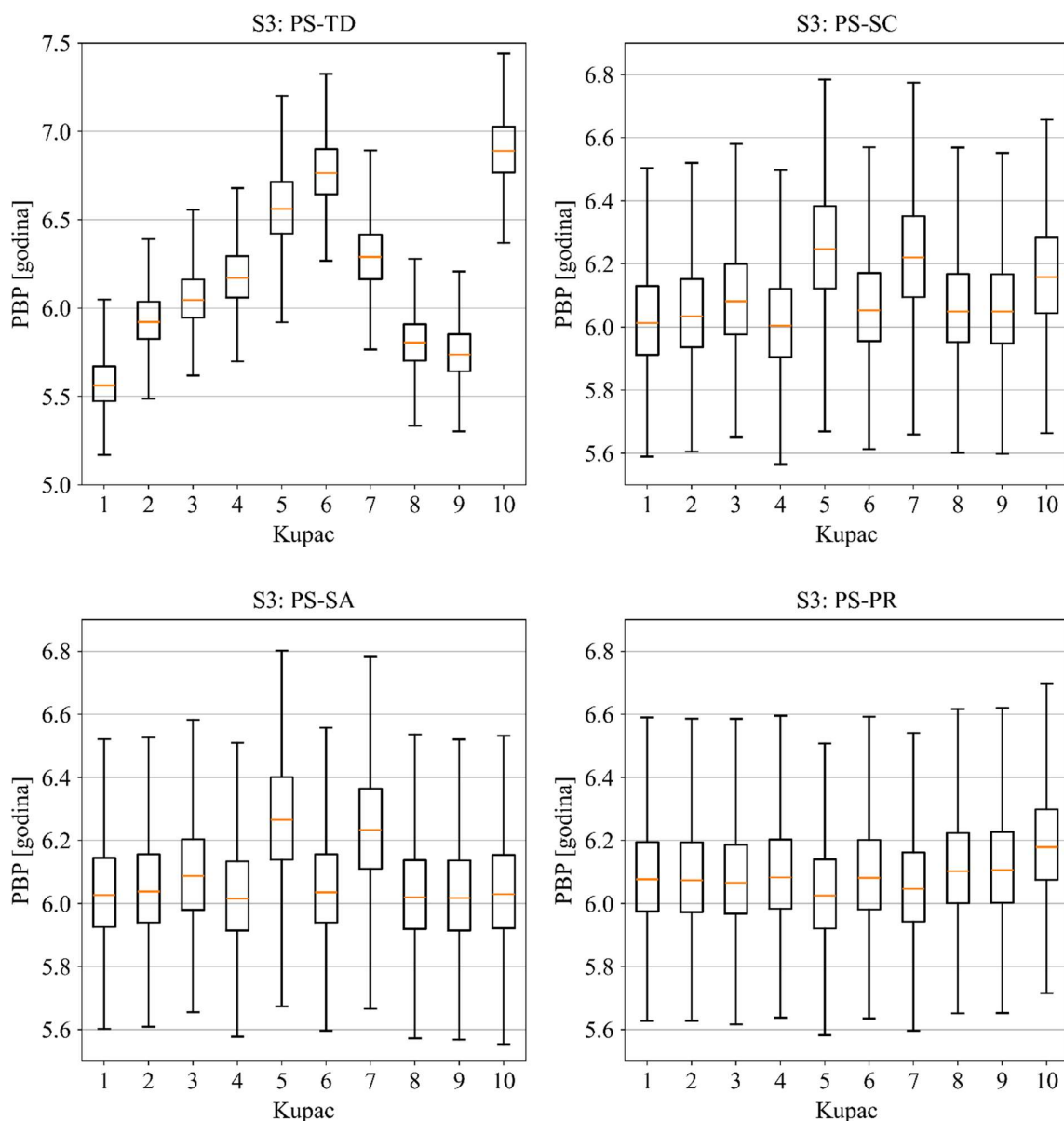
Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za primijenjene načine dijeljenja i metode određivanja suvlasničkih udjela u scenariju 2 prikazana je na Slika 6.19. Iako je zbog povećanja potrošnje i promjena navika vrijeme povrata kraće u usporedbi sa scenarijem 1, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je veća za sve načine dijeljenja i metode određivanja suvlasničkih udjela. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata je do 34 mjeseca uz proporcionalno dijeljenje. Nešto je bolje u slučaju pravednog dijeljenja kada je razlika do 30 mjeseci. Određivanje suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije dovodi do razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata do 6 mjeseci s proporcionalnim te do 5 mjeseci s pravednim dijeljenjem. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi se u scenariju 1 pokazala boljom u odnosu na metodu određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije, dok u scenariju 2 to nije slučaj. Kada se energija dijeli proporcionalno potrošnji, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata je veća od 6 mjeseci, a kada se energija dijeli na temelju pravedne raspodjele, razlika je do 6 mjeseci. I u ovom scenariju metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti se pokazala najboljim rješenjem. Razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 3 mjeseca kada se energija dijeli proporcionalno potrošnji te do 2.5 mjeseci kada se energija dijeli na temelju pravedne raspodjele.



Slika 6.19. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u scenariju 2

6.2.3. Scenarij 3

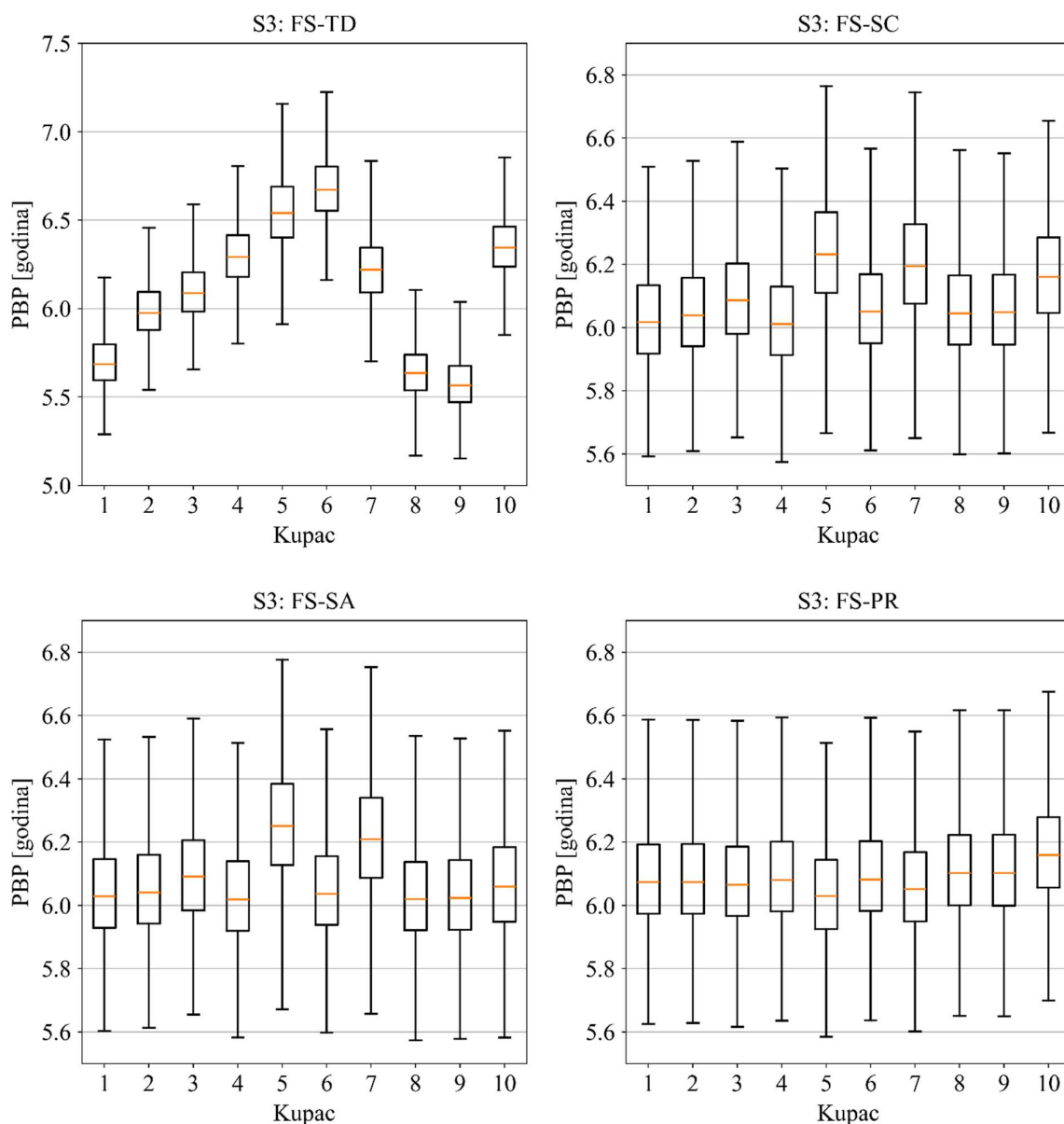
U scenariju 3 svi kupci osim kupca 10 mijenjaju navike ili im raste potrošnja što rezultira kraćim vremenom povrata u odnosu na prethodne scenarije. Na Slika 6.20. prikazana je razdioba vremena povrata po kupcima za 4 metode određivanja suvlasničkih udjela pri proporcionalnom dijeljenju. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji, kupac 1 otplati udio u investiciji za nešto više od 5 godina u povoljnim i za 6 godina u nepovoljnim slučajevima. Najdulje vrijeme povrata investicije ima kupac 10 koji u povoljnim slučajevima investiciju otplati za manje od 6.5 godina dok mu u nepovoljnim treba do 7.5 godina. Iako je kupac 6 promijenio navike, ima nešto dulje vrijeme povrata dok kupci 8 i 9 imaju kraće vrijeme povrata. Suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije u obzir uzimaju promjene navika zbog čega su razlike u vremenu povrata manje nego kod suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji. Kupci 3, 5 i 7 kod kojih raste potrošnje, u povoljnim slučajevima nešto kasnije otplate investiciju dok u nepovoljnim najdulje vrijeme povrata imaju kupci 5 i 7. Određivanje suvlasničkih udjela prema dobiti daje najbolje rezultate kao i u prethodnim scenarijima. Sada kupci 5 i 7, koji povećavaju potrošnju ranije otplate udjele u investiciji, za nešto manje od 5.6 godina u povoljnim slučajevima te za nešto više od 6.5 godina u nepovoljnim. Najdulje vrijeme povrata investicije ima kupac 10, u povoljnim slučajevima 5.7 godina te 6.7 godina u nepovoljnim.



Slika 6.20. Razdioba vremena povrata investicije uz proporcionalno dijeljenje u scenariju 3

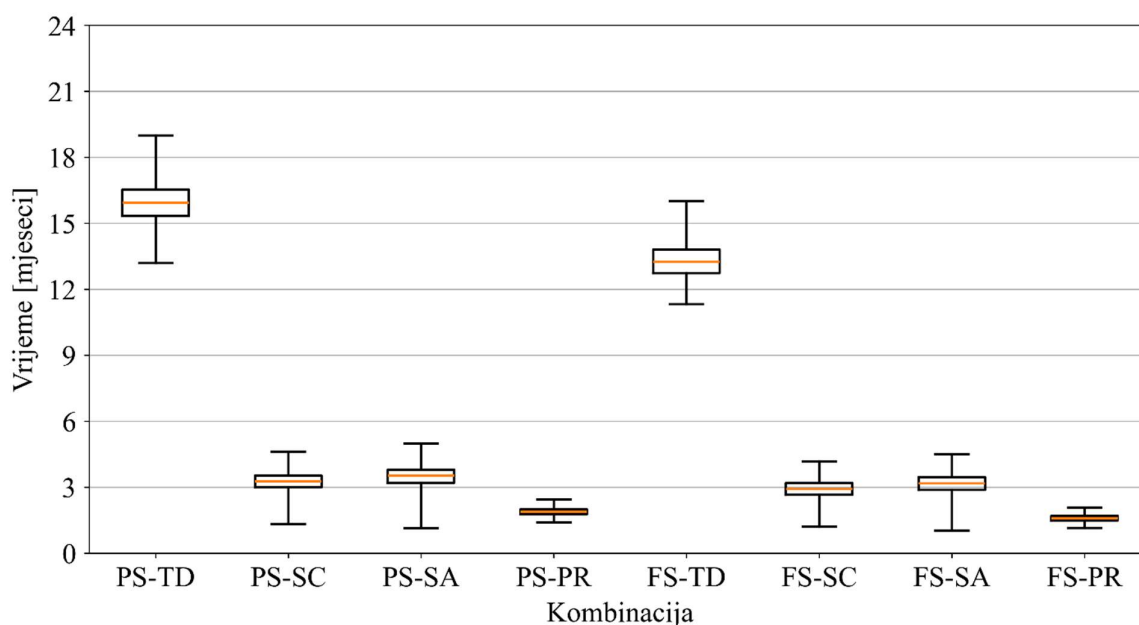
Kao i u prethodna 2 scenarija, kada se primjeni dijeljenje energije na temelju pravedne raspodjele, dolazi do manjih promjena u vremenima povrata investicije, koje su najviše vidljive kod određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji što se može vidjeti na Slika 6.21. Kod prva 4 kupca vrijeme povrata je dulje zbog manje dodijeljene vlastite energije na temelju pravedne raspodjele dok je kod kupaca od 5 do 10 vrijeme povrata postalo kraće zbog više dodijeljene vlastite energije. Najveća razlika je kao i u prethodnim slučajevima vidljiva kod kupca

10 koji ima najmanji udio u ukupnoj potrošnji. U povoljnim slučajevima kupac 10 uz pravednu raspodjelu otplati svoj udio u investiciji za manje od 6 godina, a u nepovoljnim slučajevima za manje od 7 godina. Kod određivanja suvlasničkih udjeli prema potrošnji vlastite energije i dobiti, nakon što se primjeni dijeljenje na temelju pravedne raspodjele, može se vidjeti kraće vrijeme povrata kod kupaca 5, 7 i 10, dok se kod određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti može vidjeti kraće vrijeme povrata samo kod kupca 10.



Slika 6.21. Razdioba vremena povrata investicije uz pravedno dijeljenje u scenariju 3

Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za sve metode određivanja suvlasničkih udjela i načine dijeljenja u scenariju 3, prikazana je na Slika 6.22. Određivanje suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji i dalje rezultira s najvećom razlikom između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije, ali manjom nego u prethodnim scenarijima. U slučaju proporcionalnog dijeljenja, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 19 mjeseci dok je u slučaju pravednog dijeljenja razlika do 16 mjeseci.



Slika 6.22. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u scenariju 3

Kada se suvlasnički udjeli određuju prema potrošnji vlastite energije, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 5 mjeseci s proporcionalnim dijeljenjem te iznad 4 mjeseca s pravednim dijeljenjem. Određivanje suvlasničkih udjela prema uštedi rezultira s većom razlikom između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. Uz proporcionalno dijeljenje i suvlasničke udjele prema uštedi, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 5 mjeseci, a uz pravedno dijeljenje razlika je do 4.5 mjeseca. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti dovodi do manje razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije u usporedbi sa suvlasničkim udjelima prema potrošnji vlastite energije i uštedi. U slučaju proporcionalnog dijeljenja, najveća razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 2.5 mjeseca dok je u slučaju pravednog dijeljenja najveća razlika nešto veća od 2 mjeseca.

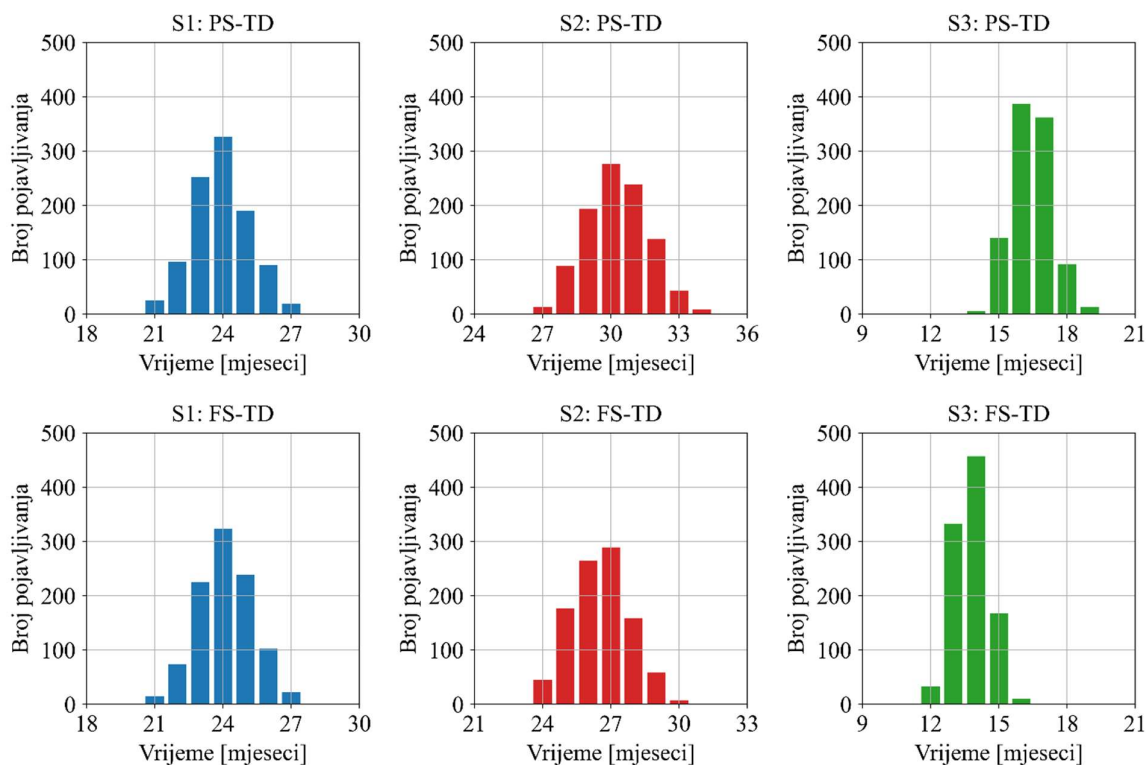
6.3. Vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela

Iz prethodno prikazanih rezultata po scenarijima može se vidjeti da u sva 3 promatrana scenarija metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti pokazuje najbolje rezultate u vidu razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. S druge strane, metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji rezultira s najvećom razlikom između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. Zbog velikih razlika u rezultatima za različite metode ne može se jasno vidjeti vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti unutar određenog vremenskog perioda pa će se vjerojatnosti prikazivati odvojeno za svaku primijenjenu metodu određivanja suvlasničkih udjela.

6.3.1. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji

Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je u više od 30 % slučajeva između 23 i 24 mjeseca u scenariju 1, neovisno o načinu na koji se provodi dijeljenje, što se može vidjeti na Slika 6.23. Kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do najviše 24 mjeseca u scenariju 1 iznosi 70 % u slučaju proporcionalnog dijeljenja te 63.5 % u slučaju pravednog dijeljenja, kako je prikazano na Slika 6.24. U najboljim slučajevima razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je između 20 i 21 mjesec dok je u najgorim slučajevima razlika između 26 i 27 mjeseci.

U scenariju 2 razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije značajno je veća pa tako u slučaju proporcionalnog dijeljenja u najboljim slučajevima iznosi između 26 i 27 mjeseci (Slika 6.23.) dok u najgorim slučajevima iznosi do 34 mjeseca. Najveća vjerojatnost u iznosu od 27.6 % je da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti između 29 i 30 mjeseci. Kada se pogleda kumulativna vjerojatnost (Slika 6.24.) može se vidjeti da će u 57.2 % slučajeva razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do najviše 30 mjeseci. Nešto je bolje u slučaju pravednog dijeljenja kada u najboljim slučajevima razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije iznosi između 23 i 24 mjeseca dok u najgorim slučajevima iznosi između 29 i 30 mjeseci. U 28.9 % slučajeva razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je od 26 do 27 mjeseci. Kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti najviše 30 mjeseci iznosi 100.0 %.

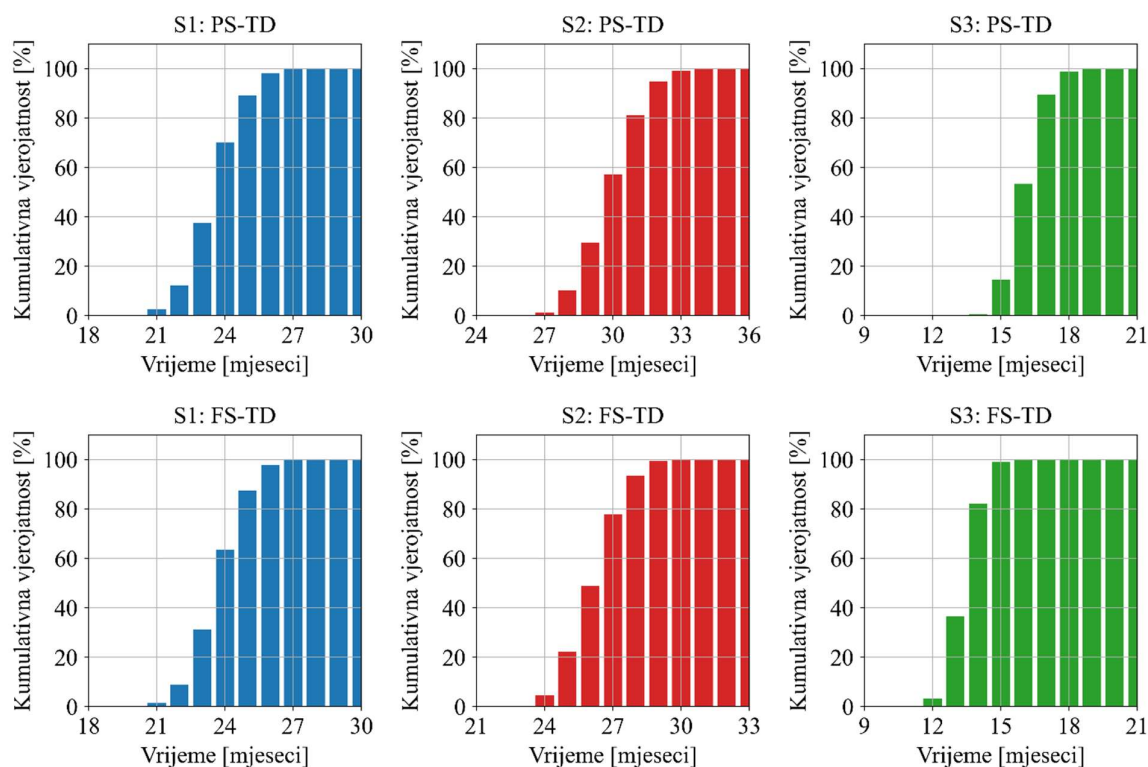


Slika 6.23. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji

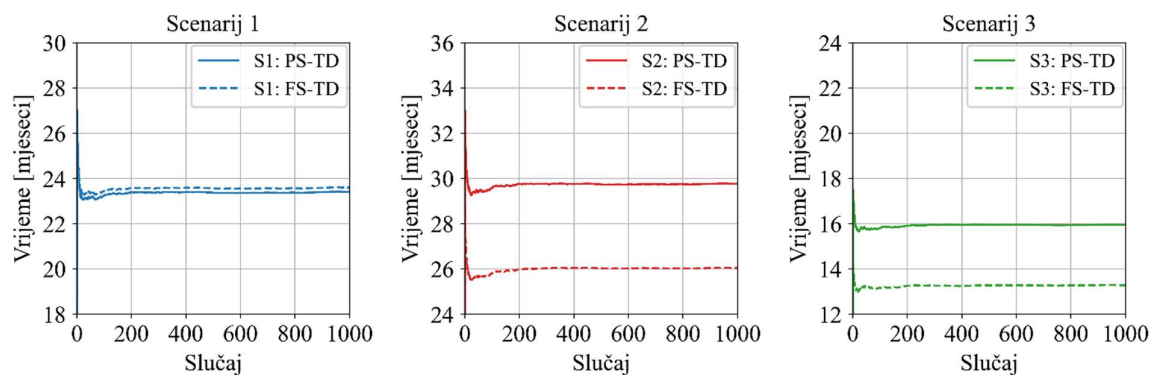
Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji najbolje rezultate pokazuje u scenariju 3 kada pri proporcionalnom dijeljenju razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije u 0.6 % slučajeva iznosi od 13 do 14 mjeseci, a u 1.3 % slučajeva od 18 do 19 mjeseci. Najveća vjerojatnost u iznosu od 38.7 % je da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti od 15 do 16 mjeseci. Pri pravednom dijeljenju rezultati su još bolji (Slika 6.23.), razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata je u 3.3 % slučajeva od 11 do 12 mjeseci, a u 1 % slučajeva od 15 do 16 mjeseci. Najveća vjerojatnost u iznosu od 45.7 % je da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti od 13 do 14 mjeseci. Kumulativna vjerojatnost (Slika 6.24.) da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti do 15 mjeseci iznosi 14.6 % u slučaju proporcionalnog i 98.9 % u slučaju pravednog dijeljenja.

Na Slika 6.25. prikazana je konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji. U scenariju 1 prosječna razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata iznosi 23.4 mjeseci s proporcionalnim i 23.6 mjeseci s pravednim dijeljenjem. U scenariju 2 je prosječna razlika u

slučaju pravednog dijeljenja za 3.7 mjeseci manja nego u slučaju proporcionalnog dijeljenja. U scenariju 3 se također može vidjeti dominacija pravednog dijeljenja kod kojeg je prosječna razlika manja za 2.7 mjeseci u odnosu na proporcionalno dijeljenje.



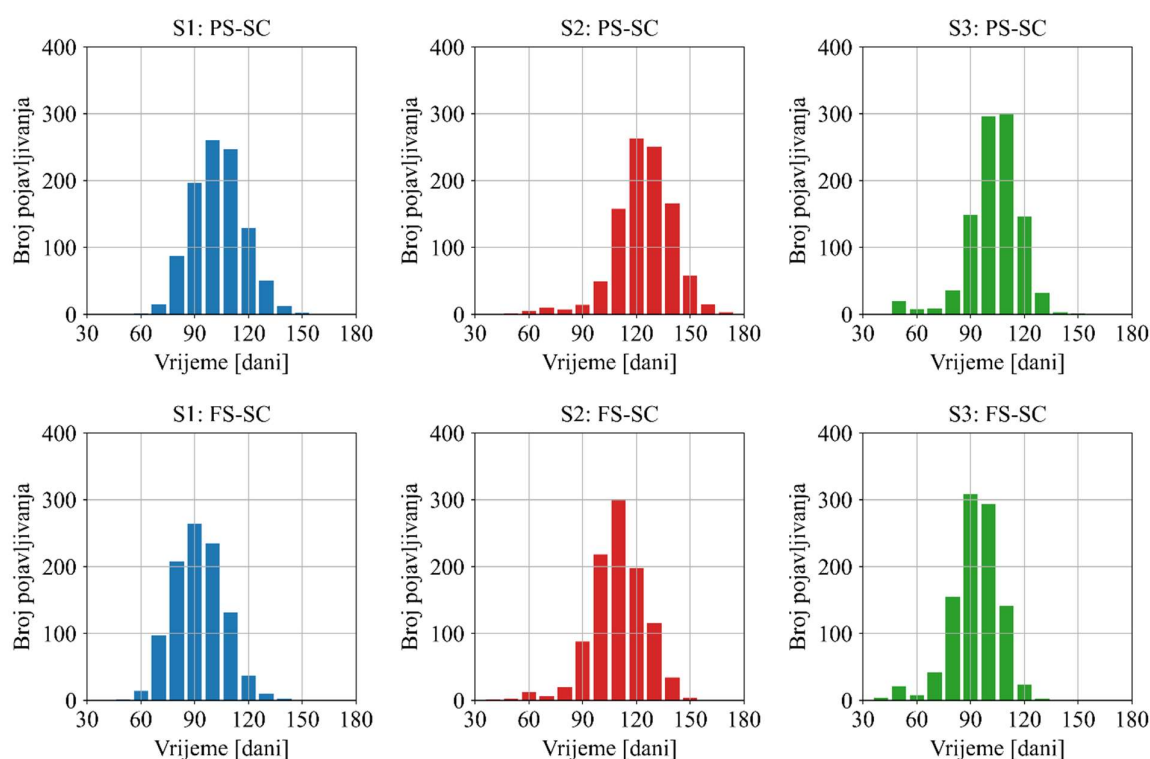
Slika 6.24. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji



Slika 6.25. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji

6.3.2. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije

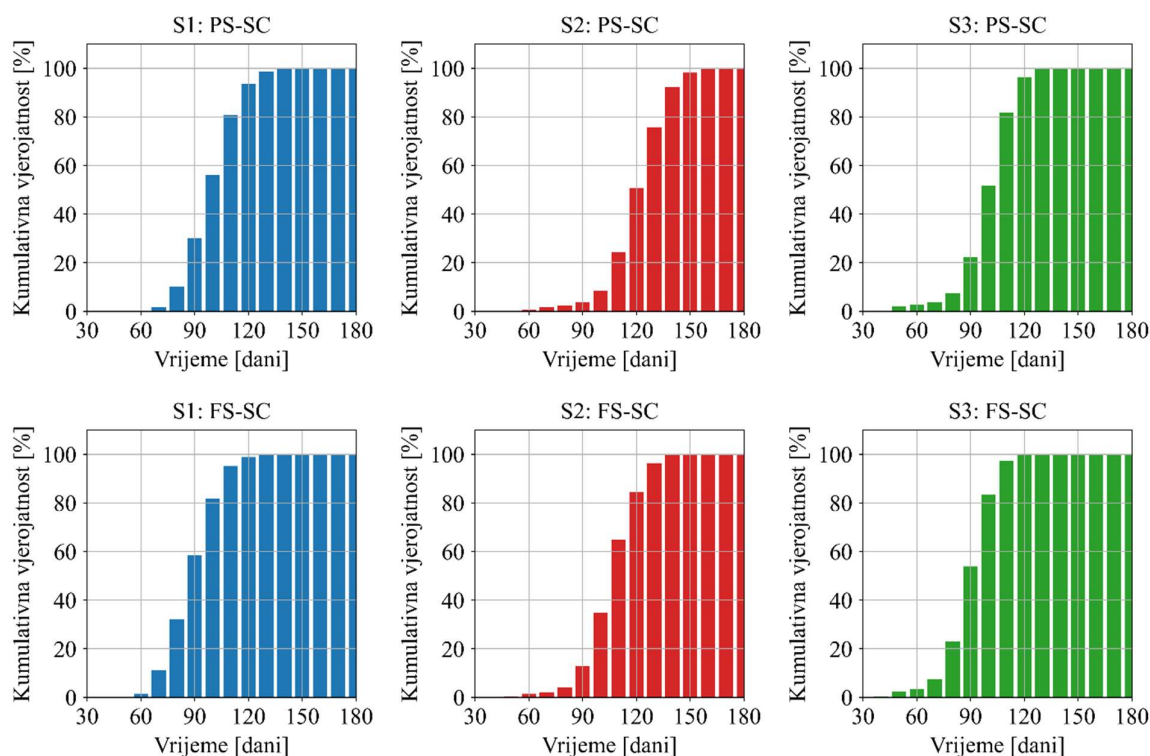
Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije dovela je do smanjenja razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. Na Slika 6.26. se može vidjeti da je vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti od 80 do 90 dana 26.4 % u scenariju 1 i 30.9 % u scenariju 3. Vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti od 90 do 100 dana iznosi 26.0 % u scenariju 1 s proporcionalnim dijeljenjem. Vjerojatnost da će razlika biti između 100 i 110 dana iznosi 30.1 % u scenariju 2 s pravednim dijeljenjem i 30.0 % u scenariju 3 s proporcionalnim dijeljenjem. Vjerojatnost da će razlika biti između 110 i 120 dana iznosi 26.3 % u scenariju 2 s proporcionalnim dijeljenjem.



Slika 6.26. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije

Kumulativna vjerojatnost da će razlika biti do najviše 90 dana s proporcionalnim dijeljenjem iznosi 30 % u scenariju 1, 22.2 % u scenariju 3 i 3.7 % u scenariju 2 što se može vidjeti

iz grafikona na Slika 6.27. S pravednim dijeljenjem kumulativna vjerojatnost da će razlika biti do 9najviše 0 dana iznosi 58.4 % u scenariju 1, 53.9 % u scenariju 3 i 12.9 % u scenariju 2.

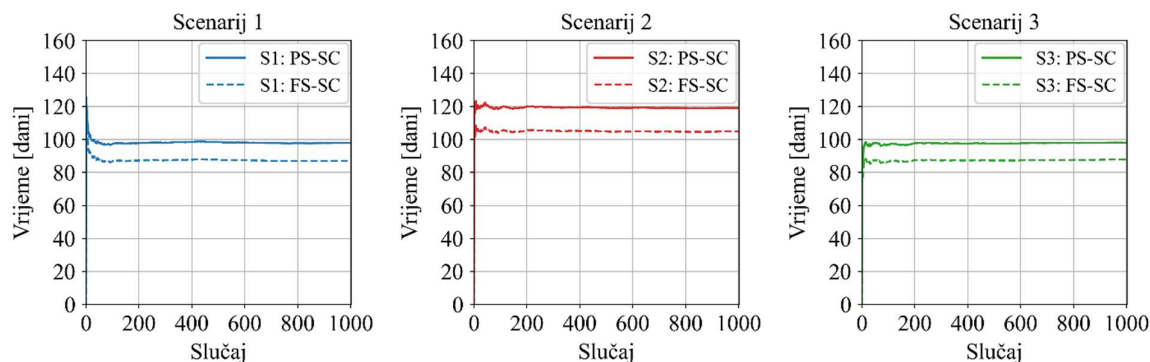


Slika 6.27. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije

Kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti najviše 120 dana u scenariju 1 iznosi 93.6 % u slučaju proporcionalnog dijeljenja i 98.8 % u slučaju pravednog dijeljenja, u scenariju 2 iznosi 50.7 % u slučaju proporcionalnog dijeljenja i 84.6 % u slučaju pravednog dijeljenja dok u scenariju 3 s proporcionalnim dijeljenjem iznosi 96.4 %, a s pravednim dijeljenjem 99.8 %. U scenariju 3 s pravednim dijeljenjem kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije iznosi 100 % nakon 130 dana, dok u scenariju 2 s proporcionalnim dijeljenjem iznosi 100 % tek nakon 170 dana.

Na Slika 6.28. prikazana je konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se suvlasnički udjeli određuju prema potrošnji vlastite energije. U svim scenarijima vidljiva je dominacija pravednog dijeljenja u odnosu na proporcionalno dijeljenje. U

scenariju 1, prosječna razlika je u slučaju proporcionalnog dijeljenja veća za 11 dana, u scenariju 2 za 14 dana, a i scenariju 3 za 11 dana. Prosječna razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je najveća u scenarij u2 za oba načina dijeljenja.



Slika 6.28. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije

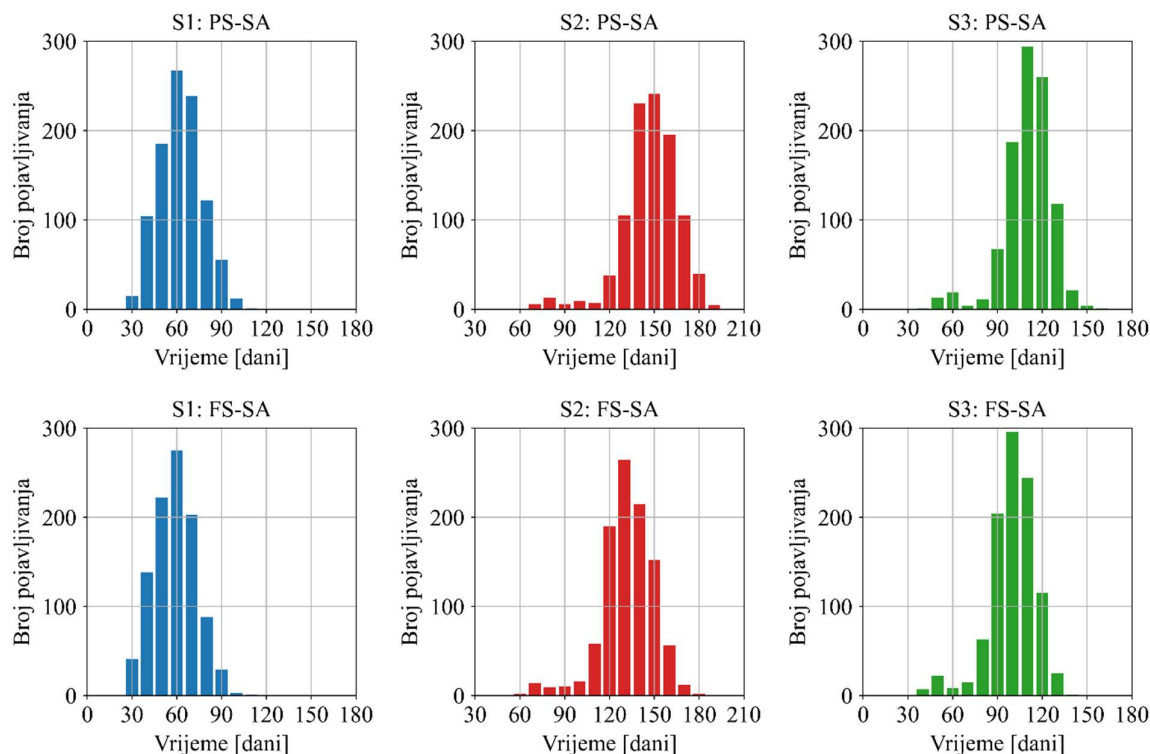
6.3.3. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi

Kada se primjeni metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi, vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije u scenariju 1 biti od 20 do 30 dana iznosi 1.5 % s proporcionalnim dijeljenjem te 4.1 % s pravednim dijeljenjem. Najveća vjerojatnost je da će razlika biti od 50 do 60 dana, što se može vidjeti iz grafikona prikazanih na Slika 6.29. Vjerojatnost da će razlika biti od 50 do 60 dana je 26.7 % s proporcionalnim dijeljenjem i 27.5 % s pravednim dijeljenjem. Vjerojatnost da će razlika biti veća od 100 dana iznosi 0.1 % neovisno o načinu dijeljenja u scenariju 1.

U scenariju 2 s proporcionalnim dijeljenjem, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je od 60 do 70 dana u najboljim slučajevima te od 180 do 190 dana u najgorim slučajevima. Najveća vjerojatnost u iznosu od 24.1 % je da će razlika biti od 140 do 150 dana. Kada se primjeni pravedno dijeljenje, u najboljim slučajevima razlika će biti između 50 i 60 dana, a u najgorim između 170 i 180 dana. Najveća vjerojatnost u iznosu od 26.4 % je da će razlika biti između 120 i 130 dana.

U scenariju 3 u najboljim slučajevima razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti između 30 i 40 dana neovisno o načinu dijeljenja. Pri proporcionalnom dijeljenju, najveća vjerojatnost je 29.4 % da će razlika biti između 100 i 110 dana. Pri pravednom

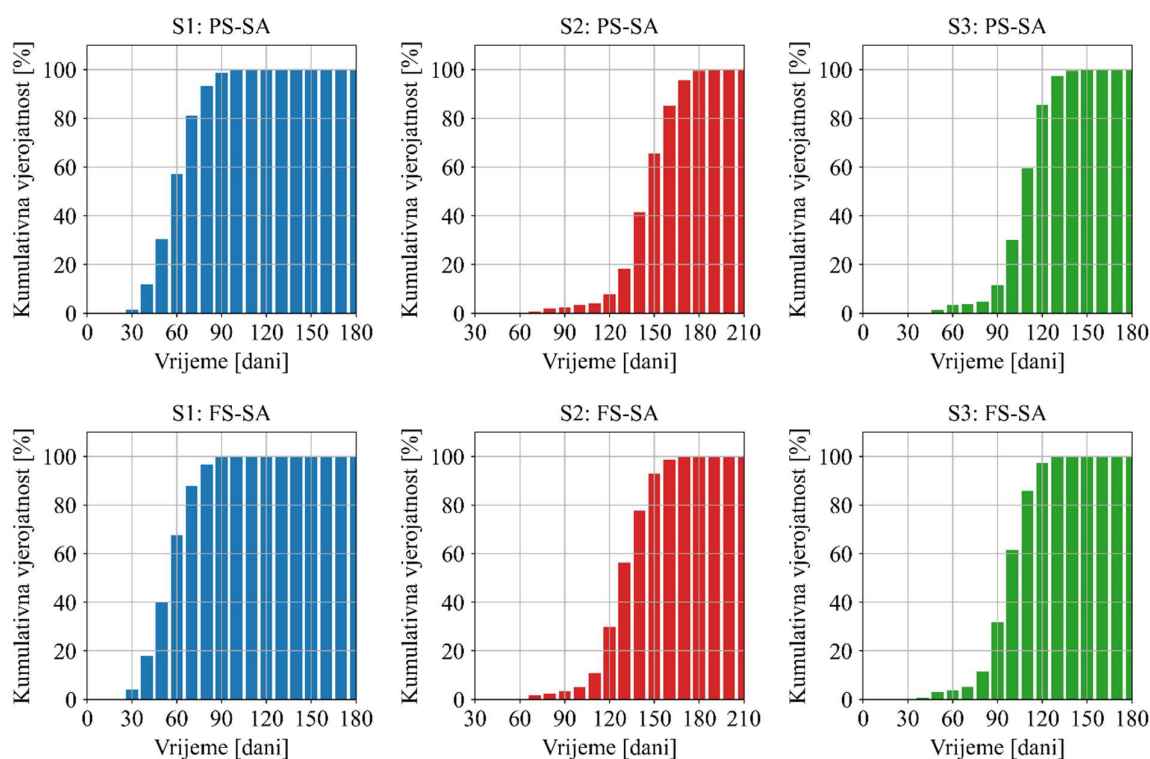
dijeljenju, najveća vjerojatnost je 29.6 % da će razlika biti između 90 i 100 dana. U najgorem slučaju razlika je veća od 150 dana u slučaju proporcionalnog dijeljenja, dok je u slučaju pravednog dijeljenja razlika veća od 130 dana.



Slika 6.29. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema uštedi

Kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do 60 dana u scenariju 1 iznosi 57.1 % pri pravednom dijeljenju te 67.6 % pri proporcionalnom dijeljenju, kako je prikazano na Slika 6.30. Kada vrijeme između pojedinačnih povrata investicije iznosi najviše 90 dana, kumulativna vjerojatnost u scenariju 1 je 98.7 % u slučaju proporcionalnog i 99.6 % u slučaju pravednog dijeljenja. U scenariju 2, kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti do 90 dana iznosi 2.5 % s proporcionalnim i 3.5 % s pravednim dijeljenjem, dok je u scenariju 3 kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti do 90 dana 11.5 % u slučaju proporcionalnog dijeljenja i 31.9 % u slučaju pravednog dijeljenja.

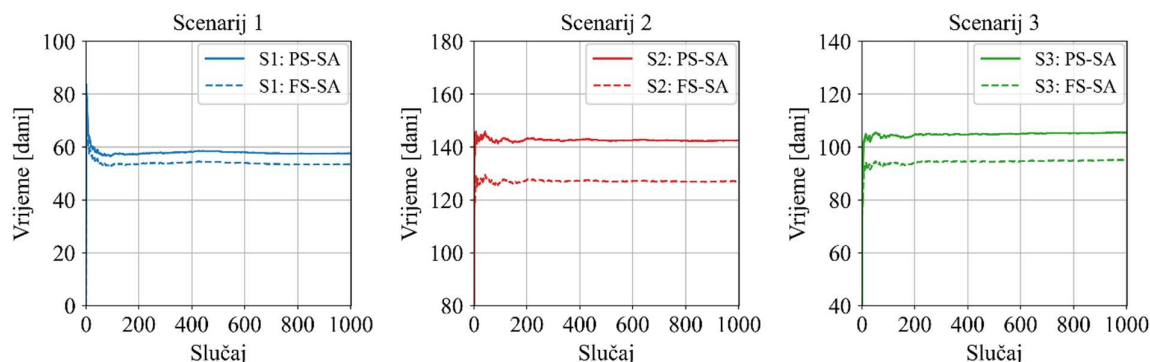
Kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti najviše 120 dana u scenariju 3 iznosi 85.6 % kada se primjeni proporcionalno i 97.4 % kada se primjeni pravedno dijeljenje dok u scenariju 2 iznosi 7.9 % u slučaju proporcionalnog i 29.9 % u slučaju pravednog dijeljenja. Kumulativna vjerojatnost postiže iznos od 100 % za najviše 110 dana između najduljeg i najkraćeg vremena povrata, neovisno o načinu dijeljenja u scenariju 1, dok u scenariju 3 kumulativna vjerojatnost iznos od 100 % postiže za najviše 140 dana između najduljeg i najkraćeg vremena povrata kada je primijenjeno pravedno dijeljenje i za najviše 160 dana između najduljeg i najkraćeg vremena povrata kada je primijenjeno proporcionalno dijeljenje. U scenariju 3, kumulativna vjerojatnost postiže 100 % za najviše 180 dana između najduljeg i najkraćeg vremena povrata kada je primijenjeno pravedno dijeljenje i za najviše 190 dana između najduljeg i najkraćeg vremena povrata kada je primijenjeno proporcionalno dijeljenje.



Slika 6.30. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema uštedi

Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se suvlasnički udjeli određuju prema uštedi prikazana je na Slika 6.31. Inferiornost proporcionalnog dijeljenja u odnosu na pravedno dijeljenje primjetna je u svim scenarijima, a najmanja razlika je u

scenariju 1, gdje je prosječna razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u slučaju pravednog dijeljenja manja za 4 dana nego u slučaju proporcionalnog dijeljenja. U scenariju 1 se može primijetiti stabilizacija nakon samo 100 slučajeva dok je u scenarijima 2 i 3 potrebno 200 slučajeva da dođe do stabilizacije za oba načina dijeljenja. To se može pripisati promjenama potrošnje u scenarijima 2 i 3.



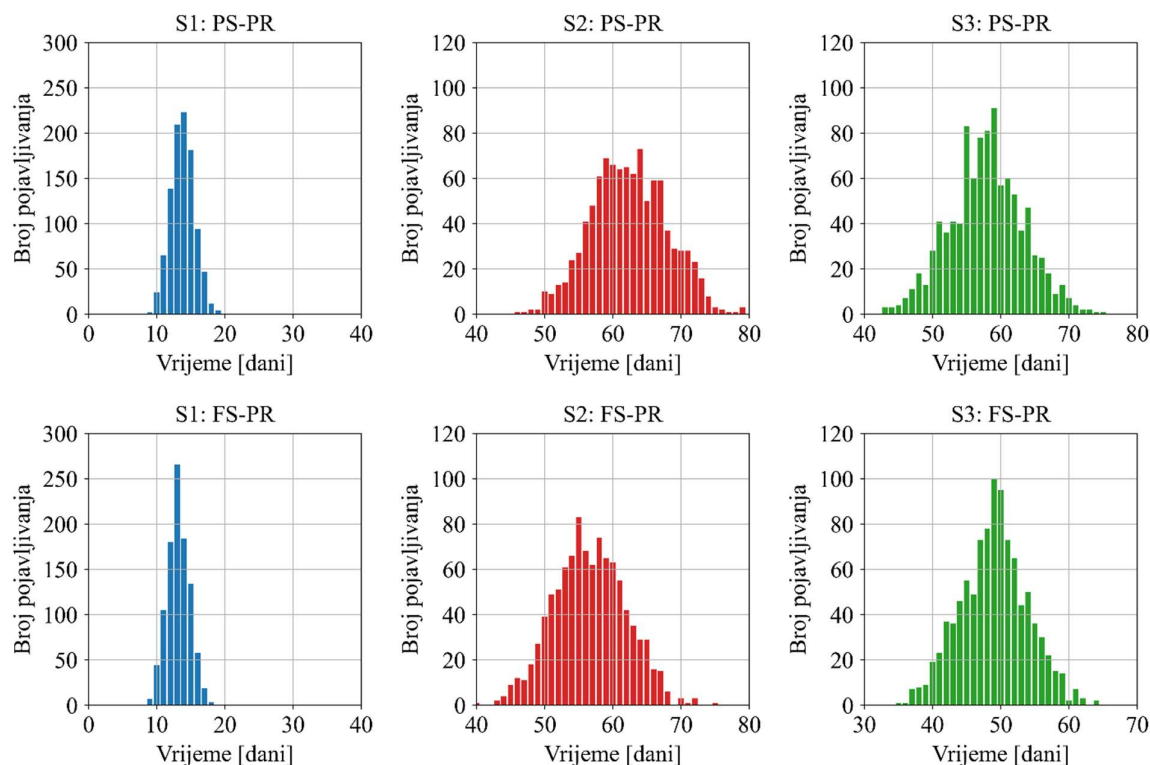
Slika 6.31. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema uštedi

6.3.4. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti

Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti skraćuje razliku između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. Na Slika 6.32. se može vidjeti da je u scenariju 1, u najboljim slučajevima razlika do 9 dana, neovisno o načinu dijeljenja, dok je u najgorim slučajevima razlika do 19 dana s proporcionalnim dijeljenjem te do 18 dana s pravednim dijeljenjem. U slučaju proporcionalnog dijeljenja, vjerojatnost je 22.3 % da će razlika biti 14 dana, dok je u slučaju pravednog dijeljenja, vjerojatnost 26.6 % da će razlika biti 13 dana. Kumulativna vjerojatnost da razlika biti do najviše 10 dana iznosi 2.6 % s proporcionalnim i 5.1 % s pravednim dijeljenjem, dok kumulativna vjerojatnost da će razlika biti do najviše 14 dana iznosi 66.2 % s proporcionalnim i 78.6 % s pravednim dijeljenjem, što se može vidjeti iz razdiobe vremena između povrata investicije prikazane na Slika 6.33.

U scenariju 2, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se primjeni proporcionalno dijeljenje, iznosi od 46 dana u najboljim slučajevima do 83 dana u najgorim slučajevima. Kada se primjeni pravedno dijeljenje, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije iznosi od 40 dana u najboljim slučajevima do 74 dana u najgorim

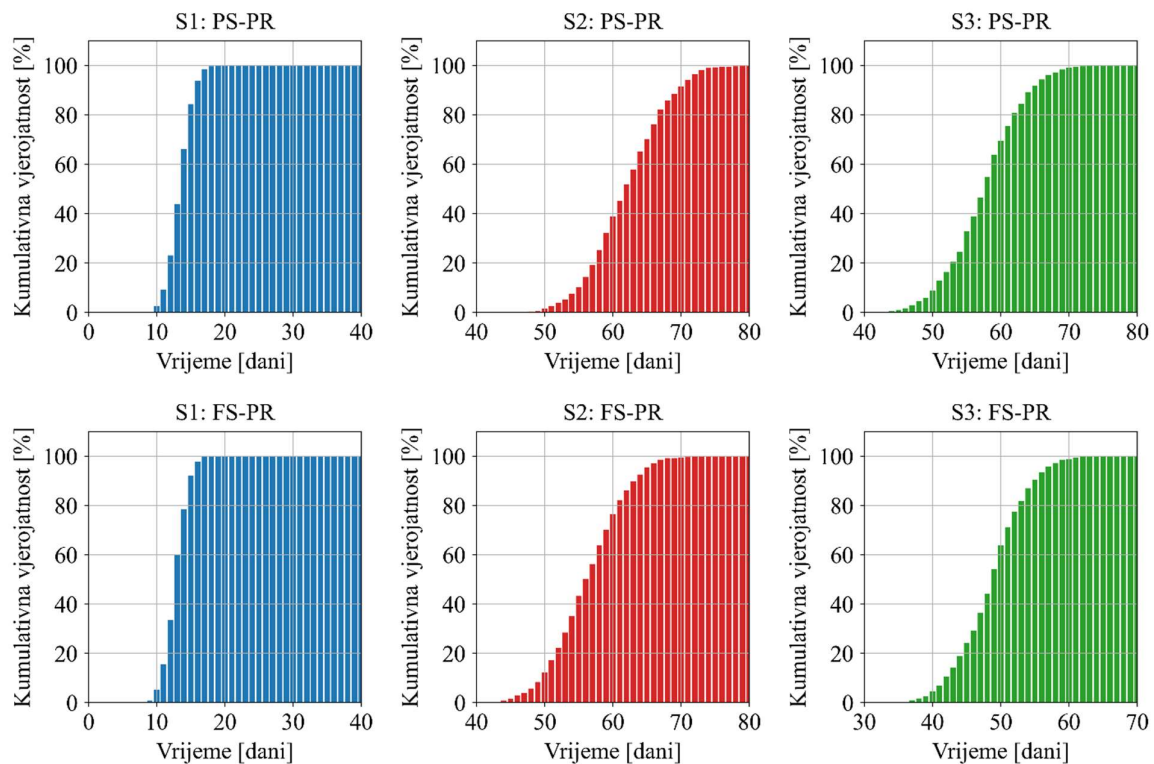
slučajevima. Vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti 64 dana iznosi 7.3 % u slučaju proporcionalnog dijeljenja, dok u slučaju pravednog dijeljenja, vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti 58 dana iznosi 7.4 %. Kumulativna vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti do najviše 60 dana iznosi 38.8 % u slučaju proporcionalnog dijeljenja te 76.5 % u slučaju pravednog dijeljenja.



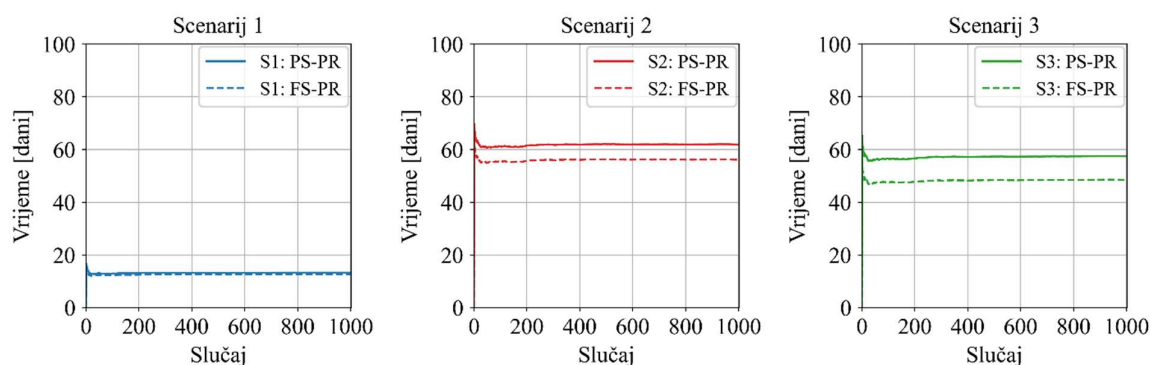
Slika 6.32. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema dobiti

U scenariju 3 razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije, kada se primjeni proporcionalno dijeljenje, iznosi od 43 dana u najboljim do 75 dana u najgorim slučajevima dok uz primjenu pravednog dijeljenja, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije iznosi od 35 dana u najboljim do 64 dana u najgorim slučajevima. Vjerojatnost da će razlika biti 59 dana iznosi 9.1 % uz primjenu proporcionalnog dijeljenja, dok uz primjenu pravednog dijeljenja, vjerojatnost da će razlika biti 49 dana iznosi 10.0 %. Kumulativna vjerojatnost da će razlika biti najviše 60 dana iznosi 69.5 % kada se primjeni proporcionalno i 98.8 % kada se primjeni pravedno dijeljenje.

Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se suvlasnički udjeli određuju prema dobiti prikazana je na Slika 6.34. Može se primijetiti značajno brže postizanje konvergencije u odnosu na ostale metode određivanja suvlasničkih udjela u svim promatranim scenarijima. Pravedno dijeljenje se i u ovom slučaju pokazuje boljim pri čemu je u scenariju 1 prosječna razlika manja za samo 1 dan nego u slučaju proporcionalnog dijeljenja, dok je u scenariju 3 prosječna razlika u slučaju pravednog dijeljenja manja za 9 dana.



Slika 6.33. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema dobiti



Slika 6.34. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema dobiti

Vrednovanje metode određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije, metode određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi i metode određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti prikazano je u Tablica 6.3. Vrednovanje je provedeno na temelju kumulativne vjerojatnosti da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do najviše 30, 60, 90, 120, 150 i 180 dana. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji ne dovodi do razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije unutar 180 dana zbog čega nije uzeta u obzir prilikom vrednovanja.

Tablica 6.3. Vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela na temelju kumulativne vjerojatnosti razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata

Metoda	30 dana	60 dana	90 dana	120 dana	150 dana	180 dana	Vrednovanje
S1	Kumulativna vjerojatnost [%]						1. do 6.
PS-SC	0	0.1	30.0	93.6	100.0	100.0	6.
FS-SC	0	1.5	58.4	98.8	100.0	100.0	5.
PS-SA	0	57.1	98.7	100.0	100.0	100.0	4.
FS-SA	0	67.6	99.6	100.0	100.0	100.0	3.
PS-PR	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	2.
FS-PR	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	1.
S2	Kumulativna vjerojatnost [%]						1. do 6.
PS-SC	0	0.6	3.7	50.7	98.2	100.0	4.
FS-SC	0	1.5	12.9	84.6	100.0	100.0	3.
PS-SA	0	0	2.5	7.9	65.5	99.5	6.
FS-SA	0	0.2	3.5	29.9	93.0	100.0	5.
PS-PR	0	38.8	100.0	100.0	100.0	100.0	2.

FS-PR	0	76.5	100.0	100.0	100.0	100.0	1.
S3	Kumulativna vjerojatnost [%]						1. do 6.
PS-SC	0	2.8	22.2	96.4	100.0	100.0	5.
FS-SC	0	3.3	53.9	99.8	100.0	100.0	3.
PS-SA	0	3.3	11.5	85.6	99.9	100.0	6.
FS-SA	0	3.7	31.9	97.4	100.0	100.0	4.
PS-PR	0	69.5	100.0	100.0	100.0	100.0	2.
FS-PR	0	98.8	100.0	100.0	100.0	100.0	1.

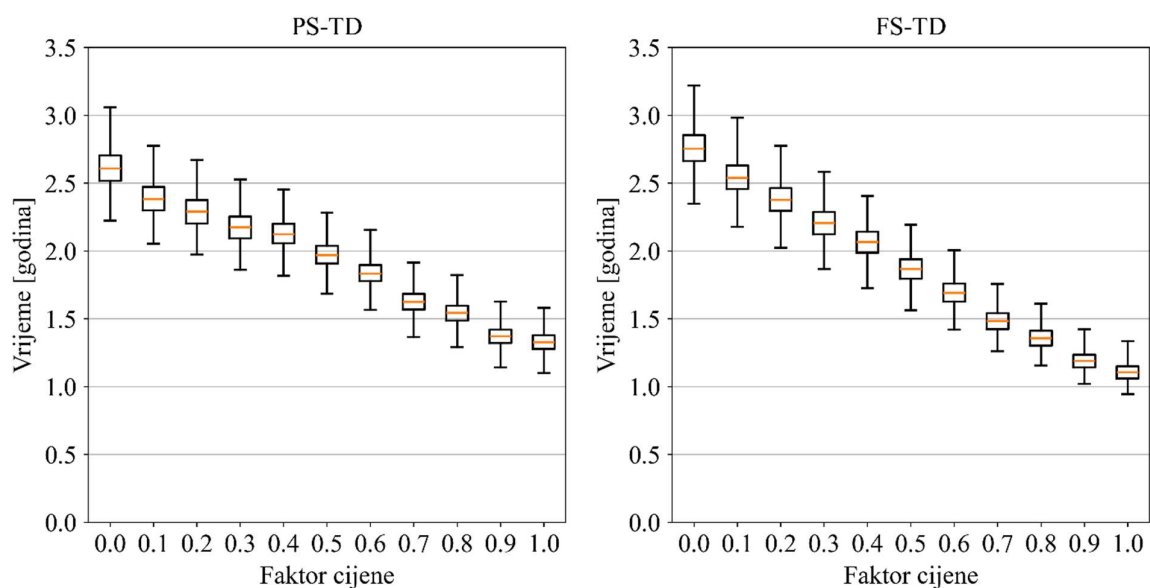
Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti uz pravedno dijeljenje ima najveću kumulativnu vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do 90 dana zbog čega je u svim scenarijima prvi odabir. Na drugom mjestu je ista metoda uz proporcionalno dijeljenje, zbog manje kumulativne vjerojatnosti da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do 60 dana u scenariju 2 i 3. U scenariju 1 treći odabir je metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi s pravednim dijeljenjem dok je na četvrtom mjestu ista metoda s proporcionalnim dijeljenjem. Na petom i šestom mjestu je metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije s time da su rezultati nešto bolji s pravednim dijeljenjem kao i kod ostalih metoda. U scenariju 2 se metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije pokazala boljom zbog čega je na trećem mjestu s pravednim dijeljenjem te na četvrtom s proporcionalnim dijeljenjem. Na petom i šestom mjestu je metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi s time da su rezultati bolji s pravednim dijeljenjem. U scenariju 3 je došlo do promjene, metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije uz pravedno dijeljenje je na trećem mjestu, dok je metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi s pravednim dijeljenjem na četvrtom mjestu. Na petom mjestu je metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije uz proporcionalno dijeljenje dok je na šestom mjestu metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi s proporcionalnim dijeljenjem.

6.3.5. Vrednovanje u ovisnosti o faktoru cijene

Ovisno o faktoru cijene razlikuje se optimalna snaga FNE višestambene zgrade pa je tako pri faktoru cijene 1 snaga FNE 18 kW dok je pri faktoru cijene 0 snaga FNE 10 kW. Kako se smanjuje faktor cijene, smanjuje se snaga FNE, a time i količina proizvedene električne energije. Potrošnja električne energije se ne mijenja u ovisnosti o faktoru cijene što znači da se sa

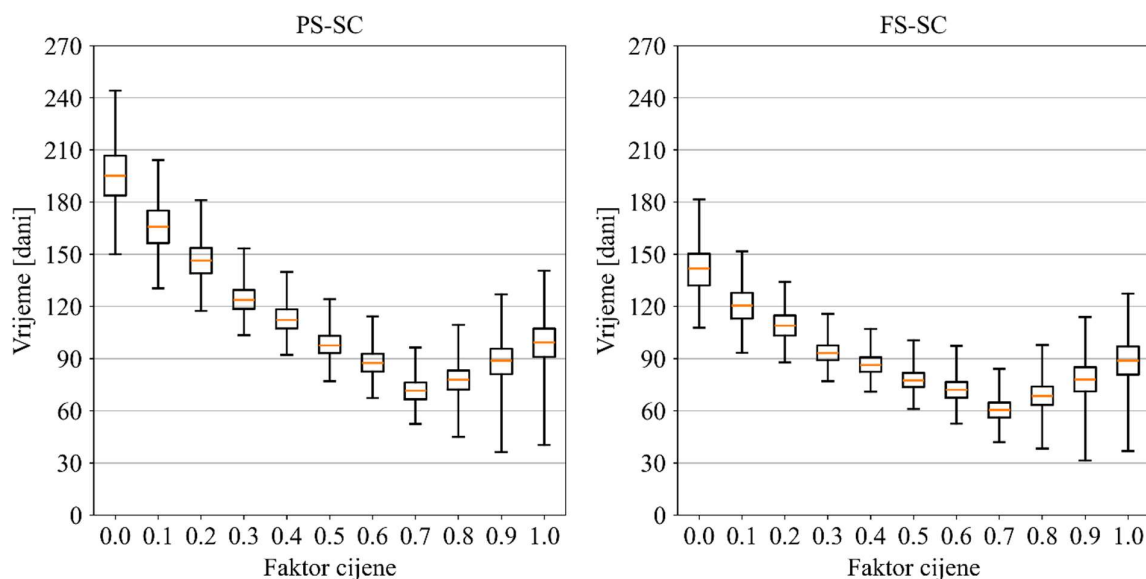
smanjenjem faktora cijene smanjuje količina energije iskorištene kroz vlastitu potrošnju, smanjuje se ušteda, zbog manjeg faktora cijene smanjuje se i zarada, a time i ukupna dobit. Potrebno je istražiti utjecaj faktora cijene na krajnji ishod za različite pristupe određivanju suvlasničkih udjela i dijeljenju. Simulacija dijeljenja je provedena za faktore cijene od 0 do 1 u koracima od 0.1, za optimalne snage FNE u ovisnosti o faktoru cijene. Simulacija je provedena za scenarij 3 koji obuhvaća promjene navika potrošnje kod svih kupaca i povećanje potrošnje kod dijela kupaca.

Na Slika 6.35. može se vidjeti da se u slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji sa smanjenjem faktora cijene značajno produljuje razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije. Kada je faktor cijene 0.7 ili više, u svim slučajevima razlika je manja od 2 godine dok je pri faktoru cijene 0.6 ili manjem razlika više od 2 godine. Kada faktor cijene iznosi 0.1, u najboljim slučajevima razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je više od 2 godine dok je pri faktoru cijene 0 razlika više od 3 godine u najgorim slučajevima. Proporcionalno dijeljenje daje bolje rezultate za vrijednosti faktora cijene od 0 do 0.3 dok pravedno dijeljenje daje bolje rezultate za vrijednosti faktora cijene od 0.4 i više.



Slika 6.35. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji

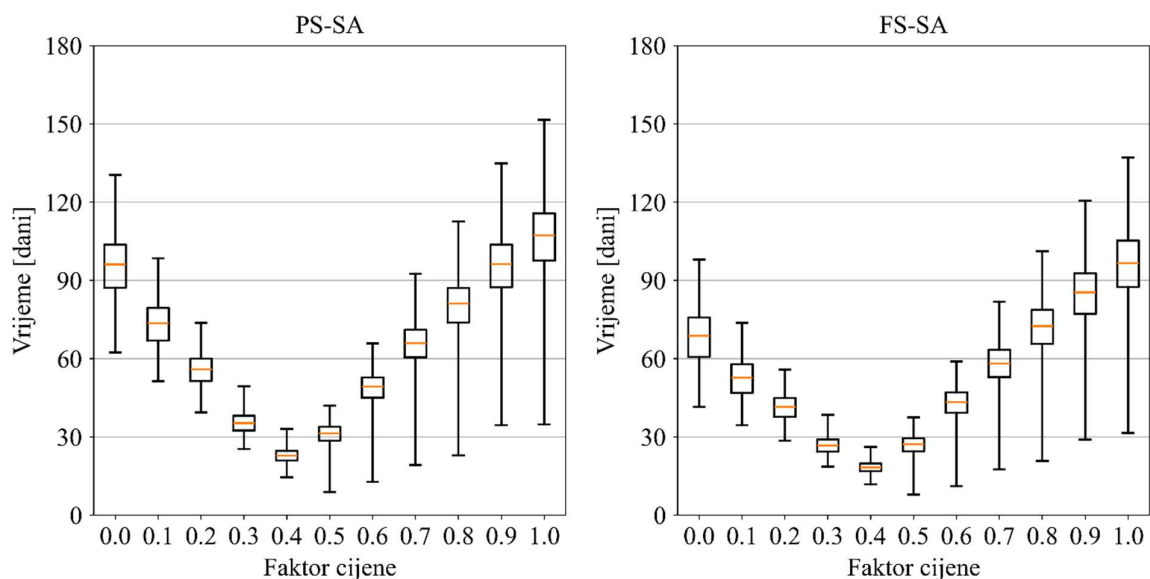
Utjecaj faktora cijene prilikom određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije prikazan je na Slika 6.36. Kako se faktor cijene smanjuje od 1 do 0.7, smanjuje se razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije.



Slika 6.36. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije

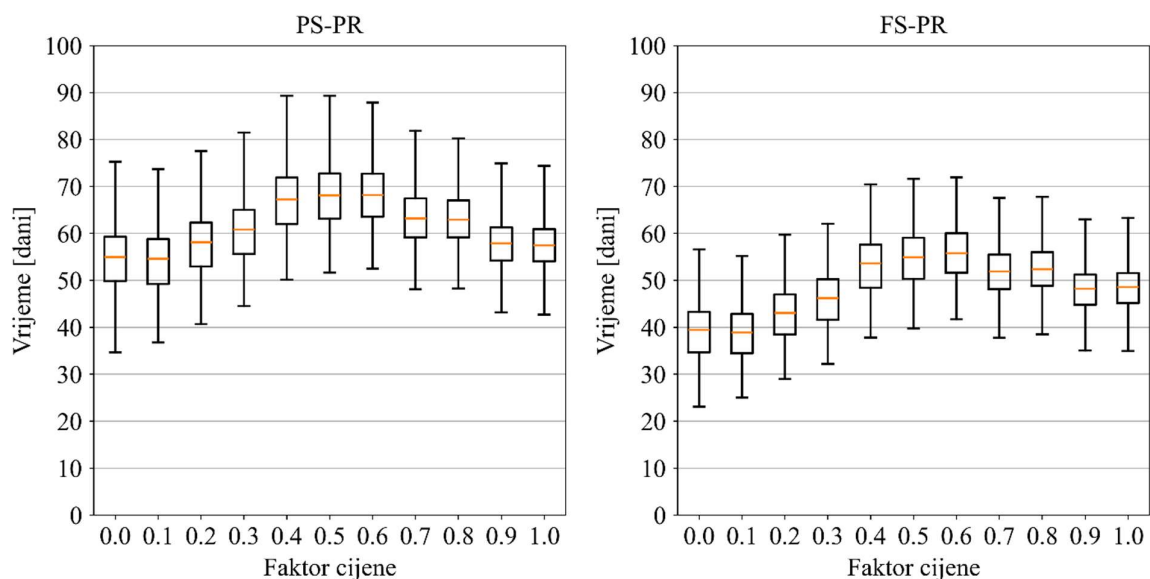
S proporcionalnim dijeljenjem, pri faktoru cijene 0.7 razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je u svim slučajevima manja od 100 dana, dok je s pravednim dijeljenjem u svim slučajevima razlika manje od 90 dana. Daljnjim smanjenjem faktora cijene povećava se razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije pa je tako u slučaju proporcionalnog dijeljenja s faktorom cijene 0.3 razlika veća od 150 dana. S faktorom cijene 0, najmanja razlika je 150 dana dok je najveća razlika iznad 240 dana. Nešto je bolje u slučaju pravednog dijeljenja kada je pri faktoru cijene 0.3 u svim slučajevima razlika manja od 120 dana. Pri faktoru cijene 0, najveća razlika je 180 dana dok je najmanja razlika ispod 120 dana.

U slučaju određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi smanjuje se razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kako se faktor cijene smanjuje od 1 do 0.4, što se može vidjeti na Slika 6.37. Dok je pri faktoru cijene 1 s proporcionalnim dijeljenjem razlika veća od 150 dana, s faktorom cijene 0.5 razlika je do 45 dana, a s faktorom cijene 0.4 razlika je do 35 dana. S pravednim dijeljenjem razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je još manja pa je tako s faktorom cijene 0.5 razlika do 40 dana dok je s faktorom cijene 0.4 razlika manja od 30 dana. Daljnjim smanjenjem faktora cijene razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije se povećava pa je tako pri faktoru cijene 0 s proporcionalnim dijeljenjem razlika veća od 130 dana dok je s pravednim dijeljenjem razlika do 100 dana.



Slika 6.37. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema uštedi

Na Slika 6.38. prikazan je utjecaj faktora cijene na razliku između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije kada se primjeni metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti. Kako se faktor cijene smanjuje od vrijednosti 1 do 0.4, razlika se povećava, a kada je faktor cijene 0.3 ili manji, razlika se smanjuje. Kada faktor cijene iznosi od 0.4 do 0.6, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do najviše 90 dana s proporcionalnim dijeljenjem dok je s pravednim dijeljenjem razlika do 70 dana. Kao i kod prethodnih metoda, utjecaj načina dijeljenja je više izražen kod nižih vrijednosti faktora cijene nego kod viših vrijednosti pa je tako razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije pri faktoru cijene 1 do 75 dana s proporcionalnim te do 65 dana s pravednim dijeljenjem, dok je pri faktoru cijene 0 razlika do 75 dana s proporcionalnim te do 58 dana s pravednim dijeljenjem.



Slika 6.38. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema dobiti

Na temelju kumulativne vjerojatnosti da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata biti do 30, 60 i 90 dana provedeno je vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela. Rezultati vrednovanja metode određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije, metode određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi i metode određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti, za proporcionalno i pravedno dijeljenje, prikazani su u Tablica 6.4. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji nije obuhvaćena vrednovanjem iz razloga što se pokazala inferiornom u odnosu na ostale metode određivanja suvlasničkih udjela.

Tablica 6.4. Vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela u ovisnosti o faktoru cijene na temelju kumulativne vjerojatnosti razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata

Metoda	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Kumulativna vjerojatnost za 30 dana [%]											
PS-SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS-SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PS-SA	0	0	0	9.2	98.8	37.0	3.5	2.9	1.0	0	0
FS-SA	0	0	0.6	82.8	100.0	79.8	4.6	3.4	1.7	0.2	0
PS-PR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS-PR	8.0	6.8	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
Kumulativna vjerojatnost za 60 dana [%]											

PS-SC	0	0	0	0	0	0	0	5.4	3.1	3.4	2.8
FS-SC	0	0	0	0	0	0	2.1	46.2	13.9	6.8	3.3
PS-SA	0	6.3	75.0	100.0	100.0	100.0	97.5	23.1	4.9	3.6	3.3
FS-SA	23.1	84.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	58.6	11.4	4.5	3.7
PS-PR	79.4	81.7	61.1	46.2	16.8	11.1	9.7	29.4	29.4	67.4	69.5
FS-PR	100.0	100.0	100.0	99.5	83.6	78.2	74.8	91.5	91	99.1	98.8
Kumulativna vjerojatnost za 90 dana [%]											
PS-SC	0	0	0	0	0	12.7	62.9	98.5	93	55.3	22.2
FS-SC	0	0	0.8	29.8	71.3	97.3	98.9	100.0	99.5	87.8	53.9
PS-SA	31.9	97.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	83.8	31.2	11.5
FS-SA	98.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98	67.3	31.9
PS-PR	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
FS-PR	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Vrednovanje od 1. do 6. mjesta											
PS-SC	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	5.	5.	5.
FS-SC	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	3.	3.	3.	3.
PS-SA	4.	4.	3.	2.	2.	2.	2.	5.	6.	6.	6.
FS-SA	3.	2.	1.	1.	1.	1.	1.	2.	4.	4.	4.
PS-PR	2.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	2.	2.	2.
FS-PR	1.	1.	2.	3.	3.	3.	3.	1.	1.	1.	1.

Kada faktor cijene iznosi 0 i 0.1, prilikom određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 30 dana u nekoliko slučajeva, dok je u svim slučajevima prođe razlika do 60 dana zbog čega je metoda određivanja udjela prema dobiti s pravednim dijeljenjem prvi odabir. Ista metoda s proporcionalnim dijeljenjem je drugi odabir pri faktoru cijene 0 i treći pri faktoru cijene 0.1. Metoda određivanja udjela prema uštedi s pravednim dijeljenjem je drugi odabir pri faktoru cijene 0.1 i treći pri faktoru cijene 0 dok je ista metoda s proporcionalnim dijeljenjem četvrti odabir za oba faktora cijene. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije ima najmanju kumulativnu vjerojatnost zbog čega je s pravednim dijeljenjem na petom, a s proporcionalnim na šestom mjestu. To vrijedi za faktor cijene u rasponu od 0 do 0.6. Pri faktoru cijene 0.2, metode određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi i dobiti imaju jednaku vjerojatnost da će razlika biti do 60 dana, ali zbog veće vjerojatnosti do 30 dana, metoda određivanja udjela prema uštedi je na prvom mjestu dok je metoda određivanja udjela prema dobiti na drugom mjestu. Metoda

određivanja udjela prema uštedi uz proporcionalno dijeljenje je na trećem mjesto dok je na četvrtom metoda određivanja udjela prema dobiti uz proporcionalno dijeljenje.

Kada je faktor cijene u rasponu od 0.3 do 0.6, metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi ima najveću kumulativnu vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do 30 dana dok je u većini slučajeva razlika do najviše 60 dana. Zbog toga je s pravednim dijeljenjem na prvom, a s proporcionalnim dijeljenjem na drugom mjestu. Kod metode određivanja udjela prema dobiti razlika je do najviše 90 dana u svim slučajevima, do 60 dana se boljom pokazala uz pravedno dijeljenje zbog čega je na trećem mjestu, dok je uz proporcionalno dijeljenje na četvrtom mjestu. Pri faktoru cijene 0.7 način dijeljenja se pokazao važnijim od metode određivanja suvlasničkih udjela pa su tako prva tri odabira metode uz pravedno dijeljenja dok su zadnja tri odabira metode uz proporcionalno dijeljenje. Prvi odabir je metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti, drugi odabir je metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi, a treći metoda određivanja suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije pri čemu je uz sve metode primijenjeno pravedno dijeljenje. Isti redoslijed uz proporcionalno dijeljenje je od četvrtog do šestog mjesta.

Kada je faktor cijene u rasponu od 0.8 do 1, metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti se pokazuje najboljom zbog najveće vjerojatnosti da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti do 60 odnosno 90 dana, zbog čega je na prvom mjestu u slučaju pravednog te na drugom u slučaju proporcionalnog dijeljenja. Suvlasnički udjela prema potrošnji vlastite energije s proporcionalnim dijeljenjem su na trećem mjestu dok su na četvrtom suvlasnički udjeli prema uštedi također s proporcionalnim dijeljenjem. Najmanja vjerojatnost da će razlika biti do 60 odnosno 90 dana postiže se sa suvlasničkim udjelima prema potrošnji vlastite energije te prema uštedi uz proporcionalno dijeljenje.

7. ZAKLJUČAK

Nakon pregleda literature koja proučava dijeljenje energije u višestambenim zgradama, utvrđeno je da nije dan jasan pristup pravednom sudjelovanju kupaca koji su ujedno i suvlasnici FNE. Prilikom određivanja suvlasničkih udjela može se voditi načelom jednakosti, svaki suvlasnik ima jednak udio, međutim zbog različitih potreba, vrijeme povrata investicije će se razlikovati. Zbog toga se treba voditi načelom pravednosti koje u obzir uzima pojedinačne potrebe što dovede do otplate investicije svih suvlasnika u približno isto vrijeme. Cilj ovog doktorskog rada je bio

pronaći metodu prema kojoj će se odrediti pravedni suvlasnički udjeli u FNE višestambene zgrade te provesti vrednovanje metode za različite moguće ishode. Istraživanje je provedeno na 10 kupaca uključenih u dijeljenje u generičkoj višestambenoj zgradi. Zbog nedostatka podataka o potrošnji, generirani su podaci za različit broj članova kućanstva i različite navike potrošnje. Proizvodnja FNE je modelirana na temelju satelitskih podataka za odabranu lokaciju.

Prvo je određena optimalna snaga FNE, pri čemu je u obzir uzet novi model obračuna za kupce iz kategorije kućanstvo. Prema spomenutom modelu, jedinična cijena isporučene energije ovisi o faktoru cijene koji iznosi od 0 do 1. Maksimalni faktor cijene je najpovoljniji za kupce zbog najveće jedinične cijene isporučene energije, a time i najveće dobiti koja doprinosi većoj neto sadašnjoj vrijednosti na kraju životnog vijeka FNE. Kako se povećava snaga FNE, raste ušteda ostvarena kroz potrošnju vlastite energije te količina isporučene energije. Kada je više energije isporučeno nego preuzeto, smanjuje se jedinična cijena. S porastom snage FNE rastu investicijski i operativni troškovi dok rast dobiti počinje usporavati, s time i neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka FNE. Maksimalna neto sadašnja vrijednost s faktorom cijene 1 postignuta je pri 18 kW, što je odabrano kao optimalna snaga FNE, uz očekivano vrijeme povrata od 7.19 godina. Kako se faktor cijene smanjuje, manja je optimalna snaga FNE koja pri faktoru cijene 0.9 iznosi 17 kW, pri 0.7 iznosi 16 kW, a pri 0.5 iznosi 15 kW. Pri minimalnom faktoru cijene 0, optimalna snaga je 10 kW. Dok se pri većem faktoru cijene veća FNE isplati zbog zarade od isporučene energije, pri manjem faktoru cijene FNE treba pokriti što više potrošnje uz minimalne viškove.

Suvlasnički udjeli u FNE određeni su prema udjelima u ukupnoj potrošnji, udjelima u potrošnji vlastite energije, udjelima u uštedi te udjelima u dobiti. Istraživanjem su obuhvaćene dvije metode dinamičkog dijeljenja, a to su proporcionalno dijeljenje i pravedno dijeljenje. Početni suvlasnički udjeli određeni su na temelju referentnih podataka o potrošnji i očekivanoj proizvodnji FNE za tipičnu meteorološku godinu. Suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji određuju se dijeljenjem godišnje potrošnje kupca s ukupnom potrošnjom svih kupaca uključenih u dijeljenje, dok kod ostalih metoda treba simulirati dijeljenje tijekom jedne godine. Kako udio u dobiti ovisi o suvlasničkom udjelu, da bi se odredio početni suvlasnički udio prema dobiti, potrebno je provesti iterativni postupak dok se ne postigne udio u dobiti jednak suvlasničkom udjelu.

Vrednovanje suvlasničkih udjela provedeno je kroz simulaciju dijeljenja tijekom 10 godina na temelju pojedinačnih vremena povrata. Deterministički pristup pretpostavlja da se potrošnja i proizvodnja neće mijenjati tijekom 10 godina te linearnu degradaciju FN modula i rast cijene

električne energije od 2 % godišnje. Na kraju svake godine određuju se novi suvlasnički udjeli prema ukupnoj potrošnji, ukupnoj potrošnji vlastite energije, ukupnoj uštedi te ukupnoj dobiti za sve prethodne godine. Prilikom određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti tada se ne provodi iterativni postupak s obzirom da je poznata dobit na kraju prethodne godine. Kako svake godine dolazi do promjene suvlasničkih udjela, računa se vrijednost promjene suvlasničkih udjela. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema ukupnoj potrošnji, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije uz faktor cijene 1 je 1.72 godine s proporcionalnim i 1.73 godine s pravednim dijeljenjem što se ne može smatrati pravednim suvlasničkim udjelima. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema potrošnji vlastite energije, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je 2.7 mjeseci s proporcionalnim i 2.4 mjeseca s pravednim dijeljenjem. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema uštedi, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je 34 dana s proporcionalnim i 33 dana s pravednim dijeljenjem. Suvlasnički udjeli određeni prema dobiti dovode do toga da svi kupci otplate svoj udio u istom danu zbog čega se mogu smatrati ekonomski pravednim. Kako se smanjuje faktor cijene, smanjuje se zarada od isporučene energije, ušteda ima veći udio u dobiti zbog čega razlika između najduljeg i najkraćeg povrata investicije postaje manja. Razlika je najmanja pri minimalnom faktoru cijene kada nema zarade, odnosno godišnja dobit je jednaka uštedi umanjenoj za trošak održavanja FNE.

Stohastički pristup u obzir uzima promjene potrošnje i proizvodnje čega je moguće više različitih ishoda. Vrednovanje je provedeno na temelju Monte Carlo simulacije za 1000 slučajeva u 3 scenarija. U scenariju 1 nema promjena potrošnje, u scenariju 2 došlo je do povećanja potrošnje te promjena navika kod djela kupaca, dok je u scenariju 3 uz povećanje potrošnje do promjene navika došlo kod svih kupaca. Rezultat Monte Carlo simulacije je vjerojatnost da će razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije biti manja od nekog definiranog vremena.

Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji pokazala se inferiornom u odnosu na ostale metode, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 27 mjeseci u scenariju 1. U scenariju 2 razlika je veća, dok je u scenariju 3 razlika manja, ali i dalje veća nego kod ostalih metoda. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema potrošnji vlastite energije, u slučaju pravednog dijeljenja razlika je do 150 dana u svim scenarijima, dok je u slučaju proporcionalnog dijeljenja u scenariju 2 razlika do 180 dana. Određivanje suvlasničkih udjela prema dobiti daje nešto bolje rezultate u scenariju 1, kada je razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije do 120 dana, dok je u scenariju 2 razlika do 180 dana u slučaju

pravednog te do 210 dana u slučaju proporcionalnog dijeljenja. Pravedno dijeljenje se i u scenariju 3 pokazalo značajno boljim odabirom od proporcionalnog dijeljenja. Metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti se pokazala superiornom u odnosu na ostale metode u sva 3 scenarija kada faktor cijene iznosi 1. U svih 1000 slučajeva, razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije je do 30 dana u scenariju 1, dok je u scenarijima 2 i 3 u svim slučajevima razlika do 90 dana. Vjerojatnost da će razlika biti do 60 dana je veća s pravednim nego s proporcionalnim dijeljenjem. Kada se promatra utjecaj faktora cijene, metoda određivanja suvlasničkih udjela prema dobiti s pravednim dijeljenjem se pokazuje najboljim odabirom u slučaju vrijednosti faktora cijene od 0 do 0.1 te od 0.7 do 1. Kada je vrijednost faktora cijene od 0.2 do 0.6, najboljim odabirom se pokazuje metoda određivanja suvlasničkih udjela prema uštedi s pravednim dijeljenjem. Može se primijetiti da su rezultati bolji u slučaju pravednog dijeljenja prema kojemu kupci s manjom potrošnjom dobiju više energije nego u slučaju proporcionalnog dijeljenja prema kojem kupci s većom potrošnjom dobiju više energije. Utjecaj načina dijeljenja je više izražen kod manjih vrijednosti faktora cijene nego kod većih vrijednosti.

Testni sustav sastoji se od 10 kupaca iz kategorije kućanstvo na koje se dijeli energija proizvedena u zajedničkoj FNE. Prema zakonskoj regulativi, u dijeljenje energije se može uključiti i BES u koji se može skladištiti višak proizvedene energije i trošiti u periodima kada proizvedena energija nije dostatna za podmirivanje potrošnje. Potrebno je istražiti kako će se sudjelovanje BES u dijeljenju odraziti na određivanje suvlasničkih udjela te na krajnji ishod, pri čemu se mogu primijeniti dva različita pristupa. Prvi pristup promatra zajedničku investiciju u FNE i BES te bi se u tom slučaju suvlasnički udjeli određivali prema ukupnoj potrošnji vlastite energije iz FNE i BES, isto vrijedi za suvlasničke udjele prema uštedi i dobiti. Drugi pristup odvojeno promatra investiciju u FNE i investiciju u BES, što znači da bi se suvlasnički udjeli u FNE određivali prema potrošnji vlastite energije iz FNE, a suvlasnički udjeli u BES prema potrošnji vlastite energije iz BES. Može se očekivati da će uključivanje BES u dijeljenje energije povećati isplativost veće instalirane snage FNE i pri manjim vrijednostima faktora cijene. Vlasnici obiteljskih kuća kojima je lakše instalirati kućnu punionicu se uglavnom odlučuju za kupnju EV. U budućim istraživanjima će se istražiti način uključivanja punionica za EV u dijeljenje energije što bi dodatno potaknulo stanare koji žive u višestambenim zgradama na kupnju EV, a otvorio bi se prostor za korištenje EV kao sustava pohrane električne energije uključenog u dijeljenje energije.

U istoj zgradi se osim kupaca iz kategorije kućanstvo mogu nalaziti i kupci iz kategorije poduzetništvo, a to su obično manji poslovni subjekti kao što su prodavaonice, pekare, frizerski saloni ili ugostiteljski objekti. Dok je u kućanstvima potrošnja značajnija poslijepodne i navečer, u poslovnim subjektima potrošnja je značajna i preko dana u periodima s više proizvodnje, a kada se u obzir uzme i veća cijena električne energije, poslovnim subjektima se isplati investirati u FNE. Kroz buduća istraživanja će se istražiti dijeljenje na kupce iz različitih kategorija gdje najveći izazov predstavljaju različite cijene električne energije te različiti modeli obračuna isporučene energije. Izazov će također biti prikupljanje podataka o potrošnji različitih poslovnih subjekata.

U ovom istraživanju je pretpostavljeno da od ukupno 16 kupaca u višestambenoj zgradi u dijeljenju sudjeluje 10 kupaca koji su ujedno i suvlasnici FNE. Potrebno je pronaći način na koji se i ostali kupci koji nisu suvlasnici mogu uključiti u dijeljenje gdje je ideja višak proizvedene energije podijeliti, odnosno prodati ostalim kupcima, umjesto isporučiti opskrbljivaču. Za suvlasnike FNE se očekuje da će to dovesti do veće zarade nego što ostvare kada energiju isporuče opskrbljivaču. Potrebno je istražiti način na koji će se odrediti pravedna cijena električne energije koju kupci koji nisu suvlasnici plaćaju suvlasnicima FNE za dodijeljenu energiju.

Podaci o proizvodnji i potrošnji energije za hlađenje dobiveni su prema meteorološkim podacima za odabranu lokaciju u kontinentalnoj Hrvatskoj. U budućim istraživanjima se mogu usporediti kontinentalna i primorska Hrvatska, odnosno područja s različitim klimatskim uvjetima. Kako se u primorskoj Hrvatskoj za toplinske potrebe koje obuhvaćaju grijanje i hlađenje te potrošnu toplu vodu, dominantno koristi električna energija, usporedbu je potrebno napraviti uz iste uvjete, odnosno pokrivanje toplinskih potreba iz električne energije. Prije usporedbe potrebno je modelirati potrošnju električne energije za grijanje i hlađenje te potrošnu toplu vodu za područja s različitim klimatskim uvjetima. Mogu se promatrati toplinski sustavi pojedinačno za svaki stani kao i centralni toplinski sustavi za cijelu zgradu. Spremnici tople vode se dodatno mogu promatrati kao upravljiva trošila što omogućuje veću izravnu potrošnju vlastite proizvedene energije.

LITERATURA

- [1] Council of the European Union, „Directive (EU) 2023/2413 (amended Renewable Energy Directive)“, 2023. <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj> (pristupljeno lis. 07, 2025).
- [2] European Commission, „Shedding light on energy in Europe – 2025 edition“, 2025. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2025> (pristupljeno lis. 07, 2025).

- [3] European Commission, „Solar energy“, 2026. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/solar-energy_en (pristupljeno velj. 19, 2026).
- [4] Energetski Institut Hrvoje Požar, „Energija u Hrvatskoj 2024“, 2025. https://eihp.hr/wp-content/uploads/2026/01/Energija-u-HR-2024_web.pdf (pristupljeno sij. 02, 2026).
- [5] SolarPower Europe, „EU Solar Market Outlook 2025-2030“, 2025. <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/eu-solar-market-outlook-2025-2030/detail> (pristupljeno velj. 13, 2026).
- [6] Lider Media, „Solarni boom u Hrvatskoj: 80 posto kapaciteta drži biznis“, 2025. <https://lidermedia.hr/zeleno-i-digitalno/solarni-boom-u-hrvatskoj-80-posto-snage-na-krovovima-drzi-biznis/> (pristupljeno velj. 13, 2026).
- [7] European Commission, „Housing in Europe – 2025 edition“, 2025. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/housing-2025> (pristupljeno lis. 07, 2025).
- [8] Hrvatski sabor, „Zakon o obnovljivim izvorima energija i visokoučinkovitoj kogeneraciji“, NN 78/25, 2025. <https://www.zakon.hr/z/827/zakon-o-obnovljivim-izvorima-energije-i-visokoucinkovitoj-kogeneraciji> (pristupljeno velj. 13, 2026).
- [9] TehnoEko, „Pregled solarnih elektrana u Hrvatskoj: Od kućanstava do velikih igrača“, 2025. <https://www.tehnoeko.com.hr/energetika/pregled-solarnih-elektrana-u-hrvatskoj-od-kućanstava-do-velikih-igraca/a/10592> (pristupljeno velj. 19, 2026).
- [10] International Renewable Energy Agency, „Renewable energy statistics 2025“, 2025. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_DAT_RE_Statistics_2025.pdf (pristupljeno sij. 02, 2026).
- [11] European Commission, „In focus: Solar energy – a shining star of Europe’s clean transition“, 2026. https://energy.ec.europa.eu/news/focus-solar-energy-shining-star-europes-clean-transition-2026-01-15_en (pristupljeno velj. 19, 2026).
- [12] International Renewable Energy Agency, „Renewable capacity statistics 2025“, 2025. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Statistics_2025.pdf (pristupljeno sij. 02, 2026).
- [13] Eurostat, „Electricity production, consumption and market overview“, 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview (pristupljeno sij. 02, 2026).
- [14] HEP ODS, „Izvešće o provedbi svih svojih aktivnosti, odgovornosti i dužnosti iz Zakona o tržištu električne energije za 2024. godinu“, 2025. https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Zakoni_i_propisi/Izvjesce_o_provedbi_djelatnosti_2024.pdf (pristupljeno lis. 07, 2025).

- [15] Hrvatski sabor, „Zakon o tržištu električne energije“, *NN 17/25*, 2025. <https://www.zakon.hr/z/377/zakon-o-trzistu-elektricne-energije> (pristupljeno velj. 13, 2026).
- [16] Council of the European Union, „Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources“, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng> (pristupljeno velj. 13, 2026).
- [17] Hrvatska energetska regulatorna agencija, „Pravilnik o općim uvjetima za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom“, *NN 100/22*, 2022. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_08_100_1473.html (pristupljeno velj. 13, 2026).
- [18] D. Frieden *i ostali*, „Are we on the right track? Collective self-consumption and energy communities in the european union“, *Sustainability (Switzerland)*, sv. 13, izd. 22, str. 1–26, 2021, doi: 10.3390/su132212494.
- [19] Hrvatski sabor, „Zakon o obnovljivim izvorima energija i visokoučinkovitoj kogeneraciji“, *NN 138/21*, 2021. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_138_2272.html (pristupljeno velj. 16, 2026).
- [20] Hrvatski sabor, „Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji“, *NN 83/23*, 2023. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_07_83_1298.html (pristupljeno velj. 16, 2026).
- [21] L. Herenčić, T. Capuder, M. Kirac, i G. Čačić, „Collective Citizen Energy Investment Models for Solar Power: Case Study Croatia“, u *2023 International Conference on Future Energy Solutions, FES 2023*, 2023, str. 1–6, doi: 10.1109/FES57669.2023.10182991.
- [22] R. Galvin, „Re-thinking energy justice to achieve a fair distribution of shared electricity from rooftop photovoltaics in a typical multi-apartment building in Germany: an interdisciplinary approach“, *Energy Research and Social Science*, sv. 112, izd. February, str. 103531, 2024, doi: 10.1016/j.erss.2024.103531.
- [23] B. Couraud *i ostali*, „Fairness of Energy Distribution Mechanisms in Collective Self-Consumption Schemes“, u *2025 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, 2025, str. 1–5, doi: 10.1109/ISGTEurope64741.2025.11305440.
- [24] Annie E. Casey Foundation, „What’s the Difference Between Equity and Equality?“, 2023. <https://www.aecf.org/blog/equity-vs-equality> (pristupljeno sij. 27, 2026).
- [25] UNITED WAY of the National Capital Area, „Equity Definition: Understanding the Difference Between Equity and Equality“, 2024. <https://unitedwaynca.org/blog/equity-vs-equality/> (pristupljeno velj. 19, 2026).
- [26] Council of the European Union, „Energy prices and security of supply“, 2025. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/energy-prices-and-security-of-supply/> (pristupljeno sij. 27, 2026).

- [27] „MapChart“, 2026. <https://www.mapchart.net/index.html> (pristupljeno sij. 17, 2026).
- [28] F. Gianaroli, M. Ricci, P. Sdringola, M. Alessandra Ancona, L. Branchini, i F. Melino, „Development of dynamic sharing keys: Algorithms supporting management of renewable energy community and collective self consumption“, *Energy and Buildings*, sv. 311, izd. April, str. 114158, 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114158.
- [29] M. G. Antić, T. Capuder, i T. Medved, „Bridging the gap between theory and practice in local energy sharing - Energy communities in Croatia“, u *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, ISGT EUROPE 2024*, 2024, izd. 101160145, doi: 10.1109/ISGTEUROPE62998.2024.10863780.
- [30] M. Bilardo, „A Fair and Dynamic Incentive Allocation Method for Virtual Energy Sharing in European Energy Communities that Rewards Users' Virtuosity and Engagement“, *Renewable Energy*, sv. 255, str. 123756, 2025, doi: 10.1016/j.renene.2025.123756.
- [31] R. Alvaro-Hermana, J. Merino, J. Fraile-Ardanuy, S. Castano-Solis, i D. Jimenez, „Shared Self-Consumption Economic Analysis for a Residential Energy Community“, u *SEST 2019 - 2nd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies*, 2019, str. 8–13, doi: 10.1109/SEST.2019.8849101.
- [32] S. Ramos, Z. Foroozandeh, J. Soares, i A. Gomes, „Sharing PV Generation in Apartment Buildings Considering Centralized Energy Storage System“, u *2022 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ICEEE 2022*, 2022, str. 275–279, doi: 10.1109/ICEEE55327.2022.9772541.
- [33] R. Trevisan, S. Ruffini, E. Ghiani, O. Caboni, i R. Papa, „Optimal Sizing of PV and Storage in Collective Self-Consumption Groups in Condominiums“, u *2023 International Conference on Future Energy Solutions, FES 2023*, 2023, str. 1–6, doi: 10.1109/FES57669.2023.10182815.
- [34] E. Ghiani, R. Trevisan, R. Papa, S. Ruffini, i O. Caboni, „Collective Self-Consumption in Smart Buildings: A Case Study of the Lightness Project“, u *Proceedings - 2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2023*, 2023, str. 1–6, doi: 10.1109/IEEEIC/ICPSEurope57605.2023.10194650.
- [35] M. Grzanic i T. Capuder, „Is dynamic energy sharing really necessary? The case study of collective renewable self-consumers in Croatia“, u *2023 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies - Middle East, ISGT Middle East 2023 - Proceedings*, 2023, str. 1–5, doi: 10.1109/ISGTMiddleEast56437.2023.10078631.
- [36] M. Zatti, F. Guermandi, i F. Bovera, „Techno-economic impact of collective self-consumption on different energy-related investments for a condominium“, *E3S Web of Conferences*, sv. 238, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202123805006.
- [37] B. Fina, A. Fleischhacker, H. Auer, i G. Lettner, „Economic Assessment and Business Models of Rooftop Photovoltaic Systems in Multiapartment Buildings: Case Studies for Austria and Germany“, *Journal of Renewable Energy*, sv. 2018, str. 1–16, 2018, doi:

10.1155/2018/9759680.

- [38] N. Blasutigh, S. Negri, A. Massi Pavan, i E. Tironi, „Optimal Sizing and Environ-Economic Analysis of PV-BESS Systems for Jointly Acting Renewable Self-Consumers“, *Energies*, sv. 16, izd. 3, 2023, doi: 10.3390/en16031244.
- [39] A. J. Gil Mena, V. F. Nasimba Medina, A. Bouakkaz, i S. Haddad, „Analysis and optimisation of collective self-consumption in residential buildings in Spain“, *Energy and Buildings*, sv. 283, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.112812.
- [40] J. T. Villalonga Palou, J. Serrano González, i J. M. Riquelme Santos, „Estimation of Energy Distribution Coefficients in Collective Self-Consumption Using Meta-Heuristic Optimization Techniques“, *Sustainability (Switzerland)*, sv. 16, izd. 7, 2024, doi: 10.3390/su16072741.
- [41] A. Borodinecs, K. Lebedeva, i T. Odineca, „Evaluation of household electricity consumption in multi-apartment buildings for optimization of rooftop PV systems“, *Energy and Buildings*, sv. 325, izd. June, str. 1–11, 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114971.
- [42] C. Domenig i ostali, „Overcoming the landlord–tenant dilemma: A techno-economic assessment of collective self-consumption for European multi-family buildings“, *Energy Policy*, sv. 189, izd. March, str. 114120, 2024, doi: 10.1016/j.enpol.2024.114120.
- [43] A. Mutule, O. Borscevskis, V. Astapov, I. Antoskova, P. Carroll, i E. Kairisa, „PV Energy Communities in Residential Apartments: Technical Capacities and Economic Viability“, *Sustainability (Switzerland)*, sv. 17, izd. 7, 2025, doi: 10.3390/su17072901.
- [44] A. Surmann, S. P. M. Chantrel, M. Utz, R. Kohrs, i J. Strüker, „Empowering Consumers within Energy Communities to Acquire PV Assets through Self-Consumption“, *Electricity*, sv. 3, izd. 1, str. 108–130, 2022, doi: 10.3390/electricity3010007.
- [45] E. Llera-Sastresa, J. Á. Gimeno, J. L. Osorio-Tejada, i P. Portillo-Tarragona, „Effect of Sharing Schemes on the Collective Energy Self-Consumption Feasibility“, *Energies*, sv. 16, izd. 18, str. 1–17, 2023, doi: 10.3390/en16186564.
- [46] A. Ogando-Martínez, X. García-Santiago, S. Díaz García, F. Echevarría Camarero, G. Blázquez Gil, i P. Carrasco Ortega, „Optimization of Energy Allocation Strategies in Spanish Collective Self-Consumption Photovoltaic Systems“, *Sustainability (Switzerland)*, sv. 15, izd. 12, str. 1–17, 2023, [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9244>.
- [47] D. Frieden, J. Roberts, i A. F. Gubina, „Overview of emerging regulatory frameworks on collective self-consumption and energy communities in Europe“, u *International Conference on the European Energy Market, EEM*, 2019, sv. 2019-Septe, str. 1–6, doi: 10.1109/EEM.2019.8916222.
- [48] J. Ylipaino, A. Kortetmaki, K. Kallioharju, J. Koskela, i P. Jarventausta, „Evaluating Allocation Methods for Collective Selfconsumption in Nordic Multi-Dwelling Buildings“, u *International Conference on the European Energy Market, EEM*, 2025, str. 0–5, doi: 10.1109/EEM64765.2025.11050109.

- [49] A. Kortetmäki, J. Ylipaino, J. Koskela, K. Kallioharju, i P. Järventausta, „The impact of metering methods on collective self-consumption: Insights from multi-dwelling buildings in Finland“, *Energy and Buildings*, sv. 319, izd. June, 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114511.
- [50] H. Camblong, O. Curea, J. Ugartemendia, Z. Boussaada, I. Lizarralde, i G. Etxegarai, „Photovoltaic energy sharing: Implementation and tests on a real collective self-consumption system“, *Heliyon*, sv. 9, izd. 12, str. e22252, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22252.
- [51] C. Mari, M. Chierici, S. Franzò, i F. Causone, „Economic Performance Analysis of Jointly Acting Renewable Self-Consumption: A Case Study on 109 Condominiums in an Italian Urban Area“, *Buildings*, sv. 15, izd. 16, str. 1–24, 2025, doi: 10.3390/buildings15162808.
- [52] B. Fina, H. Auer, i W. Friedl, „Profitability of PV sharing in energy communities: Use cases for different settlement patterns“, *Energy*, sv. 189, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.116148.
- [53] B. Fina, H. Auer, i W. Friedl, „Cost-optimal economic potential of shared rooftop PV in energy communities: Evidence from Austria“, *Renewable Energy*, sv. 152, str. 217–228, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.01.031.
- [54] H. Queiroz, R. A. Lopes, J. Martins, F. N. Silva, L. Fialho, i N. Bilo, „Assessment of energy sharing coefficients under the new Portuguese renewable energy communities regulation“, *Heliyon*, sv. 9, izd. 10, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20599.
- [55] G. Volpato, G. Carraro, E. Dal Cin, i S. Rech, „On the Different Fair Allocations of Economic Benefits for Energy Communities“, *Energies*, sv. 17, izd. 19, 2024, doi: 10.3390/en17194788.
- [56] J. Radl, A. Fleischhacker, F. H. Revheim, G. Lettner, i H. Auer, „Comparison of profitability of PV electricity sharing in renewable energy communities in selected European countries“, *Energies*, sv. 13, izd. 18, 2020, doi: 10.3390/en13195007.
- [57] W. Guedes, C. Oliveira, T. A. Soares, B. H. Dias, i M. Matos, „Collective Asset Sharing Mechanisms for PV and BESS in Renewable Energy Communities“, *IEEE Transactions on Smart Grid*, sv. 15, izd. 1, str. 607–616, 2024, doi: 10.1109/TSG.2023.3288533.
- [58] J. M. Riquelme-Dominguez, M. E. Sempértegui, J. M. Roldan-Fernandez, J. Serrano-Gonzalez, i J. M. Riquelme-Santos, „Economic assessment of self-consumption and energy communities: Profit distribution insights from a real case study“, *Energy Conversion and Management: X*, sv. 28, 2025, doi: 10.1016/j.ecmx.2025.101198.
- [59] A. Saif, S. K. Khadem, E. Rossi, M. Conlon, i B. Norton, „Collective Self-Consumption for Energy Communities in Ireland: a Blockchain Based Application“, u *13th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MEDPOWER 2022)*, 2022, str. 330–335, doi: 10.1049/icp.2023.0015.
- [60] F. Padovani, M. Topel, i B. Laumert, „Case Study of Shared Solar Applications in a Swedish Energy Community“, u *2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT*

EUROPE), 2023, str. 1–5, doi: 10.1109/ISGTEUROPE56780.2023.10408317.

- [61] A. Pasina, A. Canoilas, D. Johansson, H. Bagge, V. Fransson, i H. Davidsson, „Shared PV Systems in Multi-Scaled Communities“, *Buildings*, sv. 12, izd. 11, 2022, doi: 10.3390/buildings12111846.
- [62] P. Mehta i V. Tiefenbeck, „Solar PV sharing in urban energy communities: Impact of community configurations on profitability, autonomy and the electric grid“, *Sustainable Cities and Society*, sv. 87, izd. January, str. 104178, 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.104178.
- [63] Z. Šimić, D. Topić, G. Knežević, i D. Pelin, „Battery energy storage technologies overview“, *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, sv. 12, izd. 1, str. 56–65, 2021, doi: <https://doi.org/10.32985/ijeces.12.1.6>.
- [64] C. Speck, N. Kiefer, L. Semmelmann, i C. Weinhardt, „Solar for Tenants: Exploring Collective Selfconsumption in Multi-Family Housing“, *International Conference on the European Energy Market, EEM*, str. 1–11, 2025, doi: 10.1109/EEM64765.2025.11050217.
- [65] J. Valta, A. Kulmala, P. Järventausta, T. Björkqvist, i S. Mäkinen, „Forming Collective Self-Consumption Models: How the end user sees them?“, u *IET Conference Proceedings*, 2021, sv. 2021, izd. 6, str. 3234–3238, doi: 10.1049/icp.2021.1733.
- [66] E. Giarmanà, „Managing renewable electricity within collective self-consumption schemes: A systematic private law approach“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, sv. 188, izd. March, 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113896.
- [67] A. Fleischhacker, H. Auer, G. Lettner, i A. Botterud, „Sharing Solar PV and Energy Storage in Apartment Buildings: Resource Allocation and Pricing“, *IEEE Transactions on Smart Grid*, sv. 10, izd. 4, str. 3963–3973, 2019, doi: 10.1109/TSG.2018.2844877.
- [68] J. Han i W. K. Park, „Residential Photovoltaic Energy Sharing System Under Increasing Block Pricing Structure and its Business Opportunity“, u *IECON 2023- 49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2023, str. 1–6, doi: 10.1109/IECON51785.2023.10312130.
- [69] J. Abu Qadourah, „Energy and economic potential for photovoltaic systems installed on the rooftop of apartment buildings in Jordan“, *Results in Engineering*, sv. 16, izd. September, str. 100642, 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100642.
- [70] M. Vahabi Khah i ostali, „Optimal sizing of residential photovoltaic and battery system connected to the power grid based on the cost of energy and peak load“, *Heliyon*, sv. 9, izd. 3, str. e14414, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14414.
- [71] M. A. Omar, „Assessing the Economic Impacts of Net Metering on Residential Solar Photovoltaic Adoption: A Palestinian Case Study“, *International Journal of Energy Research*, sv. 2025, izd. 1, 2025, doi: 10.1155/er/1370101.
- [72] M. Lage, R. Castro, G. Manzolini, V. Casalicchio, i T. Sousa, „Techno-economic analysis of self-consumption schemes and energy communities in Italy and Portugal“, *Solar Energy*, sv. 270, izd. February, str. 112407, 2024, doi: 10.1016/j.solener.2024.112407.

- [73] I. khenissi, M. A. Fakhfakh, R. Sellami, i R. Neji, „A New Approach for Optimal Sizing of a Grid Connected PV System Using PSO and GA Algorithms: Case of Tunisia“, *Applied Artificial Intelligence*, sv. 35, izd. 15, str. 1930–1951, 2021, doi: 10.1080/08839514.2021.1995233.
- [74] S. Merrington, R. Khezri, i A. Mahmoudi, „Optimal sizing of grid-connected rooftop photovoltaic and battery energy storage for houses with electric vehicle“, *IET Smart Grid*, sv. 6, izd. 3, str. 297–311, 2023, doi: 10.1049/stg2.12099.
- [75] A. Z. Gabr, A. A. Helal, i N. H. Abbasy, „Economic evaluation of rooftop grid-connected photovoltaic systems for residential building in Egypt“, *International Transactions on Electrical Energy Systems*, sv. 30, izd. 6, str. 1–20, 2020, doi: 10.1002/2050-7038.12379.
- [76] Á. Ordóñez, E. Sánchez, L. Rozas, R. García, i J. Parra-Domínguez, „Net-metering and net-billing in photovoltaic self-consumption: The cases of Ecuador and Spain“, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, sv. 53, izd. February, 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102434.
- [77] Z. Šimić, D. Topić, I. Crnogorac, i G. Knežević, „Method for Sizing of a PV System for Family Home Using Economic Indicators“, *Energies*, sv. 14, izd. 15, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14154529>.
- [78] N. Mišljenović, Z. Šimić, D. Topić, i G. Knežević, „An algorithm for the optimal sizing of the PV system for prosumers based on economic indicators and the input data time step“, *Solar Energy*, sv. 262, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111882>.
- [79] M. Trela i A. Dubel, „Net-metering vs. Net-billing from the investors perspective— impacts of changes in res financing in poland on the profitability of a joint photovoltaic panels and heat pump system“, *Energies*, sv. 15, izd. 1, 2022, doi: 10.3390/en15010227.
- [80] A. Rauf, A. T. Al-Awami, M. Kassas, i M. Khalid, „Optimal sizing and cost minimization of solar photovoltaic power system considering economical perspectives and net metering schemes“, *Electronics (Switzerland)*, sv. 10, izd. 21, 2021, doi: 10.3390/electronics10212713.
- [81] Z. Šimić, M. Barukčić, D. Topić, i G. Knežević, „Optimization of an Off-Grid PV System with Respect to the Loss of Load Probability Value“, *Energies*, sv. 18, izd. 19, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/en18195174>.
- [82] L. Budin, N. Holjevac, M. Zidar, i M. Delimar, „PV Sizing and Investment Support Tool for Household Installations: A Case Study for Croatia“, *Sustainability (Switzerland)*, sv. 15, izd. 16, 2023, doi: 10.3390/su151612502.
- [83] C. K. Simoglou, S. I. Vagropoulos, i P. N. Biskas, „A comparative techno-economic study of the Net-Metering and Net-Billing self-consumption schemes for industrial and residential consumers in Greece“, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, sv. 43, 2025, doi: 10.1016/j.segan.2025.101726.
- [84] European Commission, „Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)“, 2025. <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system->

pvgis_en (pristupljeno lis. 07, 2025).

- [85] M. Sengupta, Y. Xie, A. Lopez, A. Habte, G. Maclaurin, i J. Shelby, „The National Solar Radiation Data Base (NSRDB)“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, sv. 89, str. 51–60, 2018.
- [86] K. Anoune, M. Bouya, B. Astito, i A. Ben Abdellah, „Sizing methods and optimization techniques for PV-wind based hybrid renewable energy system: A review“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, sv. 93, str. 652–673, 2018.
- [87] C. Marino, A. Nucara, M. Francesca Panzera, i M. Pietrafesa, „Evaluating direct and diffuse solar radiation components through global radiation measurements from three fixed directions“, *Energy Conversion and Management*, sv. 315, 5024.
- [88] P. Bartmiński i M. Siłuch, „Mapping the albedo of the active surface at different stages of the growing season using data from various sources“, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, sv. 28, 2022.
- [89] B. Y. H. Liu i R. C. Jordan, „The long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors: With design data for the U.S., its outlying possessions and Canada“, *Solar Energy*, sv. 7, izd. 2, str. 53–74, 1963.
- [90] Trinasolar, „Vertex S+ DUAL GLASS N type i-TOPCon MODULE“, *240117_2_Datasheet_Vertex S+_NEG18R.28_EN_2024_A_web*, 2024. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0017/8847/7489/files/Trina-TSM-490-NEG18R-28-Vertex-S__DUAL-GLASS_datasheet.pdf (pristupljeno pros. 09, 2025).
- [91] HUAWEI, „Smart PV Controller“, *SUN2000-12/15/17/20KTL-M2 Technical Specification*. https://www.europe-solarstore.com/download/huawei/HUAWEI_SUN2000-12-20KTL-M2_Technical-specification.pdf (pristupljeno pros. 09, 2025).
- [92] Državni zavod za statistiku, „Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2021“, 2021. <https://podaci.dzs.hr/media/ixpn5qzo/si-1711-popis-stanovnistva-kucanstava-i-stanova-2021-prvi-rezultati-po-naseljima.pdf> (pristupljeno lis. 07, 2025).
- [93] Ministarstvo prostornog uređenja graditeljstva i državne imovine, „Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada“, 2021. <https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Metodologija-2021.pdf> (pristupljeno sij. 07, 2026).
- [94] Hrvatski zavod za norme, *Energijska svojstva zgrada -- Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora (ISO 13790:2008; EN ISO 13790:2008)*. Hrvatska, 2008.
- [95] Ministarstvo financija, „Referentna i diskontna stopa te stopa povrata potpore“, *Obavijest Europske komisije o referentnoj i diskontnoj stopi i stopi povrata u primjeni od 1. siječnja 2026.*, 2026. <https://mfin.gov.hr/istaknute-teme/koncesije-i-drzavne-potpore/drzavne-potpore/referentna-i-diskontna-stop-a-te-stop-a-povrata-potpore/468> (pristupljeno pros. 09, 2025).
- [96] European Commission, „Reference and discount rates (in %) since 01.08.1997“, 2026.

https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/legislation/reference-discount-rates-and-recovery-interest-rates/reference-and-discount-rates_en (pristupljeno pros. 09, 2025).

- [97] HEP Elektra, „Tarifne stavke (cijene) za kućanstvo“, 2025. <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547> (pristupljeno lis. 07, 2025).
- [98] HEP ODS, „Tarifne stavke (cijene)“, 2026. <https://www.hep.hr/ods/kupci/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/160> (pristupljeno pros. 18, 2025).
- [99] W. Elsner, H. Torsten, i H. Schwardt, „An Introduction to Simulation and Agent-Based Modeling“, u *The Microeconomics of Complex Economies*, W. Elsner, H. Torsten, i H. Schwardt, Ur. Bremen, Germany: Academic Press, 2015, str. 227–249.
- [100] R. L. Kissel, „Nonlinear Regression Models“, u *Algorithmic Trading Methods (Second Edition)*, R. L. Kissel, Ur. Manhasset, NY, United States: Academic Press, 2021, str. 197–219.

POPIS UPOTREBLJENIH OZNAKA

C_i [€/kWh]	– jedinična cijena isporučene energije unutar obračunskog razdoblja i
PKC_i [€/kWh]	– prosječna jedinična cijena električne energije koju kupca plaća opskrbljivaču unutar obračunskog razdoblja, pri čemu naknada za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV nisu uključeni,
$E_{\text{preuzeto},i}$ [kWh]	– preuzeta električna energija unutar obračunskog razdoblja i
$E_{\text{isporučeno},i}$ [kWh]	– isporučena električna energija unutar obračunskog razdoblja i
kSO	– faktor cijene
G_{GH} [W/m ²]	– intenzitet globalnog horizontalnog sunčevog zračenja
G_{DN} [W/m ²]	– intenzitet direktnog normalnog sunčevog zračenja
G_{DH} [W/m ²]	– intenzitet difuznog horizontalnog sunčevog zračenja
Z [°]	– kut zenita
$G_{\text{tilted},t}$ [W/m ²]	– intenzitet sunčevog zračenja na površini pod nagibom u vremenskom koraku t
$G_{\text{direct},t}$ [W/m ²]	– intenzitet direktnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t
$G_{\text{diffuse},t}$ [W/m ²]	– intenzitet difuznog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t
$G_{\text{reflected},t}$ [W/m ²]	– intenzitet reflektiranog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t
$G_{DN,t}$ [W/m ²]	– intenzitet direktnog normalnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t
θ_t [°]	– upadni kut sunca u vremenskom koraku t
$G_{DH,t}$ [W/m ²]	– intenzitet difuznog horizontalnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t
β [°]	– nagib površine na kojoj se računa intenzitet sunčevog zračenja
$G_{GH,t}$ [W/m ²]	– intenzitet globalnog horizontalnog sunčevog zračenja u vremenskom koraku t
$\rho_{\text{ground},t}$	– refleksivnost površine u vremenskom koraku t
Z_t [°]	– kut zenita u vremenskom koraku t
$\alpha_{\text{sun},t}$ [°]	– položaj sunca u vremenskom koraku t
α [°]	– azimut površine na kojoj se računa intenzitet sunčevog zračenja
$P_{\text{modul},25}$ [W]	– snaga FN modula pri temperaturi FN ćelije 25 °C
G_{modul} [W/m ²]	– intenzitet sunčevog zračenja na površini FN modula

$A_{\text{modul}} [\text{m}^2]$	– površina FN modula
$\eta_{\text{modul}} [\%]$	– učinkovitost FN modula
$P_{\text{modul}} [\text{W}]$	– izlazna naga FN modula
$\gamma [\%/^{\circ}\text{C}]$	– temperaturni koeficijent snage
$T_{\text{cell}} [^{\circ}\text{C}]$	– temperatura FN ćelije
$T_{\text{cell},t} [^{\circ}\text{C}]$	– temperatura FN ćelije u vremenskom koraku t
$T_{\text{air},t} [^{\circ}\text{C}]$	– temperatura zraka u vremenskom koraku t
$NOCT [^{\circ}\text{C}]$	– nominalna radna temperatura FN ćelije
$G_{\text{modul},t} [\text{W}/\text{m}^2]$	– intenzitet sunčevog zračenja na površini modula u vremenskom koraku t
$P_{\text{modul},t} [\text{W}]$	– izlazna snaga FN modula u vremenskom koraku t
$k_{\text{degradation},t} [\%]$	– degradacija FN modula u vremenskom koraku t
$P_{\text{pv},t} [\text{W}]$	– izlazna snaga FNE u vremenskom koraku t
$n_{\text{modul}} [\text{W}]$	– broj FN modula
$\eta_{\text{inv}} [\%]$	– učinkovitost FN izmjenjivača
$E_{\text{pv},t} [\text{kWh}]$	– proizvedena električna energija u FNE u vremenskom koraku t
$\Delta t [\text{h}]$	– vremenski korak
$T_{\text{indoor},t} [^{\circ}\text{C}]$	– unutarnja temperatura zraka u vremenskom koraku t
$Q_{\text{transfer},t} [\text{kWh}]$	– prijenos topline kroz građevne elemente u vremenskom koraku t
$Q_{\text{vent},t} [\text{kWh}]$	– prijenos topline ventilacijom prostora u vremenskom koraku t
$Q_{\text{int},t} [\text{kWh}]$	– unutarnji toplinski dobici u vremenskom koraku t
$Q_{\text{sol},t} [\text{kWh}]$	– solarni toplinski dobici u vremenskom koraku t
$V_{\text{air}} [\text{m}^3]$	– volumen zraka koji se nalazi u stambenoj jedinici
$\rho_{\text{air}} [\text{kg}/\text{m}^3]$	– gustoća zraka
$c_{\text{air}} [\text{kJ}/\text{kg K}]$	– specifični toplinski kapacitet zraka
$A_{\text{wall}} [\text{m}^2]$	– ukupna površina zidova za promatranu stambenu jedinicu
$U_{\text{wall}} [\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}]$	– koeficijent prolaska topline kroz zidove
$A_{\text{window}} [\text{m}^2]$	– ukupna površina prozora za promatranu stambenu jedinicu
$U_{\text{window}} [\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}]$	– koeficijent prolaska topline kroz prozore
n_{exchange}	– broj izmjena zraka u jednom satu
$q_{\text{int}} [\text{W}/\text{m}^2]$	– specifični unutarnji toplinski dobici za stambene prostore
$A [\text{m}^2]$	– površina stambene jedinice
$Q_{\text{sol},\text{east},t} [\text{kWh}]$	– solarni toplinski dobici s istoka u vremenskom koraku t

$A_{\text{wall,east}} [\text{m}^2]$	– površina zidova za promatranu stambenu jedinicu prema istoku
$k_{\text{sol,wall}}$	– koeficijent solarnih dobitaka za zidove
$A_{\text{window,east}} [\text{m}^2]$	– površina prozora za promatranu stambenu jedinicu prema istoku
$k_{\text{sol>window}$	– koeficijent solarnih dobitaka za prozore
$G_{\text{east},t} [\text{W}/\text{m}^2]$	– intenzitet sunčevog zračenja sa istoka u vremenskom koraku t
$Q_{\text{sol,west},t} [\text{kWh}]$	– solarni toplinski dobici sa zapada u vremenskom koraku t
$A_{\text{wall,west}} [\text{m}^2]$	– površina zidova za promatranu stambenu jedinicu prema zapadu
$A_{\text{window,west}} [\text{m}^2]$	– površina prozora za promatranu stambenu jedinicu prema zapadu
$G_{\text{west},t} [\text{W}/\text{m}^2]$	– intenzitet sunčevog zračenja sa zapada u vremenskom koraku t
$Q_{\text{sol,south},t} [\text{kWh}]$	– solarni toplinski dobici s juga u vremenskom koraku t
$A_{\text{wall,south}} [\text{m}^2]$	– površina zidova za promatranu stambenu jedinicu prema jugu
$A_{\text{window,south}} [\text{m}^2]$	– površina prozora za promatranu stambenu jedinicu prema jugu
$G_{\text{south},t} [\text{W}/\text{m}^2]$	– intenzitet sunčevog zračenja s juga u vremenskom koraku t
$Q_{\text{cooling},t} [\text{kWh}]$	– toplinska energija hlađenja u vremenskom koraku t
$T_{\text{desire}} [^{\circ}\text{C}]$	– željena unutarnja temperatura zraka
$E_{\text{cooling},t} [\text{kWh}]$	– potrošnja električne energije za hlađenje u vremenskom koraku t
η_{cooling}	– učinkovitost hlađenja
$E_{\text{demand},t} [\text{kWh}]$	– ukupna potrošnja svih kupaca koji sudjeluju u dijeljenju energije u višestambenoj zgradi u vremenskom koraku t
$E_{\text{self},t} [\text{kWh}]$	– potrošnja vlastite električne energije u vremenskom koraku t
$E_{\text{import},t} [\text{kWh}]$	– preuzeta električna energija u vremenskom koraku t
$E_{\text{export},t} [\text{kWh}]$	– isporučena električna energija u vremenskom koraku t
$E_{\text{self},i} [\text{kWh}]$	– potrošnja vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i
T	– broj vremenskih koraka t tijekom jednog dana
D	– broj dana d tijekom obračunskog razdoblja
$E_{\text{selfVT},i} [\text{kWh}]$	– potrošnja vlastite električne energije u višoj tarifi
$T1$	– vrijeme početka više tarife
$T2$	– vrijeme početka niže tarife
$E_{\text{selfNT},i} [\text{kWh}]$	– potrošnja vlastite električne energije u nižoj tarifi
$C_{\text{saving},i} [€]$	– ušteda ostvarena tijekom obračunskog razdoblja i
$C_{\text{VT}} [€/kWh]$	– jedinična cijena električne energije u višoj tarifi uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV

C_{NT} [€/kWh]	– jedinična cijena električne energije u nižoj tarifi uključujući naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV
$E_{import,i}$ [kWh]	– preuzeta električna energija tijekom obračunskog razdoblja i
$E_{importVT,i}$ [kWh]	– preuzeta električna energija u višoj tarifi
$E_{importNT,i}$ [kWh]	– preuzeta električna energija u nižoj tarifi
$C_{import,i}$ [€]	– troškovi za preuzetu električnu energiju tijekom obračunskog razdoblja i
$E_{export,i}$ [kWh]	– isporučena električna energija tijekom obračunskog razdoblja i
$c_{export,i}$ [€/kWh]	– jedinična cijena isporučene energije unutar obračunskog razdoblja i
C_{vt} [€/kWh]	– jedinična cijena električne energije u višoj tarifi bez naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE, te PDV-a,
C_{nt} [€/kWh]	– jedinična cijena električne energije u nižoj tarifi bez naknade za korištenje mreže i poticanje proizvodnje iz OIE te PDV-a
$C_{export,i}$ [€]	– zarada od isporučene energije tijekom obračunskog razdoblja i
NCF_j [€]	– neto novčani tokovi u godini j
$OPEX_j$ [€]	– troškovi održavanja FNE u godini j
NPV_j [€]	– neto sadašnja vrijednost FNE na kraju godine j
$CAPEX$ [€]	– troškovi investicije u FNE
r	– diskontna stopa
PBP	– očekivano vrijeme povrata investicije u FNE
$E_{demand,t,k}$ [kWh]	– potrošnja kupca k u vremenskom koraku t
K	– ukupan broj kupaca koja sudjeluju u dijeljenju energije u višestambenoj zgradi
$E_{self,t,k}$ [kWh]	– sudjelovanje kupca k u potrošnji vlastite energije u vremenskom koraku t
$Sharing_{i,k}$	– koeficijent dijeljenja energije kupca k u vremenskom koraku t
$E_{import,t,k}$ [kWh]	– električna energija koju je kupac k preuzeo u vremenskom koraku t
$E_{export,t}$ [kWh]	– isporučena električna energija u vremenskom koraku t
$E_{self,i,k}$ [kWh]	– udio kupca k u potrošnji vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i
$E_{selfVT,i,k}$ [kWh]	– udio kupca k u potrošnji vlastite energije u višoj tarifi
$E_{selfNT,i,k}$ [kWh]	– udio kupca k u potrošnji vlastite energije u nižoj tarifi

$C_{\text{saving},i,k}$ [€]	– ušteda koju je kupac k ostvario potrošnjom vlastite energije tijekom obračunskog razdoblja i
$E_{\text{import},i,k}$ [kWh]	– električna energija koju je kupac k preuzeo od opskrbljivača tijekom obračunskog razdoblja i
$E_{\text{importVT},i,k}$ [kWh]	– električna energija koju je kupac k preuzeo od opskrbljivača tijekom obračunskog razdoblja i u višoj tarifi
$E_{\text{importNT},i,k}$ [kWh]	– električna energija koju je kupac k preuzeo od opskrbljivača tijekom obračunskog razdoblja i u nižoj tarifi
$C_{\text{import},i,k}$ [€]	– trošak kupca k za preuzetu električnu energiju u obračunskom razdoblju i
$E_{\text{export},i,k}$ [kWh]	– udio u isporučenoj energiji koji pripada kupcu k u obračunskom razdoblju i
$Share_k$	– suvlasnički udio kupca k u FNE
$C_{\text{export},i,k}$ [kWh]	– zarada kupca k od isporučene energije u obračunskom razdoblju i
N	– broj vremenskih koraka t u jednoj godini
$C_{\text{profit},k}$ [€]	– dobit od FN elektrane za kupca k tijekom jedne godine
$OPEX_k$ [€]	– udio kupca k u godišnjim troškovima održavanja FNE
$NCF_{j,k}$ [€]	– udio kupca k u neto novčanim tokovima u godini j
$OPEX_{j,k}$ [€]	– udio kupca k u troškovima održavanja FNE u godini j
$C_{\text{share},j,k}$ [€]	– vrijednost promjene suvlasničkog udjela kupca k u godini j
$Share_{j,k}$	– suvlasnički udio kupca k u godini j
$E_{\text{demand},j,k}$ [kWh]	– ukupna potrošnja kupca k u godini j
$E_{\text{self},j,k}$ [kWh]	– udio kupca k u potrošnji vlastite energije u godini j
$C_{\text{saving},j,k}$ [€]	– udio kupca k u ostvarenoj uštedi u godini j
$C_{\text{profit},j,k}$ [€]	– udio kupca k u ostvarenoj dobiti u godini j
$Value_{j,k}$ [€]	– vrijednost suvlasničkog udjela kupca k u godini j
$NPV_{j,k}$ [€]	– neto sadašnja vrijednost suvlasničkog udjela kupca k u FNE na kraju godine j
$CAPEX_k$ [€]	– udio kupca k u troškovima investicije u FNE
PBP_k	– očekivano vrijeme povrata investicije u FNE za kupca k

POPIS KRATICA

EU	– Europska Unija
OIE	– obnovljivi izvori energije
HE	– hidroelektrana
VE	– vjetroelektrana
SE	– solarna elektrana
FN	– fotonapon
FNE	– fotonaponska elektrana
IRENA	– International Renewable Energy Agency
EIHP	– Energetski Institut Hrvoje Požar
TE	– termoelektrana
OMM	– obračunsko mjerno mjesto
PDV	– porez na dodanu vrijednost
ESCo	– tvrtka za pružanje energetske usluge
PVGIS	– Photovoltaic Geographical Information System
NPV	– neto sadašnja vrijednost
PBP	– vrijeme povrata investicije
TMY	– tipična meteorološka godina
NREL	– National Renewable Energy Laboratory
NSRDB	– National Solar Radiation Database
STC	– standardni testni uvjeti
NOCT	– nominalna radna temperatura ćelije

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Udio elektrana u instaliranoj snazi u Republici Hrvatskoj 2024.	5
Slika 2.2. Ukupna instalirana snaga FNE u Republici Hrvatskoj od 2015. do 2024.	6
Slika 2.3. Udio elektrana u proizvedenoj električnoj energiji u Republici Hrvatskoj 2024.	7
Slika 2.4. Područje djelovanja potrošača vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički i zajednice obnovljive energije.	9
Slika 2.5. Shema priključka zajedničkog proizvodnog postrojenja i potrošača vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički u višestambenoj zgradi.	11
Slika 2.6. Usporedba statičkih i dinamičkih koeficijenata dijeljenja kada je proizvodnja manja od ukupne potrošnje	14
Slika 2.7. Usporedba statičkih i dinamičkih koeficijenata dijeljenja kada je proizvodnja jednaka ukupnoj potrošnji.	15
Slika 2.8. Usporedba dinamičkog proporcionalnog i pravednog dijeljenja kada je proizvodnja značajno manja od ukupne potrošnje	16
Slika 2.9. Usporedba dinamičkog proporcionalnog i pravednog dijeljenja kada je proizvodnja malo manja od ukupne potrošnje	16
Slika 2.10. Primjer jednakosti i pravednosti.	17
Slika 2.11. Primjena jednakosti i pravednosti prilikom određivanja suvlasničkih udjela	18
Slika 2.12. Broj objavljenih znanstvenih radova na temu zajedničke proizvodnje i dijeljenja energije po godinama	19
Slika 2.13. Broj objavljenih radova po državama.	20
Slika 2.14. Udio stanovništva koji živi u vlastitoj nekretnini	26
Slika 3.1. Temperatura zraka na odabranoj lokaciji tijekom tipične meteorološke godine	31

Slika 3.2. Prikaz direktnog normalnog i difuznog horizontalnog sunčevog zračenja	32
Slika 3.3. Prikaz direktnog, difuznog i reflektiranog sunčevog zračenja	33
Slika 3.4. Prosječne 15-minutne vrijednosti intenziteta sunčevog zračenja na površini s nagibom od 20° i azimutom 0° tijekom tipične meteorološke godine na odabranoj lokaciji	35
Slika 3.5. Utjecaj degradacije na maksimalnu snagu FN modula	39
Slika 3.6. Učinkovitost FN izmjenjivača u ovisnosti o izlaznoj snazi.....	39
Slika 3.7. Temperatura FN ćelije tijekom tipične meteorološke godine.....	40
Slika 3.8. Podaci o proizvodnji FNE tijekom tipične meteorološke godine za snagu 1 kW	41
Slika 3.9. Godišnja proizvodnja FNE za snagu 1 kW tijekom 30 godina.....	41
Slika 3.10. Prikaz jedne etaže višestambene ugrade.....	42
Slika 3.11. Broj kućanstava prema broju članova u Republici Hrvatskoj	43
Slika 3.12. Izmjerena djelatna snaga hladnjaka tijekom jednog dana	45
Slika 3.13. Izmjerena djelatna snaga električnog štednjaka kada je samo pećnica uključena	46
Slika 3.14. Izmjerena djelatna snaga perilice rublja tijekom jednog ciklusa pranja.....	47
Slika 3.15. Izmjerena djelatna snaga perilice posuđa tijekom jednog ciklusa pranja.....	47
Slika 3.16. Podaci o potrošnji kupca 1 tijekom jednog tjedna	50
Slika 3.17. Ukupni podaci o potrošnji svih kupaca tijekom jednog tjedna.....	50
Slika 3.18. Podaci o potrošnji svih kupaca uključenih u dijeljenje tijekom radnog dana.....	51
Slika 3.19. Podaci o potrošnji svih kupaca uključenih u dijeljenje tijekom neradnog dana	52
Slika 3.20. Potrošnja električne energije kupaca koji sudjeluju u dijeljenju po mjesecima	58
Slika 4.1. Maksimalna iskorištenost površine krova za postavljanje FN modula	60

Slika 4.2. Postupak dimenzioniranja FNE u ovisnosti o faktoru cijene.....	61
Slika 4.3. Obračun preuzete i isporučene električne energije po mjesecima	62
Slika 4.4. Neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka FNE i vrijeme povrata investicije u ovisnosti o instaliranoj snazi	70
Slika 4.5. Potrošnja vlastite energije i ostvarena ušteda u ovisnosti o instaliranoj snazi	71
Slika 4.6. Isporučena električna energija i ostvarena zarada u ovisnosti o instaliranoj snazi	72
Slika 4.7. Jedinična cijena isporučene energije po mjesecima.....	73
Slika 4.8. Jedinična cijena isporučene energije u svibnju u ovisnosti o instaliranoj snazi	74
Slika 4.9. Jedinična cijena isporučene energije u svibnju u ovisnosti o instaliranoj snazi za različite faktore cijene.....	75
Slika 4.10. Neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka u ovisnosti o snazi za različite faktore cijene.....	76
Slika 4.11. Vrijeme povrata investicije u ovisnosti o snazi za različite faktore cijene.....	77
Slika 4.12. Jedinična cijena isporučene energije po mjesecima za različite faktore cijene	78
Slika 5.1. Dijeljenje i obračun energije u višestambenoj zgradi	81
Slika 5.2. Udjeli kupaca uključenih u dijeljenje energije u ukupnoj godišnjoj potrošnji	88
Slika 5.3. Iterativni postupak određivanja suvlasničkih udjela prema udjelima u dobiti	96
Slika 5.4. Broj iteracija potrebnih za određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj dobiti u ovisnosti o početnim suvlasničkim udjelima	97
Slika 5.5. Broj iteracija potrebnih za određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj dobiti u ovisnosti o faktoru cijene.....	98
Slika 5.6. Određivanja očekivanog vremena povrata investicije za suvlasnike FNE.....	100

Slika 5.7. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji.....	105
Slika 5.8. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije.....	106
Slika 5.9. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela određenih korištenjem različitih metoda pri proporcionalnom dijeljenju.....	107
Slika 5.10. Očekivano vrijeme povrata investicije za suvlasničke udjele određene korištenjem različitih metoda pri proporcionalnom dijeljenju.....	108
Slika 5.11. Usporedba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata za suvlasničke udjele prema uštedi i dobiti u ovisnosti o faktoru cijene pri proporcionalnom dijeljenju	109
Slika 5.12. Neto sadašnje vrijednosti suvlasničkih udjela određenih korištenjem različitih metoda pri pravednom dijeljenju.....	111
Slika 5.13. Očekivano vrijeme povrata investicije za suvlasničke udjele određene korištenjem različitih metoda pri pravednom dijeljenju.....	112
Slika 5.14. Usporedba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata za suvlasničke udjele prema uštedi i dobiti u ovisnosti o faktoru cijene pri pravednom dijeljenju	113
Slika 6.1. Vrednovanje metode određivanja suvlasničkih udjela u FNE.....	116
Slika 6.2. Godišnja energija sunčevog zračenja na površini FN modula i srednja temperatura zraka za vremensko razdoblje od 2005. do 2022.	117
Slika 6.3. Energija sunčevog zračenja na površini modula i srednja temperatura zraka po godinama na primjeru prvog slučaja	118
Slika 6.4. Korelacija prosječne godišnja proizvodnja FNE i energije sunčevog zračenja.....	119
Slika 6.5. Razdioba prosječne godišnje proizvodnje FNE	120
Slika 6.6. Podaci o potrošnji kupca 1 tijekom jednog dana u prvoj godini za prvih 10 slučajeva dobiveni Monte Carlo simulacijom.....	121

Slika 6.7. Podaci o potrošnji kupca 1 tijekom jednog dana za prvi slučaj tijekom 10 godina dobiveni Monte Carlo Simulacijom	122
Slika 6.8. Korelacija prosječne godišnje potrošnje i srednje temperature zraka	122
Slika 6.9. Podaci o potrošnji kupca 3 tijekom jednog tjedna u scenariju 1 i 2.....	125
Slika 6.10. Podaci o potrošnji svih kupaca tijekom jednog tjedna u promatranim scenarijima.	126
Slika 6.11. Razdioba godišnje potrošnje kupaca u scenariju 1 i scenariju 2.....	126
Slika 6.12. Razdioba podataka o prosječnoj godišnjoj stopi inflacije	127
Slika 6.13. Ukupna potrošnja, potrošnja vlastite energije i samodostatnost po scenarijima	129
Slika 6.14. Razdioba vremena povrata investicije uz proporcionalno dijeljenje u scenariju 1 ..	130
Slika 6.15. Razdioba vremena povrata investicije uz pravedno dijeljenje u scenariju 1	131
Slika 6.16. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u scenariju 1	133
Slika 6.17. Razdioba vremena povrata investicije uz proporcionalno dijeljenje u scenariju 2..	134
Slika 6.18. Razdioba vremena povrata investicije uz pravedno dijeljenje u scenariju 2	135
Slika 6.19. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u scenariju 2	137
Slika 6.20. Razdioba vremena povrata investicije uz proporcionalno dijeljenje u scenariju 3..	138
Slika 6.21. Razdioba vremena povrata investicije uz pravedno dijeljenje u scenariju 3	139
Slika 6.22. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u scenariju 3	140
Slika 6.23. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji.....	142
Slika 6.24. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji.....	143

Slika 6.25. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji.....	143
Slika 6.26. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije.....	144
Slika 6.27. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije.....	145
Slika 6.28. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije.....	146
Slika 6.29. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema uštedi.....	147
Slika 6.30. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema uštedi.....	148
Slika 6.31. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema uštedi.....	149
Slika 6.32. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema dobiti.....	150
Slika 6.33. Kumulativna vjerojatnost razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema dobiti.....	151
Slika 6.34. Konvergencija razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije za suvlasničke udjele prema dobiti.....	152
Slika 6.35. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema ukupnoj potrošnji	154
Slika 6.36. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema potrošnji vlastite energije	155

Slika 6.37. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema uštedi 156

Slika 6.38. Razdioba razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata u ovisnosti o faktoru cijene za suvlasničke udjele prema dobiti 157

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Usporedba potrošača vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički i zajednice obnovljive energije	8
Tablica 2.2. Usporedba jednakosti i pravednosti	18
Tablica 3.1. Specifikacije FN modula TSM-500 NEG18R.28	38
Tablica 3.2. Stanovi u višestambenoj zgradi prema površini i broju članova kućanstva	43
Tablica 3.3. Kupci u višestambenoj zgradi uključeni u dijeljenje energije	44
Tablica 3.4. Referentno vrijeme početka obroka za svakog kupaca	48
Tablica 3.5. Godišnji broj ciklusa i referentno vrijeme početka ciklusa	49
Tablica 3.6. Površine zidova i prozora prema stranama svijeta te ukupne površine.....	52
Tablica 3.7. Parametri potrebni za proračun energije za hlađenje	56
Tablica 3.8. Referentna godišnja potrošnja električne energije kupaca uključenih u dijeljenje..	57
Tablica 4.1. Financijski parametri potrebno za ekonomsku analizu FNE	68
Tablica 4.2. Cijena električne energije za kućanstvo prema tarifnom modelu bijeli	69
Tablica 4.3. Razmjena energije po mjesecima.....	73
Tablica 4.4. Optimalna instalirana snaga FNE u ovisnosti o faktoru cijene.....	78
Tablica 5.1. Određivanje suvlasničkih udjela prema ukupnoj godišnjoj potrošnji	88
Tablica 5.2. Određivanje suvlasničkih udjela prema potrošnji vlastite energije	90
Tablica 5.3. Suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije u ovisnosti o instaliranoj snazi pri dinamičkom dijeljenju energije proporcionalno potrošnji.....	91
Tablica 5.4. Suvlasnički udjeli prema potrošnji vlastite energije u ovisnosti o instaliranoj snazi pri dinamičkom dijeljenju energije na temelju pravedne raspodjele	92

Tablica 5.5. Određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj uštedi	93
Tablica 5.6. Određivanje suvlasničkih udjela prema ostvarenoj dobiti.....	99
Tablica 6.1. Referentno vrijeme uključivanja vremenski odgovornih trošila po scenarijima	124
Tablica 6.2. Broj članova kućanstva te godišnji broj ciklusa pranja i sušenja po scenarijima ..	124
Tablica 6.3. Vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela na temelju kumulativne vjerojatnosti razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata	152
Tablica 6.4. Vrednovanje metoda određivanja suvlasničkih udjela u ovisnosti o faktoru cijene na temelju kumulativne vjerojatnosti razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata	157

SAŽETAK

Stanari višestambenih zgrada se mogu udružiti kako bi dijelili električnu energije proizvedenu u zajedničkoj fotonaponskoj elektranu (FNE) i postati potrošači vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički. Ovim istraživanjem se želi pronaći metoda određivanja ekonomski pravedni suvlasnički udjeli u zajedničkoj FNE kada su stanari ujedno suvlasnici i investitori. Testni sustav na kojemu se provodi istraživanje je višestambena zgrada s ukupno 15 stambenih jedinica, smještena u Osijeku, Hrvatska. Pretpostavka je da u dijeljenju sudjeluje 10 kupaca, 9 kućanstava i zajednička potrošnja. Potrebni ulazni podaci su proizvodnja iz zajedničke FNE te potrošnja s vremenskim korakom od 15 minuta. Proizvodnja je procijenjena na temelju podataka o sunčevom zračenju i temperaturi, preuzetim iz National Solar Radiation Database (NSRDB) za odabranu lokaciju. Potrošnja je modelirana na temelju izmjerene potrošnje uređaja u kućanstvu i različitih parametara za svako kućanstvo čime su se postigli različiti podaci za svako kućanstvo. Prvi korak je dimenzioniranje FNE na temelju maksimalne neto sadašnje vrijednosti nakon 30 godina, prema agregiranim podacima o potrošnji i neto obračunu. Sljedeći korak je određivanje suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji, potrošnji vlastite energije, uštedi i dobiti. Kako bi se odredili pravedni suvlasnički udjeli, simulirano je dijeljenje električne energije tijekom vremenskog razdoblja od 10 godina. Dijeljenje električne energije se provodi s vremenski korakom od 15 minuta prema proporcionalnim i pravednim dinamičkim koeficijentima dijeljenja. Metode određivanja suvlasničkih udjela su uspoređene uz pretpostavku da se proizvodnja i potrošnja neće promijeniti tijekom godina. Određivanje suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji rezultira s razlikom između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije od 1.73 godine. Kada se suvlasnički udjeli određuju prema dobiti, vrijeme povrata investicije je jednako za sve suvlasnike pa se suvlasnički udjeli prema dobiti mogu smatrati ekonomski pravednima. Nakon vrednovanja metoda za različite slučajeve, gdje su u obzir uzete promjene proizvodnje i potrošnje za različite scenarije, određivanje suvlasničkih udjela prema ukupnoj potrošnji rezultira s od 1 do 3 godine razlike između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije dok je u slučaju suvlasničkih udjela prema dobiti razlika između najduljeg i najkraćeg vremena povrata investicije u svim slučajevima manja od 90 dana.

Ključne riječi: višestambena zgrada, dijeljenje energije, fotonaponska elektrana, pravedni suvlasnički udjeli, vrijeme povrata investicije

SAŽETAK NA ENGLESKOM JEZIKU

Title: Determination of economically fair co-ownership shares in photovoltaic system of a multi-apartment building

Tenants of multi-apartment buildings can join together to share electricity produced in a shared photovoltaic system (PV) and become jointly acting renewables self-consumers. This research aims to find a method for determining economically fair co-ownership shares in shared PV when tenants are co-owners and investors. The test system on which the research is conducted is a multi-apartment building with a total of 15 apartments, located in Osijek, Croatia. There is an assumption that 10 end customers participate in electricity sharing, of which 9 are households, and 1 is shared consumption. Required input data are electricity generation from shared PV and consumption, with a 15-minute time step. Electricity generation is estimated according to solar irradiation and temperature data from the National Solar Radiation Database (NSRDB) for a selected location. Electricity consumption is modeled according to the measured consumption of household appliances and different parameters for each household to obtain different consumption data for each household. First step is PV sizing according to the maximum net present value after 30 years, with aggregated consumption data and net-billing. The next step is the determination of co-ownership shares according to total demand, self-consumption, savings, and profit. In order to determine fair co-ownership shares, electricity sharing over 10 years is simulated. Electricity sharing is done with 15-minutes time step according to proportional and fair dynamic sharing coefficients. Methods for the determination of co-ownership shares are compared with the assumption that generation and consumption will not change over the years. Determination of co-ownership shares according to total demand results in 1.73 years difference between the longest and shortest payback period (PBP). With the determination of co-ownership shares according to profit, PBP is equal for all co-owners, so co-ownership shares according to profit are considered as economically fair. After evaluation of methods for different cases, with considered changes in generation and consumption through different scenarios, co-ownership shares according to total demand result in a 1 to 3 year difference between PBPs, while in the case of co-ownership shares according to profit, the time period between PBPs is below 90 days in all cases.

Keywords: multi-apartment building, electricity sharing, photovoltaic system, fair co-ownership shares, payback period

ŽIVOTOPIS

Zvonimir Šimić rođen je 7. lipnja 1995. u Osijeku. Obrazovanje u području elektrotehnike započeo je 2010. godine u Elektrotehničkoj i prometnoj školi Osijek, a nastavio 2014. godine na sveučilišnom prijediplomskom studiju Elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. 2017. godine upisao je sveučilišni diplomski studij Elektrotehnike, smjer Elektroenergetika, a 2019. godine je stekao akademski naziv sveučilišni magistar inženjer elektrotehnike. Povodom obilježavanja 41. godišnjice fakulteta 2019. godine dodijeljeno mu je priznanje za postignut uspjeh u studiranju. Od 2020. godine zaposlen je na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek kao asistent na projektu Umreženi stacionarni baterijski spremnici energije (USBSE), a od 2023. je asistent na Zavodu za elektroenergetiku. Sudjeluje u izvođenju nastave na kolegijima Pohrana i električna vozila u elektroenergetskom sustavu i Toplinske primjene obnovljivih izvora energije na sveučilišnom diplomskom studiju kao i u izvođenju nastave na kolegijima Elektrane i elektroenergetski sustavi i Tehnologije obnovljivih izvora energije na stručnom prijediplomskom studiju. Također je bio i sumentor na 10 završnih i diplomskih radova iz područja elektroenergetike. 2024. godine povodom obilježavanja 46. godišnjice fakulteta dodijeljena mu je nagrada za izvrsnost u nastavi. 2020. godine upisao je Doktorski studij elektrotehnike i računarstva, modul Elektroenergetika. Uže područje istraživanja obuhvaća aktivne kupce, dimenzioniranje fotonaponskih elektrana, sustave za pohranu električne energije te upravljanje potrošnjom u kućanstvima. Do sada je objavio 22 znanstvena rada, 4 rada u međunarodnim znanstvenim časopisima te 18 radova u zbornicima međunarodnih znanstvenih skupova. Trenutno sudjeluje na projektu SynGRID („Creating synergies on the topic of low-voltage grid management“) financiranog u okviru poziva HORIZON-WIDERA-2023-ACCESS-04.