

# Tehno-ekonomska analiza mjera za poticanje energetske učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije u kućanstvima temeljem digitalnog blizanca

---

Vrbanac, Lorena

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:853848>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Lorena Vrbanac**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Dr. sc. Luka Boban, mag. ing.

Student:

Lorena Vrbanac

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Nevenu Duiću na mentorstvu te dr.sc. Luki Bobanu i asistentu Antunu Pfeiferu na stalnoj dostupnosti, pruženoj pomoći, potpori i neiscrpnim savjetima.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, a posebno svojim roditeljima Ivančici i Nikoli te sestri Steli koji su uvijek bili uz mene i pružali mi neiscrpnu podršku kad god mi je zatrebala. Bez njih danas ne bih bila tu.

Zahvaljujem se svim svojim prijateljima bez kojih moj period studiranja ne bi bio tako veseo, zabavan i nezaboravan dio života.

Na kraju bih se htjela zahvaliti i svom dečku Ivanu na velikoj potpori i vjeri u mene.

Lorena Vrbanac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 23 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Lorena Vrbanac** JMBAG: 0035208825

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehno-ekonomska analiza mjera za poticanje energetske učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije u kućanstvima temeljem digitalnog blizanca**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Techno-economic analysis of measures supporting energy efficiency and renewable energy sources use in the household sector based on a digital twin**

Opis zadatka:

U težnji da odgovori na izazove klimatskih promjena i trenutne krize, Europska unija potiče korištenje učinkovitih sustava za grijanje i hlađenje, kao i veće korištenje obnovljivih izvora energije u svim sektorima potrošnje na svom području, s ciljem smanjenja korištenja fosilnih goriva. Sektor potrošnje koji je posebno osjetljiv su kućanstva, poglavito obiteljske kuće kao potencijalno izolirani korisnici u područjima s manjom gustoćom potreba za toplinskom energijom. Za primjer takvog kućanstva u Panonskoj Hrvatskoj u okviru ovog rada potrebno je:

1. Odrediti satne potrebe za grijanje i hlađenje u skladu s normom HRN EN ISO 13790.
2. Izraditi idejno rješenje primjene fotonaponske elektrane, sustava grijanja i hlađenja s dizalicom topline te punjača za električno vozilo na odabranom primjeru kućanstva.
3. Izraditi digitalnog blizanca (eng. digital twin) kućanstva.
4. Provesti tehno-ekonomsku analizu mjera za poticanje pojedinih komponenti sustava opskrbe energijom te grijanja i hlađenja u kućanstvima Panonske Hrvatske na temelju digitalnog blizanca kao tipskog kućanstva.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

2. ožujka 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Neven Duić

Datum predaje rada:

4. svibnja 2023.

Komentor:

Dr.sc. Luka Boban

Predviđeni datumi obrane:

8. – 12. svibnja 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	2
POPIS SLIKA .....	4
POPIS TABLICA.....	6
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	7
POPIS OZNAKA .....	8
SAŽETAK.....	11
SUMMARY .....	12
1. UVOD.....	13
2. SUSTAVI GRIJANJA U STAMBENIM ZGRADAMA.....	14
2.1. Podjela sustava grijanja.....	14
2.2. Potrošna topla voda.....	18
3. METODA PRORAČUNA TOPLINSKE BILANCE KUĆE .....	19
3.1. Opis kuće .....	19
3.2. Pregled formula norme HRN EN ISO 13790 .....	23
3.2.1. Pregled formula norme EN 12831 – 3: 2017 .....	27
4. REZULTATI PRORAČUNA TOPLINSKE BILANCE KUĆE I UTROŠKA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA POGON DIZALICE TOPLINE.....	29
4.1. Proračun potreba za toplinskom energijom .....	29
4.1.1. Koeficijenti toplinskih gubitaka.....	29
4.1.2. Toplinski gubici i dobici grijanja i hlađenja .....	29
4.1.3. Potrebe za potrošnom toplom vodom .....	32
4.1.4. Odabir dizalice topline .....	32
4.2. Metoda proračuna utroška električne energije za pogon dizalice topline .....	33
5. OPIS INTEGRIRANIH SOLARNIH ELEKTRANA.....	43
5.1. Definicije i fizikalna svojstva .....	43
6. METODA I REZULTATI PRORAČUNA POTREBNE INSTALIRANE SNAGE INTEGRIRANE SOLARNE ELEKTRANE .....	46
6.1. Program korišten u proračunu potrebne snage fotonaponske elektrane .....	46
6.2. Rezultati proračuna potrebne snage fotonaponske elektrane .....	46
6.2.1. Ulazni podaci .....	46
6.2.2. Kućna potrošnja električne energije.....	47
6.2.3. Proizvodnja solarne elektrane .....	49
7. OPIS KOMPONENTI ELEKTRIČNOG PUNJAČA I ELEKTRIČNOG VOZILA .....	50
7.1. Vrste baterija električnih automobila .....	50
7.2. Električne punionice .....	52
8. METODA I REZULTATI PRORAČUNA ELEKTRIČNOG PUNJAČA .....	54
8.1. Ulazni podaci .....	55
8.2. Utrošak električne energije električnog punjača.....	55
9. OPIS I REZULTATI MODELA DIGITALNOG BLIZANCA PRORAČUNATOG KUĆANSTVA.....	56

9.1. Uvid u ukupni tok električne energije svih tehnologija i kućanstva .....	57
10. OPIS I REZULTATI EKONOMSKE ANALIZE DIGITALNOG BLIZANCA .....	63
10.1. Definicije .....	63
10.2. Formule korištene u ekonomskoj analizi .....	64
10.3. Scenariji ekonomske analize digitalnog blizanca .....	65
10.3.1. Scenarij A .....	66
10.3.2. Scenarij B .....	66
10.3.3. Scenarij C .....	67
10.3.4. Scenarij D .....	68
10.3.5. Scenarij E .....	68
10.4. Ulazni podaci i rezultati scenarija .....	69
10.4.1. Ulazni podaci i rezultati scenarija A .....	71
10.4.2. Ulazni podaci i rezultati scenarija B .....	74
10.4.3. Ulazni podaci i rezultati scenarija C .....	78
10.4.4. Ulazni podaci i rezultati scenarija D .....	81
10.4.5. Ulazni podaci i rezultati scenarija E .....	85
10.5. Usporedba scenarija .....	88
11. PRESLIKA DIGITALNOG BLIZANCA I MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI NA PANONSKU HRVATSKU .....	90
11.1. Osnovne informacije .....	90
11.2. Mjere energetske učinkovitosti .....	91
11.2.1. Mjera poticanja obnovljivih izvora energije u obiteljskim kućama .....	91
11.2.2. Mjera sufinanciranja energetske učinkovite vozila .....	92
11.2.3. Mjera energetske obnove obiteljskih kuća .....	93
11.3. Digitalni blizanac primijenjen na sva kućanstva Panonske Hrvatske .....	96
12. ZAKLJUČAK .....	101
LITERATURA .....	103
PRILOG I – Tablice troškova i ušteda scenarija A .....	105
PRILOG II – Tablice troškova i ušteda scenarija B .....	108
PRILOG III – Tablice troškova i ušteda scenarija C .....	110
PRILOG IV – Tablice troškova i ušteda scenarija D .....	112
PRILOG V – Tablice troškova i ušteda scenarija E .....	114
PRILOG VI – Tehnička dokumentacija .....	116

**POPIS SLIKA**

Slika 1 Shema toplovodnog/vrelovodnog sustava grijanja [18].....	15
Slika 2 Shema parnog sustava grijanja [18] .....	16
Slika 3 Prikaz rada dizalice topline u režimu grijanja [19] .....	17
Slika 4 Prikaz dizalice topline zrak – voda [19].....	17
Slika 5 Tlocrt prizemlja [3] .....	19
Slika 6 Bočna strana kuće [3].....	20
Slika 7 Pročelje kuće [3] .....	20
Slika 8 Stražnji pogled kuće [3] .....	21
Slika 9 Tipska satna potrošnja PTV-a .....	28
Slika 10 Toplinski gubici u režimu grijanja .....	30
Slika 11 Toplinski gubici u režimu hlađenja.....	31
Slika 12 Solarni toplinski dobici .....	31
Slika 13 Potrebni dnevni toplinski učin za zagrijavanje PTV-a.....	32
Slika 14 Shema sustava odabrane dizalice topline .....	33
Slika 15 Ovisnost faktora grijanja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka.....	35
Slika 16 Ovisnost faktora grijanja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka dobiveno od proizvođača odabrane dizalice topline [24] .....	35
Slika 17 Ovisnost faktora hlađenja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka.....	37
Slika 18 Ovisnost faktora hlađenja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka dobiveno od proizvođača odabrane dizalice topline [24] .....	37
Slika 19 Parcijalno opterećenje dizalice topline u režimu grijanja .....	38
Slika 20 Vrijednosti COP-a dizalice topline u režimu grijanja.....	39
Slika 21 Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu grijanja .....	40
Slika 22 Parcijalno opterećenje dizalice topline u režimu hlađenja.....	40
Slika 23 Vrijednosti EER-a dizalice topline u režimu hlađenja.....	41
Slika 24 Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu hlađenja.....	41
Slika 25 Utrošak električne energije dizalice topline i električnog grijača za zagrijavanje PTV-a .....	42
Slika 26 Prikaz solarne elektrane na kosom krovu [20].....	44
Slika 27 Prikaz solarne elektrane na ravnom krovu [20] .....	45
Slika 28 Tipska dnevna potrošnja električne energije tijekom vikenda.....	48
Slika 29 tipska dnevna potrošnja električne energije tijekom dana u tjednu .....	48
Slika 30 Potrošnja električne energije u kućanstvu.....	49
Slika 31 Proizvodnja električne energije iz solarne elektrane.....	49
Slika 32 Prikaz električnog automobila i baterije [10].....	50
Slika 33 Prikaz cilindrične litij-ionske baterije [21] .....	51
Slika 34 Prikaz prizmatične litij-ionske baterije [22].....	51
Slika 35 Prikaz vrećaste litij-ionske baterije [22] .....	52
Slika 36 Prikaz punjača za električni automobil [6] .....	53
Slika 37 Ovisnost kapaciteta baterije i snage punjenja .....	54
Slika 38 Utrošak električne energije električnog punjača .....	55
Slika 39 Preuzeta i predana električna energija u godini .....	58
Slika 40 Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarne elektrane .....	59



Slika 41 Preuzeta i predana električna energija u mrežu po karakterističnim danima u godini .....	59
Slika 42 Predana električna energija u mrežu po mjesecima .....	60
Slika 43 Pokrivanje potreba grijanja i PTV-a neiskorištenom proizvedenom električnom energijom preko dizalice topline .....	61
Slika 44 Ušteda električne energije na dizalici topline .....	61
Slika 45 Predviđanje kretanja cijena električne energije [15].....	70
Slika 46 Predviđanje kretanja cijene plina [16] .....	70
Slika 47 Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarne elektrane scenarija B .....	74
Slika 48 Pokrivanje potreba grijanja i PTV-a električnom energijom preko dizalice topline scenarija B .....	74
Slika 49 Ušteda električne energije na dizalici topline scenarija B .....	75
Slika 50 Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarne elektrane scenarija D.....	81
Slika 51 Usporedba IRR-a svih scenarija.....	88
Slika 52 Usporedba investicija i poticaja svih scenarija .....	88
Slika 53 Usporedba NPV-ova svih scenarij .....	89
Slika 54 Prikaz podijele Hrvatske na osnovne regije [23] .....	91
Slika 55 Maksimalni iznosi subvencija mjere poticanja obnovljivih izvora energije u obiteljskim kućama.....	92
Slika 56 Maksimalni iznosi subvencija mjere sufinanciranja energetske učinkovitih vozila... ..	93
Slika 57 Maksimalni iznosi subvencija mjere energetske obnove obiteljskih kuća .....	94
Slika 58 Ukupna raspoloživa sredstva mjera energetske učinkovitosti .....	95
Slika 59 Električna energija preuzeta i predana za sva kućanstva Panonske Hrvatske .....	96
Slika 60 Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarnih elektrana za sva kućanstva Panonske Hrvatske.....	97
Slika 61 Samopotrošnja električne energije proizvedene iz solarnih elektrana kućanstava Panonske Hrvatske .....	97
Slika 62 Električna energija predana u mrežu za sva kućanstva Panonske Hrvatske .....	98
Slika 63 Električna energija preuzeta iz mreže za sva kućanstva Panonske Hrvatske .....	99
Slika 64 Godišnja potrošnja električne energije u Hrvatskoj [25] .....	99

**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Karakteristike vanjskih zidova kuće .....	21
Tablica 2 Karakteristike podova kuće .....	22
Tablica 3 Karakteristike krova kuće.....	22
Tablica 4 Karakteristike otvora kuće .....	22
Tablica 5 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata kuće .....	22
Tablica 6 Koeficijenti transmisijskih gubitaka građevnih elemenata kuće.....	29
Tablica 7 Koeficijent ventilacijskih gubitaka.....	29
Tablica 8 Tehničke specifikacije odabranih panela .....	46
Tablica 9 Informacije o panelima orijentiranim na istoku .....	47
Tablica 10 Informacije o panelima orijentiranim na zapad.....	47
Tablica 11 Informacije o solarnoj elektrani .....	47
Tablica 12 Trošak električne energije kućanstva .....	47
Tablica 13 Ulazni podaci proračuna električnog punjača .....	55
Tablica 14 Cijene električne energije i naknada .....	69
Tablica 15 Cijene električne energije.....	69
Tablica 16 Podaci o utrošku goriva za automobil .....	70
Tablica 17 Investicijski troškovi scenarija A .....	71
Tablica 18 Informacije o kreditu scenarija A .....	71
Tablica 19 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija A .....	72
Tablica 20 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija A .....	73
Tablica 21 Investicijski troškovi scenarija B .....	75
Tablica 22 Informacije o kreditu scenarija B .....	76
Tablica 23 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija B .....	76
Tablica 24 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija B.....	77
Tablica 25 Investicijski troškovi scenarija C .....	78
Tablica 26 Informacije o kreditu scenarija C .....	78
Tablica 27 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija C .....	79
Tablica 28 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija C.....	80
Tablica 29 Investicijski troškovi scenarija D .....	82
Tablica 30 Informacije o kreditu scenarija D.....	82
Tablica 31 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija D .....	83
Tablica 32 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija D .....	84
Tablica 33 Investicijski troškovi scenarija E.....	85
Tablica 34 Informacije o kreditu scenarija E .....	85
Tablica 35 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija E.....	86
Tablica 36 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija E .....	87

---

**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

1/1      Dispozicija FN panela na krovu kuće

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
$\Phi_{GR}$	[W]	Projektno toplinsko opterećenje
$\Phi_{T,i}$	[W]	Transmisijski toplinski gubici
$\Phi_{V,i}$	[W]	Ventilacijski toplinski gubici
$H_D$	[W/K]	Koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_U$	[W/K]	Koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora kroz negrijane prostore prema vanjskom okolišu
$H_G$	[W/K]	Koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema tlu
$H_A$	[W/K]	Koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
$\vartheta_{int,i}$	[°C]	Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
$\vartheta_e$	[°C]	Vanjska projektna temperatura
$A_k$	[m <sup>2</sup> ]	Površina plohe kroz koju prolazi toplina
$U_k$	[W/m <sup>2</sup> K]	Koeficijent prolaza topline građevnog elementa
$f_{g1}$	-	Korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
$f_{g2}$	-	Faktor smanjenja temperaturne razlike
$U_{equiv,k}$	[W/m <sup>2</sup> K]	Ekvivalentni koeficijent prolaza topline
$G_W$	-	Korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode
$H_V$	[W/K]	Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
$V_i$	[m <sup>3</sup> /h]	Protok zraka
$n_{50}$	-	Broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka od 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša
$e_i$	-	Koeficijent zaštićenosti koji uzima u obzir utjecaj vjetra/zaštićenost zgrade
$\varepsilon_i$	-	Korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova s povećanjem visine iznad okolnog tla
$V_{min,i}$	[m <sup>3</sup> /h]	Minimalni higijenski protok zraka
$n_{min}$	[h <sup>-1</sup> ]	Minimalni broj izmjena zraka
$V_i$	[m <sup>3</sup> ]	Volumen prostorije
$\Phi_H$	[W]	Ukupni toplinski dobici objekta
$\Phi_{int}$	[W]	Unutarnji toplinski dobici
$\Phi_{sol}$	[W]	Solarni toplinski dobici
$q_{spec}$	[W/m <sup>2</sup> ]	Specifični unutarnji dobitak
$A_k$	[m <sup>2</sup> ]	Korisna površina
$F_{shob}$	-	Faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja
$S_s$	[W/m <sup>2</sup> ]	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela površina
$A_{sol}$	[m <sup>2</sup> ]	Ukupna dozračena površina građevnih dijelova

$A_{solc}$	[m <sup>2</sup> ]	Dozračena površina neprozirnog elementa
$\alpha_{sc}$	-	Bezdimenzijski apsorpcijski koeficijent zida/krova
$R_{se}$	[m <sup>2</sup> K/W]	Plošni toplinski otpor vanjske površine zida, preporučena vrijednost
$U_c$	[W/m <sup>2</sup> K]	Koeficijent prolaska topline zida/krova
$A_c$	[m <sup>2</sup> ]	Projicirana površina zida
$A_{solrk}$	[m <sup>2</sup> ]	Dozračena površina prozirnog elementa
$g_{gl}$	-	Ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno
$F_F$	-	Udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora
$A_{pr}$	[m <sup>2</sup> ]	Ukupna površina prozora
$g_{gl+sh}$	-	Ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom
$\Phi_{PTV}$	[W]	Potrebni toplinski učin za zagrijavanje potrošne tople vode
$V_s$	[m <sup>3</sup> ]	Volumen spremnika
$\rho_w$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Gustoća vode
$c_w$	[J/kgK]	Specifični toplinski kapacitet vode
$\vartheta_s$	[°C]	Temperatura spremnika
$\vartheta_{hw}$	[°C]	Temperatura hladne vode
$V_p$	[l]	Dnevna potreba PTV-a po osobi
$\vartheta_{tw}$	[°C]	Temperatura tople vode
$n$	[%]	Parcijalno opterećenje
$COP$	-	Faktor grijanja
$EER$	-	Faktor hlađenja
$E_{elGR}$	[Wh]	Električna energija grijanja
$E_{elHL}$	[Wh]	Električna energija hlađenja
$E_{elPTV}$	[Wh]	Električna energija zagrijavanja PTV-a
$k$	[W/m <sup>2</sup> K]	Koeficijent prolaza topline
$\Phi_{max}$	[W]	Maksimalni toplinski učin dizalice topline
$\Phi_{gr}$	[W]	Toplinski gubici
$\Phi_{hl}$	[W]	Toplinski gubici
$t$	[h]	Vrijeme
$E_{elvm}$	[Wh]	Predana i preuzeta električna energija
$E_{elkućanstvo}$	[Wh]	Električna energija kućanstva
$E_{elpunjač}$	[Wh]	Električna energija utrošena električnim punjačem
$E_{elsol}$	[Wh]	Električna energija proizvedena solarnom elektranom
$\Phi_{višak}$	[W]	Toplinski učin dobiven neiskorištenom proizvedenom električnom energijom
$Z$	[€]	Zajam kredita
$K_p$	[€]	Privatni kapital
$I$	[€]	Ukupni investicijski troškovi
$R$	[€]	Rata kredita

---

$k$	-	Kamatna stopa banke
$ot$	[a]	Duljina otplate kredita
$G$	[€]	Glavnica kredita
$K_k$	[€]	Kamata kredita
$P_o$	[€]	Porezna osnovica
$T$	[€]	Ukupni troškovi
$P_b$	[€]	Bruto dobit
$RVT$	[€/kWh]	Radna energija u višoj tarifi
$RNT$	[€/kWh]	Radna energija u nižoj tarifi
$MVT$	[€/kWh]	Mrežarina u višoj tarifi
$MNT$	[€/kWh]	Mrežarina u nižoj tarifi
$NOIE$	[€/kWh]	Naknada za obnovljive izvore energije
$SOL$	[€/kWh]	Solidarna naknada
$C_{iVT}$	[€/kWh]	Otkupna cijena u višoj tarifi
$C_{osn}$	[€]	Osnovica izračuna cijene otkupa
$E_{pred}$	[kWh]	Ukupna godišnja predana električna energija iz mreže
$E_{preuz}$	[kWh]	Ukupna godišnja preuzeta električna energija iz mreže
$C_{VT}$	[€]	Cijena električne energije u višoj tarifi
$C_{NT}$	[€]	Cijena električne energije u nižoj tarifi

**SAŽETAK**

U ovom diplomskom radu na idejnoj razini su izrađeni projekti dizalice topline, solarne elektrane na krovu i električnog punjača te je za pet različitih scenarija izvršena ekonomska analiza isplativosti. Dizalica topline je dimenzionirana za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a, te je uključen i električni grijač od 4 kW koji dogrijava PTV u svrhu zaštite od legionele. Odabrana dizalica topline je zrak-voda ecoAIR+ 3-12 PRO uz koju je predviđen i električni grijač od 3 kW kako bi se osigurala mogućnost pokrivanja vršnih potreba za toplinskim učinkom. Proračun satnih potreba za grijanje i hlađenje se radio normom HRN EN ISO 13790 te je utvrđeno da je potreban godišnji toplinski učin  $59,16 \text{ kWh/m}^2$ , godišnji rashladni učin  $45,37 \text{ kWh/m}^2$  te je godišnji toplinski učin potreban za zagrijavanje PTV-a  $15073,44 \text{ kWh}$ . Također je predviđena akumulacija toplinske energije generirane viškom električne energije od solarne elektrane snage  $8,1 \text{ kWp}$ . Akumulirana energija se koristi za grijanje i pripremu PTV-a. Solarna elektrana je projektirana tako da pokriva potrebe za električnom energijom kućanstva, dizalice topline i električnog punjača. U proračunu solarne elektrane je korišten „Renewables.ninja“, a tehnički crtež dispozicije fotonaponskih panela na krovu je izveden u AutoCAD-u. Električni punjač snage  $3,7 \text{ kW}$  puni električni automobil te je u proračunu pretpostavljeno da se puni isključivo kad je automobil kod kućnog električnog punjača. Projekt svih navedenih tehnologija napravljen je za stvarni objekt u općini Čepin, pored grada Osijeka. Kuća je jednoetažna te ima ravan krov. Sva potrebna dokumentacija sa potrebnim podacima za dimenzioniranje dizalice topline te solarne elektrane je dobivena od strane vlasnika. Dokumentacija uključuje energetske certifikat, energetske pregled, mapu projekta sustava grijanja na plin te račune za električnu energiju kroz dvanaest mjeseci. Ekonomska analiza je rađena za pet scenarija. U prvom se pretpostavlja uključivanje svih gore navedenih tehnologija, u drugom je uključena dizalica topline i solarna elektrana, treći obuhvaća dizalicu topline, četvrti solarnu elektranu i peti električni punjač i električni automobil. Svrha ekonomske analize je uvid u ekonomsku isplativost svakog scenarija te njihove usporedbe te je zaključeno da je ekonomski najisplativiji scenarij dizalice topline i solarne elektrane sa vrijednosti IRR-a od 38% i NPV-a od  $14871,56 \text{ €}$ . Na kraju se cijeli sustav koji je predočen preko digitalnog blizanca primijenio skupa sa postojećim poticajima obnovljivih izvora energije na kućanstava Panonske Hrvatske. Svi navedeni tehno-ekonomski proračuni odrađeni su u Excelu.

Ključne riječi: dizalica topline, solarna elektrana, električni punjač, tehno-ekonomska analiza

---

**SUMMARY**

In this thesis, projects of a heat pump, a ground-mounted solar power plant and an electric charging station were created at the conceptual level, and an economic analysis of profitability was made for five different scenarios. The heat pump is designed for needs of heating, cooling, and preparation of DHW, and a 4 kW electric heater is included, which heats DHW for the purpose of protection against legionella. The chosen heat pump is the air-water ecoAIR+ 3-12 PRO, with a 3 kW electric heater to ensure the ability to cover peak load for thermal performance. The calculation of the hourly needs for heating and cooling was carried out according to the HRN EN ISO 13790 norm, and it was determined that the required annual thermal output is 59,16 kWh/m<sup>2</sup>, the annual cooling output is 45,37 kWh/m<sup>2</sup>, and the annual thermal output for heating the DHW is 15073,44 kWh. Accumulation of thermal energy generated by excess electricity from a solar power plant with a capacity of 8.1 kWp is also planned. Accumulated energy is used for heating and preparation of DHW. The solar power plant is designed to cover the electricity needs of the household, the heat pump, and the electric charging station. "Renewables.ninja" was used in the calculation of the solar power plant, and the technical drawing of the layout of roof-mounted photovoltaic panels was made in AutoCAD. The electric charging station with a power of 3,7 kW charges the electric car and it is assumed that it is charged only when the car is at home. The project of all the mentioned technologies was made for a real facility in the municipality of Čepin, next to the city of Osijek. The house is one-story with a flat roof. All the necessary documentation with the necessary data for the designs of the heat pump and the solar power plant was obtained by the owner. The documentation includes an energy certificate, an energy audit, a map of the gas heating system project and electricity bills for twelve months. Economic analyzes were made for five scenarios. In the first, the inclusion of all the technologies mentioned above is assumed, in the second, a heat pump and a solar power plant are included, the third includes a heat pump, the fourth a solar power plant, and the fifth an electric charger and an electric car. The purpose of the economic analysis is an insight into the economic profitability of each scenario and their comparison, and it was concluded that the most economically profitable scenario is the heat pump and solar power plant with an IRR value of 38% and an NPV of €14871,56. In the end, the entire system, which was presented through the digital twin, was applied together with the existing incentives of renewable energy sources to the households of Pannonian Croatia. All the mentioned techno-economic calculations were done in Excel.

Key words: heat pump, solar power plant, electric charging station, techno-economic analysis



## 1. UVOD

U trenutnoj situaciji klimatske krize želja za energetsom učinkovitosti na svim životnim razinama dobiva na većoj vrijednosti. Uz energetska, uvijek se teži i ekonomskoj efikasnosti koja u doba inflacije i rastu cijena energenata postaje sve većim izazovom. Uz sve navedeno, okretanje obnovljivim izvorima energije je prvi korak prema energetski održivom kućanstvu, a uz rastuće poticaje i subvencije tehnologija obnovljivih izvora energije ta solucija postaje sve isplativija. Jedan od koraka koji se mogu poduzeti u tranziciji kućanstva ovisnom o prirodnom plinom, drvu i sličnom, je uključivanje dizalice topline. Ona će preuzeti zahtjeve grijanja, hlađenja i PTV-a. Također, sve je češća i popularnija ugradnja solarne elektrane koja može pokrivati većinu zahtjeva za električnom energijom te kupnja električnih vozila kako bi se postigla neovisnost o gorivu i njegovoj cijeni koja je u posljednje vrijeme bila iznimno nepredvidiva. Projekti koji mogu jedno kućanstvo u potpunosti elektrificirati i maksimizirati dostupne tehnologije obnovljivih izvora energije biti će opisani u sljedećim poglavljima.

## 2. SUSTAVI GRIJANJA U STAMBENIM ZGRADAMA

### 2.1. Podjela sustava grijanja

Sustavi grijanja se dijele prema vrsti ogrjevnog medija i izvedbi sustava.

Sustavi grijanja prema izvedbi se dijele na:

1. Pojedinačni grijači – kojima je izvor topline postavljen u određenoj prostoriji,
2. Centralno grijanje – u kojem postoji jedan izvor topline za sve prostorije u objektu,
3. Daljinsko grijanje – u kojem je jedan izvor topline za više različitih objekata,
4. Sustavi posebne izvedbe – obnovljivi izvori energije.

Kod sustava daljinskog grijanja toplinska energija je distribuirana iz središnjeg izvora toplinske energije prema potrošačima. Može se koristiti za potrebe grijanja prostora, grijanja vode i industrijsko grijanje. Dobivena energija je distribuirana vrućom vodom ili parom.

Sustavi grijanja prema ogrjevnom mediju se dijele na:

1. Toplozračni sustavi,
2. Zračno – vodeni sustavi,
3. Toplovodni sustavi,
4. Vrelovodni sustavi,
5. Parni sustavi.

#### 1. Toplozračni sustavi

Toplozračni sustavi koriste topli zrak kao ogrjevni medij. Kroz istrujne otvore zrak se ubacuje u grijane prostorije objekta. Zrak je pripremljen u klima strojarnici koja je uobičajeno smještena izvan klimatiziranog prostora. Nedostatak ovakvog sustava je činjenica da je za toplozračno grijanje prostorija potreban veliki prostor za kanalski razvod.

#### 2. Zračno – vodeni sustavi

U ovom sustavu grijanja dovođenje topline je kombinirano korištenjem vode i zraka kao nositelja toplinske energije.

#### 3. Toplovodni/vrelovodni sustavi

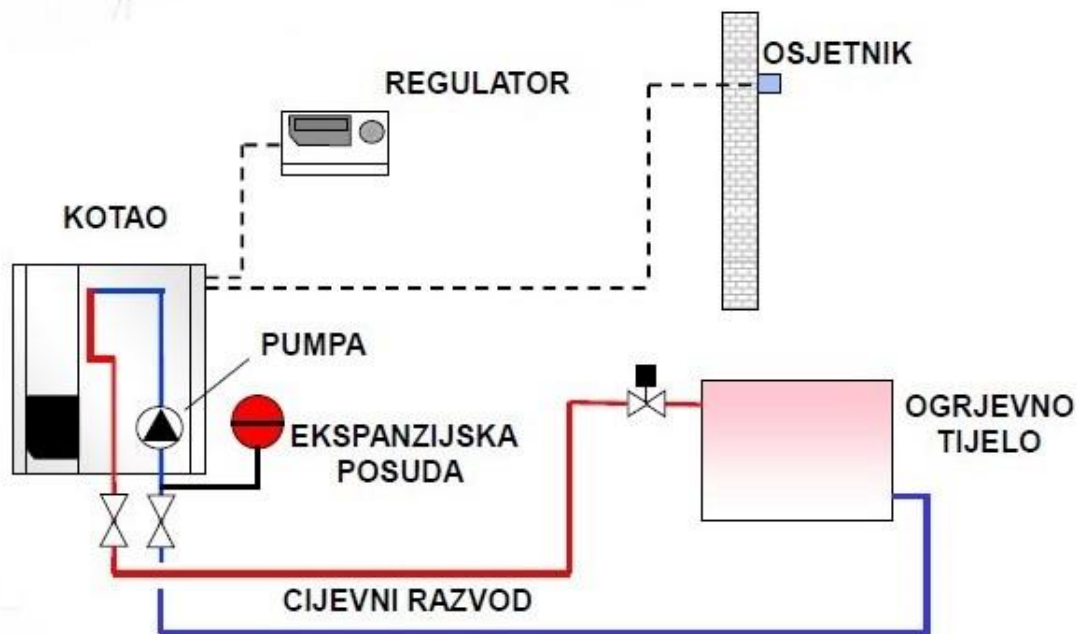
Toplovodni sustavi koriste toplu vodu za distribuciju toplinske energije potrošačima.

Uobičajeni temperaturni režimi polaza i povrata su sljedeći:

- Visokotemperaturni režim sa temperaturom polaza većom od 70°C,
- Srednjetemperaturni režim sa temperaturom polaza od 55 do 70°C,

- Niskotemperaturni režim sa temperaturom polaza manjom od 40°C.

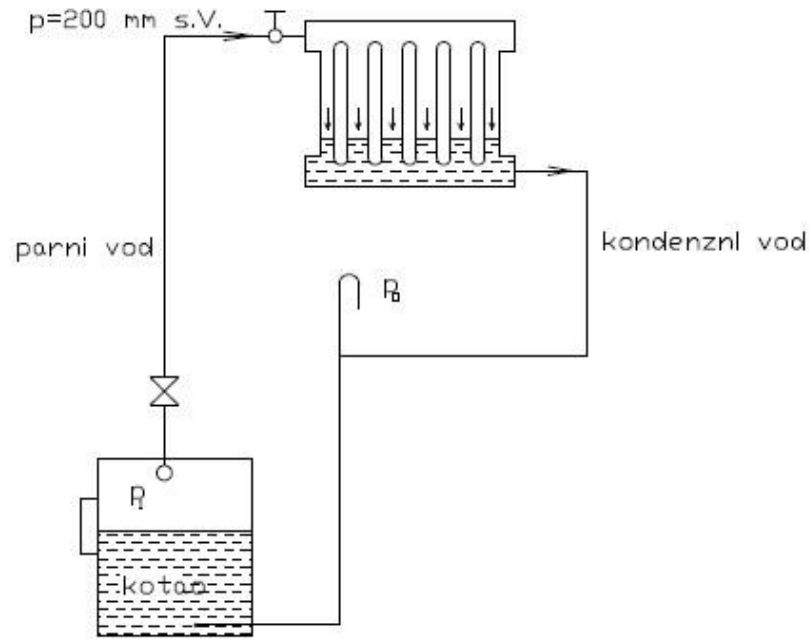
U ovakvim sustavima se toplina prenosi zračenjem ili konvekcijom preko ogrjevnih tijela. Mogu se koristiti ventilokonvektori, pločasti radijatori, člankasti radijatori, površinske petlje, ... Sustav distribucije može biti izrađen jednocijevno i dvocijevno. U jednocijevnim sustavima jedan se cjevovod koristi i za polaz i povrat cirkulacijske petlje zbog čega je ugradnja jeftinija i jednostavnija. Dvocijevni sustavi primjenjuju jedan cjevovod za polaz i jedan za povrat vode. U sustavu dvocijevnog spajanja, trošila su spojena paralelno.



Slika 1 Shema toplovodnog/vrelovodnog sustava grijanja [18]

#### 4. Parni sustavi

U parnim sustavima toplina se dovodi korištenjem vodene pare. Sustav može biti niskotlačni sa pretlakom manjim ili jednakim 0.5 bara te visokotlačni sa pretlakom većim ili jednakim 1 bar.



**Slika 2 Shema parnog sustava grijanja [18]**

Postoje različiti izvori topline koji služe za zagrijavanje ogrjevnog medija. Neki od mogućih izvora topline su kotlovi, toplane i obnovljivi izvori energije kao što su dizalica topline i solarni kolektori. Obnovljivi izvori energije postaju sve češći izbor u grijanju prostora.

Dizalice topline rade tako da prikupljaju toplinu od izvora topline niže temperature i predaju trošilu više temperature pomoću dovedene energije za pogon kompresora. Dizalice topline se najčešće koriste u kombinaciji sa električnim kompresorom.

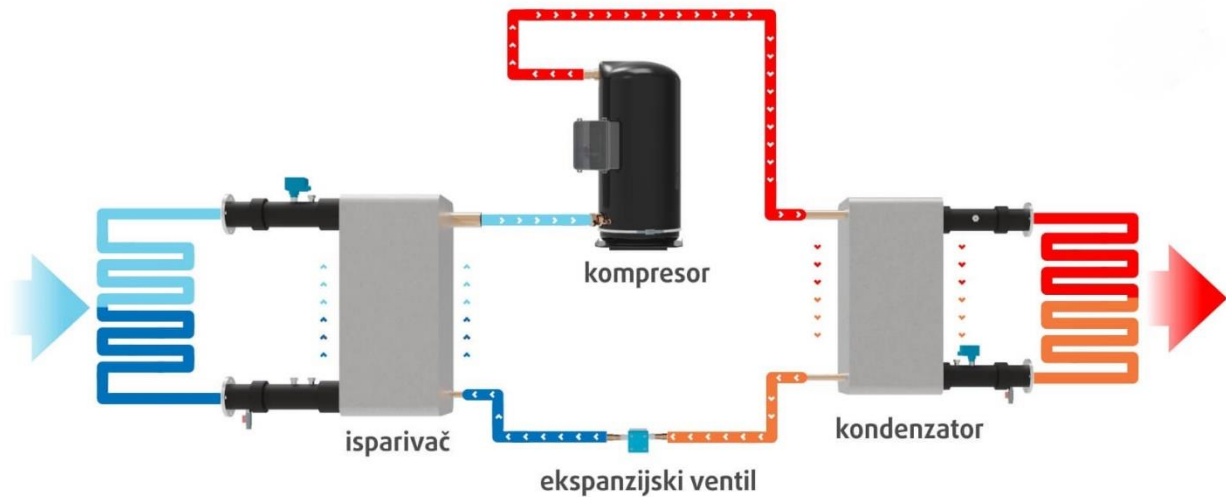
Prema tipu izvora odnosno ponora, dizalice topline se dijele na:

1. Zrak,
2. Voda,
3. Zemlja.

Dizalica topline radi u četiri karakteristične faze u kojoj sudjeluje radna tvar.

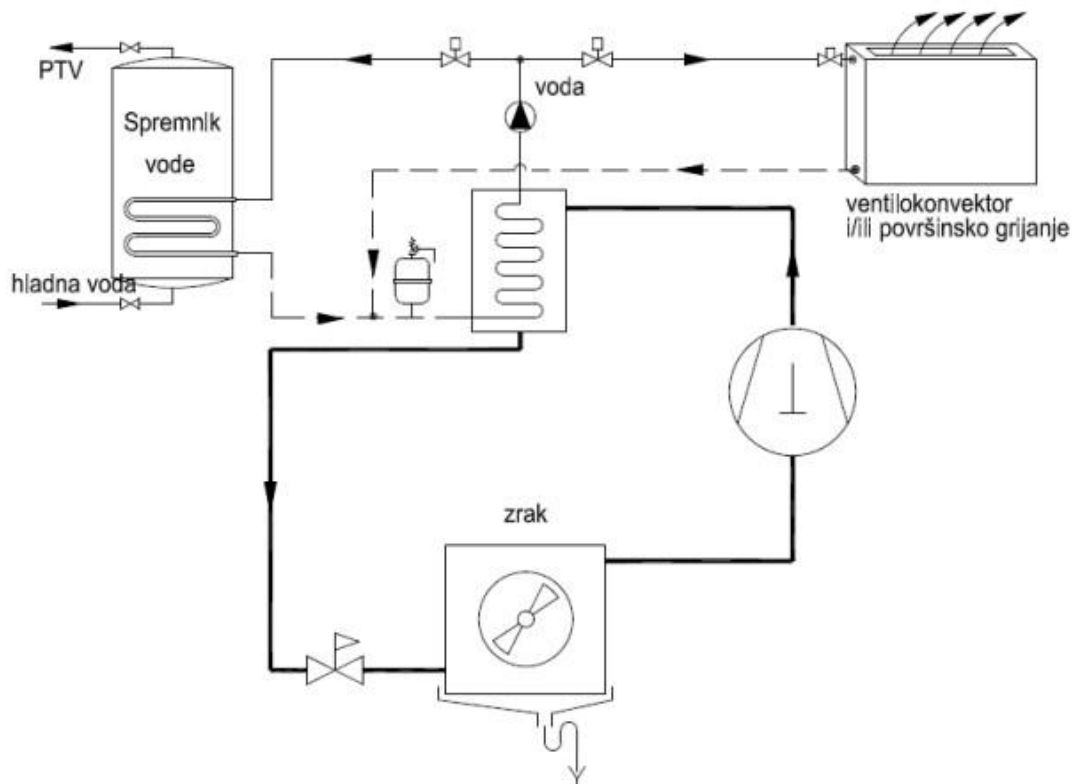
1. Isparavanje,
2. Kompresija,
3. Kondenzacija,
4. Ekspanzija.

Preokretanjem procesa može se dobiti i rashladni učin koji se koristi za hlađenje objekta.



Slika 3 Prikaz rada dizalice topline u režimu grijanja [19]

Na objektu koji je korišten pri izradi ovog rada primijenjen je sustav toplovodnog grijanja niskotemperaturnog režima 35/30 °C. Kao izvor toplinske energije korištena je dizalica topline zrak-voda.



Slika 4 Prikaz dizalice topline zrak – voda [19]

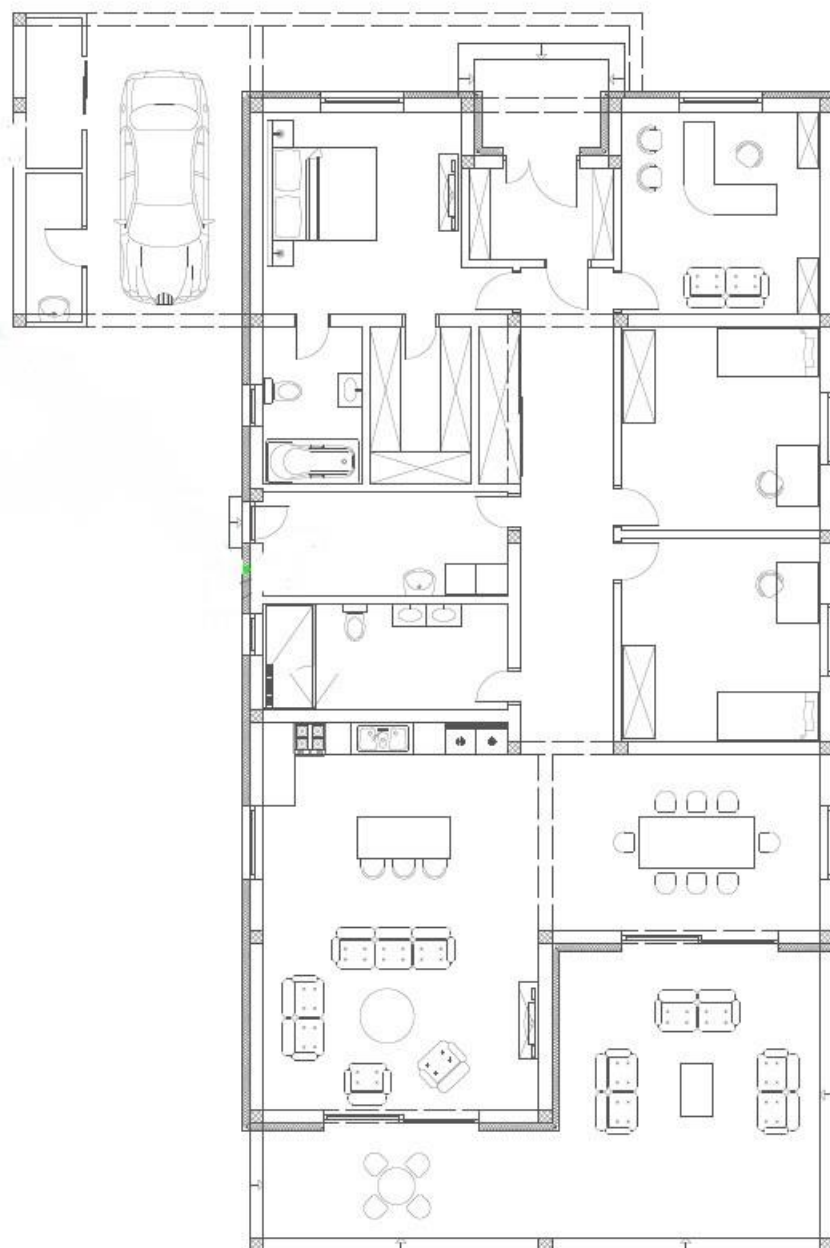
## **2.2. Potrošna topla voda**

Potrošna topla voda (PTV) je pitka voda zagrijana do maksimalno 90°C. Koristi se u kućanstvu za kuhanje, higijenu, čišćenje i ostale potrebe. Potrošnja potrošne tople vode individualna je za svaki objekt ovisno o navikama potrošača, broju stanovnika, danima u tjednu i drugim uvjetima. Sustav pripreme potrošne tople vode dijeli se na protočne sustave i akumulacijske sustave. Akumulacijski sustavi pripreme potrošne tople vode koriste se na mjestima gdje je veća potreba za PTV-om. Takva mjesta su bolnice, hoteli i stambene zgrade. PTV se akumulira u spremnike u kojima je prethodno pripremljen. Pomoću akumulacijskih sustava može se regulirati temperatura PTV-a te se lako pokrivaju vršna opterećenja. Neki od nedostataka su duže stajanje vode u spremniku i što takav sustav zahtjeva veće investicijske troškove. Moguća posljedica stajanja vode u spremniku je pojava bakterije legionele. Udisanje ove bakterije može biti smrtonosno. Taj problem se rješava zagrijavanjem vode na 60°C pri čemu legionela ugiba. U ovom radu potrebe za PTV-om pokrivat će dizalica topline preko akumulacijskog spremnika koji će sadržavati i električni grijač. Električni grijač će vodu jednom tjedno zagrijavati na 60°C u svrhu zaštite od pojave legionele.

### 3. METODA PRORAČUNA TOPLINSKE BILANCE KUĆE

#### 3.1. Opis kuće

Stambena kuća se nalazi u općini Čepin, u blizini grada Osijeka. Izgrađena je 2020. godine te zadovoljava kriterije za nZEB zgrade prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Bruto površina građevine je 208,84 m<sup>2</sup>, a korisna površina grijanog dijela zgrade je 172,38 m<sup>2</sup>. Sastoji se od jedne etaže sa ravnim krovom.



Slika 5 Tlocrt prizemlja [3]



**Slika 6 Bočna strana kuće [3]**



**Slika 7 Pročelje kuće [3]**





Slika 8 Stražnji pogled kuće [3]

Kuća se izvorno grije na plin, kao i potrošna topla voda. Sustav grijanja je podno grijanje.

#### ***Geometrijske karakteristike zgrade:***

Sljedeći podaci geometrijskih karakteristika zgrade korišteni su iz dobivenog energetskog certifikata proračunate kuće.

**Tablica 1 Karakteristike vanjskih zidova kuće**

VANJSKI ZIDOVI		
I	61,56	m <sup>2</sup>
S	31,31	m <sup>2</sup>
Z	61,96	m <sup>2</sup>
J	25,7	m <sup>2</sup>
ukupno	180,53	m <sup>2</sup>
Materijali:	d [m]	λ [W/mK]
3.03 Vapneno-cementna žbuka	0,02	1
Eurotherm 25 UT	0,25	0,22
Polimerno-cementno ljepilo	0,005	0,9
7.02 Ekspandirani polistiren	0,15	0,037
Polimerno-cementno ljepilo	0,008	0,9
3.16 Silikatna žbuka	0,003	0,9

**Tablica 2 Karakteristike podova kuće**

PODOVI	208,84	m <sup>2</sup>
Materijali:	d [m]	$\lambda$ [W/mK]
4.03 Keramičke pločice	0,01	1,3
Polimerno-cementno ljepilo	0,01	0,9
3.19 Cementni estrih	0,06	1,6
Poliesterska folija	0,002	0,19
7.02 Ekspandirani polistiren	0,1	0,037
Britumenska ljepenka	0,01	0,23
2.01 Armirani beton	0,12	2,6

**Tablica 3 Karakteristike krova kuće**

KROV	208,84	m <sup>2</sup>
Materijali:	d [m]	$\lambda$ [W/mK]
3.03 Vapneno-cementna žbuka	0,02	1
1.11 Šuplji blok od gline	0,16	0,39
2.01 Armirani beton	0,05	2,6
HOMESEAL LDS 200 parna brana	0,002	0,5
7.02 Ekspandirani polistiren	0,3	0,037
Poliesterska folija	0,0032	0,19
5.05 Polim. Hidro. Traka na PVC-P	0,002	0,14

**Tablica 4 Karakteristike otvora kuće**

OTVORI KUĆE			
Otvor	k [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	
PVC 3x staklo	1	5,04	
	1	4,64	
	1	3,84	
	1	12,06	
PVC ulazna vrata	1	3,15	
Orijentacija	Nagib plohe [°]	Fsh,ob	ggl
I	90	1	0,5
Z	90	1	0,5
S	90	1	0,5
J	90	1	0,5

**Tablica 5 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata kuće**

	Koeficijent prolaza topline k [W/m <sup>2</sup> K]
Vanjski zidovi	0,19
Podovi	0,35
Krov	0,12

### 3.2. Pregled formula norme HRN EN ISO 13790

Toplinski gubici i toplinski dobici sustava grijanja i hlađenja proračunati su preko norme HRN EN ISO 13790. U ovom poglavlju će biti prikazane osnovne formule norme. Proračun je izveden na satnoj razini.

#### **Ukupni toplinski gubici:**

$$\Phi_{GR} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} \quad [W] \quad (1)$$

$\Phi_{GR}$  - projektno toplinsko opterećenje [W]

$\Phi_{T,i}$  - transmisijski toplinski gubici [W]

$\Phi_{V,i}$  - ventilacijski toplinski gubici [W]

#### **Transmisijski toplinski gubici:**

$$\Phi_{T,i} = (H_D + H_U + H_G + H_A) * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (2)$$

$H_D$  – koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_U$  – koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora kroz negrijane prostore prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_G$  – koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_A$  – koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature [W/K]

$\theta_{int,i}$  – unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C]

$\theta_e$  – vanjska projektna temperatura [°C]

U ovom radu pretpostavljeno je da nema negrijanih prostorija te da su sve grijane na istu temperaturu. Time su zanemareni koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora kroz negrijane prostore prema vanjskom okolišu i koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature.

#### **Koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu:**

$$H_D = \sum_k A_k (U_k + \Delta U_{TM}) \quad [W/K] \quad (3)$$

$A_k$  – površina plohe kroz koju prolazi toplina [m<sup>2</sup>]

$U_k$  – koeficijent prolaza topline građevnog elementa [W/m<sup>2</sup>K]

$\Delta U_{TM}$  – toplinski most projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova  
[W/m<sup>2</sup>K] = 0.05 W/m<sup>2</sup>K

**Koeficijent transmisivskih gubitaka prema tlu:**

$$H_{T,ig} = f_{g1} * f_{g2} * (\sum_k A_k * U_{Equiv,k}) * G_W \quad [W/K] \quad (4)$$

$f_{g1}$  – korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature = 1.45

$f_{g2}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature

$U_{equiv,k}$  – ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda [W/m<sup>2</sup>K]

$G_W$  – korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode, za udaljenosti poda do vode <1 m uzeti =1.15, inače =1.00

**Ventilacijski toplinski gubici:**

$$\Phi_{V,i} = H_V * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (5)$$

$H_V$  – koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka [W/K]

**Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka:**

$$H_V = V_i * \rho_z * c_{pz} \quad [W/K] \quad (6)$$

$V_i$  – protok zraka [m<sup>3</sup>/h]

**Protok zraka bez ventilacijskog sustava:**

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) \quad [m^3/h] \quad (7)$$

$V_{inf,i}$  - maksimalni protok zraka u prostoriji uslijed infiltracije kroz zazoru [m<sup>3</sup>/h]

$$V_{inf,i} = 2 * V_i * n_{50} * e_i * \varepsilon_i \quad [m^3/h] \quad (8)$$

$n_{50}$  – broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka od 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša

$e_i$  – koeficijent zaštićenosti koji uzima u obzir utjecaj vjetra/zaštićenost zgrade

$\varepsilon_i$  – korekcijski faktor za visinu koji uzima u obzir različit odnos tlakova s povećanjem visine iznad okolnog tla

$V_{min,i}$  - minimalni higijenski protok zraka [m<sup>3</sup>/h]

$$V_{min,i} = n_{min} * V_i \quad [m^3/h] \quad (9)$$

$n_{min}$  – minimalni broj izmjena zraka [h<sup>-1</sup>]

$V_i$  - volumen prostorije [m<sup>3</sup>]

#### **Ukupni toplinski dobitci:**

$$\Phi_H = \sum \Phi_{int} + \sum \Phi_{sol} \quad [W] \quad (10)$$

$\Phi_H$  – ukupni toplinski dobitci objekta [W]

$\Phi_{int}$  – unutarjni toplinski dobitci [W]

$\Phi_{sol}$  – solarni toplinski dobitci [W]

#### **Unutarjni toplinski dobitci:**

$$\Phi_{int} = \frac{q_{spec} * A_k}{1000} \quad [W] \quad (11)$$

$q_{spec}$  – specifični unutarjni dobitak po m<sup>2</sup>, preporučena vrijednost = 5 W/m<sup>2</sup>

$A_k$  – korisna površina [m<sup>2</sup>]

#### **Solarni toplinski dobitci:**

$$\Phi_{sol} = F_{shob} * S_s * A_{sol} \quad [W] \quad (12)$$

$F_{shob}$  – faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja

$S_s$  - srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela površina  
[W/m<sup>2</sup>]

$A_{sol}$  – ukupna dozračena površina građevnih dijelova [m<sup>2</sup>]

$$A_{sol} = A_{solk} + A_{solc} \quad [m^2] \quad (13)$$

$A_{solc}$  – dozračena površina neprozirnog elementa [m<sup>2</sup>]

$$A_{solc} = \alpha_{sc} * R_{se} * U_c * A_c \quad [m^2] \quad (14)$$

$\alpha_{sc}$  – bezdimenzijski apsorpcijski koeficijent zida/krova

$R_{se}$  – plošni toplinski otpor vanjske površine zida, preporučena vrijednost = 0.04 m<sup>2</sup>K/W

$U_c$  – koeficijent prolaska topline zida/krova [W/m<sup>2</sup>K]

$A_c$  – projicirana površina zida [m<sup>2</sup>]

$A_{solk}$  – dozračena površina prozirnog elementa [m<sup>2</sup>]

Za insolaciju < 300 W/m<sup>2</sup> koristi se sljedeća formula:

$$A_{solk} = g_{gl} * (1 - F_F) * A_{pr} \quad [m^2] \quad (15)$$

$g_{gl}$  - ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno

$F_F$  – udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora, preporučena vrijednost 0.2 – 0.3

$A_{pr}$  – ukupna površina prozora [m<sup>2</sup>]

Za insolaciju > 300 W/m<sup>2</sup> koristi se sljedeća formula:

$$A_{solk} = g_{gl+sh} * (1 - F_F) * A_{pr} \quad [m^2] \quad (16)$$

$g_{gl+sh}$  - ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom

### 3.2.1. Pregled formula norme EN 12831 – 3: 2017

Potrebe za zagrijavanje PTV-a zadovoljavat će se preko dizalice topline. Formule korištene za proračun zahtjeva za toplinskog energijom tijekom zagrijavanja PTV-a te njegovog spremnika su iz norme EN 12831 – 3 : 2017.

Potrebni toplinski učin za zagrijavanje potrošne tople vode u svakom satu:

$$\Phi_{PTV} = V_s * \rho_w * c_w * (\vartheta_s - \vartheta_{hw}) \text{ [W]} \quad (17)$$

$\Phi_{PTV}$  – potrebni toplinski učin za zagrijavanje potrošne tople vode [W]

$V_s$  – volumen spremnika [m<sup>3</sup>]

$\rho_w$  - gustoća vode [kg/m<sup>3</sup>]

$c_w$  – specifični toplinski kapacitet vode [J/kgK]

$\vartheta_s$  - temperatura spremnika [°C]

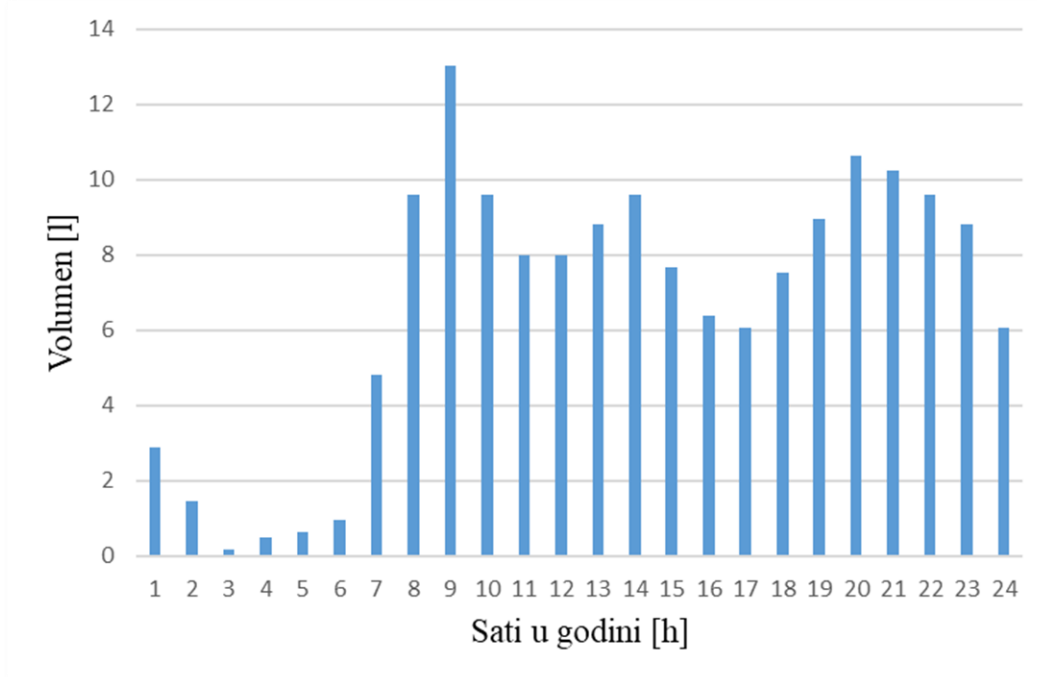
$\vartheta_{hw}$  – temperatura hladne vode [°C]

$$V_s = \frac{V_p * (\vartheta_{tw} - \vartheta_{hw})}{\vartheta_s - \vartheta_{hw}} \text{ [m}^3\text{]} \quad (18)$$

$V_p$  – dnevna potreba PTV-a po osobi, preporučena vrijednost = 40 l/osobi dnevno

$\vartheta_{tw}$  - temperatura tople vode [°C]

Proračun utroška volumena spremnika za PTV kroz dan zasniva se na podacima tipske dnevne krivulje dobivene iz norme EN 12831 – 3 : 2017. Prikaz dnevne tipske krivulje utroška volumena PTV-a prikazan je na slici 9. Dobiveni podaci volumena prilagođeni su veličini spremnika dobivenog proračunom PTV-a u ovom radu čiji će podatak biti prikazan u daljnjim poglavljima rada.



**Slika 9** Tipska satna potrošnja PTV-a

Satne vrijednosti temperatura i insolacija korištenih u navedenom proračunu dobivene su iz programa „Renewables.ninja“.



## 4. REZULTATI PRORAČUNA TOPLINSKE BILANCE KUĆE I UTROŠKA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA POGON DIZALICE TOPLINE

U ovom poglavlju prikazani su rezultati proračuna navedenog u prethodnom poglavlju na temelju kojih je odabrana dizalica topline.

### 4.1. Proračun potreba za toplinskom energijom

#### 4.1.1. Koeficijenti toplinskih gubitaka

Proračunom su dobiveni sljedeći koeficijenti transmisijskih i ventilacijskih gubitaka.

**Tablica 6 Koeficijenti transmisijskih gubitaka građevnih elemenata kuće**

	KOEFICIJENTI TRANSMISIJSKIH GUBITAKA [W/K]
Vanjski zidovi	43.56
Pod	84.39
Krov	34.75
Prozori	25.58
Vrata	3.15

**Tablica 7 Koeficijent ventilacijskih gubitaka**

KOEFICIJENT VENTILACIJSKIH GUBITAKA [W/K]
85.72

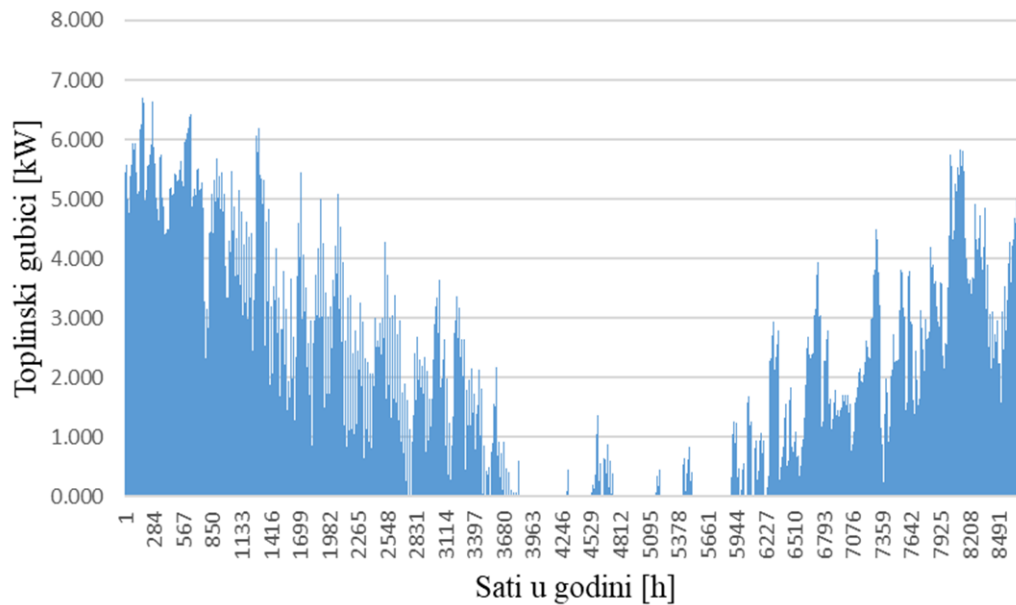
#### 4.1.2. Toplinski gubici i dobici grijanja i hlađenja

Satni toplinski gubici su izračunati za projektnu unutarnju temperaturu od 22°C za grijanje i 20°C za hlađenje te 45°C za PTV.

Satni toplinski gubici u režimu grijanja izračunati su sljedećom formulom iz norme HRN EN 13790:

$$\Phi_{gr} = \Phi_{GR} - \Phi_{sol} - \Phi_{int} \quad [W] \quad (19)$$

$\Phi_{gr}$  – toplinski gubici [W]



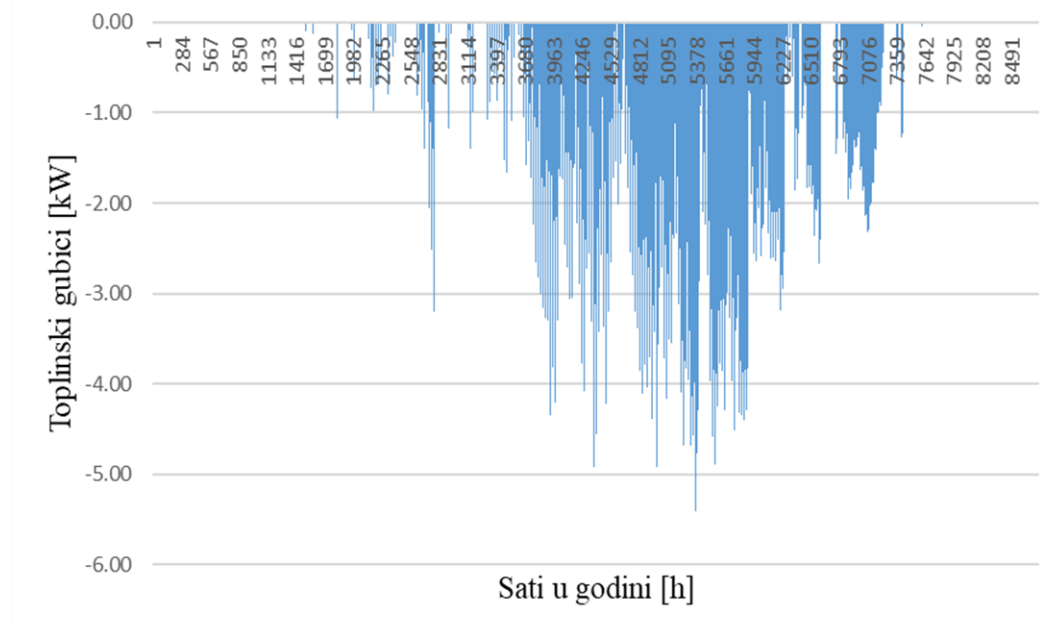
**Slika 10 Toplinski gubici u režimu grijanja**

U daljnjem proračunu zanemareni su toplinski gubici tijekom ljetnog perioda kada će dizalica topline raditi u modelu hlađenja i zagrijavanja PTV-a. Također, zbog jednostavnosti proračuna zanemareni su gubici sustava zbog čega se u daljnjim proračunima za grijanje toplinski učin i toplinski gubici grijanja poklapaju. Vidljivo je da su toplinski gubici najznačajniji tijekom zimskih perioda kad je vanjska temperatura najniža.

Satni toplinski gubici u režimu hlađenja izračunati su sljedećom formulom iz norme HRN EN 13790:

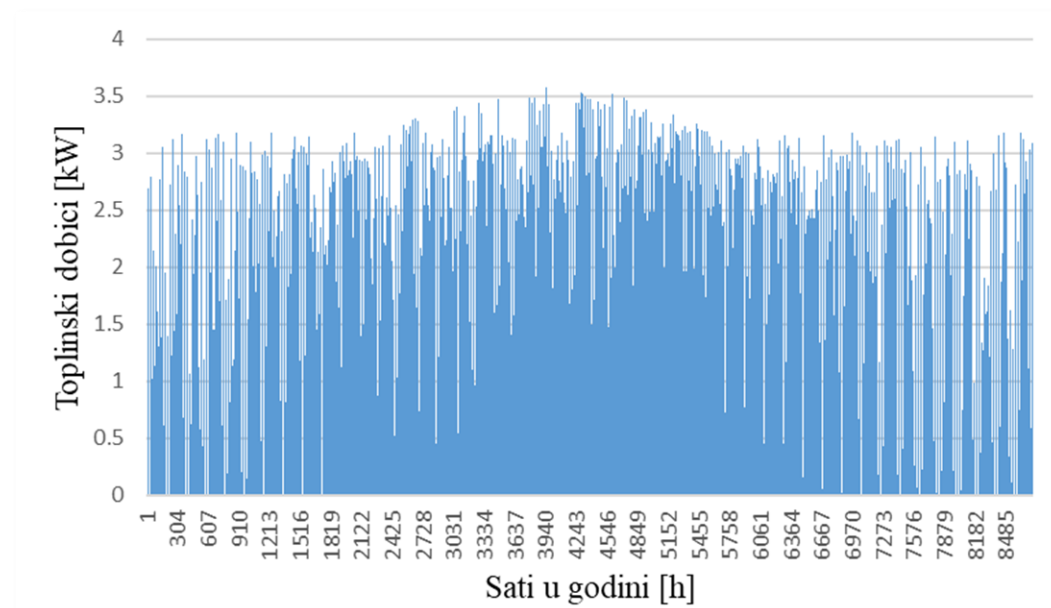
$$\Phi_{hl} = \Phi_{GR} + \Phi_{sol} + \Phi_{int} \quad [W] \quad (20)$$

$\Phi_{hl}$  – toplinski gubici [W]



**Slika 11 Toplinski gubici u režimu hlađenja**

U daljnjem proračunu zanemareni su toplinski gubici tijekom zime kada će dizalica topline raditi u režimu grijanja i zagrijavanja PTV-a. Također, zbog jednostavnosti proračuna zanemareni su gubici sustava zbog čega se u daljnjim proračunima za hlađenje rashladni učin i toplinski gubici u režimu hlađenja poklapaju. Vidljivo je da su toplinski gubici najznačajniji tijekom ljetnih perioda kad je vanjska temperatura najviša.



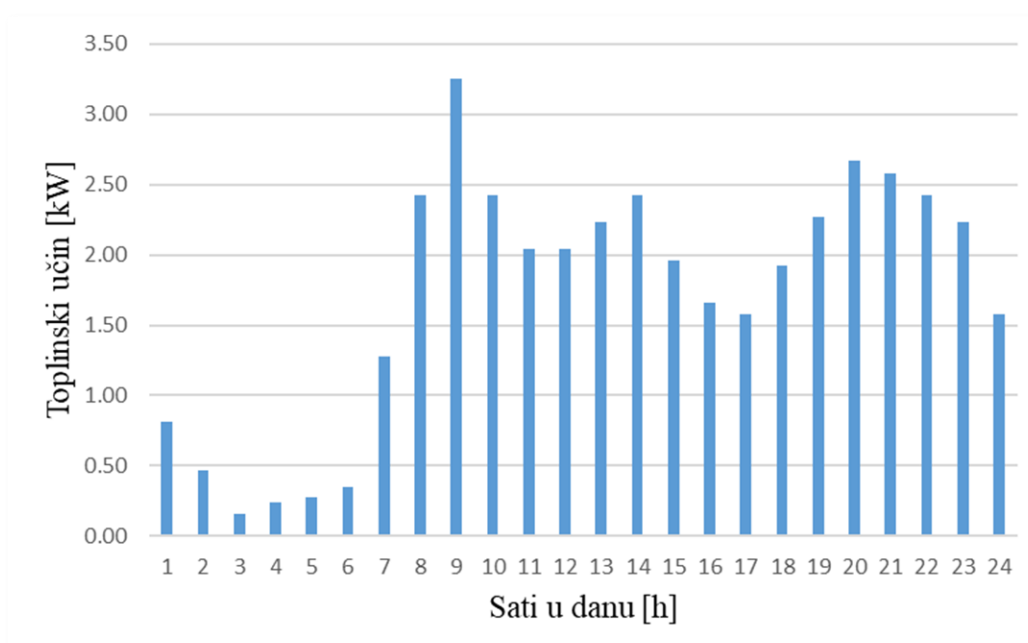
**Slika 12 Solarni toplinski dobici**

Unutarnji toplinski dobici iznose 0.861 kW u svakom satu u godini. Unutarnji toplinski dobici su konstantni i ovise o broju ljudi u kućanstvu, broju kućanskih aparata i njihovim karakteristikama i rasvjetnim tijelima.

#### 4.1.3. Potrebe za potrošnom toplom vodom

Zahtjevi PTV-a ovise o tipskoj dnevnoj krivulji utroška volumena PTV-a prikazanoj u prijašnjim poglavljima. Jednom tjedno električni grijač zagrijava cijeli spremnik PTV-a sa 45 na 60°C u svrhu zaštite od legionele.

Potrebni toplinski učin za zagrijavanje PTV-a je periodičan zbog uvedene pretpostavke i pojednostavljenja da se svaki dan PTV troši u jednakoj mjeri i na isti način.



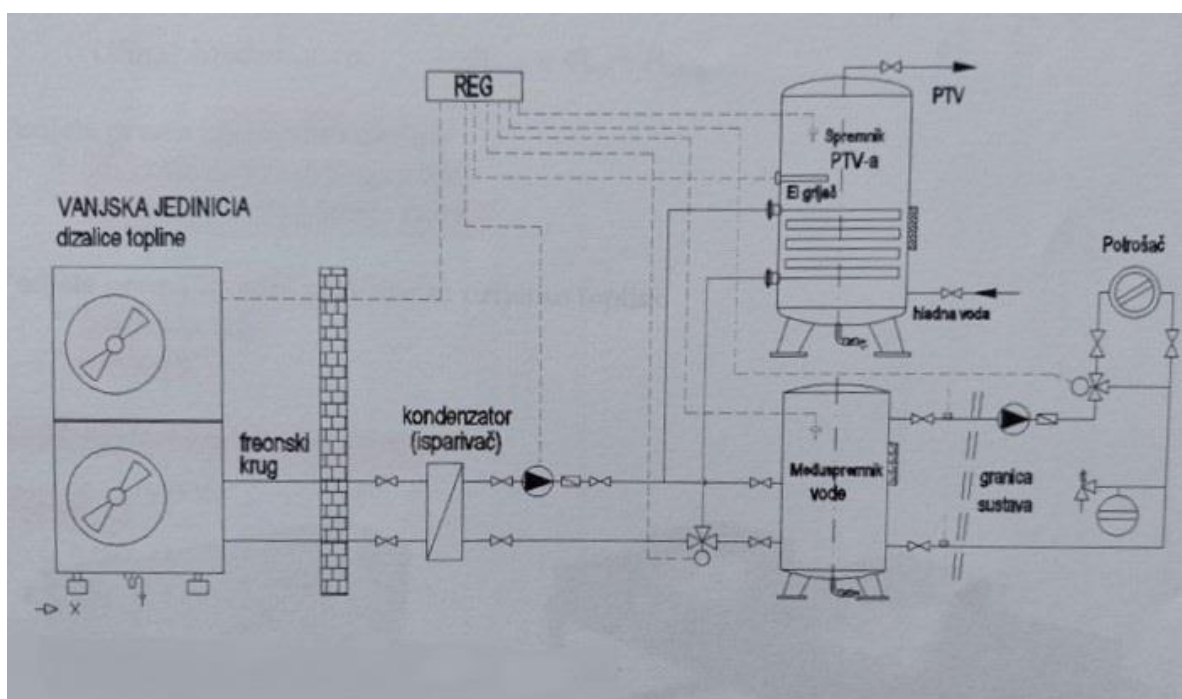
Slika 13 Potrebni dnevni toplinski učin za zagrijavanje PTV-a

Prema navedenim rezultatima dobiven je potreban godišnji toplinski učin od 12354,95 kWh odnosno 59,16 kWh/m<sup>2</sup>, godišnji rashladni učin 9476,47 kWh odnosno 45,37 kWh/m<sup>2</sup> te je godišnji toplinski učin potreban za zagrijavanje PTV-a 15073,44 kWh.

#### 4.1.4. Odabir dizalice topline

Satni proračun toplinskih gubitaka i dobitaka bio je nužan zbog pregleda potrošnje električne energije u svakom satu, no za dimenzioniranje dizalice topline potrebno je zadovoljiti uvjet po

normi HRN EN 12831 i izračunati potrebni toplinski učin za vanjsku projektanu temperaturu. Vanjska projektana temperatura za Osijek i okolice je  $-16.1^{\circ}\text{C}$ . Potrebni toplinski učin za navedenu projektanu temperaturu je 8.52 kW. Na temelju toga odabrana je dizalica topline ecoAIR+ 3-12 PRO i električni grijač od 3 kW. Ova dizalica topline nudi toplinski učin od 3-11 kW te rashladni učin od 3-10 kW. Maksimalni toplinski učin odabrane dizalice topline pri temperaturi od  $-15^{\circ}\text{C}$  je 6.5 kW te uz električni grijač od 3 kW dizalica topline je u mogućnosti pokriti toplinski učin u slučaju projektne vanjske temperature.



Slika 14 Shema sustava odabrane dizalice topline

Odabrana dizalica topline sastoji od vanjske jedinice, kondenzatora/isparivača, međuspremnika vode u kojem se zagrijava voda koja se koristi za grijanje prostorija, spremnika PTV-a u kojem se priprema potrošna topla voda te električnog grijača unutar spremnika PTV-a. Dodatno, uz dizalicu topline odabran je i električni grijač za sigurnost opskrbljivanja potrebnog toplinskog učina.

#### 4.2. Metoda proračuna utroška električne energije za pogon dizalice topline

Prilikom izračuna potrošnje električne energije dizalicom topline u modelu grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a potrebni su podaci o COP-u (Coefficient of Performance) i EER-u (Energy Efficiency Ratio). COP i EER su pokazatelji omjera učina grijanja ili hlađenja kojeg osigurava

jedinica u odnosu na količinu električne energije potrebne za njihovo generiranje. Toplinski/rashladni učin i COP/EER su povezani sa satnim potrebama zgrade, temperaturama toplinskih spremnika i rezultirajućim parcijalnim opterećenjem..

**Mapa radnih karakteristika dizalice topline u režimu grijanja prostora:**

U svrhu što točnijih rezultata COP-a u ovisnosti o parcijalnom opterećenju i temperaturi vanjskog zraka izvršena je interpolacija u svakom satu. Dizalica topline ima svoj maksimalni toplinski učin ovisan o vanjskoj temperaturi zraka. Pri nižim vanjskim temperaturama zraka maksimalni toplinski učin je manji, sukladno tome je pri visokim vanjskim temperaturama rashladni učin manji. Formule koje opisuju te ovisnosti dobivene su iz dijagrama proizvođača odabrane dizalice topline. Dobivene su formule ovisnosti COP-a o parcijalnom opterećenju i temperaturi vanjskog zraka za nekoliko referentnih temperatura. Preko dobivenih formula izračunati su COP-ovi za prvu nižu i višu temperaturu naspram stvarne vanjske temperature zraka u nekom satu. Preko dobivenih rezultata i poznatih stvarnih temperatura izvršena je interpolacija čime se dobije precizniji rezultat COP-a dizalice topline u svakom satu u godini. Time su dobiveni precizniji rezultati potrošnje električne energije dizalice topline u režimu grijanja i hlađenja u svakom satu.

Ovisnost faktora grijanja (COP-a) o parcijalnom opterećenju i temperaturi vanjskog zraka opisana je sljedećim jednadžbama:

1. Ovisnost COP-a i parcijalnog opterećenja za A-15W35

$$COP = -8 * 10^{-7} * n^3 - 2 * 10^{-6} * n^2 + 0.0086 * n + 2.4633 \quad (21)$$

$n$  – parcijalno opterećenje [%]

$COP$  – faktor grijanja

2. Ovisnost COP-a i parcijalnog opterećenja za A-7W35

$$COP = -7 * 10^{-7} * n^3 + 6 * 10^{-6} * n^2 + 0.0016 * n + 3.489 \quad (22)$$

3. Ovisnost COP-a i parcijalnog opterećenja za A2W35

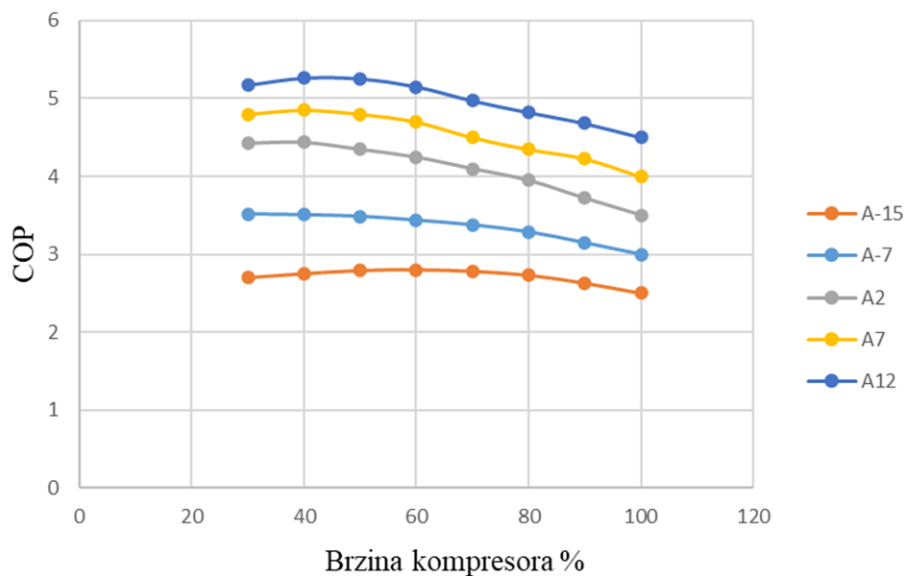
$$COP = 9 * 10^{-7} * n^3 - 0.0003 * n^2 + 0.0195 * n + 4.1388 \quad (23)$$

4. Ovisnost COP-a i parcijalnog opterećenja za A7W35

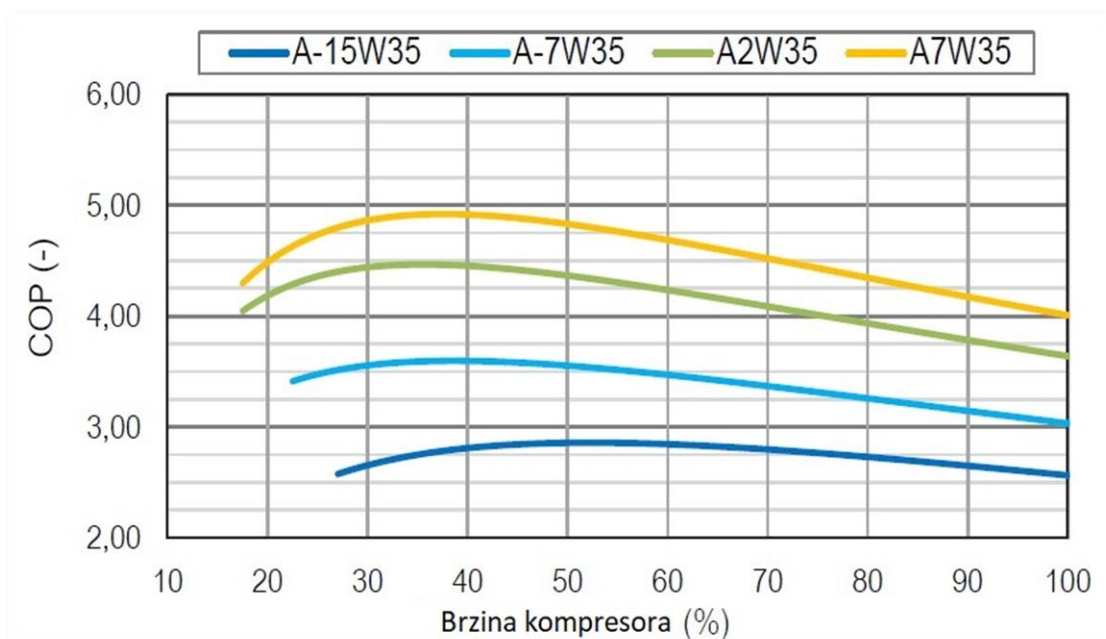
$$COP = 3 * 10^{-6} * n^3 - 0.0008 * n^2 + 0.0463 * n + 4.0348 \quad (24)$$

### 5. Ovisnost COP-a i parcijalnog opterećenja za A12W35

$$COP = 4 * 10^{-6} * n^3 - 0.0011 * n^2 + 0.066 * n + 4.0224 \quad (25)$$



**Slika 15** Ovisnost faktora grijanja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka



**Slika 16** Ovisnost faktora grijanja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka dobiveno od proizvođača odabrane dizalice topline [24]

Na slikama 15 i 16 oznaka „A“ predstavlja temperaturu zraka, a oznaka W predstavlja temperaturu vode.

### **Mapa radnih karakteristika dizalice topline u režimu hlađenja prostora**

Ovisnost faktora hlađenja (EER-a) o parcijalnom opterećenju i temperaturi vanjskog zraka opisana je sljedećim jednadžbama:

1. Ovisnost EER-a i parcijalnog opterećenja za A25W7

$$EER = 3 * 10^{-5} * n^3 - 0.0052 * n^2 + 0.2878 * n + 0.2121 \quad (26)$$

n – parcijalno opterećenje [%]

EER – faktor hlađenja

2. Ovisnost toplinskog učina i parcijalnog opterećenja za A30W7

$$EER = 2 * 10^{-5} * n^3 + 0.004 * n^2 + 0.2158 * n + 0.6014 \quad (27)$$

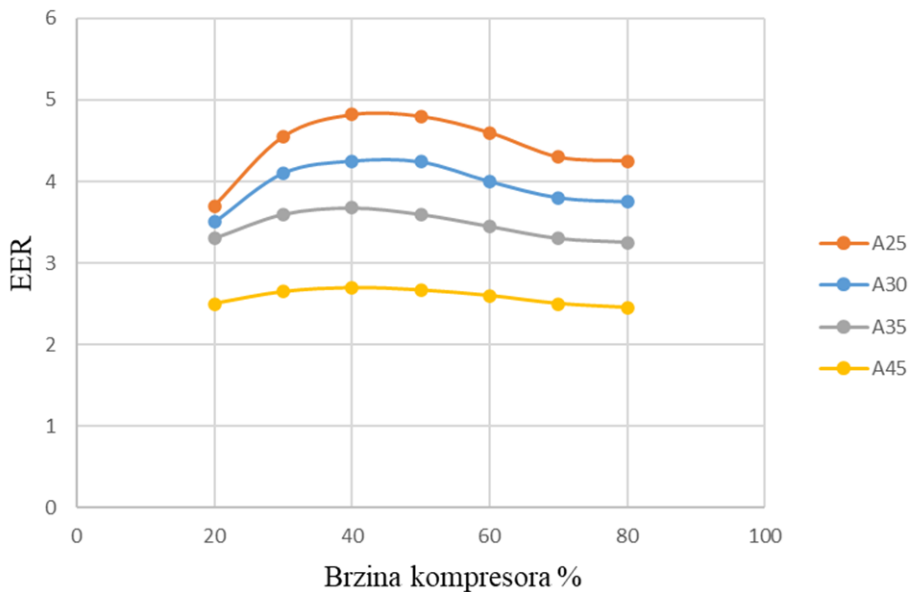
3. Ovisnost EER-a i parcijalnog opterećenja za A35W7

$$EER = 1 * 10^{-5} * n^3 - 0.0024 * n^2 + 0.1234 * n + 1.6693 \quad (28)$$

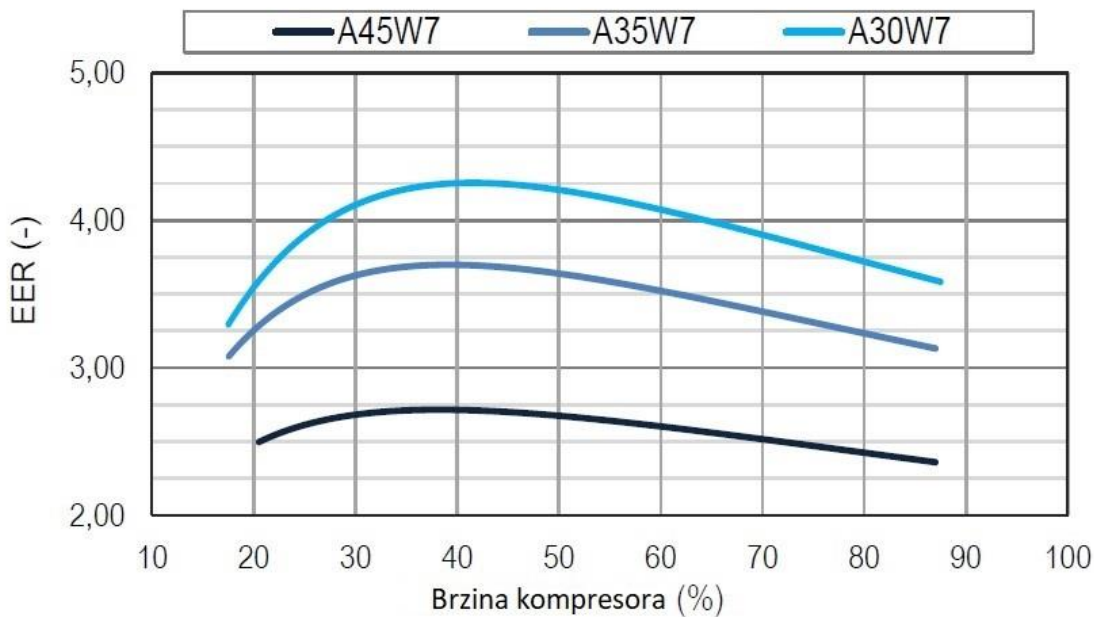
4. Ovisnost EER-a i parcijalnog opterećenja za A45W7

$$EER = 6 * 10^{-6} * n^3 - 0.0011 * n^2 + 0.0576 * n + 1.7221 \quad (29)$$





Slika 17 Ovisnost faktora hlađenja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka



Slika 18 Ovisnost faktora hlađenja dizalice topline s obzirom na parcijalno opterećenje i temperaturu vanjskog zraka dobiveno od proizvođača odabrane dizalice topline [24]

Na slikama 17 i 18 oznaka „A“ predstavlja temperaturu zraka, a oznaka W predstavlja temperaturu vode.

Nakon dobivenih COP-ova i EER-ova, utrošak električne energije dizalice topline računa se sljedećom formulom za svaki proračunski sat:

$$E_{elGR} = \frac{\Phi_{GR}}{COP} * t \quad [\text{Wh}] \quad (30)$$

t – vrijeme [h] =1h

$E_{elGR}$  – električna energija grijanja [Wh]

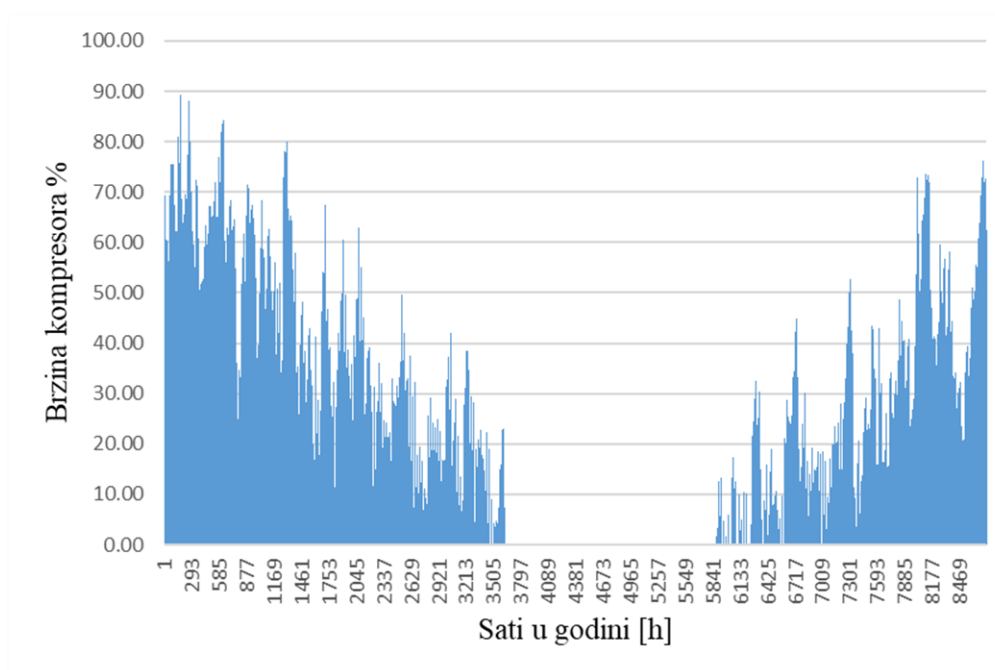
$$E_{elHL} = \frac{\Phi_{HL}}{EER} * t \quad [\text{Wh}] \quad (31)$$

$E_{elHL}$  – električna energija hlađenja [Wh]

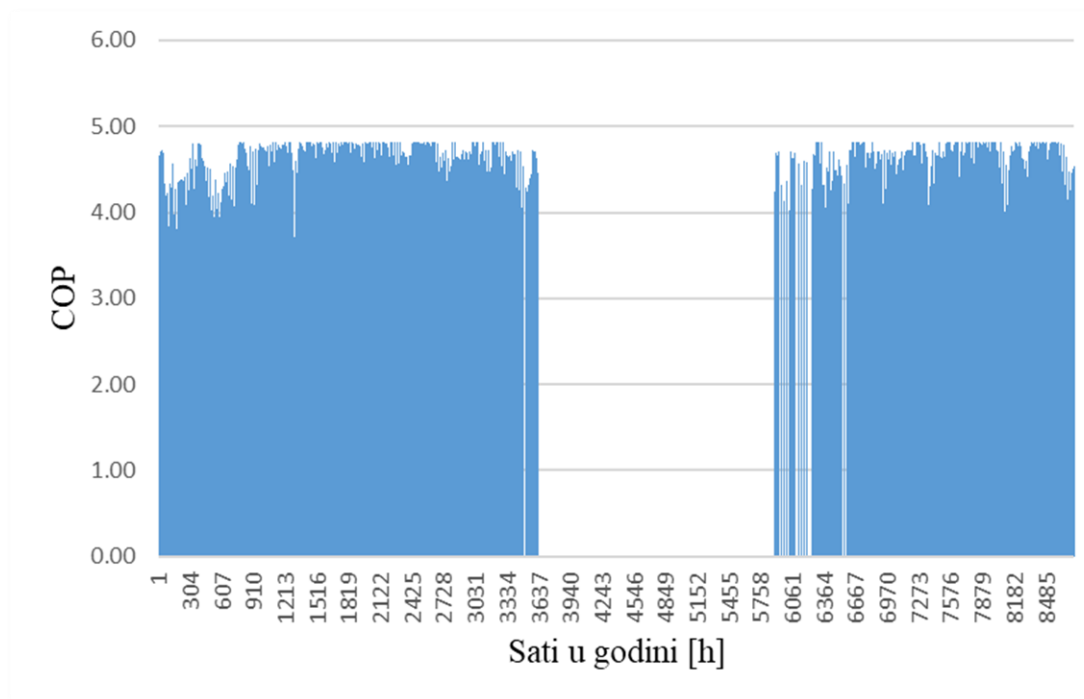
$$E_{elPTV} = \frac{\Phi_{PTV}}{COP} * t \quad [\text{Wh}] \quad (32)$$

$E_{elPTV}$  – električna energija zagrijavanja PTV-a [Wh]

U nastavku su prikazani rezultati dobiveni prethodno navedenim proračunima. Potrošnja električne energije u svakom satu u godini bitan je faktor koji se koristi u daljnjim proračunima i ekonomskoj analizi odabranih scenarija. Potrošnja električne energije ovisi o COP-u odabrane dizalice topline koji ovisi o parcijalnom opterećenju i vanjskoj temperaturi zraka.



**Slika 19** Parcijalno opterećenje dizalice topline u režimu grijanja



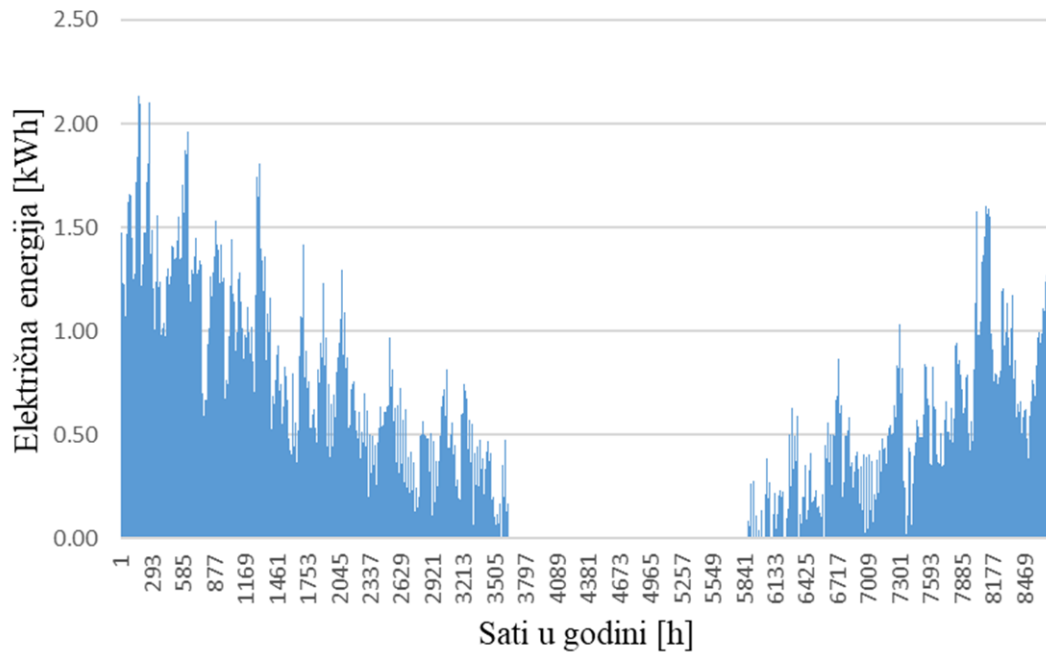
**Slika 20 Vrijednosti COP-a dizalice topline u režimu grijanja**

Vidljivo je je parcijalno opterećenje odabrane dizalice topline maksimalno u zimskom periodu i visoko u jesenskom periodu, dok u proljetnom periodu dolazi na vrijednosti ispod 20%.

U slučajevima parcijalnog opterećenja manjeg od 20% i pojave cikličkog rada uvedena je formula za korekciju nominalne vrijednosti COP-a.

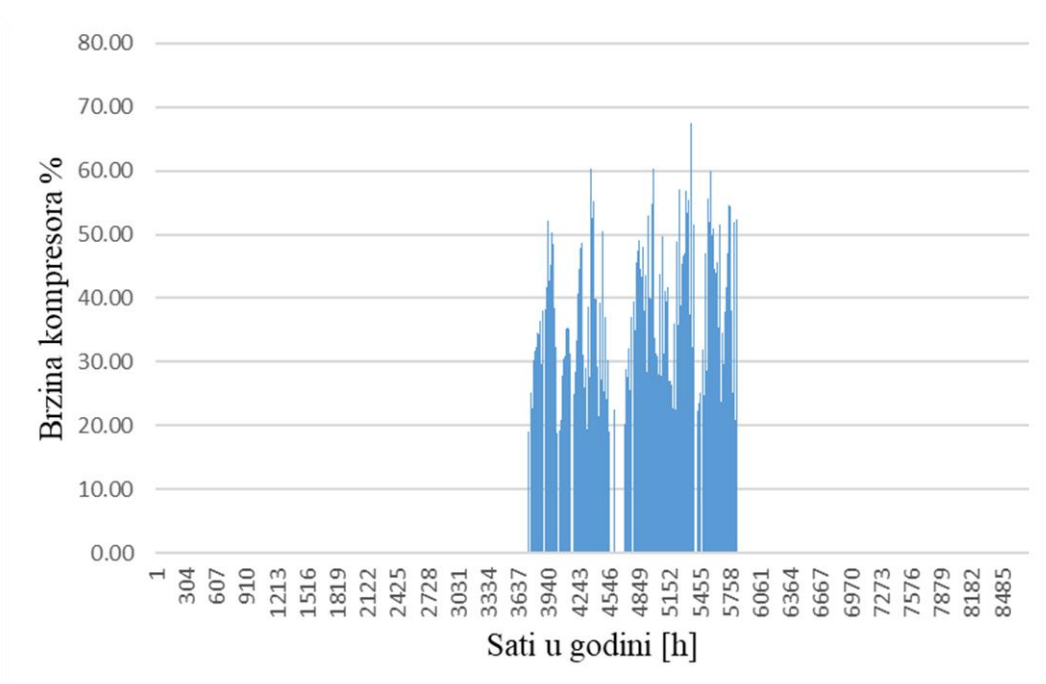
$$COP_{DT} = COP_i * \frac{\frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}}{0.9 * \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} - 0.1} \quad (33)$$

$\Phi_{max}$  – maksimalni toplinski učin dizalice topline za određenu temperaturu [W]



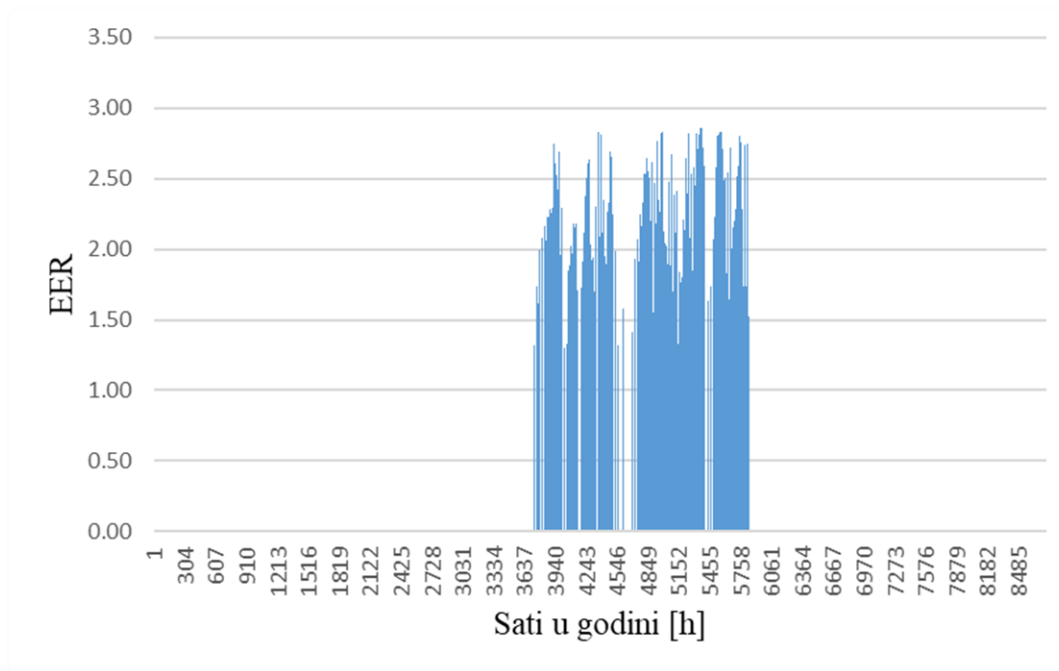
**Slika 21** Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu grijanja

Na temelju rezultata parcijalnog opterećenja očekivan je rezultat u kojem je najveća potrošnja električne energije u zimskom periodu. Ukupna potrebna godišnja električna energija za rad dizalice topline u režimu grijanja iznosi 2870,62 kWh.

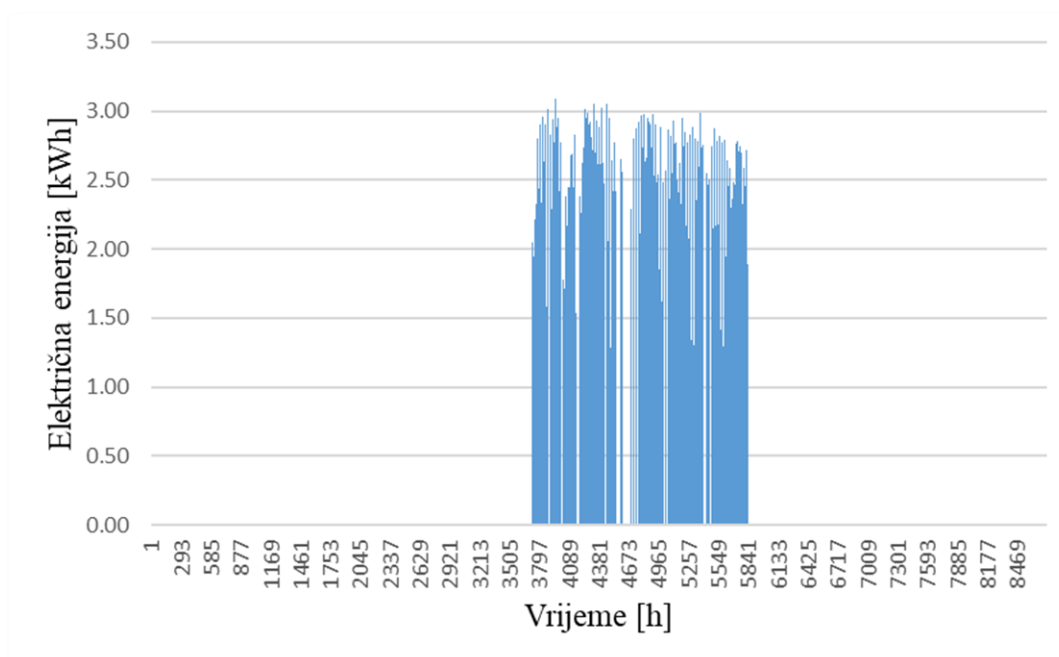


**Slika 22** Parcijalno opterećenje dizalice topline u režimu hlađenja

Vidljivo je da u jednom maksimalnom opterećenju dizalice topline u režimu hlađenja, parcijalno opterećenje prelazi 100%, odnosno dizalica topline ne može zadovoljiti nametnute zahtjeve. U tom satu sustav hlađenja s dizalicom topline ne može osigurati projektnu unutarnju temperaturu u režimu hlađenja.

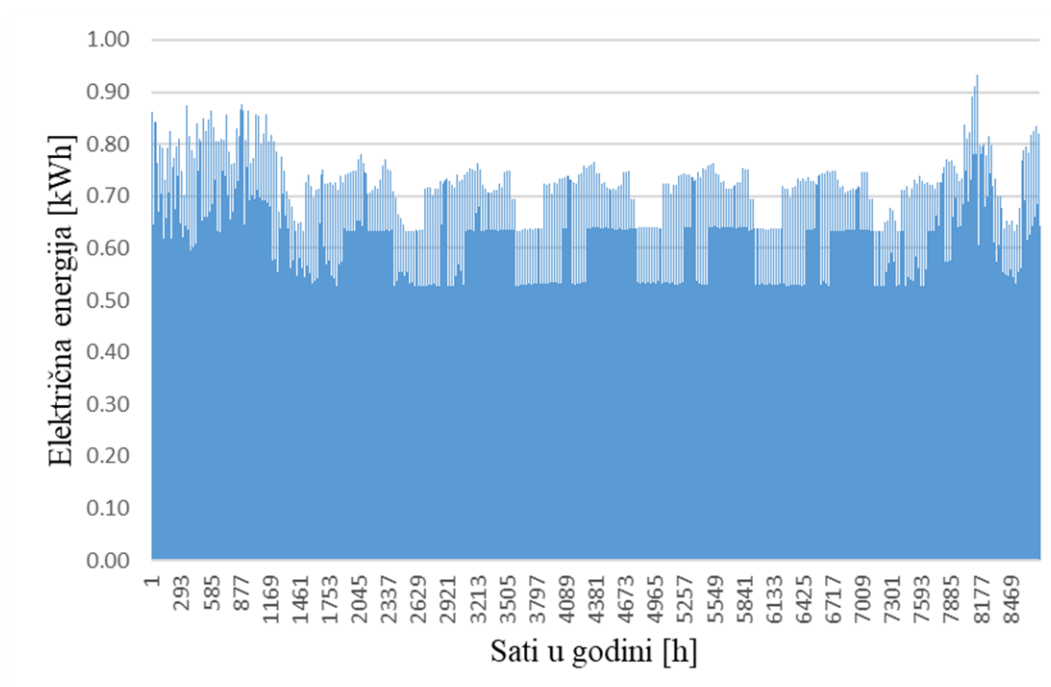


**Slika 23** Vrijednosti EER-a dizalice topline u režimu hlađenja



**Slika 24** Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu hlađenja

Godišnja potrebna količina električne energije dizalice topline u režimu hlađenja iznosi 2073,23 kWh.



**Slika 25** Utrošak električne energije dizalice topline i električnog grijača za zagrijavanje PTV-a  
Godišnja potrebna količina električne energije dizalice topline za zagrijavanje PTV-a iznosi 3061,75 kWh.

Očekivano je da će se najveća količina električne energije trošiti za zagrijavanje PTV-a zbog njegove stalne potrebe u svakom danu u godini, dok se električna energija za grijanje i hlađenje troši u određenim mjesecima. Iako je period u kojem dizalica topline radi u režimu hlađenja kraći od perioda u kojem radi u režimu grijanja, razlika utrošak električne energije za grijanje i hlađenje nije velika. Tom rezultatu mogu se pripisati učestalije drastične razlike vanjske temperature zraka i unutarnje proračunske temperature tijekom ljeta čime se češće zahtjeva veliki rashladni učin. Također, dizalica topline ima nešto niže vrijednosti EER-a u režimu hlađenja, od COP-a u režimu grijanja.

## 5. OPIS INTEGRIRANIH SOLARNIH ELEKTRANA

U ovom poglavlju opisani su osnovni zakoni rada solarnih ćelija, način montiranja te podaci vezani za solarnu elektranu projektiranu u ovom radu.

### 5.1. Definicije i fizikalna svojstva

#### *Sunčeva svjetlost:*

Solarne ćelije pretvaraju sunčevu svjetlost direktno u električnu energiju korištenjem električnih svojstava materijala poznatog pod nazivom poluvodič. Najčešće korišteni poluvodič je silikon. Solarne ćelije ovise o fotonaponskom efektu. Ovaj efekt je inicijalno zabilježen u 1893. godini od strane Becquerela. On je zapazio napon ovisan o svjetlosti koji se javlja između elektroda koje su uronjene u elektrolit. 1876. godine je isti taj fenomen zapažen i u krutom sistemu u slučaju selenija. Sunčeva svjetlost je oslabljena za najmanje 30 % prolaskom kroz Zemljinu atmosferu. Postoje razni uzroci tog oslabljenja.

1. Rayleighovo raspršivanje ili raspršivanje zbog molekula u atmosferi,
2. Raspršivanje zbog aerosola i čestica prašine,
3. Apsorpcija u atmosferi zbog plinova.

Najvažniji parametar koji opisuje snagu sunčevog zračenja je duljina sunčeva puta kroz atmosferu. Prilikom mjerenja efikasnosti uređaja na različitim lokacijama, kako bi se osigurala smisljena usporedba, mora se definirati standard na kojeg će se mjerenja moći referirati.

#### *Direktno i difuzno zračenje:*

Uz direktno zračenje od Sunca, raspršivanje daje veći značaj i indirektnom (difuznom) zračenju. Čak i u odsustvu oblaka, difuzna komponenta može doseći 10 do 20 % ukupne radijacije. U danima u kojima je značajno odsustvo sunčeve svjetlosti, većina zračenja će biti difuzno. Takvo zračenje generalno ima drugačiji spektar od direktnog zračenja te je pretpostavka da je izotropno. Iako je sunčeva svjetlost relativno konstanta, situacija na Zemljinoj površini je kompleksnija. Sunčeva svjetlost drastično varira u pristupačnosti, intenzitetu i spektralnoj kompoziciji. U takvim situacijama difuzno zračenje može biti posebno važno.

#### *Solarni paneli:*

Solarni panel je fotonaponski pretvarač u kojem se gibanje elektrona postiže vanjskim izvorom energije. Solarni panel je izvor električne energije. Proizvode se u različitim tehnologijama od kojih su neke sljedeće:

1. Monokristalni silicij
2. Polikristalni silicij
3. Višeslojne ćelije
4. Tanki film/amorfni silicij

U ovom radu korištene su monokristalne ćelije.

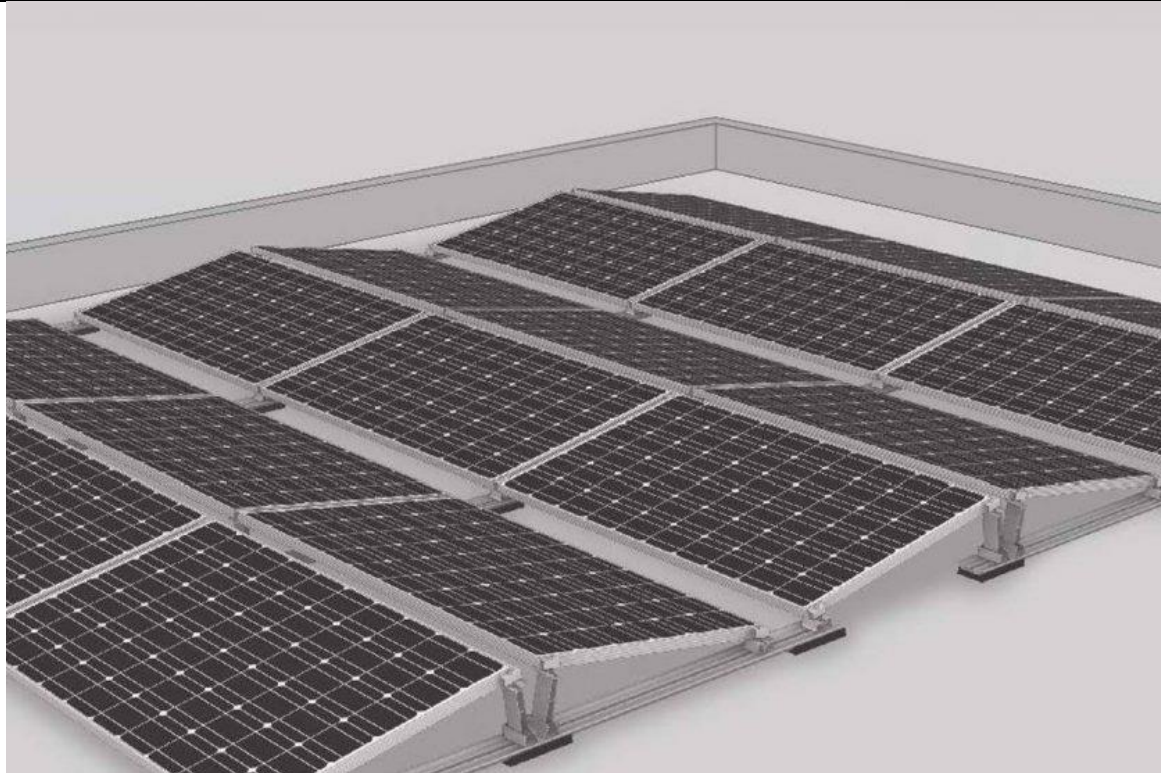
### ***Spajanje solarnih ćelija i montiranje solarnih panela:***

Solarne ćelije se spajaju u module radi postizanja željenog izlaznog napona. Modul je serijsko paralelni spoj ćelija napravljen na način da je zaštićen od atmosferskih utjecaja. Moduli se dalje spajaju u nizove koji čine serijsko paralelni spoj modula. Nizu modula ovisi o željenoj snazi solarne elektrane. Povezivanje modula izvodi se vodičima za fotonaponske sustave. Paneli se postavljaju na unaprijed pripremljene primarne nosače postavljene na krovnoj plohi. Ovisno o vrsti krovne plohe (kosi ili ravni krov) montiraju se drugačije. Na Kosom krovu paneli prate nagib krova. Poželjno je panele staviti na južnu ili istočnu stranu krova, ako je to moguće. U slučaju ravnog krova solarni paneli se montiraju u paru orijentacije istok - zapad na nosačima pod nagibom od  $10^\circ$ .



**Slika 26 Prikaz solarne elektrane na kosom krovu [20]**





Slika 27 Prikaz solarne elektrane na ravnom krovu [20]

### ***Mjere zaštite solarne elektrane:***

Zaštita od električnog udara postiže se primjenom zaštitne mjere od direktnog dodira i zaštitne mjere od indirektnog dodira. Zaštita od direktnog dodira dijelova pod naponom na opremi i u električnoj instalaciji predviđena je uporabom materijala, pribora, vodova i opreme u granicama nazivnih vrijednosti. Jedan dio opreme koji je pod naponom smješten je u razdjelnike, a preostali dio je zaštićen izolacijom. Zaštita od indirektnog dodira dijelova pod naponom u električnoj instalaciji predviđena je automatskim isklapanjem napajanja. Zaštita vodova od kratkog spoja predviđena je primjenom rastalnih i automatskih osigurača odgovarajuće vrijednosti. Mjera zaštite od požara ostvaruje se odgovarajućom ugradnjom opreme pod naponom tako da ona ne može biti uzrok požara. Mjera zaštite od razlike potencijala ostvaruje se spajanjem svih metalnih masa te povezivanjem na uzemljivač objekta.

### ***Izmjenjivač:***

Izmjenjivač ima funkciju pretvorbe istosmjernog napona, dobivenog iz sustava solarne elektrane, u izmjenični napon. Izmjenjivači su opremljeni sustavom za praćenje valnog oblika napona mreže, zaštitnim uređajem, uređajem za isključivanje i uključivanje u mrežu i sustavom zaštite od injektiranja istosmjerne električne energije u mrežu.

## 6. METODA I REZULTATI PRORAČUNA POTREBNE INSTALIRANE SNAGE INTEGRIRANE SOLARNE ELEKTRANE

U ovom poglavlju opisani su alati i metode za proračun potrebne snage solarne elektrane na krovovima.

### 6.1. Program korišten u proračunu potrebne snage fotonaponske elektrane

Za potrebe ovog rada i proračun solarne elektrane na krovu odabrane kuće, koristio se program „Renewables.ninja“ koji omogućava izvođenje simulacija sa satnim vrijednostima rezultata. Također, omogućuje odabir precizne lokacije u cijelom svijetu preko koje prilagođava svoje rezultate. Ovaj program radi tako da uzima vremenske podatke iz globalnih modela analize i satelitskih promatranja. Koriste dva izvora podataka koji su NASA MERRA i SARA H CM-SAF. Podaci o sunčevom zračenju pretvaraju se u izlaznu snagu solarne elektrane pomoću modela GSEE (Global Solar Energy Estimator). Ulazni podaci potrebni za proračun su broj panela, nagib krova, azimut i lokacija objekta. Brzine vjetra pretvaraju se u izlaznu snagu vjetroelektrane pomoću modela VWF (Virtual Wind Farm). Ovaj program je također korišten za dobivanje satnih vrijednosti podataka o godišnjim temperaturama i insolaciji za promatrano područje, Čepin.

### 6.2. Rezultati proračuna potrebne snage fotonaponske elektrane

S obzirom da kuća korištena u ovom radu ima ravan krov, paneli su se morali postaviti u paru orijentacija istok-zapad i montirati pod 10 stupnjeva. Odabrani su paneli Jinko Tiger Pro, JKM450M – 60HC4-V snage 450 W.

#### 6.2.1. Ulazni podaci

Tablica 8 Tehničke specifikacije odabranih panela

Jinko Tiger Pro 60HC 450	
Nazivna (vršna) snaga ( $P_{mpp}$ ):	450 Wp
Napon praznog hoda ( $U_{OC}$ ):	41,48 V
Napon pri maksimalnoj snazi ( $U_{mpp}$ ):	34,20 V
Električna energija pri maksimalnoj snazi ( $I_{mpp}$ ):	13,45 A
Električna energija kratkog spoja ( $I_{sc}$ ):	14,01 A
Max napon sustava:	1000 / 1500 VDC

Dimenzije panela:	1903 x 1134 x 30 mm
Težina panela:	24,2 kg

**Tablica 9 Informacije o panelima orijentiranim na istoku**

PANELI ORIJENTIRANI PREMA ISTOKU		
broj panela	9	
nagib	10	°
azimut	-98	°
ukupna instalirana snaga	4,05	kWp

**Tablica 10 Informacije o panelima orijentiranim na zapad**

PANELI ORIJENTIRANI PREMA ZAPADU		
broj panela	9	
nagib	10	°
azimut	82	°
ukupna instalirana snaga	4,05	kWp

**Tablica 11 Informacije o solarnoj elektrani**

SOLARNA ELEKTRANA		
broj panela	18	
nagib	10	°
gubici sustava	14	%
ukupna instalirana snaga	8,1	kWp

### 6.2.2. Kućna potrošnja električne energije

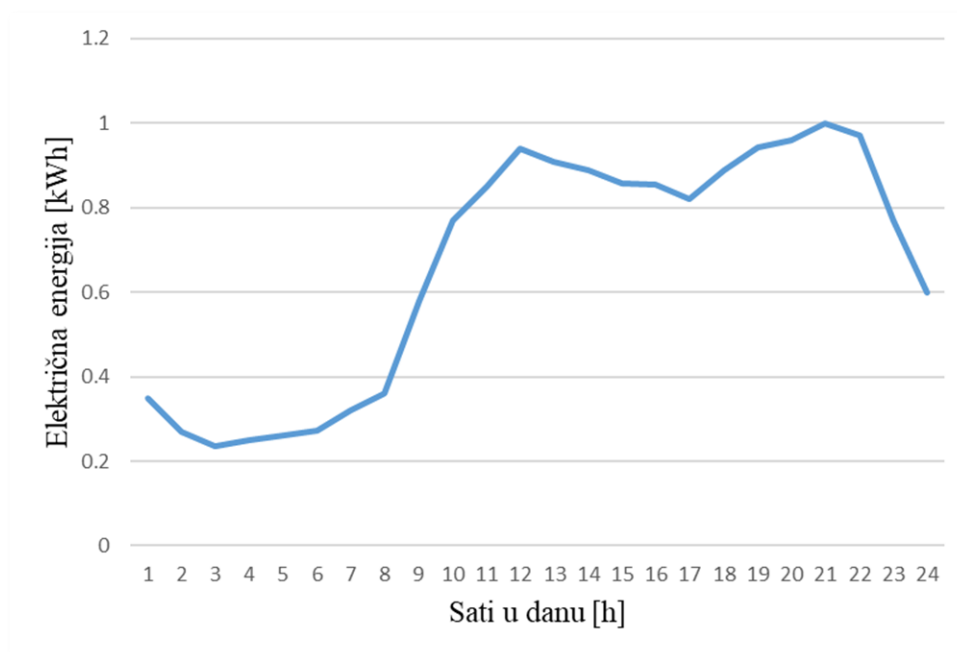
U ukupnu potrošnju električne energije ne smije se zaboraviti dodati i potrošnja samog kućanstva. Kućna potrošnja električne energije u ovom radu dobivena je preko dobivenih HEP-računa kroz 12 mjeseci od vlasnika kuće.

**Tablica 12 Trošak električne energije kućanstva**

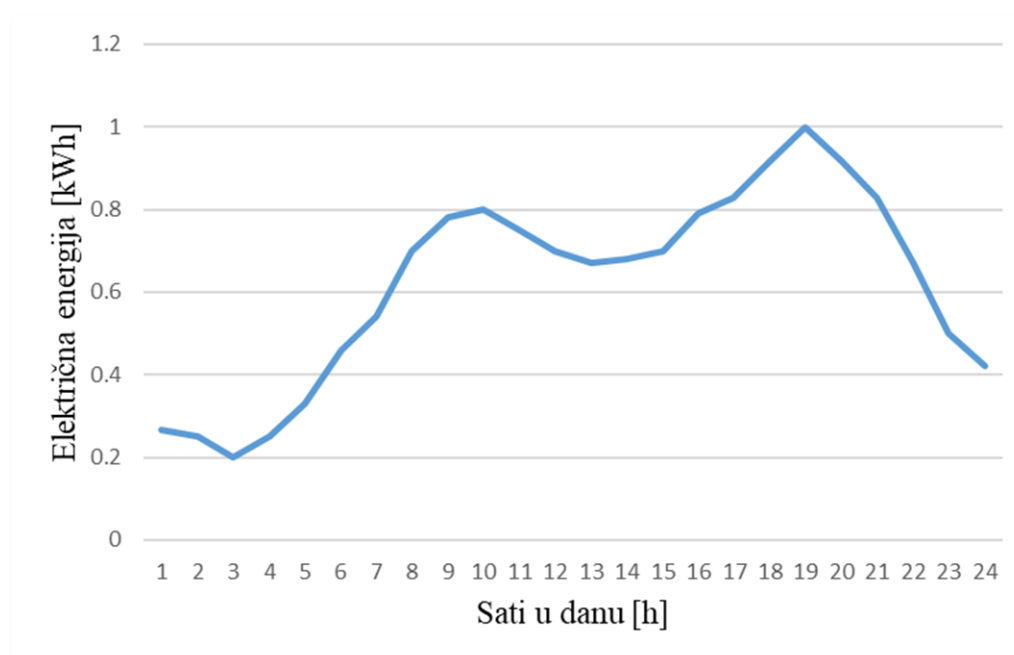
Mjesec	Trošak električne energije kućanstva [kWh]
1	484
2	429
3	490
4	503
5	450
6	362
7	398
8	346
9	518
10	467

11	522
12	478

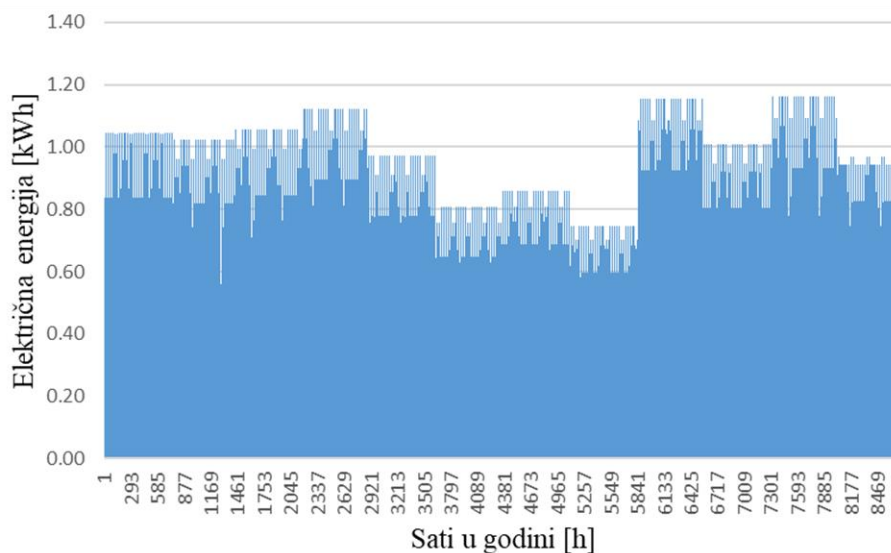
S obzirom da je proračun proveden na satnoj osnovi stvorene su tipske dnevne potrošnje električne energije tijekom vikenda i dana u tjednu.



**Slika 28** Tipična dnevna potrošnja električne energije tijekom vikenda



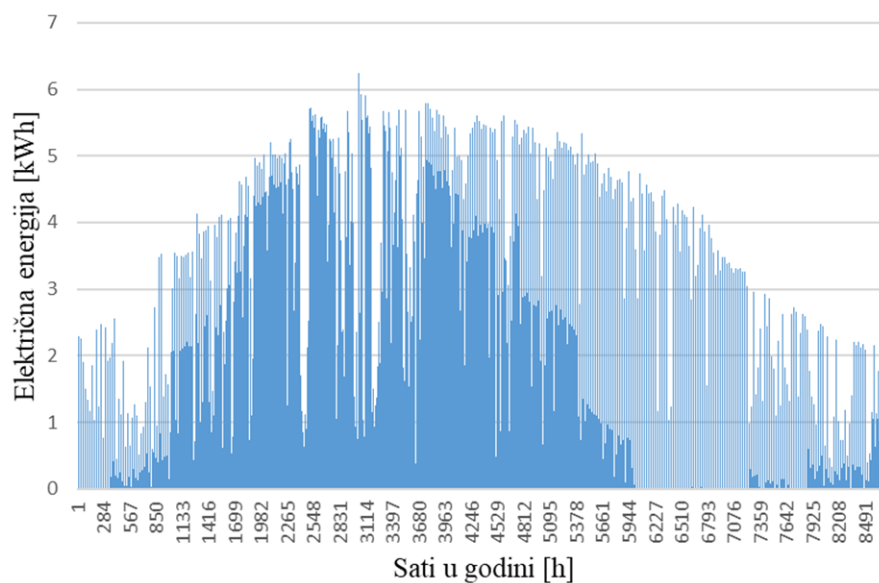
**Slika 29** tipična dnevna potrošnja električne energije tijekom dana u tjednu



**Slika 30** Potrošnja električne energije u kućanstvu

Iz slike 30 je vidljivo da su rezultati periodični zbog korištenja istih krivulja za vikend i dan u tjednu kroz cijelu promatranu godinu.

### 6.2.3. *Proizvodnja solarne elektrane*



**Slika 31** Proizvodnja električne energije iz solarne elektrane

Iz slike 31 je vidljivo da se najveća količina električne energije proizvodi tijekom ljetnog perioda zbog najvećih vrijednosti insolacije.

## 7. OPIS KOMPONENTI ELEKTRIČNOG PUNJAČA I ELEKTRIČNOG VOZILA

U ovom poglavlju opisana su fizikalna svojstva, vrste, podjela i opći podaci o baterijama električnih automobila i električnih punjača.

### 7.1. Vrste baterija električnih automobila

Trenutno najčešće korištene baterije u električnim automobilima su Litij-ionske baterije. Osim u električnim automobilima, ugrađuju se i u mobitelima i laptopima. Takve baterije imaju dobar omjer mase i snage, visoku energetska učinkovitost, nisko samopražnjenje te dobre performanse pri visokim temperaturama. Većina komponenti Litij-ionskih baterija može se reciklirati, ali sa velikom cijenom povrata materijala. Zbog velike primjene Litij-ionskih baterija u brzo rastućem svijetu električnih vozila, svakodnevno se istražuje na smanjenju njihovih cijena, produženju vijeka trajanja i kapacitetu. Jedan od značajnijih fokusa je rješavanje sigurnosnog problema u vidu pregrijavanja. Litij-ionske baterije se prema tipu kućišta dijele na cilindrične, vrećaste i prizmatične ćelije.



Slika 32 Prikaz električnog automobila i baterije [10]

#### *Cilindrične ćelije:*

Cilindrične ćelije imaju veliku mehaničku čvrstoću i jednostavno se proizvode. Njihova konstrukcija može izdržati velika opterećenja bez prisustva deformacije. Cilindrične ćelije imaju prekidač koji je napravljen od vodljivog polimera koji u slučaju zagrijavanja postaje otporan te time prekida krug električne energije. U slučaju previsokog tlaka, ćelije imaju

membranu koja puca i oslobađa tlak. Također, neke ćelije, imaju i sigurnosni ventil s oprugom koji se može zatvoriti. Cilindrične ćelije koriste se u električnim automobilima, laptopima i električnim biciklima. Najveći problem korištenja cilindričnih ćelija u baterijskim paketima je što se prilikom njihovog slaganja javlja značajan neiskorišteni prostor između ćelija.



**Slika 33 Prikaz cilindrične litij-ionske baterije [21]**

### ***Prizmatične ćelije:***

Prizmatične ćelije imaju nešto tanje kućište i bolju optimizaciju uporabe prostora. Ovakve ćelije se najviše koriste tehnologijama kao što su mobilni telefoni, laptopi i tableti. Ćelije većih dimenzija mogu se koristiti i u električnim automobilima. Konstrukcija kućišta je od aluminija te on osigurava postojanost i sigurnost ćelije. Ovakve ćelije imaju fleksibilniji dizajn i omogućavaju bolje iskorištenje prostora, no to ih čini skuplje i imaju kraći životni vijek.



**Slika 34 Prikaz prizmatične litij-ionske baterije [22]**

**Vrećaste ćelije:**

Vrećaste ćelije imaju tanke zavarene folije umjesto klasičnog kućišta. Zbog ovakvog dizajna omogućena je fleksibilna, jednostavna i lagana baterija. Takve ćelije maksimalno iskorištavaju prostor slaganjem u baterijske pakete. Zbog nedostatka metalnog i krutog kućišta dizajn je jednostavniji, te je smanjena masa ćelije.



**Slika 35 Prikaz vrećaste litij-ionske baterije [22]**

**7.2. Električne punionice**

Električne punionice su ključan dio infrastrukture za punjenje baterija električnih vozila. Za punjenje baterije normalnom brzinom vozila imaju integrirani punjač koji se spaja na standardnu električnu mrežu. Za brže punjenje se koristi punjač koji pretvara izmjeničnu električnu energiju u istosmjernu električnu energiju te puno vozilo snagom od 5 do 50 kW.

Punjači baterija električnih automobila rade na principu induksijskog punjenja. Za prijenos energije između dvije zavojnice koristi se elektromagnetsko polje. Jedna je zavojnica spojena na izvor napajanja, dok je druga spojena na bateriju. Izmjenična električna energija stvara promjenjivo magnetsko polje koje stvara izmjeničnu električnu energiju. Izmjenična električna energija se javlja u drugoj zavojnici i prolazi kroz ispravljač. Ispravljač izmjeničnu električnu energiju pretvara natrag u istosmjernu. Dobivena istosmjerna električna energija u konačnici puni baterije. Punjač se sastoji od upravljačke jedinice i napajanja. Upravljačka jedinica kontrolira protok električne energije u punjaču te regulira proces punjenja. Ona osigurava da se



punjač ne pregrije i da se baterije pune sigurno i učinkovito. Upravljačka jedinica prati napunjenost baterija te može pružiti takvu informaciju. Napajanje osigurava električnu energiju koja je korištena za punjenje baterija. Ono je spojeno na upravljačku jedinicu i regulira protok električne energije u punjač. Svrha ove komponente je da osigura električnu energiju za punjač.



**Slika 36 Prikaz punjača za električni automobil [6]**

### ***7.3. Električni automobili***

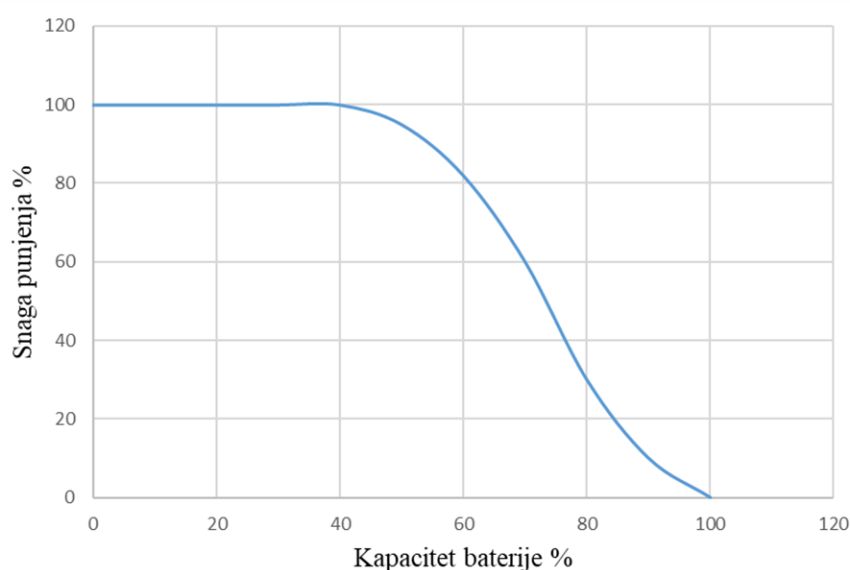
Električni automobili su opremljeni elektromotorom i baterijom. Elektromotor daje veliko ubrzanje, bolje u usporedbi sa motorom na unutarnje izgaranje. Najčešći model elektromotora je indukcijski motor zbog jednostavnog dizajna i niske potrošnje proizvodnje. Sustav kočenja je osmišljen na način da se prilikom kočenja oslobođena energija pohranjuje natrag u bateriju (regenerativno kočenje). Ova značajka je jako korisna u gradskim sredinama. Trajanje punjenja električnih automobila ovisi o trenutnoj napunjenosti baterije i mogućnostima punjača. Punjenjem na stanici za brzo punjenje baterija može biti napunjena i za 20 minuta, dok se punjenjem kod sporog sustava vrijeme punjenja produljuje i na 6 sati.

Prednosti električnih automobila su minimalni troškovi održavanja elektromotora, smanjeni vozački umor, izostanak buke motora, te su električni automobili ekološki prihvatljivija opcija.

Odabran je električni automobil Renault Twingo Electric i sukladni punjač od 3.7 kW.

## 8. METODA I REZULTATI PRORAČUNA ELEKTRIČNOG PUNJAČA

Proračun utroška električnog punjača zasniva se na dostupnosti i utrošku električnog automobila, napunjenosti baterije i ovisnosti kapaciteta baterije i snage punjenja. Dostupnost električnog automobila odnosi se na vrijeme u kojem je električni automobil kod kućnog električnog punjača. U svrhu izrade ovog rada pretpostavljeno je da se automobil puni jedino iz kućnog električnog punjača. Utrošak električnog automobila odnosi se na podatak izvezenih kilometara u danu, odnosno koliko se električne energije iskoristi iz baterije do trenutka kad se električni automobil nalazi kod kuće gdje je punjenje moguće. Napunjenost baterije je bitan podatak u proračunu zbog nelinearnog odnosa snage punjenja električnog punjača i stupnja napunjenosti baterije. Ovisnost kapaciteta baterije i snage punjenja se odnosi na faze punjenja baterije koje se dijele na fazu punjenja pri napunjenosti baterije do 40%, fazu punjenja pri napunjenosti baterije od 40 do 80% i fazu punjenja pri napunjenosti baterije veće od 80%. U prvoj fazi punjenja linija punjenja je pravac. Pri maloj napunjenosti baterije električni punjač radi sa maksimalnom snagom jer je otpor punjenja mali. U drugoj fazi punjenja se javlja nelinearan konveksni oblik punjenja pri čemu se snaga punjenja drastično smanjuje sa povećanjem napunjenosti baterije zbog većeg otpora punjenja. U trećoj fazi postoji konkavni oblik punjenja te se snaga punjenja približava nuli. Ne preporučava se bateriju puniti iznad 95% napunjenosti niti ju prazniti ispod 10% napunjenosti jer se time dugoročno smanjuje kapacitet baterije. U Svrhu izrade ovog rada pretpostavljeno je da se prilikom punjenja baterija napuni do maksimalno 96% baterije.



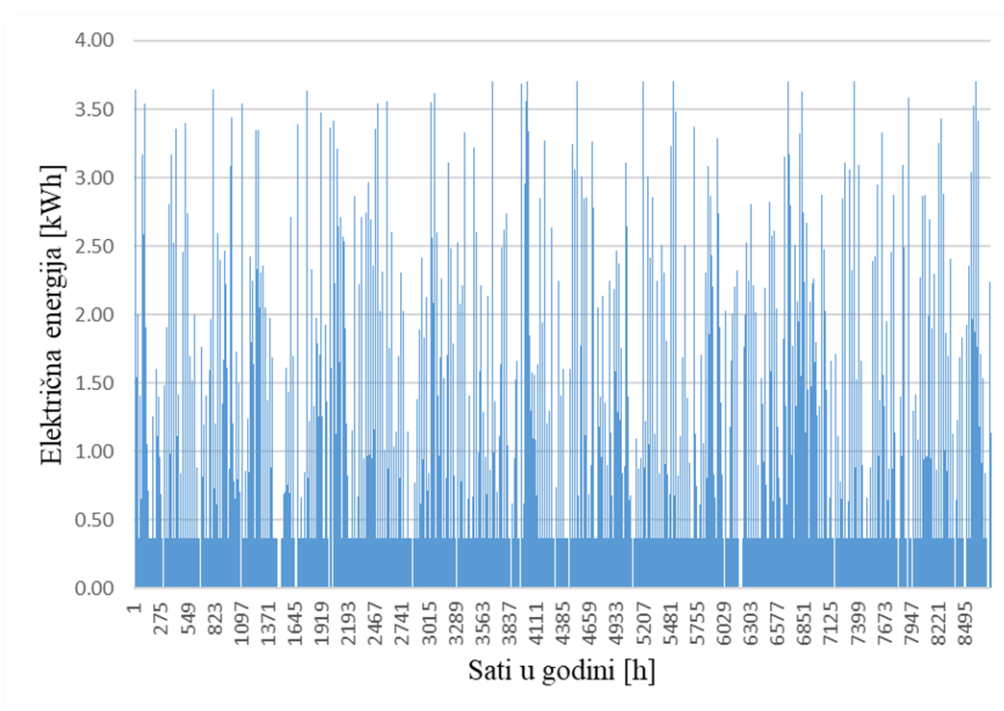
Slika 37 Ovisnost kapaciteta baterije i snage punjenja

### 8.1. Ulazni podaci

**Tablica 13** Ulazni podaci proračuna električnog punjača

Prosječno odvoženih kilometara u godini =	20000	km
Potrošnja odabranog električnog automobila =	161	Wh/km
Godišnja potrošnja =	3220	kWh
Kapacitet baterije =	41	kWh
Snaga električnog punjača =	3,7	kW

### 8.2. Utrošak električne energije električnog punjača



**Slika 38** Utrošak električne energije električnog punjača

Iz slike 38 je vidljivo da punjač rijetko radi punom snagom od 3,7 kW dok većinski radi u modelu dopunjavanja baterije.

## 9. OPIS I REZULTATI MODELA DIGITALNOG BLIZANCA PRORAČUNATOG KUĆANSTVA

Digitalni blizanac je detaljna digitalna zrcalna slika stvarnih procesa i stvarnog instaliranog sustava koji postoji u fizičkom svijetu. Preko digitalnog blizanca može se dobiti dobro razumijevanje i pregled stvarnih sustava, procesa i funkcioniranja fizičkog svijeta. Digitalni blizanac se sastoji od podataka i reprezentacije zadanog sustava. Prikaz tih podataka može biti dvodimenzionalan ili trodimenzionalan te stvara reprezentaciju sustava sa slojevima kao što su temperature, potrošnja energije i mehanički i električni sustavi.

Digitalni blizanac proračunatog kućanstva sastoji se od sljedećih podataka i procesa:

### 1. Dizalica toplina

- Ulazni podaci,
- Koeficijenti toplinskih gubitaka i dobitaka,
- Toplinski gubici i dobitci grijanja i hlađenja,
- Rezultati vezani za zagrijavanje PTV-a,
- Utrošak električne energije dizalice topline za grijanje, hlađenje i PTV te svi popratni rezultati.

### 2. Solarna elektrana

- Ulazni podaci,
- Kućna potrošnja električne energije,
- Proizvodnja solarne elektrane.

### 3. Električni punjač i električni automobil

- Ulazni podaci,
- Utrošak električne energije električnog punjača.

### 4. Tokovi električne energije svih tehnologija i kućanstva

U modelu digitalnog blizanca dimenzionirana je dizalica topline koja pokriva potrebe grijanja, hlađenja i zagrijavanja PTV-a. Uz dizalicu topline, za dogrijavanje PTV-a do 60°C u svrhu zaštite od legionele zadužen je električni grijač od 4 kW. Postavljen je kućni električni punjač koji napaja električni automobil. Solarna elektrana proizvodi električnu energiju koja napaja dizalicu topline, električni punjač i interne potrebe kućanstva, u mjeri u kojoj je to moguće u svakom satu u godini. Električna energija koja se ne iskoristi u svakom satu koristi se za

zagrijavanje vode u međuspremniku dizalice topline veličine 300 l ili PTV-a u spremniku za PTV veličine 160 l. Međuspremnik se grije zimi kad se toplinska energija koristi za potrebe grijanja, dok se PTV grije ljeti te se troši tijekom dana. Akumulirana toplinska energija se otpušta kroz dan čime se u određenim satima smanjuje ili eliminira potreba za radom dizalice topline. Time se ostvaruje ušteda na električnoj energiji koja bi bila korištena za pogon dizalice topline. Ako je količina električne energije proizvedene od solarne elektrane u nekom satu toliko velika da postoji rezerva nakon što se pokriju sve potrebe kućanstva i stvori se maksimum akumulirane toplinske energije, ta rezerva električne energije se predaje u mrežu. Proračuni vezani za sve tehnologije u svrhu stvaranja digitalnog blizanca proveli su se u Microsoft Excelu.

### 9.1. Uvid u ukupni tok električne energije svih tehnologija i kućanstva

Dobivenim utrošcima električne energije svih tehnologija i samog kućanstva te proizvodnju električne energije postavljene solarne elektrane može se napraviti presjek tokova električne energije. Time se ustvrdila električna energija za predana i preuzeta iz električne mreže u svakom satu u godini, odnosno, koliko se električne energije dodatno vuče iz električne mreže, a koliko postoji kao neiskorištena električna energija proizvedena od solarne elektrane nakon što su se zadovoljile sve potrebe tehnologija i kućanstva u svakom satu. Neiskorištena proizvedena električna energija se, kao što je već prije navedeno, pretvara u toplinsku energiju i koristi u zadovoljavanju potreba za grijanje i PTV-om. Ovim radom promatrana kuća je u potpunosti elektrificirana i maksimizirano je korištenje električne energije proizvedene iz solarne elektrane. U ovom poglavlju prikazat će se tokovi električne energije te njeno iskorištavanje u sve moguće svrhe.

Električna energija za preuzeta ili predana u mrežu u pojedinom satu računa se sljedećom formulom:

$$E_{el_{vm}} = E_{elGR} + E_{elHL} + E_{elPTV} + E_{elkućanstvo} + E_{elpunjač} - E_{elsol} \quad [\text{Wh}] \quad (34)$$

$E_{el_{vm}}$  – predana ili preuzeta električna energija [Wh]

$E_{elkućanstvo}$  – električna energija kućanstva [Wh]

$E_{elpunjač}$  – električna energija utrošena električnim punjačem [Wh]

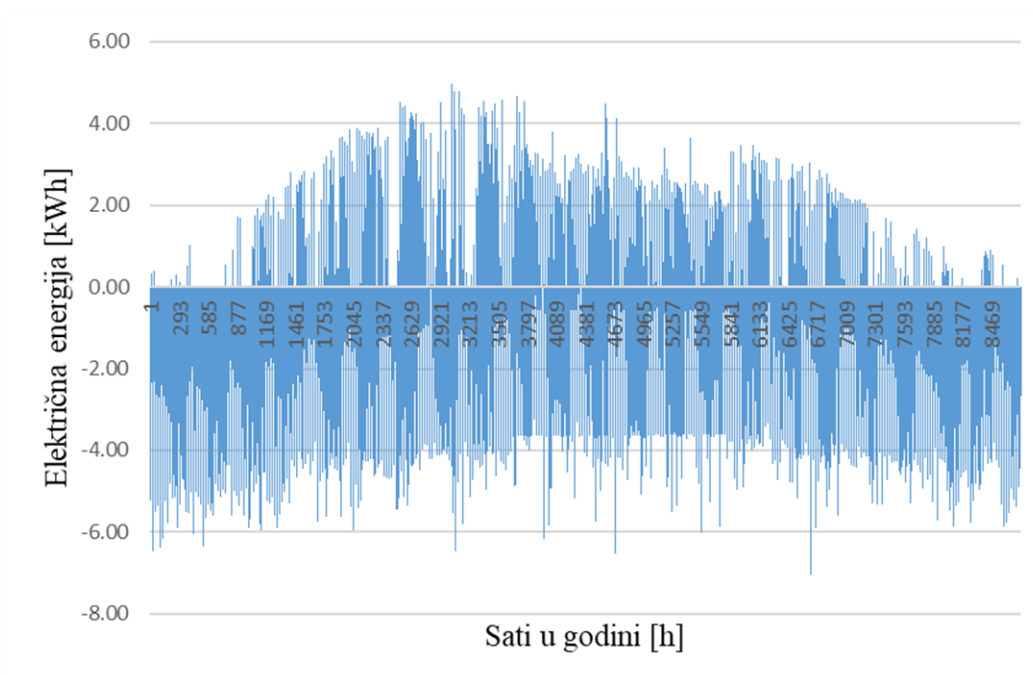
$E_{elsol}$  – električna energija proizvedena solarnom elektranom [Wh]

Dobiven toplinski učin neiskorištenom proizvedenom električnom energijom u svakom satu izračunat je sljedećom formulom:

$$\Phi_{višak} = \frac{E_{elv}}{t} * COP \quad [W] \quad (3515)$$

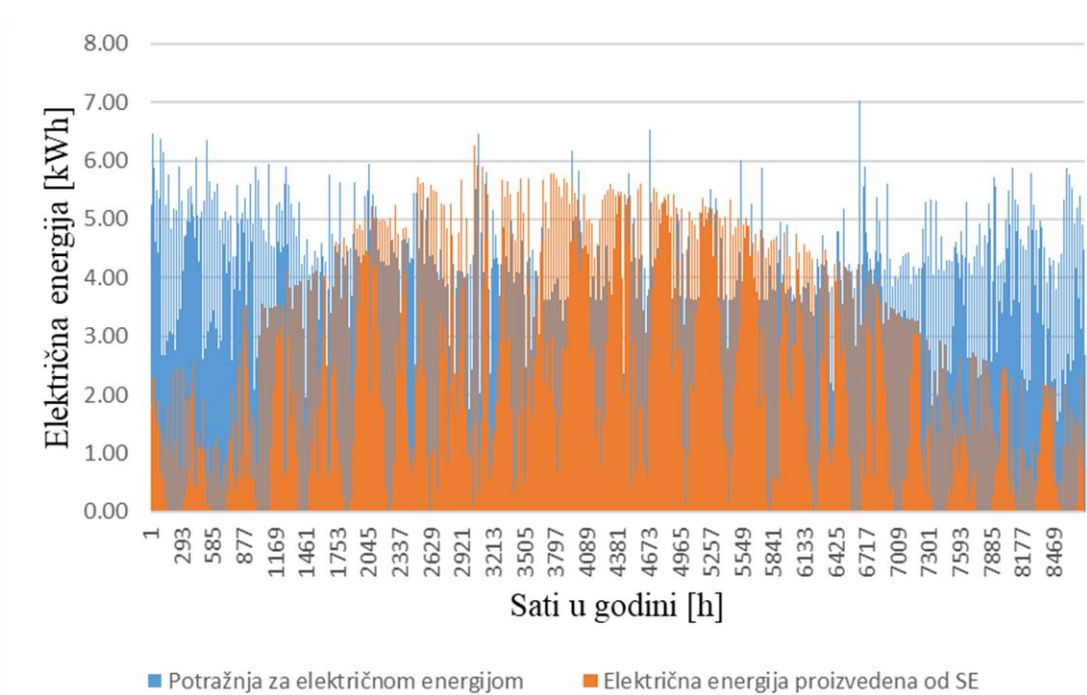
$\Phi_{višak}$  - toplinski učin dobiven neiskorištenom proizvedenom električnom energijom [W]

Kao što je ranije navedeno, neiskorištena proizvedena električna energija koristi se za zagrijavanje međuspremnika i spremnika PTV-a. Postavljen je uvjet maksimalno dovedenog toplinskog toka u oba spremnika u odnosu na maksimalne temperature u spremniku. Za međuspremnik ta temperatura iznosi 50°C dok za spremnik PTV-a maksimalna temperatura iznosi 60°C. Time se dobije da je maksimalni toplinski tok doveden međuspremniku 4,45 kW, a spremniku PTV-a 2,74 kW. Ako u nekom satu postoji toliko neiskorištene proizvedene električne energije da bi se pretvorbom premašile dozvoljene maksimalne temperature u spremnicima, iskorištava se maksimalna količina električne energije, a ostatak se predaje u električnu mrežu. Dok god je vrijednost predane električne energije manja od preuzete električne energije iz mreže, kućanstvo je u sustavu potrošača, ako bi vrijednost predane energije bila veća od preuzete, kućanstvo bi prešlo u sustav proizvođača.

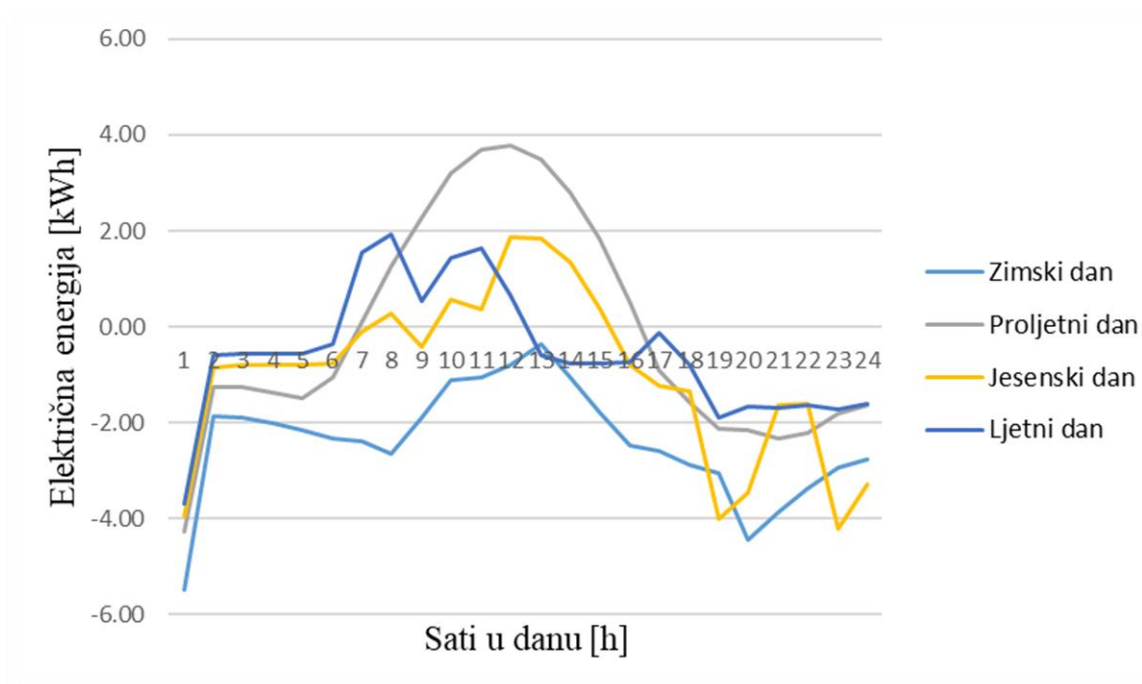


**Slika 39** Preuzeta i predana električna energija u godini

Iz slike 39 je vidljivo da se najviše električne energije predano u proljetnom dobu gdje je proizvodnja dostatna, a potrošnja mala zbog nedostatka potrebe za grijanjem ili hlađenjem.

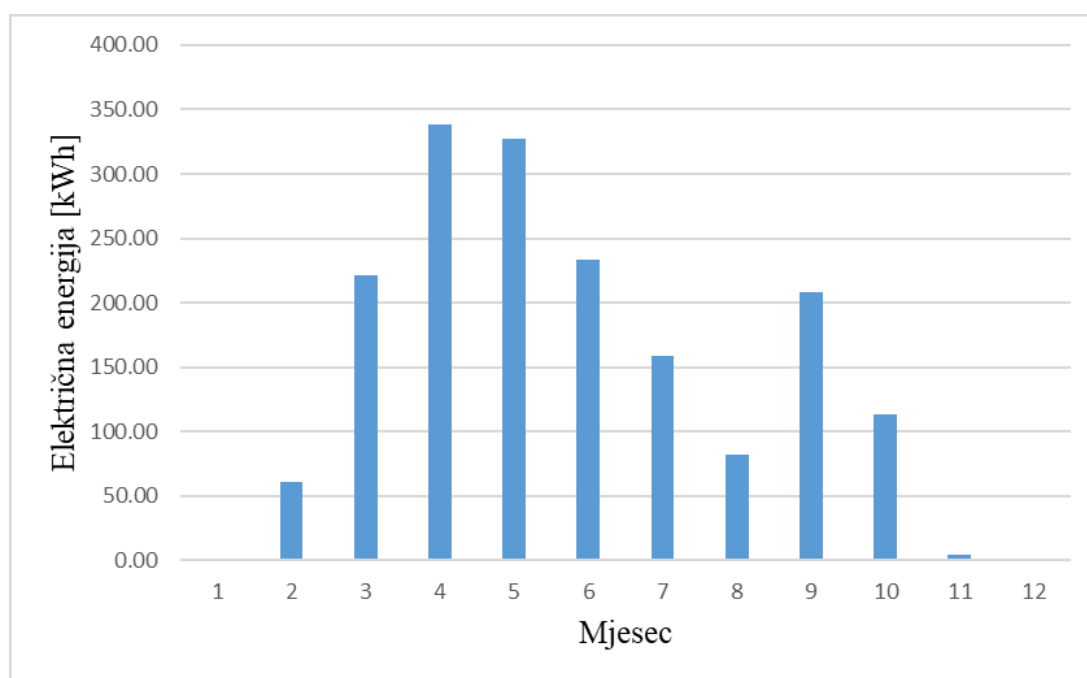


**Slika 40** Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarne elektrane



**Slika 41** Preuzeta i predana električna energija u mrežu po karakterističnim danima u godini

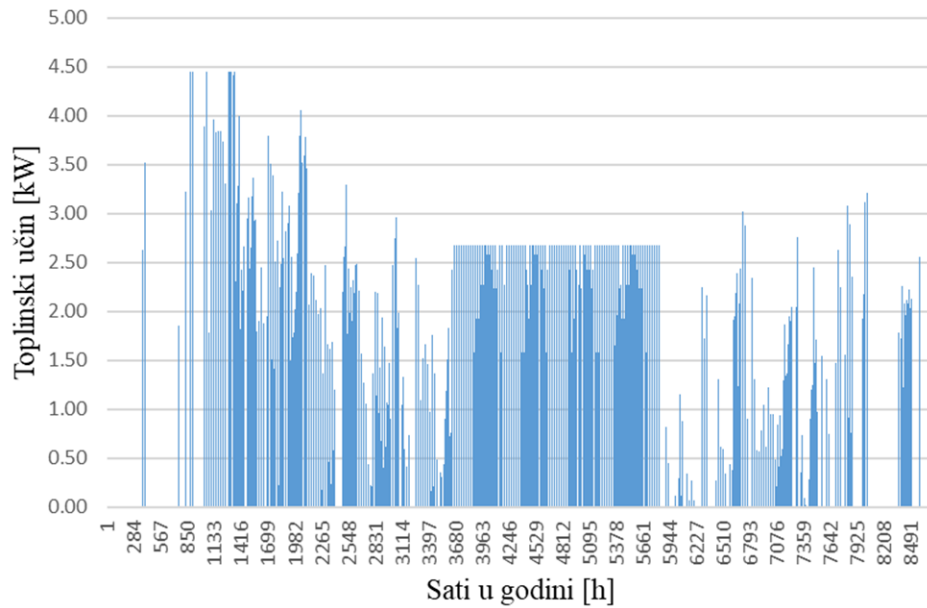
U zimskom periodu ima izrazito malo predane električne energije zbog velike potrebe za grijanjem. U proljetnom periodu je velika količina električne energije predana zbog manjke potrebe za grijanjem ili hlađenjem. Tijekom ljetnog perioda, iako je insolacija najveća, predana električna energija je nešto manja zbog visoke potrebe za hlađenjem. Tijekom jesenskog perioda, zbog relativne potrebe za grijanjem, postoji nešto manje predane električne energije.



**Slika 42** Predana električna energija u mrežu po mjesecima

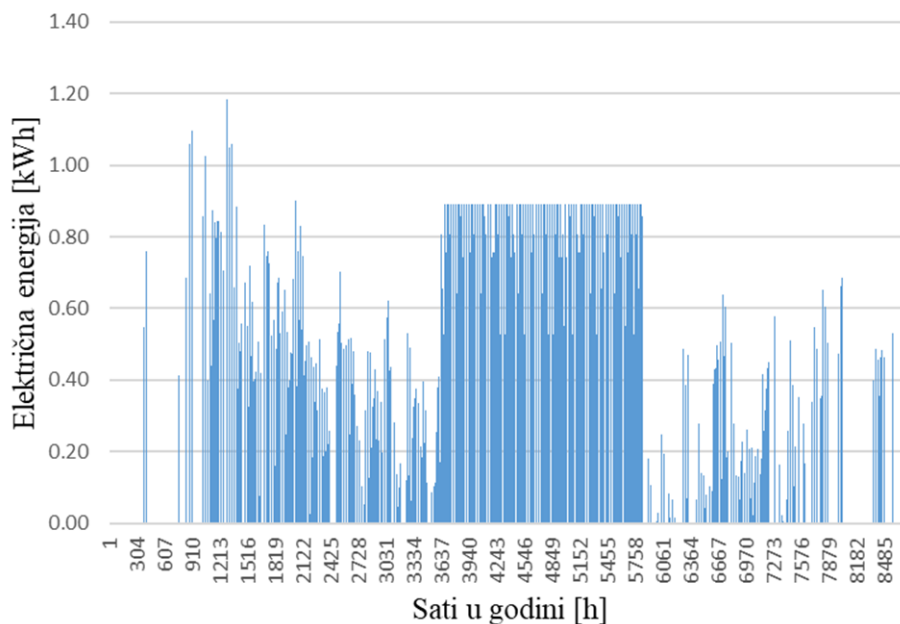
Očekivano, najviše se električne energije predaje u mrežu tijekom proljetnih mjeseci, ožujka, travnja i svibnja. U ovom slučaju, u kojem su u digitalnom blizancu uključeni dizalica topline, električni punjač i solarna elektrana, u mrežu je predano 1734,67 kWh, a preuzeto 12300,4 kWh. Time se radi o modelu potrošača. U slučaju da proizvodnja električne energije iz solarne elektrane bude veća od potreba za električnom energijom te se u mrežu preda više električne energije nego se iz mreže preuzme, kućanstvo u tom slučaju prelazi u sustav proizvođača.





**Slika 43 Pokrivanje potreba grijanja i PTV-a neiskorištenom proizvedenom električnom energijom preko dizalice topline**

Iz slike 43 je vidljivo da je neiskorištena proizvedena električna energija dostatna da u većini vremena daje maksimalni toplinski tok spremniku PTV-a od 2,74 kW, dok je tijekom proljeća količina neiskorištene proizvedene električne energije dostatna da se u nekim slučajevima iskoristi maksimum međuspremnik od 4,45 kW.



**Slika 44 Ušteda električne energije na dizalici topline**

Usporedbom ukupnih potreba za električnom energijom u svakom satu u godini i proizvodnjom električne energije od solarne elektrane određeni su sati u kojima su svi zahtjevi za električnom energijom pokriveni od solarne elektrane te postoji i dio neiskorištene električne energije. Ta rezerva električne energije se u određenom satu koristi za zagrijavanje vode međuspremnik ili PTV-a u spremniku PTV-a. Tako akumulirana toplinska energija otpušta se tijekom dana kada su zahtjevi za toplinskim učinkom veći od onoga kojeg dizalica topline može zadovoljiti koristeći isključivo električnu energiju proizvedenu putem solarne elektrane. Time se zamjenjuje uloga dizalice topline u pružanju toplinskog učina za grijanje i pripremu PTV-a. Takvim načinom rada se javlja ušteda u vidu električne energije koja bi se trošila na rad dizalice topline u određenim satima kada ne bi postojao sustav akumulirane toplinske energije.

## 10. OPIS I REZULTATI EKONOMSKE ANALIZE DIGITALNOG BLIZANCA

### 10.1. Definicije

Bitan faktor utjecaja na odluku o postavljanju raznih tehnologija u kućanstvo je njihova ekonomska isplativost. U mnogim slučajevima će optimalni dizajn sustava tehnologija u vidu energetske efikasnosti biti drugačiji od optimalne ekonomske efikasnosti. U takvom proračunu bitno je dobro odrediti troškove i uštede odabranih tehnologija.

Troškovi mogu biti sljedeći:

- Troškovi planiranja i projektiranja,
- Troškovi zamjene dijelova,
- Troškovi prostora,
- Troškovi nabave opreme,
- Troškovi nabave potrebnih dodataka opremi,
- Troškovi modernizacije i popravka postojeće opreme,
- Troškovi prilagodbe sustava,
- Troškovi održavanja opreme,
- Troškovi poreza. [14]

Uz navedene troškove također je potrebno provjeriti planirano vrijeme uporabe tehnologija i njihov vijek trajanja. Uštede mogu biti efikasan sistem grijanja ili hlađenja te dobiti od prodaje uštedene topline ili električne energije. [14] Procjena isplativosti investicije temelji se na usporedbi troškova i ušteta. Na temelju te usporedbe se i određuje najbolji način financiranja projekta, odnosno prijedlog investicije. Metode procijene isplativosti su unutrašnja stopa povrata (IRR) i metoda sadašnje vrijednosti. [14]

#### ***Unutrašnja stopa povrata (IRR)***

IRR je diskontna stopa koja izjednačava sadašnju vrijednost očekivanih troškova sa sadašnjom vrijednosti očekivanih prihoda. Prijedlog je prihvaćen ako je IRR veći od diskontne stope. [14]

#### ***Metoda sadašnje vrijednosti***

Ova metoda vraća tok novca na sadašnju vrijednost koristeći stopu povrata. Projekt se prihvaća ako je zbroj diskontiranih tokova novca jednak ili veći od nule. [14]

**Porez na dobit**

Bitan faktor koji može promijeniti profitabilnost neke investicije je porez na dobit. Porezi imaju značajan utjecaj u vidu odluke na investiciju. Porez se obračunava različito na investicije i na sve ostale troškove. Investicije su troškovi koji se moraju amortizirati i kao takvi ulaze u poreznu osnovicu kroz knjigovodstveni trošak koji nije stvaran trošak. Svi ostali troškovi i prihodi se uračunavaju u poreznu osnovicu u trenutku kada su se dogodili. [14]

**Amortizacija**

Amortizacija je knjigovodstvena vrijednost i sredstvo obračunavanja investicije kroz korisno vrijeme postrojenja. Ona ne utječe na prihodovnu stranu već na iznos poreza koji treba platiti. Što je veća amortizacija za vrijeme nekog perioda manje će poreza morati biti plaćeno. [14]

**Neto sadašnja vrijednost (NPV)**

Neto sadašnja vrijednost je razlika između sadašnje vrijednosti novčanih prihoda i rashoda, uključujući i investiciju. NPV se koristi kako bi se procijenila količina novca koju će investicija generirati. Što je veći NPV projekt će generirati više prihoda te se može koristiti kao usporedba više scenarija tehnologija kako bi se vidjelo koji scenarij je isplativiji. [14]

**Financijski novčani tok**

Financijski novčani tok daje uvid o svim приходima i rashodima. Prihodi mogu biti u obliku ušteda ili samom prodajom raznih oblika energije. Na temelju podataka u financijskom novčanom toku računa se porezna osnovica i porez. [14]

**Ekonomski novčani tok**

Kod ekonomskog novčanog toka struktura i dinamika prihoda i troškova je ista kao kod financijskog toka, no ekonomski novčani tok isključuje izvore financiranja u приходima i obveze prema izvorima financiranja u troškovima. Ekonomski novčani tok služi za izračun razdoblja povrata, neto sadašnje vrijednosti, prosječne profitabilnosti i interne stope profitabilnosti. [14]

**10.2. Formule korištene u ekonomskoj analizi**

U ovom poglavlju dan je uvid u formule korištene za proračun ekonomske isplativosti odabranih scenarija.

$$Z = \frac{1 - K_p}{I} \quad [€] \quad (36)$$

$Z$  – zajam kredita [€]

$K_p$  – privatni kapital [€]

$I$  – ukupni investicijski troškovi [€]

$$R = -PMT(k; ot; Z) \quad [€] \quad (37)$$

$R$  – rata kredita [€]

$k$  – kamatna stopa banke

$ot$  – duljina otplate kredita [ $a$ ]

$$G = -PPMT(k; t; ot; Z) \quad [€] \quad (38)$$

$G$  – glavnica kredita [€]

$t$  – vrijeme [ $a$ ]

$$K_k = -IPMT(k; t; ot; Z) \quad [€] \quad (39)$$

$K_k$  – kamata kredita [€]

$$P_o = T + P_b - K_k \quad [€] \quad (40)$$

$P_o$  – porezna osnovica [€]

$T$  – ukupni troškovi [€]

$P_b$  – bruto prihodi [€]

### 10.3. Scenariji ekonomske analize digitalnog blizanca

U vidu ovog rada obrađeno je pet scenarija. Scenariji A, B, C, D i E. Ekonomska analiza svih scenarija proračunava se na 20 godina.

### **10.3.1. Scenarij A**

U scenariju A tehnologije uključene u analizu su sljedeće:

1. Dizalica topline,
2. Solarna elektrana,
3. Električni punjač,
4. Električni automobil.

Ukupni troškovi (knjigovodstveni i stvarni) scenarija A su sljedeći:

1. Amortizacija dizalice topline,
2. Amortizacija solarne elektrane,
3. Amortizacija električnog punjača,
4. Amortizacija električnog automobila,
5. Utrošak električne energije koja nije pokrivena od strane solarne elektrane,
6. Rata kredita

Uštede scenarija A su sljedeće:

1. Prodaja predane električne energije u mrežu,
2. Ušteda na električnoj energiji zbog akumuliranja i naknadnog iskorištavanja toplinske energije,
3. Ušteda na računu za plin zbog zamjene plinskog grijanja dizalicom topline,
4. Ušteda na računu za električnu energiju zbog prisustva solarne elektrane,
5. Ušteda na gorivu za automobil zbog zamjene sa električnim automobilom.

Privatni kapital je 20% ukupne investicije. Ukupna investicija je umanjena za poticaj obnovljivih izvora energije za 60% cijene dizalice topline i solarne elektrane u uvjetima korištenja više od dvije mjere energetske učinkovitosti te 40% cijene električnog automobila za poticaj nabave energetski učinkovitijih vozila. Duljina otplate kredita je na 10 godina sa kamatnom stopom od 4.3 %.

### **10.3.2. Scenarij B**

U scenariju B tehnologije uključene u analizu su sljedeće:

1. Dizalica topline,
2. Solarna elektrana,

Ukupni troškovi (knjigovodstveni i stvarni) B su sljedeći:

1. Amortizacija dizalice topline,
2. Amortizacija solarne elektrane,
3. Rata kredita,
4. Utrošak električne energije koja nije pokrivena od strane solarne elektrane.

Uštede scenarija B su sljedeće:

1. Prodaja predane električne energije u mrežu,
2. Ušteda na električnoj energiji zbog akumuliranja i naknadnog iskorištavanja toplinske energije,
3. Ušteda na računu za plin zbog zamjene plinskog grijanja dizalicom topline,
4. Ušteda na računu za električnu energiju zbog prisustva solarne elektrane.

Privatni kapital je 20% ukupne investicije. Ukupna investicija je umanjena za poticaj obnovljivih izvora energije za 60% cijene dizalice topline i solarne elektrane u uvjetima korištenja više od dvije mjere energetske učinkovitosti. Duljina otplate kredita je na 10 godina sa kamatnom stopom od 4.3 %.

### ***10.3.3. Scenarij C***

U scenariju C tehnologije uključene u analizu su sljedeće:

1. Dizalica topline.

Ukupni troškovi (knjigovodstveni i stvarni) scenarija C su sljedeći:

1. Amortizacija dizalice topline,
2. Utrošak električne energije koja nije pokrivena od strane solarne elektrane,
3. Rata kredita.

Uštede scenarija C su sljedeće:

1. Ušteda na računu za plin zbog zamjene plinskog grijanja dizalicom topline,

Privatni kapital je 20% ukupne investicije. Ukupna investicija je umanjena za poticaj obnovljivih izvora energije za 40% cijene dizalice topline u uvjetima korištenja jedne mjere energetske učinkovitosti. Duljina otplate kredita je na 10 godina sa kamatnom stopom od 4.3 %.

#### **10.3.4. Scenarij D**

U scenariju D tehnologije uključene u analizu su sljedeće:

1. Solarna elektrana,

Ukupni troškovi (knjigovodstveni i stvarni) scenarija D su sljedeći:

1. Amortizacija solarne elektrane,
2. Rata kredita

Uštede scenarija D su sljedeće:

1. Prodaja predane električne energije u mrežu,
2. Ušteda na računu za električnu energiju zbog prisustva solarne elektrane,

Privatni kapital je 20% ukupne investicije. Ukupna investicija je umanjena za poticaj obnovljivih izvora energije za 40% cijene solarne elektrane u uvjetima korištenja jedne mjere energetske učinkovitosti. Duljina otplate kredita je na 5 godina sa kamatnom stopom od 4.3 %.

#### **10.3.5. Scenarij E**

U scenariju E tehnologije uključene u analizu su sljedeće:

1. Električni punjač,
2. Električni automobil.

Ukupni troškovi (knjigovodstveni i stvarni) scenarija E su sljedeći:

1. Amortizacija električnog punjača,
2. Amortizacija električnog automobila,
3. Utrošak električne energije koja nije pokrivena od strane solarne elektrane,
4. Rata kredita

Uštede scenarija A su sljedeće:

1. Ušteda na gorivu za automobil zbog zamjene sa električnim automobilom.

Privatni kapital je 20% ukupne investicije. Ukupna investicija je umanjena za poticaj nabave energetski učinkovitijih vozila za 40% cijene električnog automobila. Duljina otplate kredita je na 10 godina sa kamatnom stopom od 4.3 %.



#### 10.4. Ulazni podaci i rezultati scenarija

U ovom poglavlju biti će prikazani investicijski troškovi od kojih će se dijelovi ponavljati u svim scenarijima, ukupni investicijski troškovi, troškovi sustava i uštede sustava te rezultati proračuna ekonomskog i financijskog novčanog toka. Zajednički ulazni podaci su oni o cijenama električne energije i prirodnog plina te utrošku goriva za automobil na godišnjoj bazi. Razlika u podatku se javlja tek na scenariju D koji zbog drugog režima u kojem radi solarna elektrana ima drugačiji iznos otkupne cijene električne energije. O tome će se detaljnije govoriti u sljedećim poglavljima. Također, u scenarijima B, C, D i E se javljaju različiti zahtjevi za električnom i toplinskom energijom te će u ulaznim podacima, gdje je potrebno, biti prikazani novi grafovi zahtjeva za električnom i toplinskom energijom.

**Tablica 14 Cijene električne energije i naknada**

RVT	0,064987	[€]
RNT	0,03183	[€]
MVT	0,064987	[€]
MNT	0,022546	[€]
NOIE	0,013926	[€]
SOL	0,003979	[€]
CiVT	0,051989	[€]

RVT – Radna energija u višoj tarifi [€/kWh]

RNT – Radna energija u nižoj tarifi [€/kWh]

MVT – mrežarina u višoj tarifi [€/kWh]

MNT – mrežarina u nižoj tarifi [€/kWh]

NOIE – naknada za obnovljive izvore energije [€/kWh]

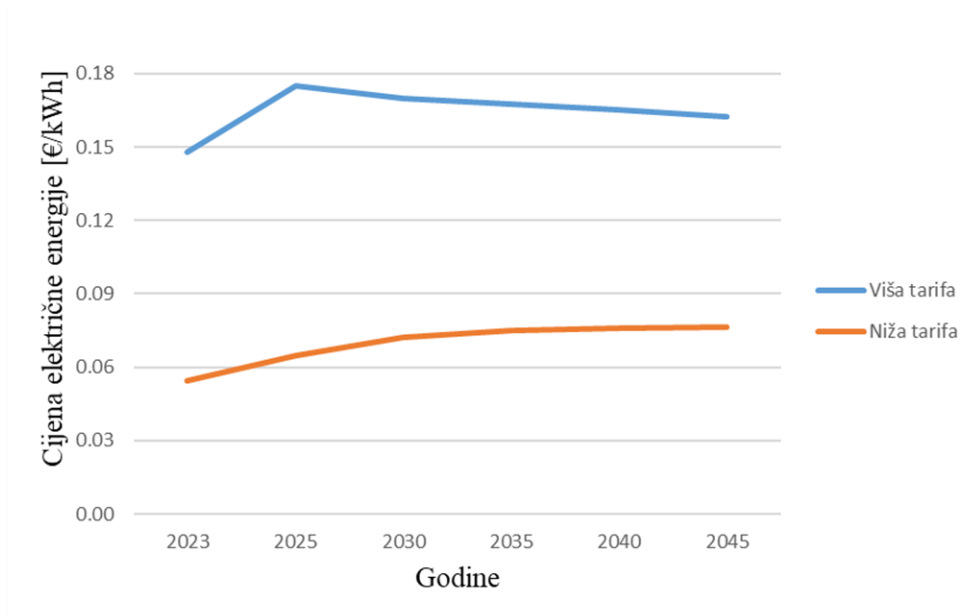
SOL – solidarna naknada [€/kWh]

CiVT – otkupna cijena u višoj tarifi [€/kWh]

CiVT u scenariju D iznosi 0.0359 €/kWh.

**Tablica 15 Cijene električne energije**

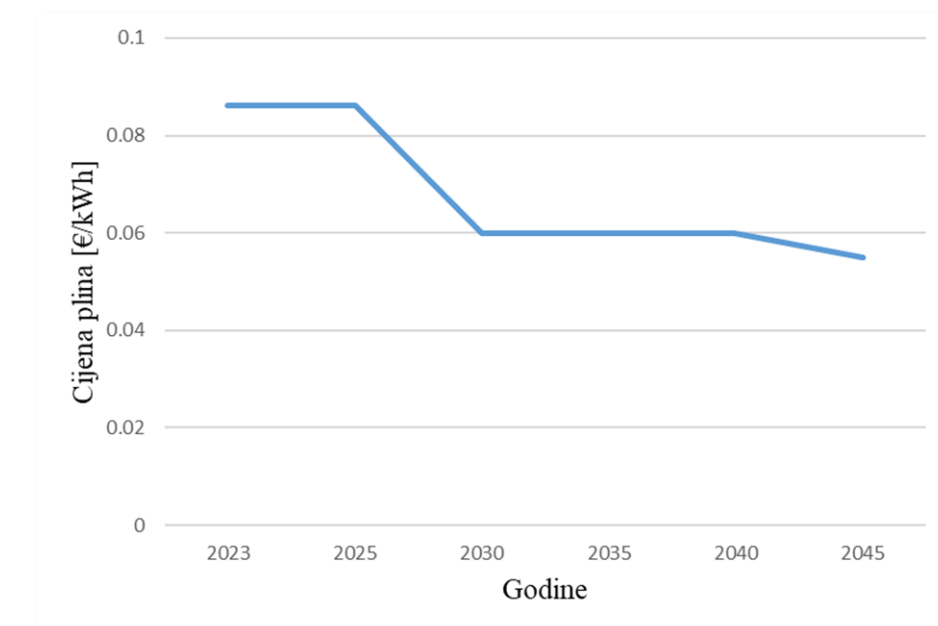
Cijena električne energije u režimu prodaje =	0,0520	[€/kWh]
Cijena električne energije u režimu kupnje VT=	0,1479	[€/kWh]
Cijena električne energije u režimu kupnje NT=	0,0544	[€/kWh]



Slika 45 Predviđanje kretanja cijena električne energije [15]

Tablica 16 Podaci o utrošku goriva za automobil

TROŠAK GORIVA		
Prosječan broj kilometara =	12755	km/a
Prosječni utrošak goriva =	0,07	l/km
Utrošak goriva =	892,85	l/a
Cijena goriva =	1,4	€/l
Trošak goriva =	1249,99	€



Slika 46 Predviđanje kretanja cijene plina [16]

U proračunu se nije koristila fiksna cijena električne energije i plina kroz sve godine već se koristilo predviđanje kretanja cijena. Slike 45 i 46 prikazuju grafove dobivene od podataka iz članaka u literaturi pod oznakama 15 i 16.

#### 10.4.1. Ulazni podaci i rezultati scenarija A

**Tablica 17 Investicijski troškovi scenarija A**

INVESTICIJSKI TROŠKOVI SCENARIJA A		
<b>DIZALICA TOPLINE</b>		
Cijena tehnologije	5915	€
Cijena projekta	700	€
Cijena montaže	1183	€
Ukupni trošak	7798	€
<b>SOLARNA ELEKTRANA</b>		
Cijena sustava po kWp	1100	€/kWp
Cijena sustava	8910	€
Cijena projekta	600	€
Cijena priključka	310,34	€
Ukupni trošak	910,34	€
<b>ELEKTRIČNI PUNJAČ</b>		
Cijena tehnologije	460	€
Ukupni trošak	460	€
<b>ELEKTRIČNI AUTOMOBIL</b>		
Cijena tehnologije	28000	€
Ukupni trošak	28000	€

Zbog poticaja navedenih u prijašnjem poglavlju od 21771,01 € ukupni investicijski trošak je 24307,34 €.

**Tablica 18 Informacije o kreditu scenarija A**

Godina	Glavnica [€]	Kamata [€]
1	1597,26	836,17
2	1665,94	767,48
3	1737,58	695,85
4	1812,30	621,13
5	1890,22	543,2
6	1971,50	461,92
7	2056,28	377,15
8	2144,70	288,73
9	2236,92	196,51
10	2333,11	100,32

Troškovi i uštede scenarija A koji se koriste u proračunu financijskog i ekonomskog novčanog toka navedeni su u prilogu I. Trošak amortizacije scenarija A je trošak dizalice topline, solarne elektrane, električnog punjača i električnog automobila te ona na godišnjoj bazi iznosi 4607,83 €.

**Tablica 19 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija A**

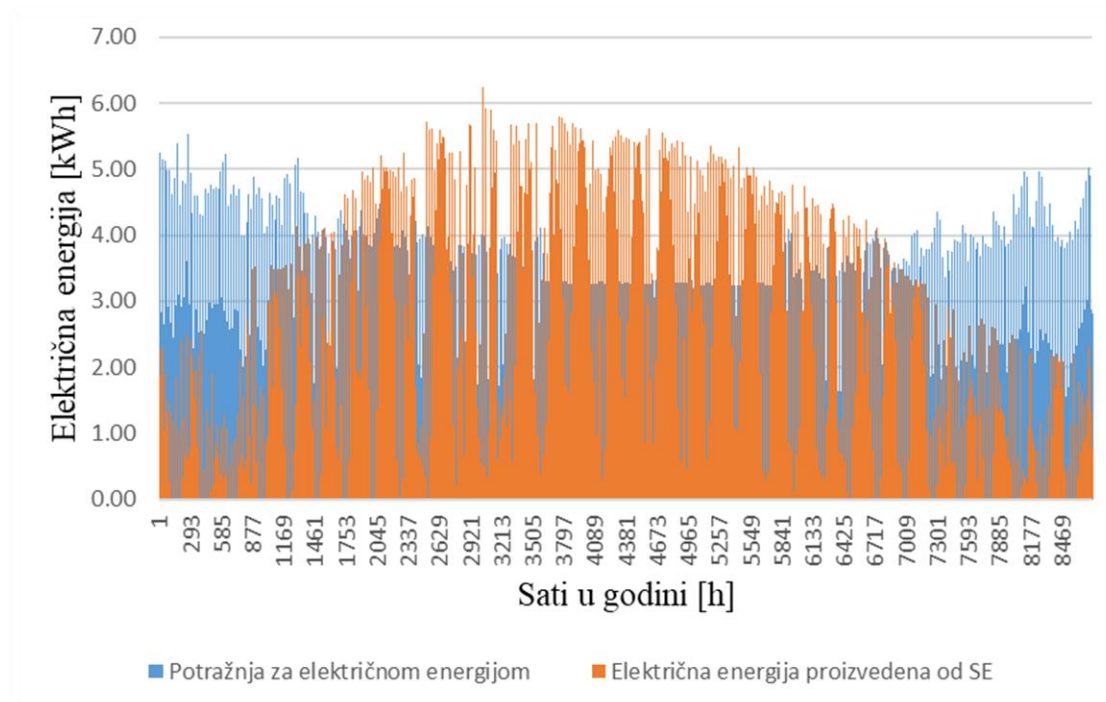
Godina	BRUTO PRIHODI [€]	POREZNA OSNOVICA [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0				-4861,47	-4861,47
1	3972,07	-1471,94	0,00	1538,63	-3322,83
2	4004,19	-1371,13	0,00	1570,75	-1752,08
3	4036,31	-1267,38	0,00	1602,87	-149,21
4	3876,88	-1352,10	0,00	1443,44	1294,23
5	3727,12	-1423,93	0,00	1293,68	2587,91
6	3586,41	-1483,36	0,00	1152,97	3740,88
7	3454,18	-1530,81	0,00	1020,74	4761,61
8	3278,97	-1617,60	0,00	845,53	5607,14
9	3275,29	-1529,05	0,00	841,85	6448,99
10	3271,62	-1436,54	0,00	838,18	7287,17
11	3267,94	3267,94	653,59	2614,36	9901,53
12	3264,27	3264,27	652,85	2611,42	12512,95
13	3260,60	3260,60	652,12	2608,48	15121,42
14	3258,34	3258,34	651,67	2606,67	17728,09
15	3256,07	3256,07	651,21	2604,86	20332,95
16	3253,81	1441,19	288,24	2965,57	23298,53
17	3251,55	3251,55	650,31	2601,24	25899,77
18	3249,29	3249,29	649,86	2599,43	28499,20
19	3141,70	3141,70	628,34	2513,36	31012,56
20	2963,38	2963,38	592,68	2370,70	33383,26

**Tablica 20 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija A**

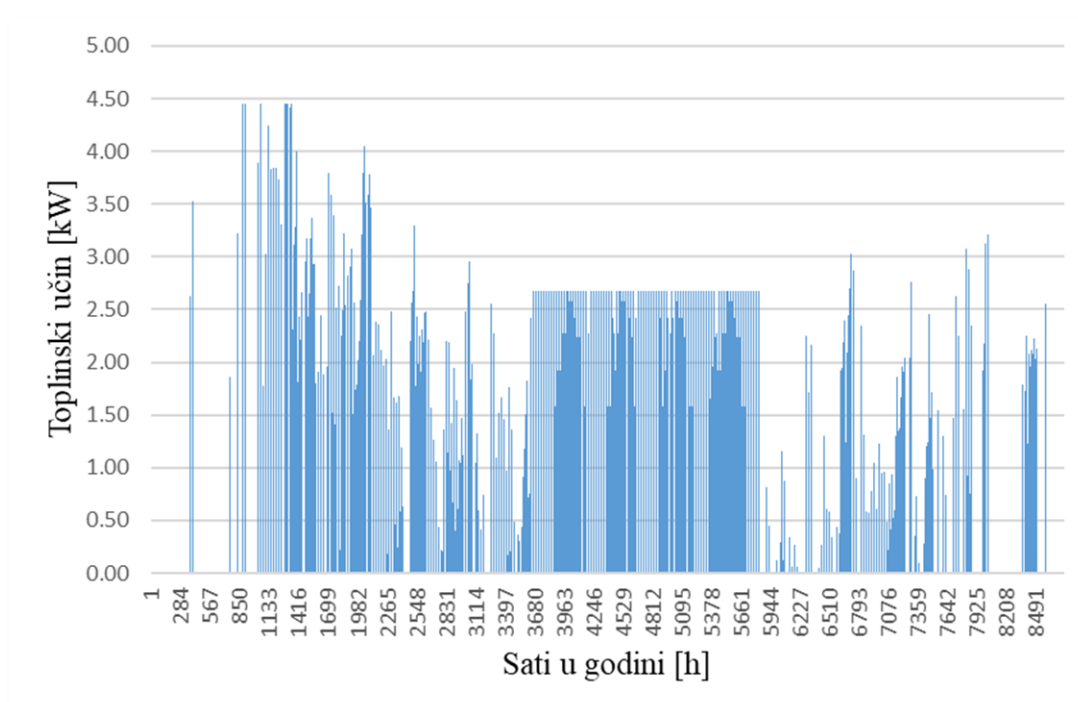
Godina	UKUPNI PRIHODI [€]	UKUPNI RASHODI [€]	BRUTO PRIHODI [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0		-4861,47			-24307,34	-24307,34
1	4532,23	-560,16	3972,07	0,00	3972,07	-20335,27
2	4616,09	-611,90	4004,19	0,00	4004,19	-16331,08
3	4699,95	-663,64	4036,31	0,00	4036,31	-12294,76
4	4545,86	-668,98	3876,88	0,00	3876,88	-8417,89
5	4401,45	-674,33	3727,12	0,00	3727,12	-4690,77
6	4266,09	-679,68	3586,41	0,00	3586,41	-1104,36
7	4139,20	-685,03	3454,18	0,00	3454,18	2349,81
8	3969,34	-690,37	3278,97	0,00	3278,97	5628,78
9	3967,61	-692,31	3275,29	0,00	3275,29	8904,07
10	3965,87	-694,25	3271,62	0,00	3271,62	12175,69
11	3964,14	-696,19	3267,94	653,59	2614,36	14790,05
12	3962,40	-698,13	3264,27	652,85	2611,42	17401,46
13	3960,67	-700,07	3260,60	652,12	2608,48	20009,94
14	3958,15	-699,81	3258,34	651,67	2606,67	22616,61
15	3955,63	-699,55	3256,07	651,21	2604,86	25221,47
16	3953,10	-699,29	3253,81	288,24	2965,57	28187,04
17	3950,58	-699,03	3251,55	650,31	2601,24	30788,28
18	3948,06	-698,77	3249,29	649,86	2599,43	33387,71
19	3840,21	-698,51	3141,70	628,34	2513,36	35901,08
20	3618,85	-655,47	2963,38	592,68	2370,70	38271,78

Izračunati IRR za scenarij A je 13% dok je NPV 6654,75 €. Vidljivo je da se projekt isplati nakon 5 godina.

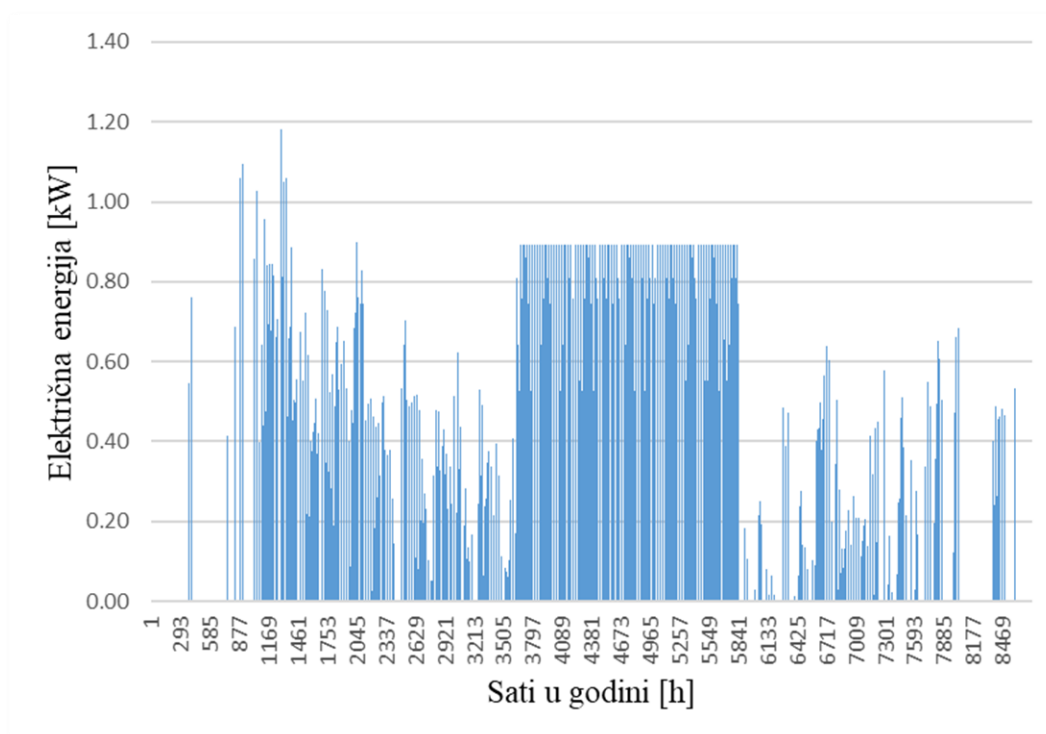
## 10.4.2. Ulazni podaci i rezultati scenarija B



Slika 47 Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarne elektrane scenarija B



Slika 48 Pokrivanje potreba grijanja i PTV-a električnom energijom preko dizalice topline scenarija B



Slika 49 Ušteda električne energije na dizalici topline scenarija B

Tablica 21 Investicijski troškovi scenarija B

INVESTICIJSKI TROŠKOVI SCENARIJA B		
DIZALICA TOPLINE		
Cijena tehnologije	5915	€
Cijena projekta	700	€
Cijena montaže	1183	€
Ukupni trošak	7798	€
SOLARNA ELEKTRANA		
Cijena sustava po kWp	1100	€/kWp
Cijena sustava	8910	€
Cijena projekta	600	€
Cijena priključka	310,34	€
Ukupni trošak	910,34	€

Zbog poticaja navedenih u prijašnjem poglavlju od 10571,1 € , ukupni investicijski trošak je 7047,34 €.

**Tablica 22 Informacije o kreditu scenarija B**

Godina	Glavnica [€]	Kamata [€]
1	463,09	242,43
2	483,00	222,52
3	503,77	201,75
4	525,43	180,08
5	548,03	157,49
6	571,59	133,93
7	596,17	109,35
8	621,81	83,71
9	648,54	56,97
10	676,43	29,09

Troškovi i uštede scenarija B koji se koriste u proračunu financijskog i ekonomskog novčanog toka navedeni su u prilogu II. Trošak amortizacije scenarija B je trošak dizalice topline i solarne elektrane te ona na godišnjoj bazi iznosi 1409,47 €.

**Tablica 23 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija B**

Godina	BRUTO PRIHODI [€]	POREZNA OSNOVICA [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0				-1409,47	-1409,47
1	3001,23	-764,86	0,00	2295,71	886,25
2	3059,09	-687,10	0,00	2353,57	3239,82
3	3116,95	-608,47	0,00	2411,43	5651,25
4	2959,10	-744,65	0,00	2253,58	7904,83
5	2810,93	-870,23	0,00	2105,41	10010,23
6	2671,81	-985,79	0,00	1966,29	11976,52
7	2541,16	-1091,85	0,00	1835,64	13812,17
8	2367,54	-1239,84	0,00	1662,02	15474,19
9	2364,38	-1216,26	0,00	1658,87	17133,05
10	2361,23	-1191,53	0,00	1655,71	18788,76
11	2358,07	2358,07	471,61	1886,46	20675,22



12	2354,92	2354,92	470,98	1883,93	22559,15
13	2351,76	2351,76	470,35	1881,41	24440,56
14	2349,18	2349,18	469,84	1879,34	26319,90
15	2346,59	2346,59	469,32	1877,28	28197,18
16	2344,01	531,39	106,28	2237,73	30434,91
17	2341,43	2341,43	468,29	1873,14	32308,06
18	2338,85	2338,85	467,77	1871,08	34179,13
19	2230,94	2230,94	446,19	1784,75	35963,89
20	2026,75	2026,75	405,35	1621,40	37585,28

**Tablica 24 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija B**

Godina	UKUPNI PRIHODI [€]	UKUPNI RASHODI [€]	BRUTO PRIHODI [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0		-1409,47			-7047,34	-7047,34
1	3268,25	-267,01	3001,23	0,00	3001,23	-4046,11
2	3350,83	-291,74	3059,09	0,00	3059,09	-987,02
3	3433,41	-316,47	3116,95	0,00	3116,95	2129,93
4	3279,74	-320,64	2959,10	0,00	2959,10	5089,03
5	3135,74	-324,81	2810,93	0,00	2810,93	7899,95
6	3000,79	-328,99	2671,81	0,00	2671,81	10571,76
7	2874,32	-333,16	2541,16	0,00	2541,16	13112,92
8	2704,87	-337,33	2367,54	0,00	2367,54	15480,46
9	2703,33	-338,94	2364,38	0,00	2364,38	17844,85
10	2701,78	-340,55	2361,23	0,00	2361,23	20206,07
11	2700,23	-342,15	2358,07	471,61	1886,46	22092,53
12	2698,68	-343,76	2354,92	470,98	1883,93	23976,46
13	2697,13	-345,37	2351,76	470,35	1881,41	25857,87
14	2694,71	-345,53	2349,18	469,84	1879,34	27737,21

15	2692,29	-345,70	2346,59	469,32	1877,28	29614,49
16	2689,88	-345,87	2344,01	106,28	2237,73	31852,22
17	2687,46	-346,03	2341,43	468,29	1873,14	33725,37
18	2685,04	-346,20	2338,85	467,77	1871,08	35596,44
19	2577,30	-346,36	2230,94	446,19	1784,75	37381,20
20	2359,76	-333,02	2026,75	405,35	1621,40	39002,59

Izračunati IRR za scenarij B je 38% dok je NPV 14871,56 €. Vidljivo je da se projekt isplati nakon 3 godine.

#### 10.4.3. Ulazni podaci i rezultati scenarija C

**Tablica 25 Investicijski troškovi scenarija C**

INVESTICIJSKI TROŠKOVI SCENARIJA C		
DIZALICA TOPLINE		
Cijena tehnologije	5915	€
Cijena projekta	700	€
Cijena montaže	1183	€
Ukupni trošak	7798	€

Zbog poticaja navedenih u prijašnjem poglavlju od 3119,2 € , ukupni investicijski trošak je 4678,8 €.

**Tablica 26 Informacije o kreditu scenarija C**

Godina	Glavnica [€]	Kamata [€]
1	307,45	160,95
2	320,67	147,73
3	334,46	133,94
4	348,84	119,56
5	363,84	104,56
6	379,49	88,91
7	395,80	72,60
8	412,82	55,58
9	430,58	37,83
10	449,09	19,31

Troškovi i uštede scenarija C koji se koriste u proračunu financijskog i ekonomskog novčanog toka navedeni su u prilogu III. Trošak amortizacije scenarija C je trošak dizalice topline te ona na godišnjoj bazi iznosi 779,80 €.

**Tablica 27 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija C**

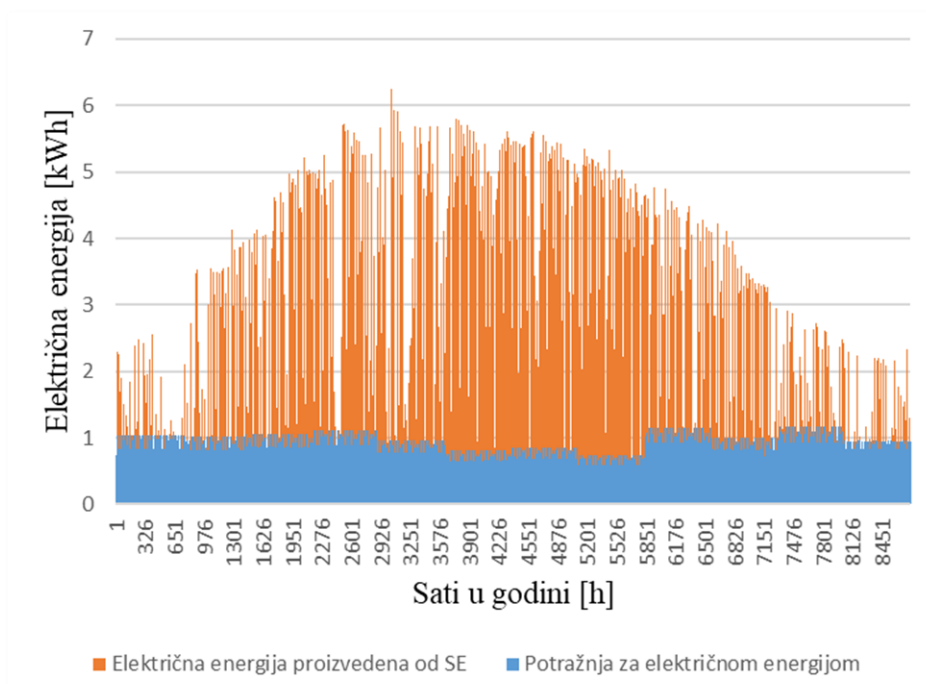
Godina	BRUTO PRIHODI [€]	POREZNA OSNOVICA [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0				-935,76	-935,76
1	1607,51	666,76	133,35	1005,76	70,00
2	1537,94	610,41	122,08	947,46	1017,46
3	1468,37	554,63	110,93	889,04	1906,50
4	1311,88	412,52	82,50	760,97	2667,48
5	1165,06	280,70	56,14	640,52	3308,00
6	1027,30	158,58	31,72	527,18	3835,18
7	898,01	45,61	9,12	420,48	4255,66
8	725,74	-109,64	0,00	257,34	4513,00
9	723,90	-93,72	0,00	255,50	4768,51
10	722,07	-77,04	0,00	253,67	5022,17
11	720,23	720,23	144,05	576,19	5598,36
12	718,40	718,40	143,68	574,72	6173,08
13	716,56	716,56	143,31	573,25	6746,33
14	717,24	717,24	143,45	573,79	7320,12
15	717,93	717,93	143,59	574,34	7894,46
16	718,61	-1094,01	0,00	718,61	8613,07
17	719,29	719,29	143,86	575,43	9188,50
18	719,97	719,97	143,99	575,98	9764,48
19	615,33	615,33	123,07	492,26	10256,74
20	582,83	582,83	116,57	466,26	10723,00

**Tablica 28 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija C**

Godina	UKUPNI PRIHODI [€]	UKUPNI RASHODI [€]	BRUTO PRIHODI [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0		-935,76			-4678,80	-4678,80
1	2361,58	-754,07	1607,51	133,35	1474,16	-3204,64
2	2361,58	-823,64	1537,94	122,08	1415,86	-1788,78
3	2361,58	-893,21	1468,37	110,93	1357,44	-431,33
4	2210,44	-898,56	1311,88	82,50	1229,38	798,04
5	2068,97	-903,91	1165,06	56,14	1108,92	1906,96
6	1936,56	-909,26	1027,30	31,72	995,58	2902,54
7	1812,62	-914,61	898,01	9,12	888,88	3791,43
8	1645,70	-919,96	725,74	0,00	725,74	4517,17
9	1645,70	-921,80	723,90	0,00	723,90	5241,07
10	1645,70	-923,63	722,07	0,00	722,07	5963,14
11	1645,70	-925,47	720,23	144,05	576,19	6539,33
12	1645,70	-927,31	718,40	143,68	574,72	7114,04
13	1645,70	-929,14	716,56	143,31	573,25	7687,29
14	1645,70	-928,46	717,24	143,45	573,79	8261,09
15	1645,70	-927,78	717,93	143,59	574,34	8835,43
16	1645,70	-927,10	718,61	0,00	718,61	9554,04
17	1645,70	-926,41	719,29	143,86	575,43	10129,47
18	1645,70	-925,73	719,97	143,99	575,98	10705,44
19	1540,38	-925,05	615,33	123,07	492,26	11197,70
20	1441,79	-858,96	582,83	116,57	466,26	11663,97

Izračunati IRR za scenarij C je 25% dok je NPV 4146,59 €. Vidljivo je da se projekt isplati nakon 4 godine.

## 10.4.4. Ulazni podaci i rezultati scenarija D



**Slika 50** Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarne elektrane scenarija D

Iz slike 50 je vidljivo da u scenariju D, s obzirom da jedini zahtjev za solarnom energijom postoji od same potrošnje kućanstva, solarne elektrane od 8,1 kWp proizvodi previše električne energije te se velika većina predaje u mrežu. Zbog toga kućanstvo prelazi iz sustava potrošača u sustav proizvođača čime se otkupna cijena smanjuje. Otkupna cijena je toliko manja koliko je veći odnos preuzete i predane električne energije iz mreže. Odnosno, ako je solarne elektrane predimenzionirana, kao što je slučaj u scenariju D, električna energija predana u mrežu ima manju otkupnu cijenu čime je manja isplativost sustava.

Formula kojom se računa nova otkupna cijena je sljedeća:

$$CiVT = -C_{osn} * \frac{E_{pred}}{E_{preuz}} \quad [€] \quad (41)$$

$C_{osn}$  - osnovica izračuna cijene otkupa [€]

$E_{pred}$  – ukupna godišnja predana električna energija u mrežu [kWh]

$E_{preuz}$  – ukupna godišnja preuzeta električna energija iz mreže [kWh]

$$C_{osn} = \frac{(C_{VT} + C_{NT})}{E_{preuz}} \quad [€] \quad (42)$$

$C_{VT}$  – cijena električne energije u višoj tarifi [€]

$C_{NT}$  – cijena električne energije u nižoj tarifi [€]

**Tablica 29 Investicijski troškovi scenarija D**

INVESTICIJSKI TROŠKOVI SCENARIJA D		
SOLARNA ELEKTRANA		
Cijena sustava po kWp	1100	€/kWp
Cijena sustava	8910	€
Cijena projekta	600	€
Cijena priključka	310,34	€
Ukupni trošak	910,34	€

Zbog poticaja navedenih u prijašnjem poglavlju od 3848,14 €, ukupni investicijski trošak je 5772,21 €.

**Tablica 30 Informacije o kreditu scenarija D**

Godina	Glavnica [€]	Kamata [€]
1	847.47	198.56
2	883.91	162.12
3	921.92	124.11
4	961.56	84.47
5	1002.91	43.13

Troškovi i uštede scenarija D koji se koriste u proračunu financijskog i ekonomskog novčanog toka navedeni su u prilogu IV. Trošak amortizacije scenarija D je trošak solarne elektrane te ona na godišnjoj bazi iznosi 1154,44 €.

**Tablica 31 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija D**

Godina	BRUTO PRIHODI [€]	POREZNA OSNOVICA [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0				-1154,44	-1154,44
1	649,24	-703,76	0,00	-396,79	-1551,23
2	692,89	-623,68	0,00	-353,14	-1904,37
3	736,62	-541,93	0,00	-309,41	-2213,79
4	739,00	-499,91	0,00	-307,03	-2520,82
5	741,47	-456,09	0,00	-304,56	-2825,38
6	744,04	744,04	148,81	595,23	-2230,15
7	746,70	746,70	149,34	597,36	-1632,79
8	749,46	749,46	149,89	599,57	-1033,22
9	753,39	753,39	150,68	602,71	-430,50
10	757,42	757,42	151,48	605,94	175,43
11	761,55	761,55	152,31	609,24	784,68
12	765,80	765,80	153,16	612,64	1397,31
13	770,14	770,14	154,03	616,12	2013,43
14	774,45	774,45	154,89	619,56	2632,98
15	778,86	778,86	155,77	623,09	3256,07
16	783,39	783,39	156,68	626,71	3882,79
17	788,04	788,04	157,61	630,43	4513,22
18	792,81	792,81	158,56	634,25	5147,47
19	797,70	797,70	159,54	638,16	5785,63
20	743,34	743,34	148,67	594,67	6380,30

**Tablica 32 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija D**

Godina	UKUPNI PRIHODI [€]	UKUPNI RASHODI [€]	BRUTO PRIHODI [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0		-1154,44			-5772,21	-5772,21
1	649,24	0,00	649,24	0,00	649,24	-5122,96
2	692,89	0,00	692,89	0,00	692,89	-4430,07
3	736,62	0,00	736,62	0,00	736,62	-3693,45
4	739,00	0,00	739,00	0,00	739,00	-2954,45
5	741,47	0,00	741,47	0,00	741,47	-2212,98
6	744,04	0,00	744,04	148,81	595,23	-1617,75
7	746,70	0,00	746,70	149,34	597,36	-1020,39
8	749,46	0,00	749,46	149,89	599,57	-420,82
9	753,39	0,00	753,39	150,68	602,71	181,89
10	757,42	0,00	757,42	151,48	605,94	787,83
11	761,55	0,00	761,55	152,31	609,24	1397,07
12	765,80	0,00	765,80	153,16	612,64	2009,71
13	770,14	0,00	770,14	154,03	616,12	2625,83
14	774,45	0,00	774,45	154,89	619,56	3245,38
15	778,86	0,00	778,86	155,77	623,09	3868,47
16	783,39	0,00	783,39	156,68	626,71	4495,19
17	788,04	0,00	788,04	157,61	630,43	5125,62
18	792,81	0,00	792,81	158,56	634,25	5759,87
19	797,70	0,00	797,70	159,54	638,16	6398,02
20	743,34	0,00	743,34	148,67	594,67	6992,70

Izračunati IRR za scenarij D je 9% dok je NPV 176,46 €. Vidljivo je da se projekt isplati nakon 9 godina. Vidljivo je da je zbog predimenzioniranosti solarne elektrane i niske otkupne cijene električne energije isplativost puno manja od očekivane. Solarne elektrane koje su ispravno dimenzionirane se isplate već nakon 4 do 5 godina.



**10.4.5. Ulazni podaci i rezultati scenarija E****Tablica 33 Investicijski troškovi scenarija E**

INVESTICIJSKI TROŠKOVI SCENARIJA A		
ELEKTRIČNI PUNJAČ		
Cijena tehnologije	460	€
Ukupni trošak	460	€
ELEKTRIČNI AUTOMOBIL		
Cijena tehnologije	28000	€
Ukupni trošak	28000	€

Zbog poticaja navedenih u prijašnjem poglavlju od 11200 €, ukupni investicijski trošak je 17260 €.

**Tablica 34 Informacije o kreditu scenarija E**

Godina	Glavnica	Kamata
1	1134,18	593,74
2	1182,95	544,97
3	1233,81	494,11
4	1286,87	441,05
5	1342,20	385,72
6	1399,92	328,00
7	1460,11	267,81
8	1522,90	205,02
9	1588,38	139,54
10	1656,68	71,24

Troškovi i uštede scenarija E koji se koriste u proračunu financijskog i ekonomskog novčanog toka navedeni su u prilogu V. Trošak amortizacije scenarija E je trošak električnog punjača i električnog automobila te ona na godišnjoj bazi iznosi 2846 €.

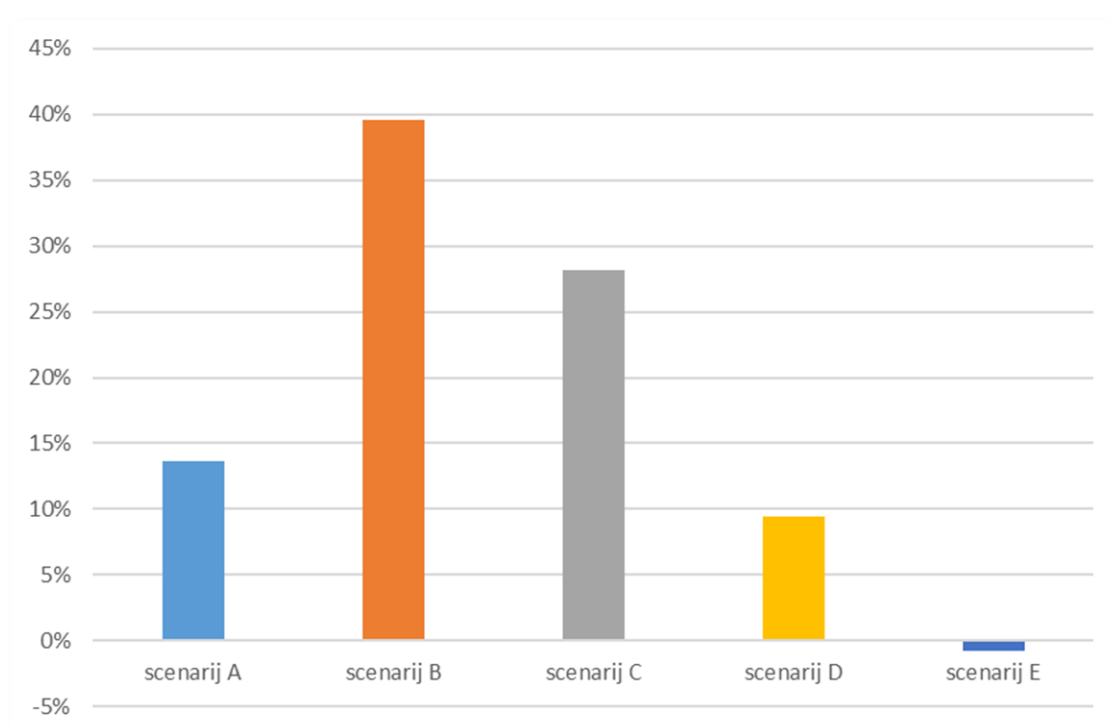
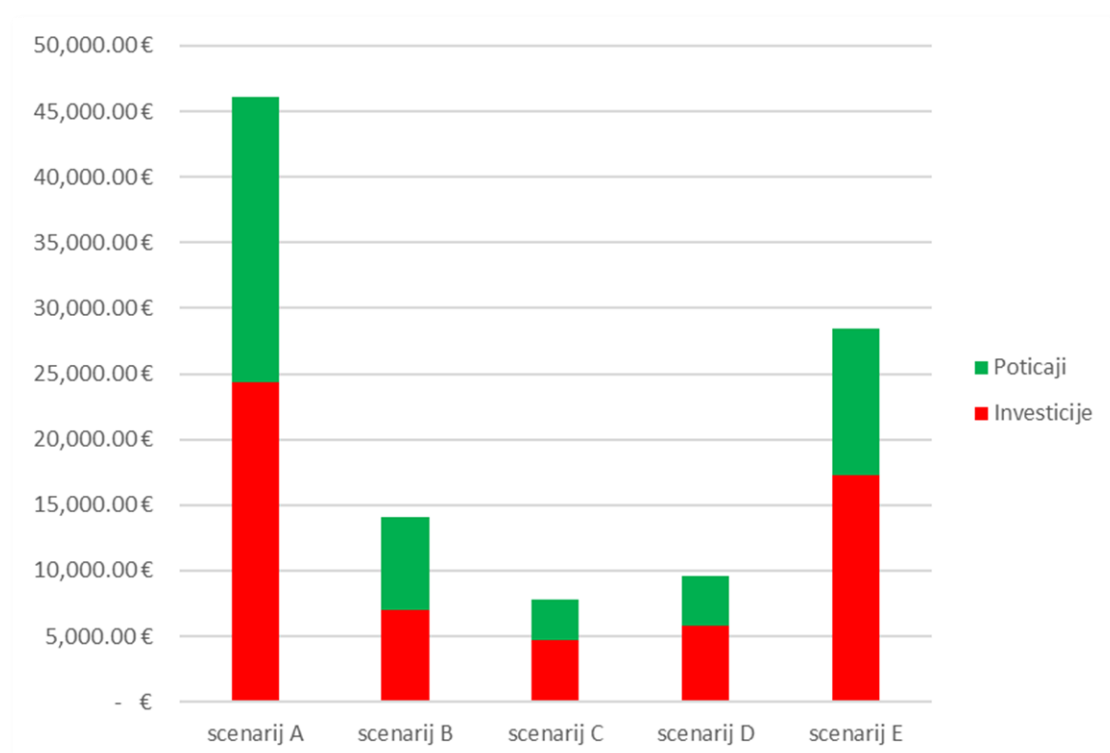
**Tablica 35 Rezultati proračuna financijskog novčanog toka scenarija E**

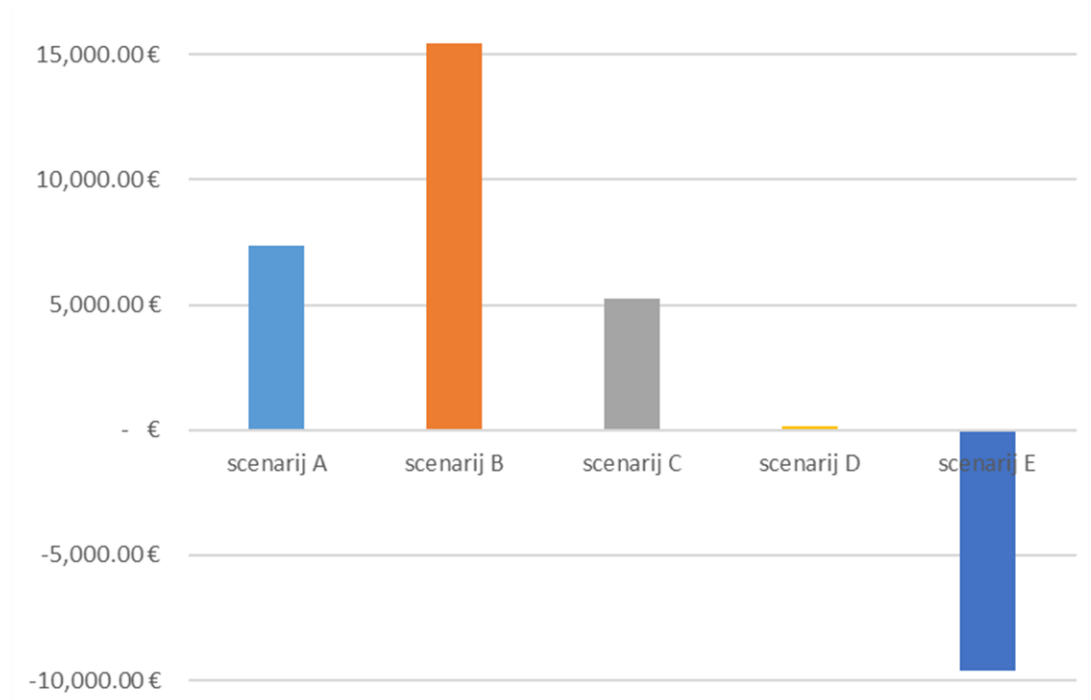
Godina	BRUTO PRIHODI [€]	POREZNA OSNOVICA [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVN I NOVČANI TOK [€]
0				-3452,00	-3452,00
1	942,84	-5342,90	0,00	-785,08	-4237,08
2	914,54	-5322,43	0,00	-813,38	-5050,45
3	886,24	-5299,87	0,00	-841,68	-5892,13
4	884,95	-5248,10	0,00	-842,97	-6735,10
5	883,66	-5194,06	0,00	-844,26	-7579,36
6	882,37	-5137,63	0,00	-845,55	-8424,91
7	881,08	-5078,73	0,00	-846,84	-9271,75
8	879,79	-5017,23	0,00	-848,13	-10119,88
9	879,42	-4952,12	0,00	-848,51	-10968,39
10	879,04	-4884,20	0,00	-848,88	-11817,27
11	878,67	878,67	175,73	702,93	-11114,34
12	878,29	878,29	175,66	702,63	-10411,70
13	877,92	877,92	175,58	702,33	-9709,37
14	878,35	878,35	175,67	702,68	-9006,69
15	878,79	878,79	175,76	703,03	-8303,65
16	879,23	879,23	175,85	703,38	-7600,27
17	879,66	879,66	175,93	703,73	-6896,54
18	880,10	880,10	176,02	704,08	-6192,46
19	880,54	880,54	176,11	704,43	-5488,03
20	911,38	911,38	182,28	729,10	-4758,93

**Tablica 36 Rezultati proračuna ekonomskog novčanog toka scenarija E**

Godina	UKUPNI PRIHODI [€]	UKUPNI RASHODI [€]	BRUTO PRIHODI [€]	POREZ [€]	NETO PROFIT [€]	KUMULATIVNI NOVČANI TOK [€]
0		-3452,00			-17260,00	-17260,00
1	1249,99	-307,15	942,84	0,00	942,84	-16317,16
2	1249,99	-335,45	914,54	0,00	914,54	-15402,61
3	1249,99	-363,75	886,24	0,00	886,24	-14516,37
4	1249,99	-365,04	884,95	0,00	884,95	-13631,42
5	1249,99	-366,33	883,66	0,00	883,66	-12747,76
6	1249,99	-367,62	882,37	0,00	882,37	-11865,39
7	1249,99	-368,91	881,08	0,00	881,08	-10984,31
8	1249,99	-370,20	879,79	0,00	879,79	-10104,52
9	1249,99	-370,57	879,42	0,00	879,42	-9225,10
10	1249,99	-370,95	879,04	0,00	879,04	-8346,06
11	1249,99	-371,32	878,67	175,73	702,93	-7643,13
12	1249,99	-371,70	878,29	175,66	702,63	-6940,50
13	1249,99	-372,07	877,92	175,58	702,33	-6238,16
14	1249,99	-371,64	878,35	175,67	702,68	-5535,48
15	1249,99	-371,20	878,79	175,76	703,03	-4832,45
16	1249,99	-370,76	879,23	175,85	703,38	-4129,07
17	1249,99	-370,33	879,66	175,93	703,73	-3425,33
18	1249,99	-369,89	880,10	176,02	704,08	-2721,25
19	1249,99	-369,45	880,54	176,11	704,43	-2016,82
20	1249,99	-338,61	911,38	182,28	729,10	-1287,72

Izračunati IRR za scenarij E je -1% dok je NPV -9603,08 €. Vidljivo je da se projekt ne isplati. Ovo je jedini scenarij koji je ekonomski neisplativ.

**10.5. Usporedba scenarija****Slika 51 Usporedba IRR-a svih scenarija****Slika 52 Usporedba investicija i poticaja svih scenarija**



**Slika 53 Usporedba NPV-ova svih scenarij**

Iz predočenih usporedba rezultata je vidljivo da scenarij A ima najveće investicije i poticaje dok je po isplativosti treći po redu. To je za očekivati zbog velikih investicijskih troškova. Scenarij B je daleko ekonomski najisplativiji što dokazuju velike vrijednosti IRR-a i NPV-a, dok mu investicijski troškovi nisu značajni. Takvi rezultati scenarija B su bili očekivani s obzirom na trenutne cijene plina, ali i sustav koji pokriva sve potrebe kućanstva za toplinskom energijom te se i u određenom postotku samopogoni solarnom elektranom. Scenarij C ima najniže troškove i poticaje te je drugi po redu po isplativost, također zbog trenutnih cijena prirodnog plina. Scenarij D ima relativno velike investicijske troškove te je i relativno isplativ zbog predimenzioniranosti sustava. Scenarij E ima visoke investicijske troškove i poticaje, no zbog malih ušteda je jedini scenarij koji nije ekonomski učinkovit.

## **11. PRESLIKA DIGITALNOG BLIZANCA I MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI NA PANONSKU HRVATSKU**

U ovom poglavlju digitalni blizanac će biti multipliciran i primijenjen na cjelokupnu Panonsku Hrvatsku. Opisat će se trenutne mjere energetske učinkovitosti koje su primjenjive na to područje Hrvatske te rezultati vezani za ukupan broj kućanstava Panonske Hrvatske.

### **11.1. Osnovne informacije**

Panonska Hrvatska obuhvaća južni i istočni dio kontinentalne Hrvatske. Sastoji se od sljedećih županija:

1. Bjelovarsko-bilogorska županija,
2. Virovitičko-podravska županija,
3. Požeško-slavonska županija,
4. Brodsko-posavska županija,
5. Osječko-baranjska županija,
6. Vukovarsko-srijemska županija,
7. Karlovačka županija,
8. Sisačko-moslavačka županija.

Određeni gradovi, sela i naselja županija Panonske Hrvatske nalaze se u područjima posebne državne skrbi. Kuća na kojoj se temelji digitalni blizanac se nalazi u Osječko-baranjskoj županiji. Po statističkom izvješću „Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2021.“ [17] u Panonskoj Hrvatskoj postoji 382 535 privatnih kućanstava koji su podobni za uvođenje mjera proračunatih u digitalnom blizancu.



Slika 54 Prikaz podjele Hrvatske na osnovne regije [23]

## 11.2. Mjere energetske učinkovitosti

Prema Fondu za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (FZOEU) trenutno su aktualne tri mjere energetske učinkovitosti otvorene 2022. godine.

### 11.2.1. Mjera poticanja obnovljivih izvora energije u obiteljskim kućama

Ova mjera je namijenjena objektima namijenjenima za stanovanje, B energetske kategorije u primorskoj Hrvatskoj i C energetske kategorije u kontinentalnoj Hrvatskoj. Mjera je orijentirana na poticanje korištenja obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne i toplinske energije.

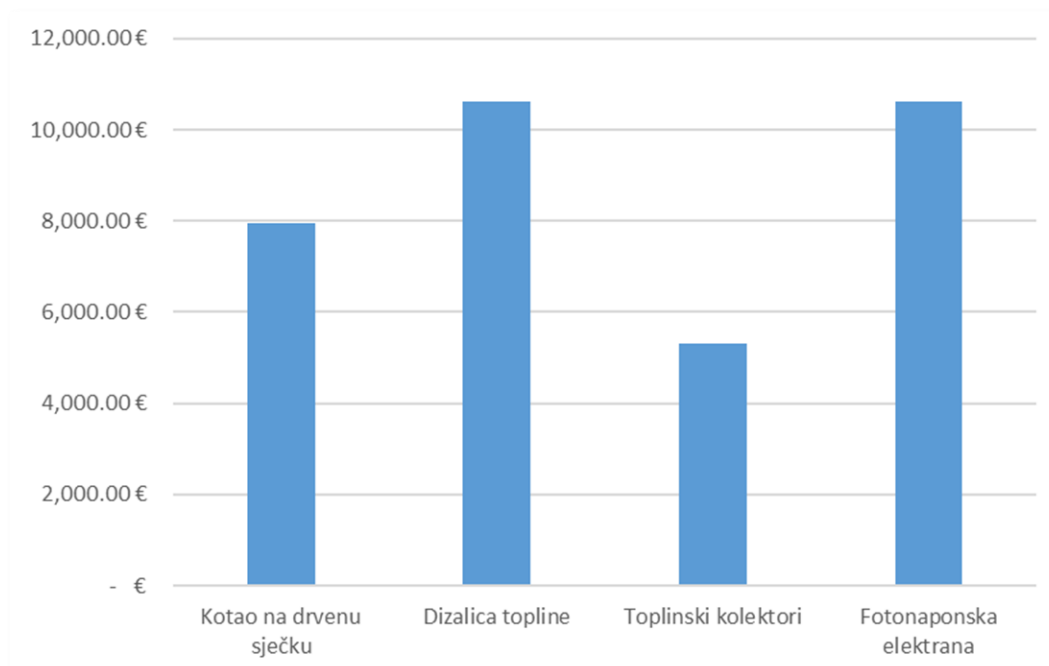
Ukupno raspoloživo sredstvo navedene mjere je 12.608.666,80 €. Taj iznos je podijeljen na sljedeći način:

1. Do 80% troškova uvođenja mjera na područjima posebne državne skrbi i prvoj skupini otoka,

2. Do 60% troškova uvođenja mjera na brdsko-planinskim područjima i drugoj skupini otoka,
3. Do 40% troškova uvođenja mjera na ostalim područjima Hrvatske.

Mjera sufinancira sljedeće:

1. Uvođenje kotla na drvenu sječku za grijanje prostora i PTV-a čiji je maksimalni iznos subvencije 7963,37 €.
2. Uvođenje dizalice topline za grijanje prostora i PTV-a i hlađenje prostora čiji je maksimalni iznos subvencije 10617,82 €.
3. Uvođenje sustava sa sunčanim toplinskim kolektorima čiji je maksimalni iznos subvencije 5308,91 €.
4. Uvođenje fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastite potrebe čiji je maksimalni iznos subvencije 10617,82 €.



**Slika 55** Maksimalni iznosi subvencija mjere poticanja obnovljivih izvora energije u obiteljskim kućama

### **11.2.2. Mjera sufinanciranja energetski učinkovitih vozila**

Ova mjera je namijenjena punoljetnim fizičkim osobama sa prebivalištem u Hrvatskoj.

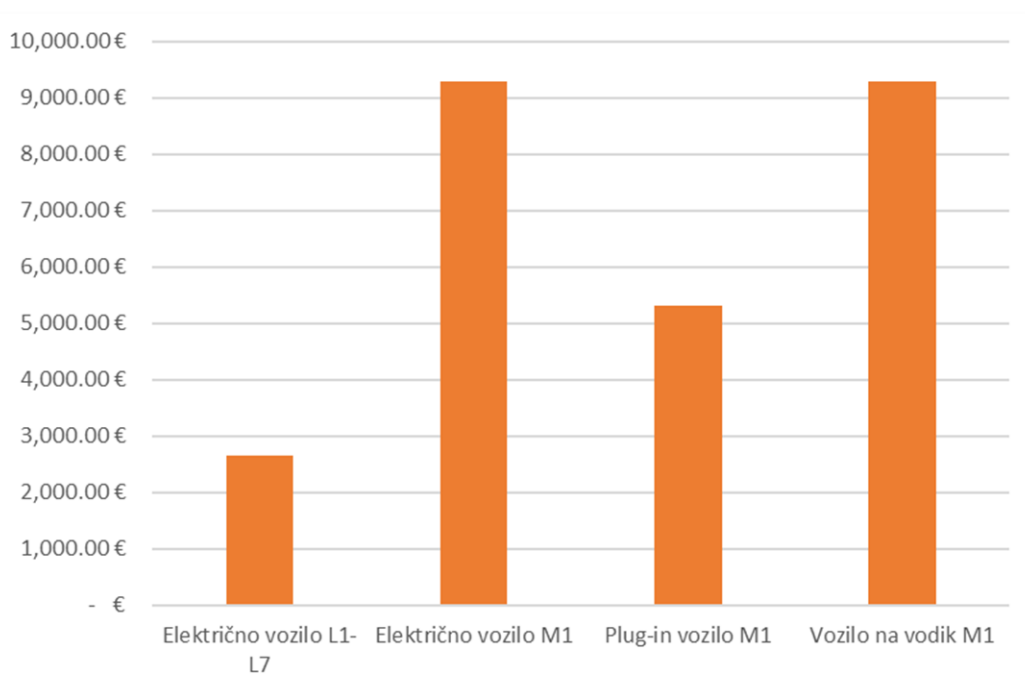
Ukupno raspoloživo sredstvo navedene mjere je 13.700.265,25 €. Taj iznos je podijeljen na sljedeći način:



### 1. Do 40% troškova uvođenja mjere

Mjera sufinancira sljedeće:

1. Električna vozila L1-L7 kategorije čiji je maksimalni iznos subvencije 2652,5 €.
2. Električna vozila M1 kategorije čiji je maksimalni iznos subvencije 9283 €.
3. Plug-in hibridna vozila M1 kategorije čiji je maksimalni iznos subvencije 5305 €.
4. Vozila na vodik M1 kategorije čiji je maksimalni iznos subvencije 9283 €.



**Slika 56** Maksimalni iznosi subvencija mjere sufinanciranja energetski učinkovitih vozila

#### 11.2.3. Mjera energetske obnove obiteljskih kuća

Ova mjera je namijenjena za:

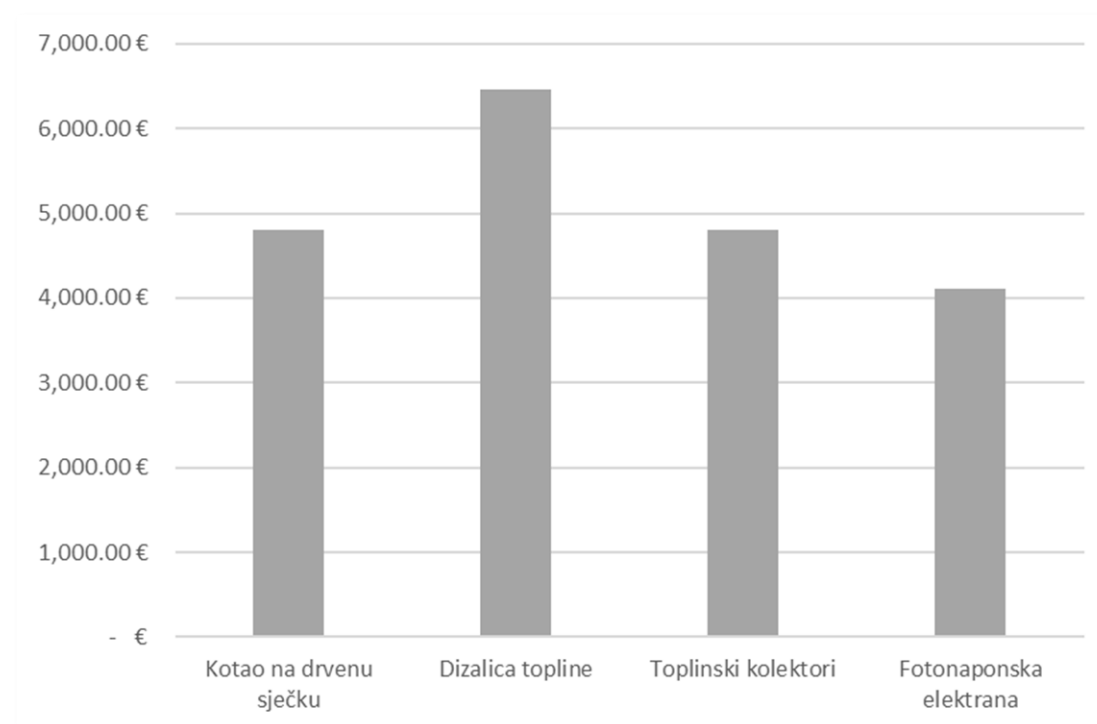
1. Cjelovitu energetske obnovu koja obuhvaća povećanje toplinske zaštite kroz provedbe jedne od mjera na vanjskoj ovojnici stambenog objekta i mjere za poticanje obnovljivih izvora energije, do 60% subvencije,
2. Povećanje toplinske zaštite kroz provedbu jedne od mjera na vanjskoj ovojnici stambenog objekta, do 40% subvencije,
3. Korištenje sustava na obnovljive izvore energije, do 40% subvencije.

Ukupno raspoloživo sredstvo navedene mjere je 51.724.137,39 €. Taj iznos je podijeljen na sljedeći način:

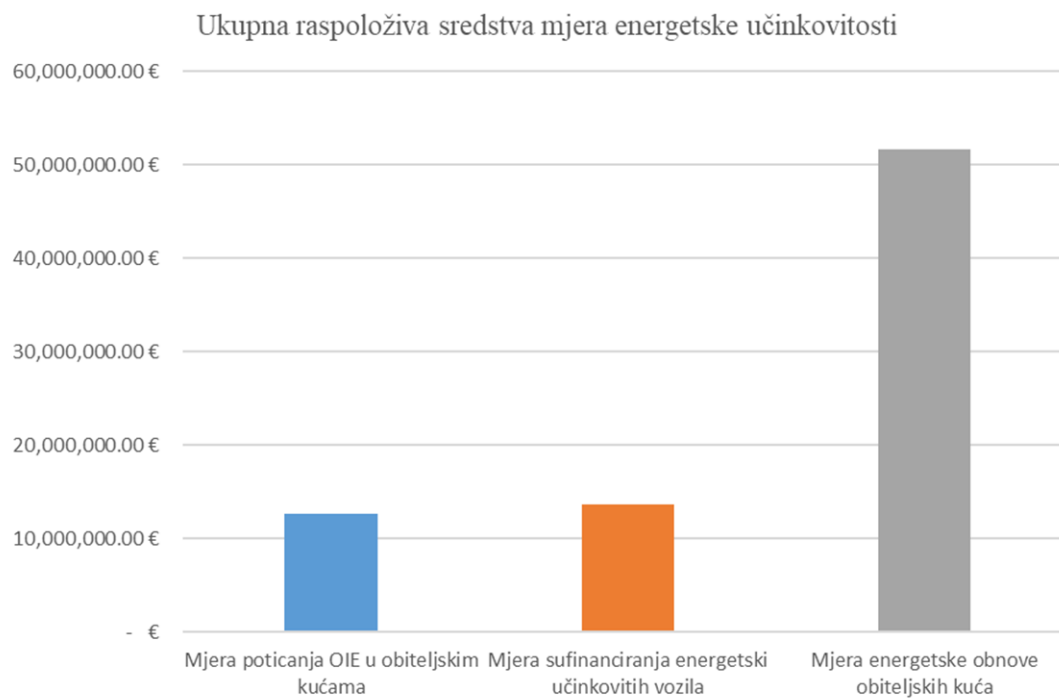
1. Do 80% troškova uvođenja mjera na području posebne državne skrbi i prvoj skupini otoka,
2. Do 60% troškova uvođenja mjera na brdsko-planinskim područjima i drugoj skupini otoka,
3. Do 40% troškova uvođenja mjera na ostalim područjima Hrvatske.

Mjera sufinancira sljedeće:

1. Ugradnja kotla na drvenu sječku za grijanje i PTV čiji je maksimalni iznos subvencije 4807 €.
2. Ugradnja dizalice topline za grijanje, hlađenje i PTV čiji je maksimalni iznos subvencije 6465 €.
3. Ugradnja sustava sa sunčanim toplinskim kolektorima čiji je maksimalni iznos subvencije 4807 €.
4. Postavljanje nove fotonaponske elektrane čiji je maksimalni iznos subvencije 4102 €.



**Slika 57** Maksimalni iznosi subvencija mjere energetske obnove obiteljskih kuća

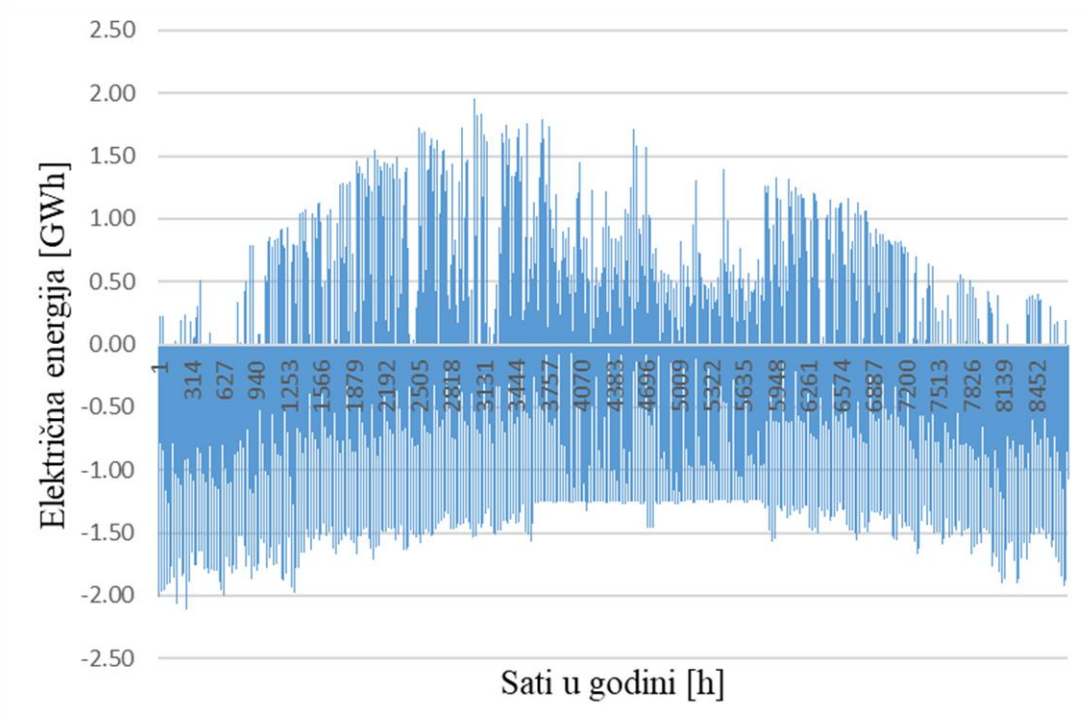


**Slika 58** Ukupna raspoloživa sredstva mjera energetske učinkovitosti

Iz prikazanih rezultata je vidljivo da se u svakoj mjeri vezanoj za energetske učinkovitost najviše subvencije daje mjeri ugradnje dizalice topline. Ekonomskom analizom prikazanom u prijašnjim poglavljima također je bila uračunata najveća vrijednost subvencije za dizalice topline. Tehnologija dizalice topline je trenutno još uvijek najskuplja u odnosu drugih tehnologija OIE vezanih za kućanstva. Usprkos tomu ona je trenutno visoko isplativa zbog velikih ušteda. Također je važno napomenuti da je ekonomska analiza pokazala da je ekonomski najisplativiji scenarij u kojem su postavljene i dizalica topline i solarna elektrana. Zbog toga su podaci u kojima je solarna elektrana druga po redu po količini subvencije potpuno logični i očekivani. Iako je vidljivo da postoje značajne subvencije na električna vozila, analize su pokazale da zbog velikih investicija, ali malih ušteda, električni automobil nije ekonomski isplativa opcija. Još jedan od minusa je taj da je električni automobil dostupan za punjenje izvan vremena u kojima solarna elektrana ima svoj maksimum proizvodnje ili u kojem uopće proizvodi električnu energiju. Zbog navedenog problema potreban je angažman lokalne i nacionalne politike u planiranju elektrifikacije transporta. Jedan od mogućih rješenja je digitalno praćenje punjenja električnog automobila izvan kućnog električnog punjača i predaje električne energije u mrežu istog kućanstva. Kada bi se mogla dokazati njihova istovremenost putem blockchain tehnologije taj problem bi potencijalno bio rješiv.

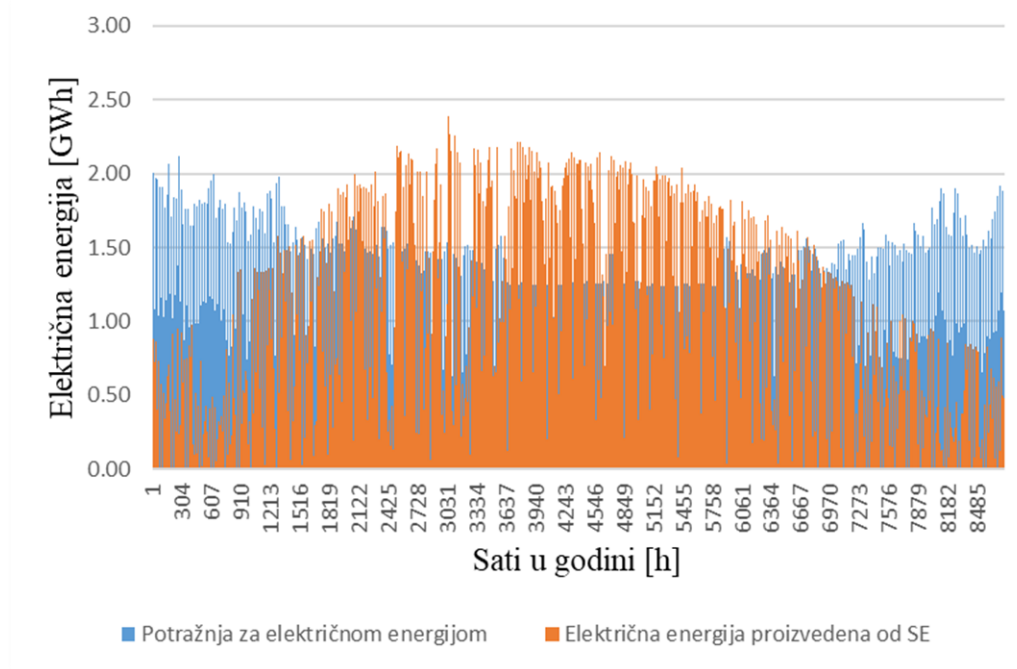
### 11.3. Digitalni blizanac primijenjen na sva kućanstva Panonske Hrvatske

Kako bi se prikazao mogući utjecaj navedenih mjera i scenarija na većoj razini, proračunati digitalni blizanac jednog kućanstva primijenio se na regiju Panonske Hrvatske. Uvele su se mjere u kojima svaka kuća ima dizalicu topline i solarnu elektranu te će biti prikazani podaci o ukupnoj proizvodnji solarnih elektrana, ukupnoj potrošnji električne energije, ukupno predanoj količini električne energije u mrežu te ukupno preuzetoj količini električne energije iz mreže. Svi rezultati prikazani u ovom poglavlju dobiveni su umnoškom rezultata jednog kućanstva i brojem kućanstava na kojih se mjera primijenila što je u ovom slučaju 382535 kućanstava u Panonskoj Hrvatskoj.



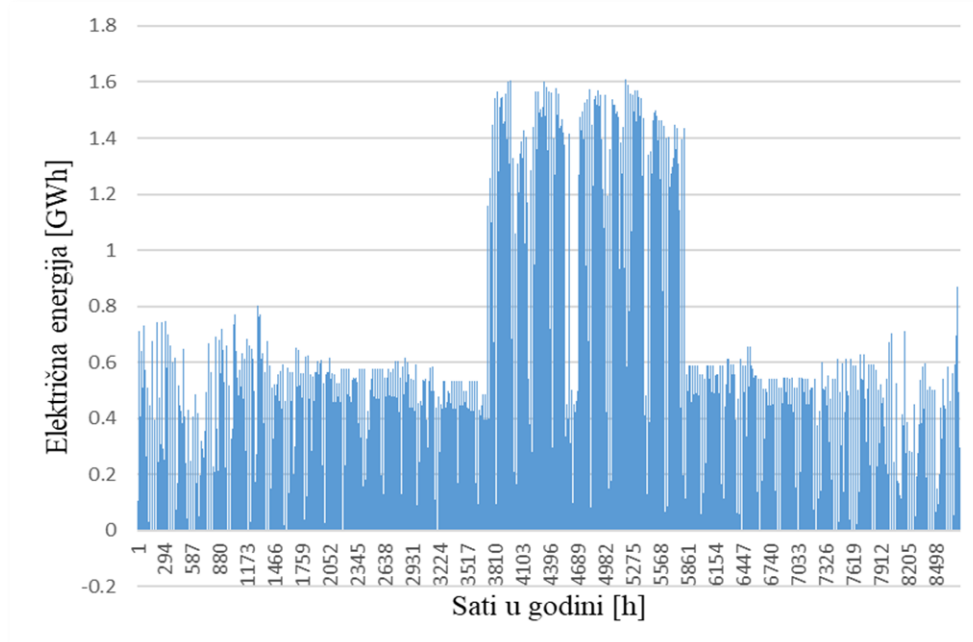
Slika 59 Električna energija preuzeta i predana za sva kućanstva Panonske Hrvatske

Vidljivo je da je najveća količina preuzete električne energije u zimskom periodu kad solarne elektrane ne mogu u velikoj mjeri pokrivati zahtjeve za električnom energijom, dok se u ljetnom periodu stvara i prevelika količina električne energije koja se onda može koristiti za akumulaciju toplinske energije ili predati u mrežu.



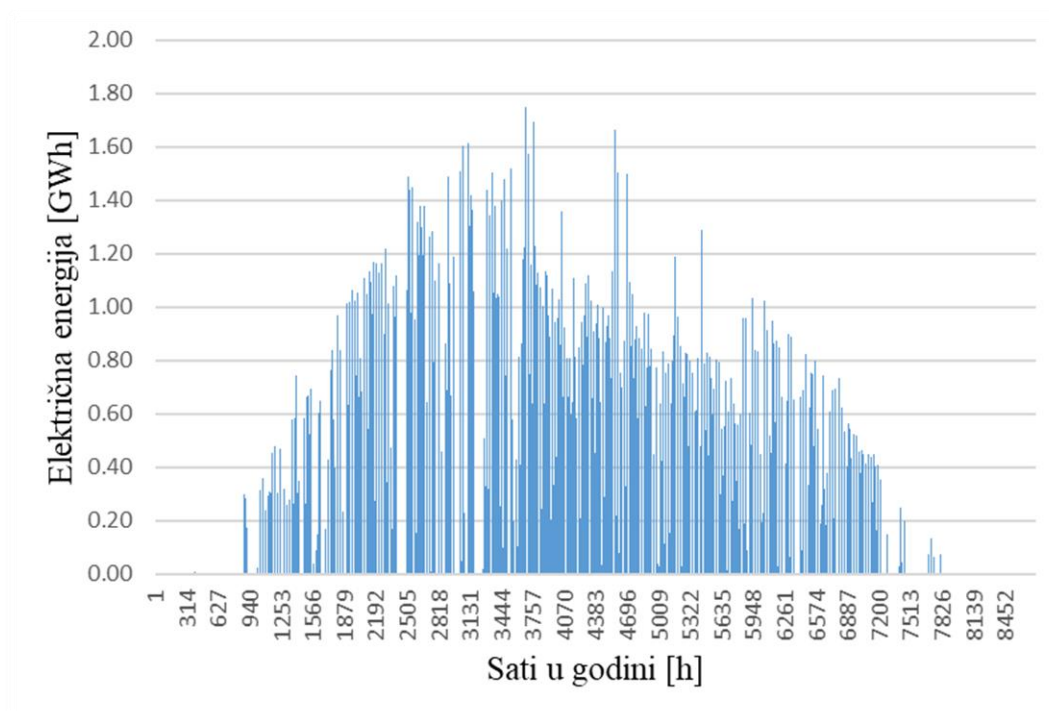
**Slika 60** Ukupna potražnja za električnom energijom i proizvedena električna energija od solarnih elektrana za sva kućanstva Panonske Hrvatske

Prilikom proračuna solarnih elektrana pretpostavljeno da sva kućanstva u Panonskoj Hrvatskoj imaju istu lokalnu klimu. Ukupna teoretska instalirana snaga solarnih elektrana svih kućanstava Panonske Hrvatske iznosi 3,09 GWp.



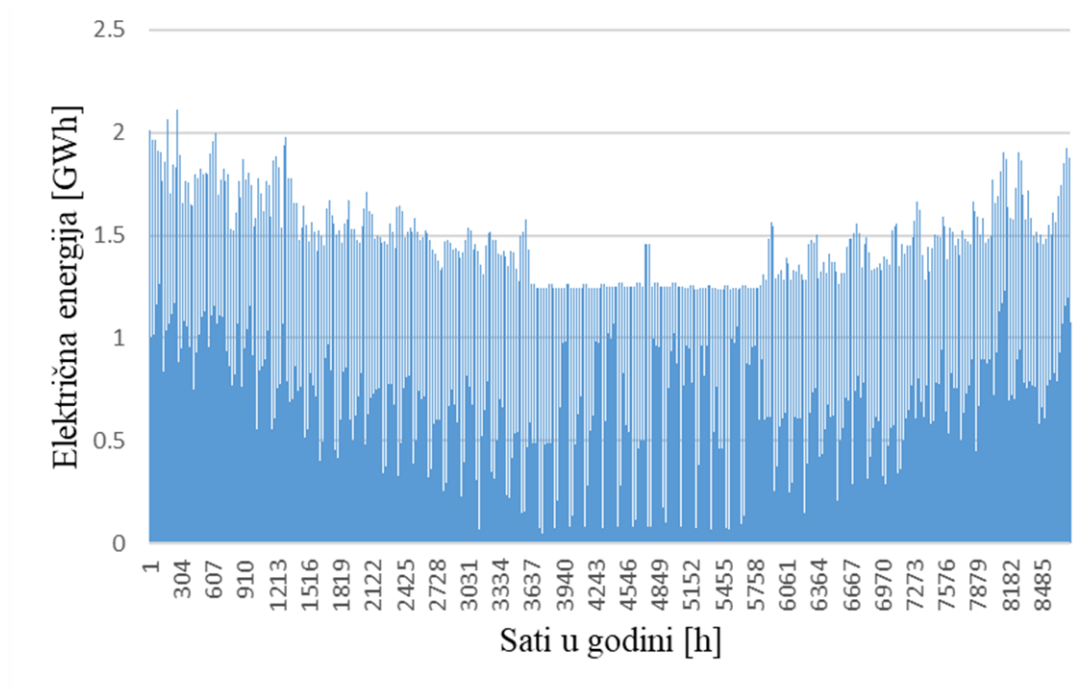
**Slika 61** Samopotrošnja električne energije proizvedene iz solarnih elektrana kućanstava Panonske Hrvatske

Slika 61 prikazuje količinu električne energije koja je proizvedena iz solarnih elektrana Kućanstava Panonske Hrvatske i koja se u istom satu proizvodnje i potrošila od strane istih kućanstava. Logičan je rezultat u kojem je veliki skok samopotrošnje u ljetnim mjesecima kada solarne elektrane proizvode najviše električne energije. Ukupna količina tako potrošene električne energije je 2000,19 GWh.



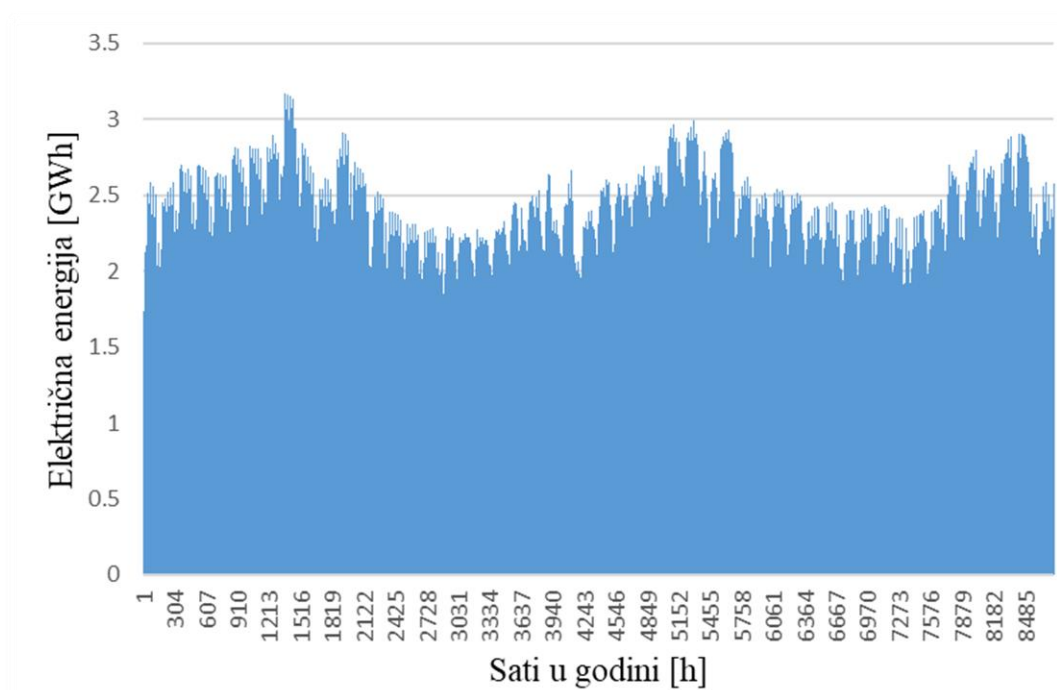
**Slika 62 Električna energija predana u mrežu za sva kućanstva Panonske Hrvatske**

Vidljivo je da bi se primjenom mjera na jednu cijelu regiju Hrvatske proizvela ogromna količina električne energije čiji bi se veliki dio predavao u električnu mrežu.



**Slika 63 Električna energija preuzeta iz mreže za sva kućanstva Panonske Hrvatske**

Ukupna količina preuzete električne energije iz mreže je 3538,25 GWh, dok je ukupno predano električne energije 696,16 GWh čime je njihov odnos 19,68 %.



**Slika 64 Godišnja potrošnja električne energiju u Hrvatskoj [25]**

Koristeći dobivene rezultate moguće je dobiti uvid u odnos proizvedene električne energije, predane električne energije i preuzete električne energije Panonske Hrvatske i Hrvatske u cjelini. Ukupna potrošnja na razini godine u Hrvatskoj iznosi 18324,62 GWh. Samopotrošnja električne energije proizvedene iz solarnih elektrana na godišnjoj razini u scenariju kada sva kućanstva Panonske Hrvatske imaju integrirane solarne elektrane iznosi 2000,19 GWh. Primjenom mjera u kojima bi sva kućanstva u Panonskoj Hrvatskoj imala solarnu elektranu na godišnjoj bazi bi se predalo 696,16 GWh električne energije u električnu mrežu. Oduzimanjem godišnje potrošnje električne energije u Hrvatskoj i godišnje samopotrošnje električne energije proizvedene iz solarnih elektrana Panonske Hrvatske dobije se vrijednost koja predstavlja stvarnu godišnju potrebu za električnom energijom Hrvatske i iznosi 16324,43 GWh. To bi značilo da bi predana električna energija u mrežu od 696,16 GWh pokrivala 4,26% ostatka potrebe za električnom energijom u cijeloj Hrvatskoj. Kad bi prijenosna mreža električne energija bila adekvatno izgrađena, ta bi količina energije mogla biti od velike pomoći u pokrivanju potrošnje turističkih predjela u ljetnom periodu.



## 12. ZAKLJUČAK

U ovom radu je analiziran sustav grijanja, hlađenja i zagrijavanja PTV-a preko dizalice topline zrak-voda ecoAIR+ 3-12 PRO, solarna elektrana snage 8,1 kWp te električni punjač snage 3,7 kW. Uvođenjem akumulacije toplinske energije generirane neiskorištenom proizvedenom električnom energijom iz solarne elektrane, koja se otpušta kad je to potrebno u sustavu grijanja i zagrijavanja PTV-a, energetska učinkovitost kuće je dovedena na visoku razinu. Proveden je proračun toplinskih gubitaka i dobitaka normom HRN EN ISO 13790. Odabrana je dizalice topline zrak-voda s električnim grijačem koja zadovoljava potrebe objekta pri vanjskoj projektnoj temperaturi u režimu grijanja. Zbog potrebe akumulacije toplinske energije dimenzioniran je i odgovarajući međuspremnik od 300 l i spremnik PTV-a od 160 l. Projekti tehnologija obnovljivih izvora energije izvedeni su na idejnoj razini, a svi su dobiveni rezultati izraženi na satnoj osnovi. Takva razina proračuna i rezultata omogućila je detaljniju analizu i bolji uvid u tokove električne energije, toplinske energije i akumulirane energije. Proračuni su vođeni kroz toplinske gubitke, toplinske dobitke, zahtjeve dizalice topline za rashladnim i toplinskim učinkom, utrošak električne energije dizalice topline za grijanje, hlađenje i zagrijavanje PTV-a, utrošak električne energije kućanstva i utrošak električne energije električnog punjača te proizvodnju električne energije od solarne elektrane na krovu. Provedene su ekonomske analize za pet različitih scenarija koja razmatra pet kombinacija navedenih i proračunatih tehnologija obnovljivih izvora energije u kućanstvu. Ekonomskom analizom se dobio detaljan uvid u sve troškove, uštede i potrebne investicije raznih scenarija, kao i u dostupne poticaje i subvencije tehnologija obnovljivih izvora energije. Također su uzeti u obzir i predviđanja kretanja cijena električne energije i prirodnog plina koji značajno utječu na isplativost određenih scenarija. Provedenom tehno-ekonomskom analizom dobiven je spektar isplativosti različitih tehnologija i scenarija te se može zaključiti kako je scenarij dizalice topline i solarne elektrane najisplativiji sa vrijednosti IRR-a od 38% te NPV-a od 14871,56 €, dok je ekonomski najneisplativiji scenarij električnog punjača i električnog automobila sa vrijednosti IRR-a od -1% i NPV-a od -9603,08 €. Taj rezultat je bio očekivan s obzirom na cijene prirodnog plina te njegovu potpunu eliminaciju u kućanstvu dizalicom topline. Također, dizalica topline koristi određenu količinu električne energije koja se u velikoj mjeri može zadovoljiti električnom energijom proizvedenom iz postavljene solarne elektrane, a sustav akumulacije toplinske energije u određenim satima i zamjenjuje ulogu dizalice topline. Takav sustav pokriva gotovo sve potrebe jednog kućanstva, dok je u velikoj mjeri samopogonjen solarnom elektranom. S druge strane, scenarij električnog punjača i električnog automobila ima

velike troškove, a uštedu amo u obliku uštede na gorivu za automobil. Također je dobiven uvid u trenutno postojeće poticaje i subvencije za takve tehnologije gdje su subvencije za dizalice topline i solarne elektrane bile izrazito visoke te u nekim scenariju B dosežu 7047,34 €. Isplativost četiri od pet navedenih scenarija daje pozitivan osvrt na važnost korištenja tehnologija obnovljivih izvora energije koji uz energetske učinkovitost pružaju i zadovoljavajuću ekonomsku isplativost. Rad je zaokružen preslikom digitalnog blizanca na 382535 kućanstava Panonske Hrvatske i pretpostavkom da svako kućanstvo sadrži dizalicu topline i solarnu elektranu. Dobiveni su rezultati ukupne preuzete električne energije iz električne energije, ukupne predane električne energije u električnu mrežu te su ti podaci dovedeni u vezu sa ukupnom potražnjom za električnom energijom u Hrvatskoj. Rezultati su pokazali da samopotrošnja električne energije proizvedene iz solarnih elektrana u Panonskoj Hrvatskoj iznosi 2000,19 GWh na godišnjoj bazi se preda 696,16 GWh električne energije u električnu mrežu te je razlika godišnje potrošnje električne energije u Hrvatskoj i godišnje samopotrošnje električne energije proizvedene iz solarnih elektrana Panonske Hrvatske 16324,43 GWh. Time je zaključeno da bi scenarij u kojem bi sva kućanstva u Panonskoj Hrvatskoj imala integriranu solarnu elektranu i godišnje predavala 696,16 GWh električne energije u mrežu pokrivala 4,26% potreba za električnom energijom u Hrvatskoj.

---

**LITERATURA**

- [1] Soldo V., Novak S., Horvat I., Dović D.: Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, 2021.
- [2] BSI Standards Publication: Energy performance of buildings – Method for calculation of the design heat load, 2017.
- [3] Lordan I.: Izvješće o provedenom energetskom pregledu nove zgrade, 2020.
- [4] Martin A. Green: Solar cells, 1992.
- [5] „Touchstone Energy Cooperatives“, <https://www.touchstoneenergy.com/sites/tse/files/documents/The-Electric-Vehicle-Evolution-Web-view.pdf>, (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [6] <https://www.lemo-project.eu/wp-content/uploads/2015/01/EVs-charging-history.pdf>, (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [7] „FZOEU“, <https://www.fzoeu.hr/hr/nacionalni-javni-pozivi-i-natjecaji/1367> , (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [8] „The mobility house“, „Charging time summary for EVs“, [https://www.mobilityhouse.com/int\\_en/knowledge-center/charging-time-summary](https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/charging-time-summary), (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [9] „Renewables.ninja“, <https://www.renewables.ninja/> , (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [10] Škola za cestovni promet: Učenje o elektromobilnosti, 2017.
- [11] „Battery university“, „Charging Lithium-ion“, <https://batteryuniversity.com/article/bu-409-charging-lithium-ion>, (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [12] „Electric Vehicle Database“, <https://ev-database.org/car/1270/Renault-Twingo-Electric>, (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [13] Rafik Nafkha, Wozniakowski T.: Household electricity usage analysis and the effectiveness of changing tariff group, 2018.
- [14] „EnerPEDIA“, [http://enerpedia.net/index.php/Glavna\\_stranica](http://enerpedia.net/index.php/Glavna_stranica), (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [15] Gabrielli P., Wuthrich M., Blume S., Sansavini G.: Data- driven modeling for long-term electricity price forecasting, 2022.
- [16] Alex Schmitt, Huangluolun Zhou: EU Energy Outlook to 2060, 2022.
- [17] Državni zavod za statistiku: Popis stanovnika, kućanstava i stanova 2021., 2022.
- [18] Igor Balen, FSB: Termotehnika KGH

- 
- [19] „Menerga“, <https://www.menerga.hr/blog/2020/11/02/princip-rada-dizalica-topline-voda-voda-zrak-voda/> , (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [20] „Obnovljivi izvori energije Vranješ“, <https://www.montazasolarnih-panela.com/> , (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [21] „All in one“, <https://hr.ainbattery.com/original-rechargeable-lithium-ion-battery-18650-3-7v-2900mah-cell-li-ion-18650-batteries.html> , (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [22] „All in one“, <https://hr.ainbattery.com/280ah-prismatic-cell-lifepo4-3-2v-280ah-lithium-ion-batteries-lifepo4-battery-pack.html> , (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [23] „Europski strukturni i investicijski fondovi“, <https://strukturnifondovi.hr/nova-karta-regionalnih-potpورا-za-razdoblje-1-1-2022-31-12-2027/> , (zadnje posjećeno 24.4.2023.)
- [24] EcoFOREST, Technical data sheet, 2022.
- [25] Feijoo F., Pfeifer A., Herc L., Groppi D., Duić N.; A long-term capacity investment and operational energy planning model with power-to-X and flexibility technologies, Renewable and sustainable energy reviews, 2022.

**PRILOG I – Tablice troškova i ušteda scenarija A**

Godina	TROŠKOVI [€]			
	Investicija	Amortizacija	Električna energija	Rata kredita
0	-24307,34			
1		-4607,83	-560,16	-2433,44
2		-4607,83	-611,90	-2433,44
3		-4607,83	-663,64	-2433,44
4		-4607,83	-668,98	-2433,44
5		-4607,83	-674,33	-2433,44
6		-4607,83	-679,68	-2433,44
7		-4607,83	-685,03	-2433,44
8		-4607,83	-690,37	-2433,44
9		-4607,83	-692,31	-2433,44
10		-4607,83	-694,25	-2433,44
11			-696,19	
12			-698,13	
13			-700,07	
14			-699,81	
15			-699,55	
16			-699,29	
17			-699,03	
18			-698,77	
19			-698,51	
20			-655,47	

Godina	UŠTEDE [€]		
	Predaja električne energije u mrežu	Kompenzacija toplinskih zahtjeva	Računi za plin
0			
1	90,18	103,19	2361,58
2	97,81	112,67	2361,58
3	105,43	122,14	2361,58
4	106,28	121,87	2210,44
5	107,12	121,59	2068,97
6	107,96	121,31	1936,56
7	108,81	121,03	1812,62
8	109,65	120,75	1645,70
9	109,96	120,58	1645,70
10	110,26	120,41	1645,70
11	110,57	120,24	1645,70
12	110,88	120,06	1645,70
13	111,19	119,89	1645,70
14	111,14	119,62	1645,70
15	111,10	119,34	1645,70
16	111,06	119,07	1645,70
17	111,02	118,79	1645,70
18	110,98	118,52	1645,70
19	110,94	118,25	1540,38
20	103,65	104,75	1441,79

Godina	UŠTEDE [€]	
	Računi za električnu energiju	Gorivo za auto
0		
1	727,29	1249,99
2	794,04	1249,99
3	860,79	1249,99
4	857,28	1249,99
5	853,77	1249,99
6	850,26	1249,99
7	846,75	1249,99
8	843,24	1249,99
9	841,37	1249,99
10	839,51	1249,99
11	837,64	1249,99
12	835,77	1249,99
13	833,90	1249,99
14	831,69	1249,99
15	829,49	1249,99
16	827,28	1249,99
17	825,07	1249,99
18	822,86	1249,99
19	820,66	1249,99
20	718,67	1249,99

**PRILOG II – Tablice troškova i ušteda scenarija B**

Godina	TROŠKOVI [€]			
	Investicija	Amortizacija	Električna energija	Rata kredita
0	-1409,47			
1		-1761,83	-267,01	-705,52
2		-1761,83	-291,74	-705,52
3		-1761,83	-316,47	-705,52
4		-1761,83	-320,64	-705,52
5		-1761,83	-324,81	-705,52
6		-1761,83	-328,99	-705,52
7		-1761,83	-333,16	-705,52
8		-1761,83	-337,33	-705,52
9		-1761,83	-338,94	-705,52
10		-1761,83	-340,55	-705,52
11			-342,15	
12			-343,76	
13			-345,37	
14			-345,53	
15			-345,70	
16			-345,87	
17			-346,03	
18			-346,20	
19			-346,36	
20			-333,02	



Godina	UŠTEDE [€]			
	Predaja električne energije u mrežu	Kompenzacija toplinskih zahtjeva	Računi za plin	Računi za električnu energiju
0				
1	90,18	103,19	2361,58	713,29
2	97,83	112,67	2361,58	778,75
3	105,47	122,14	2361,58	844,21
4	106,84	121,87	2210,44	840,59
5	108,22	121,59	2068,97	836,96
6	109,59	121,31	1936,56	833,33
7	110,96	121,03	1812,62	829,71
8	112,34	120,75	1645,70	826,08
9	112,87	120,58	1645,70	824,17
10	113,40	120,41	1645,70	822,26
11	113,93	120,24	1645,70	820,35
12	114,47	120,06	1645,70	818,44
13	115,00	119,89	1645,70	816,53
14	115,05	119,62	1645,70	814,34
15	115,11	119,34	1645,70	812,14
16	115,16	119,07	1645,70	809,94
17	115,22	118,79	1645,70	807,74
18	115,27	118,52	1645,70	805,55
19	115,33	118,25	1540,38	803,35
20	110,71	104,75	1441,79	702,51

**PRILOG III – Tablice troškova i ušteda scenarija C**

Godina	TROŠKOVI [€]			
	Investicija	Amortizacija	Električna energija	Rata kredita
0	-935,76			
1		-779,80	-754,07	-468,40
2		-779,80	-823,64	-468,40
3		-779,80	-893,21	-468,40
4		-779,80	-898,56	-468,40
5		-779,80	-903,91	-468,40
6		-779,80	-909,26	-468,40
7		-779,80	-914,61	-468,40
8		-779,80	-919,96	-468,40
9		-779,80	-921,80	-468,40
10		-779,80	-923,63	-468,40
11			-925,47	
12			-927,31	
13			-929,14	
14			-928,46	
15			-927,78	
16			-927,10	
17			-926,41	
18			-925,73	
19			-925,05	
20			-858,96	

	UŠTEDE [€]
Godina	Računi za plin
0	
1	2361,58
2	2361,58
3	2361,58
4	2210,44
5	2068,97
6	1936,56
7	1812,62
8	1645,70
9	1645,70
10	1645,70
11	1645,70
12	1645,70
13	1645,70
14	1645,70
15	1645,70
16	1645,70
17	1645,70
18	1645,70
19	1540,38
20	1441,79

**PRILOG IV – Tablice troškova i ušteda scenarija D**

Godina	TROŠKOVI [€]		
	Investicija	Amortizacija	Rata kredita
0	-1154,44		
1		-1154,44	-1046,03
2		-1154,44	-1046,03
3		-1154,44	-1046,03
4		-1154,44	-1046,03
5		-1154,44	-1046,03
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Godina	UŠTEDE [€]	
	Predaja električne energije u mrežu	Računi za električnu energiju
0		
1	222,02	427,22
2	226,46	466,43
3	230,99	505,63
4	235,61	503,39
5	240,32	501,15
6	245,13	498,91
7	250,03	496,67
8	255,03	494,43
9	260,13	493,26
10	265,34	492,08
11	270,64	490,91
12	276,06	489,74
13	281,58	488,57
14	287,21	487,24
15	292,95	485,91
16	298,81	484,58
17	304,79	483,25
18	310,88	481,92
19	317,10	480,60
20	323,44	419,90

**PRILOG V – Tablice troškova i ušteda scenarija E**

Godina	TROŠKOVI [€]			
	Investicija	Amortizacija	Električna energija	Rata kredita
0	-3452,00			
1		-2846,00	-307,15	-1727,92
2		-2846,00	-335,45	-1727,92
3		-2846,00	-363,75	-1727,92
4		-2846,00	-365,04	-1727,92
5		-2846,00	-366,33	-1727,92
6		-2846,00	-367,62	-1727,92
7		-2846,00	-368,91	-1727,92
8		-2846,00	-370,20	-1727,92
9		-2846,00	-370,57	-1727,92
10		-2846,00	-370,95	-1727,92
11			-371,32	
12			-371,70	
13			-372,07	
14			-371,64	
15			-371,20	
16			-370,76	
17			-370,33	
18			-369,89	
19			-369,45	
20			-338,61	

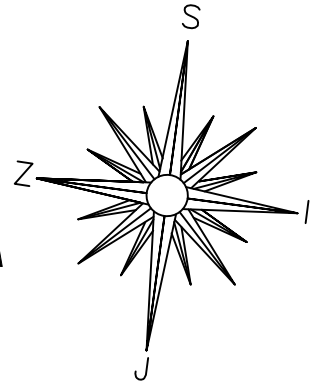
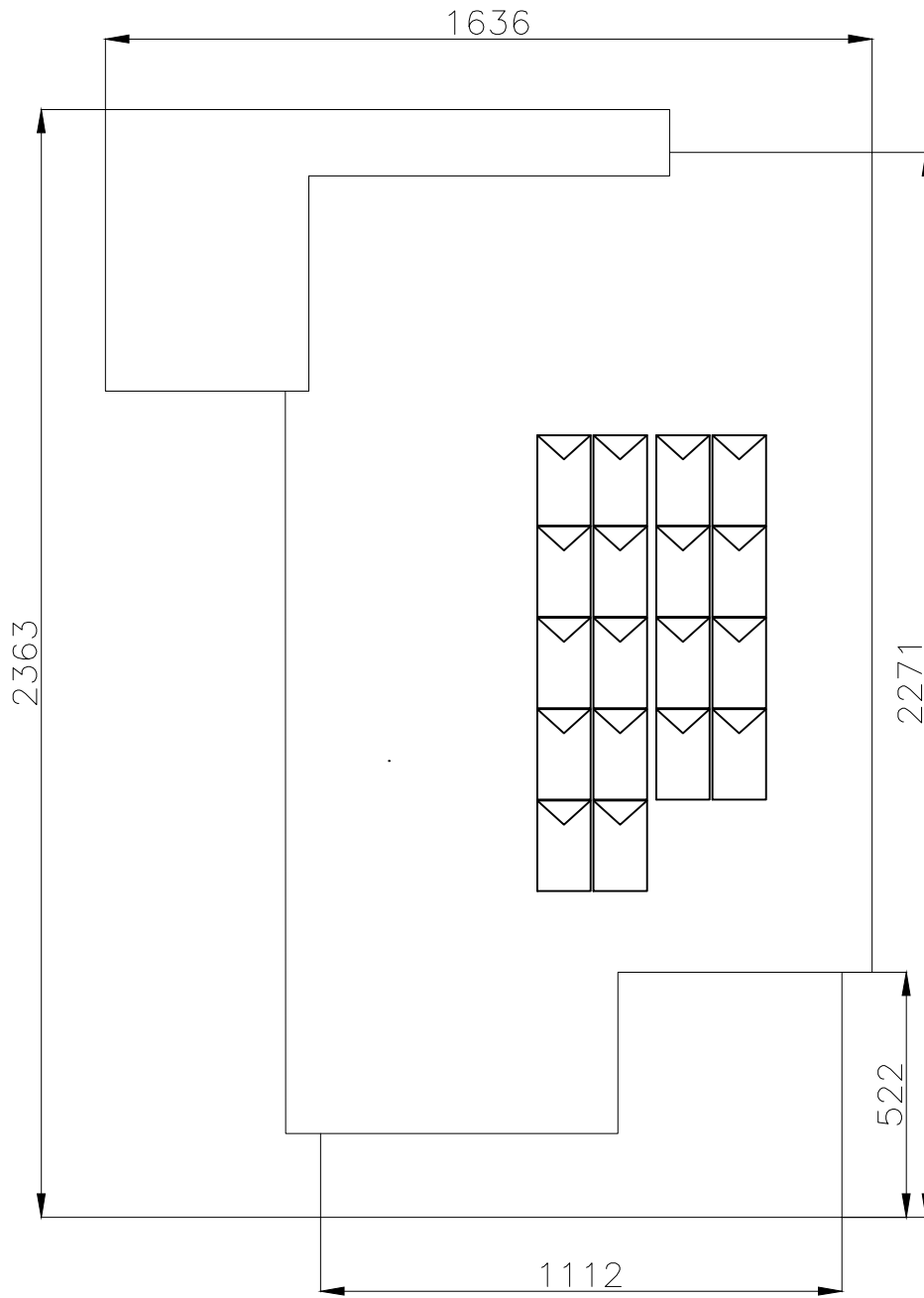
	UŠTEDE [€]
Godina	Gorivo za auto
0	
1	1249,99
2	1249,99
3	1249,99
4	1249,99
5	1249,99
6	1249,99
7	1249,99
8	1249,99
9	1249,99
10	1249,99
11	1249,99
12	1249,99
13	1249,99
14	1249,99
15	1249,99
16	1249,99
17	1249,99
18	1249,99
19	1249,99
20	1249,99


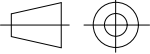
---

**PRILOG VI – Tehnička dokumentacija**



SE MARIĆ 18X450W=8.1 kW



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
Projektirao	1.4.2023.	Lorena Vrbanac		
Razradio				
Crtao	1.4.2023.	Lorena Vrbanac		
Pregledao				
<b>Objekt:</b>			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal:		Masa:		
 Mjerilo originala		Naziv: Dispozicija FN panela na krovu kuće		Pozicija: Format:A4
1:200		Crtež broj: 01042023		Listova: 1
				List: 1