

# Primjena obnovljivih izvora energije u tehničkim sustavima obiteljske kuće u kontinentalnoj Hrvatskoj

---

Čanić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:492610>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PRIMJENA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U  
TEHNIČKIM SUSTAVIMA OBITELJSKE KUĆE U  
KONTINENTALNOJ HRVATSKOJ**

Rijeka, Ožujak 2024.

Tomislav Čanić  
0069075956

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PRIMJENA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U  
TEHNIČKIM SUSTAVIMA OBITELJSKE KUĆE U  
KONTINENTALNOJ HRVATSKOJ**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Boris Delač, dipl. ing. stroj.

Komentor: prof. dr. sc. Branimir Pavković, dipl. ing. stroj

Rijeka, Ožujak 2024.

Tomislav Čanić  
0069075956

Rijeka, 9. ožujka 2023.

Zavod:           Zavod za termodinamiku i energetiku  
Predmet:        Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici  
Grana:           2.11.02 procesno energetska strojarstvo

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik:    Tomislav Čanić (0069075956)  
Studij:        Sveučilišni diplomski studij strojarstva  
Modul:         Procesno i energetska strojarstvo

Zadatak:       **Primjena obnovljivih izvora energije u tehničkim sustavima obiteljske kuće u kontinentalnoj Hrvatskoj / Application of renewable energy sources in technical systems of family houses in Croatian mainland**

### Opis zadatka:

Za obiteljsku kuću smještenu na području kontinentalne Hrvatske potrebno je utvrditi potencijal smanjenja primarne energije odabirom odgovarajućeg termotehničkog sustava baziranog na obnovljivim izvorima energije i primjenom vlastitog sustava proizvodnje električne energije. Simulacije provesti dinamičkim energetska modelom simulacijskog sučelja TRNSYS. Proračune je potrebno izraditi u skladu s trenutno važećom regulativom u Republici Hrvatskoj. Svi potrebni ulazni podaci bit će dogovoreni s mentorom.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

*Čanić*

Zadatak uručen pristupniku: 9. ožujka 2023.

Mentor:

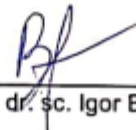


Doc. dr. sc. Boris Delač



Prof. dr. sc. Branimir Pavković (komentor)

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

## **IZJAVA O AUTORSTVU RADA**

Ja Tomislav Čanić, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom „Primjena obnovljivih izvora energije u tehničkim sustavima obiteljske kuće u kontinentalnoj Hrvatskoj / Application of renewable energy sources in technical systems of family houses in Croatian mainland“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način korišteni dijelovi tuđih radova.

Rijeka, siječanj 2024.

---

Tomislav Čanić

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se mentoru, Izv. prof. dr. sc. Borisu Delaču na suradnji, strpljenju i pomaganju tijekom izrade ovoga diplomskoga rada te na korisnim savjetima i prenesenome znanju koje sam stekao radeći rad i koje će mi u budućnosti pomoći i koristiti. Također se zahvaljujem i komentoru red. prof. dr. sc. Branimiru Pavkoviću.*

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| IZJAVA O AUTORSTVU RADA .....  | 4  |
| 1. UVOD .....  | 9  |
| 1.1. Zadatak .....   | 9  |
| 1.2. Povijest obiteljske kuće .....  | 9  |
| 1.3. Cilj rada .....   | 10 |
| 2. O PRIMARNOJ ENERGIJI.....   | 11 |
| 2.1. Oblici primarne energije.....   | 11 |
| 2.1.1. Neobnovljivi oblici primarne energije .....   | 11 |
| 2.1.2. Obnovljivi oblici primarne energije .....   | 12 |
| 2.2. Mogućnost smanjenja primarne energije.....  | 13 |
| 2.3. Izračun primarne energije i bilanca obiteljske kuće .....                               | 14 |
| 3. MODELIRANJE OBITELJSKE KUĆE.....  | 16 |
| 3.1. Imenovanje toplinskih zona u obiteljskoj kući .....                                     | 16 |
| 3.2. Modeliranje kuće u programu SketchUp.....   | 18 |
| 4. POSTAVLJANJE SUSTAVA ZA DOBIVANJE KORISNE ENERGIJE ZA GRIJANJE<br>I HLAĐENJE .....        | 20 |
| 4.1. O programu TRNsys.....  | 20 |
| 4.2. Uvoz modela iz programa SketchUp-a.....   | 20 |
| 4.3. Konstrukcijski elementi obiteljske kuće.....  | 21 |
| 4.4. Postavljanje aktivnog zasjenjenja.....  | 25 |
| 4.5. Infiltracija zraka.....   | 26 |
| 4.6. Postavljanje sustava za dobivanje korisne energije za grijanje i hlađenje .....         | 28 |
| 4.7. Postavljanje toplinskih dobitaka.....   | 29 |
| 4.8. Usporedba rezultata efikasne energije dobivene simulacijom i finalnom energije<br>plina | 29 |
| 4.9. Specifični učinak grijanja i hlađenja .....   | 32 |
| 4.10. Shema sustava u programu TRNsys .....  | 35 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.     | POSTAVLJANJE POSTOJEĆEGA SUSTAVA GRIJANJA I PTV-A U SIMULACIJI          |    |
|        | 37  |    |
| 5.1.   | Komponente postojećega sustava u obiteljskoj kući .....                 | 37 |
| 5.1.1. | Radijatori u obiteljskoj kući i njihova svojstva .....                  | 37 |
| 5.1.2. | Plinski bojler i PTV u obiteljskoj kući .....                           | 38 |
| 5.2.   | Sustav grijanja i PTV-a u programu TRNsys .....                         | 40 |
| 5.2.1. | Postojeći sustav grijanja .....   | 40 |
| 5.2.2. | Postojeći sustav PTV-a.....   | 40 |
| 5.3.   | Rezultati simulacije za postojeći sustav u obiteljskoj kući.....        | 41 |
| 5.4.   | Shema trenutnoga sustava grijanja i PTV-a u programu TRNsys.....        | 42 |
| 6.     | TEHNIČKI SUSTAV ZA GRIJANJE I PTV SA OBNOVLJIVIM IZVORIMA               |    |
|        | ENERGIJE .....  | 45 |
| 6.1.   | O dizalicama topline .....  | 45 |
| 6.2.   | Podjela dizalica topline s obzirom na toplinski izvor .....             | 48 |
| 6.2.1. | Dizalica topline zrak – voda.....                                       | 48 |
| 6.2.2. | Dizalica topline voda – voda.....                                       | 49 |
| 6.3.   | Monovalentni način rada dizalice topline.....                           | 51 |
| 6.4.   | Odabir novog temperaturnog režima .....                                 | 51 |
| 6.5.   | Odabir dizalica topline.....  | 54 |
| 6.5.1. | Proračun PTV-a.....   | 54 |
| 6.5.2. | Odabir dizalice topline zrak – voda.....                                | 56 |
| 6.5.3. | Odabir dizalice topline voda – voda.....                                | 59 |
| 6.6.   | Simulacija za dizalice topline .....                                    | 61 |
| 6.7.   | Rezultati simulacija .....  | 62 |
| 6.7.1. | Rezultati sustava grijanja i PTV-a za dizalicu topline zrak – voda..... | 62 |
| 6.7.2. | Rezultati sustava grijanja i PTV-a za dizalicu topline voda – voda..... | 66 |
| 6.8.   | Usporedba rezultata potrošnje primarne energije dizalica toplina .....  | 70 |
| 6.9.   | Scheme dizalica toplina u programu TRNsys .....                         | 70 |



|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 7.     | FOTONAPONSKI SUSTAV .....   | 73  |
| 7.1.   | O fotonaponskim panelima.....   | 73  |
| 7.2.   | Odabir fotonaponskih panela i njenih komponenti.....                                      | 74  |
| 7.3.   | Simulacija fotonaponskih panela .....   | 76  |
| 7.4.   | Rezultati simulacije fotonaponskih panela .....   | 77  |
| 7.5.   | Shema fotonaponskih panela u programu TRNsys .....  | 78  |
| 8.     | ANALIZA TROŠKOVA POTROŠNJE PRIMARNE ENERGIJE, INVESTICIJSKIH TROŠKOVA I ISPLATIVOST ..... | 79  |
| 8.1.   | Potrošnja finalne energije i cijena korištenja.....                                       | 79  |
| 8.1.1. | Cijena i troškovi korištenja finalne energije plina u obiteljskoj kući.....               | 79  |
| 8.1.2. | Cijene i troškovi korištenja finalne energije struje.....                                 | 79  |
| 8.1.3. | Otkup električne energije .....   | 81  |
| 8.2.   | Troškovi zahvata podzemne vode .....  | 83  |
| 8.3.   | Investicijski troškovi postavljanja sustava .....   | 83  |
| 8.3.1. | Investicijski troškovi sustav sa dizalicama topline zrak – voda – Sustav 2 .....          | 83  |
| 8.3.2. | Investicijski troškovi sustav sa dizalicama topline voda – voda – Sustav 3 .....          | 84  |
| 8.3.3. | Investicijski troškovi za sustave sa fotonaponskim panelima – Sustav 4 i Sustav 5         | 86  |
| 8.4.   | Pogonski troškovi sustava i troškovi održavanja.....                                      | 87  |
| 8.5.   | Isplativost sustava.....  | 88  |
| 9.     | ZAKLJUČAK .....   | 90  |
| 10.    | LITERATURA.....   | 91  |
| 11.    | POPIS SLIKA .....   | 93  |
| 12.    | POPIS TABLICA.....  | 95  |
| 13.    | POPIS OZNAKA .....  | 97  |
| 14.    | SAŽETAK.....  | 100 |
| 15.    | ABSTRACT.....   | 101 |

# 1. UVOD

## 1.1. Zadatak

Zadatak ovoga rada je utvrditi potencijal smanjenja primarne energije obiteljske kuće odabirom odgovarajućeg termotehničkog sustava baziranog na obnovljivim izvorima energije i primjenom vlastitog sustava proizvodnje električne energije. Primarna energija je oblik energije uzet iz prirode bez pretvorbe ili procesa transformacije. Ta energija može biti sadržana u neobnovljivim ili obnovljivim izvorima. Kod neobnovljivih izvora energija je sadržana u kemijskom potencijalu fosilnih goriva, a to su nafta, plin, ugljen, treset, i nuklearnoj energiji. Kod obnovljivih izvora energija je sadržana u kinetičkoj energiji vjetra, toplinskoj i fotonaponskoj energiji Sunca, potencijalnoj energiji vodenih tokova ili toplinskoj energiji geotermalnih izvora. Za sustav grijanja za primarnu energiju obiteljske kuće iskorištava se kemijski potencijal plina.

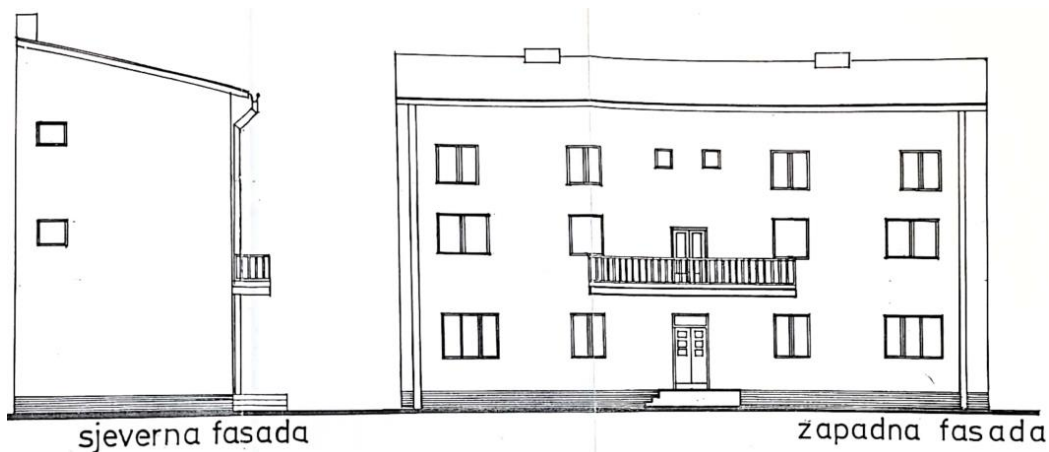
## 1.2. Povijest obiteljske kuće

Obiteljska kuća građena je 1938. godine na lokaciji grada Zagreba u predjelima kontinentalne Hrvatske. Prvotna obiteljska kuća prije adaptacije sastoji se od prizemlja, prvoga kata i visokog tavana. Podijeljena je na dva stana u prizemlju i na prvom katu te na jedan stan i prostor za skladištenje na visokom tavanu. Prikazano na slici 1.1.



*Slika 1.1. Obiteljska kuća iz 1938.*

Adaptacija je napravljena u razdoblju od 1997. do 1998. godine. Projekt adaptacije se sastojao od prenamjene visokoga tavana u dodatni kat i dodavanja niskoga tavana. Stambeni objekt nakon adaptacije je zadržao status obiteljske kuće, iako žive dvije obitelji unutar nje.[1] Na slici 1.2. prikazana je adaptirana obiteljska kuća.



*Slika 1.2. Adaptirana obiteljska kuća*

### **1.3. Cilj rada**

U ovom radu će biti cilj dinamičkom simulacijom utvrditi potencijal smanjenja primarne energije pomoću uvođenja obnovljivih izvora energije.

U adaptiranoj obiteljskoj kući za sustav grijanja koristi se radijatori spojeni na kombi plinski bojler. Također na taj isti kombi bojler spojen je i PTV (potrošna topla voda) za tuširanje, pranje suđa i druge higijenske potrebe. Plin za pogon plinskog bojlera dobavlja se od strane Gradske plinare Zagreb. Za sustav hlađenja postavljeni su klima-uređaji sa po jednom vanjskom jedinicom za dva stana. Električna energija, koja je potrebna za pogon klima-uređaja i korištenje drugih uređaja koji ovise o njoj, dobavlja se od strane HEP-a. Tarife i godišnji troškovi za ovu obiteljsku kuću biti će prikazani u jednom od idućih poglavlja.

Ovdje će se razmatrati samo zamjena sustava grijanja i PTV-a, dok sustav hlađenja ostaje kako se nalazi u obiteljskoj kući.

## 2. O PRIMARNOJ ENERGIJI

### 2.1. Oblici primarne energije

Definicija primarne energije:

*„Primarna energija je ona energija uzeta iz prirode bez pretvorbe, bilo da se radi o kemijskom potencijalu fosilnih goriva, drva ili biomase, nuklearnoj energiji, kinetičkoj energiji vjetra, potencijalnoj energiji vodenih tokova ili toplinskoj energiji geotermalnih izvora.“[2]*

Pomoću izraza (2.1.) prikazat će se u klasifikacija obnovljivost izvora energije.

$$OE = \frac{\text{brzina generiranja energetskega izvora}}{\text{brzina iskorištavanja energetskega izvora}} \quad (2.1.)$$

Uvjet:

$OE > 1$  – obnovljivi izvor energije

$OE < 1$  – neobnovljivi izvor energije

#### 2.1.1. Neobnovljivi oblici primarne energije

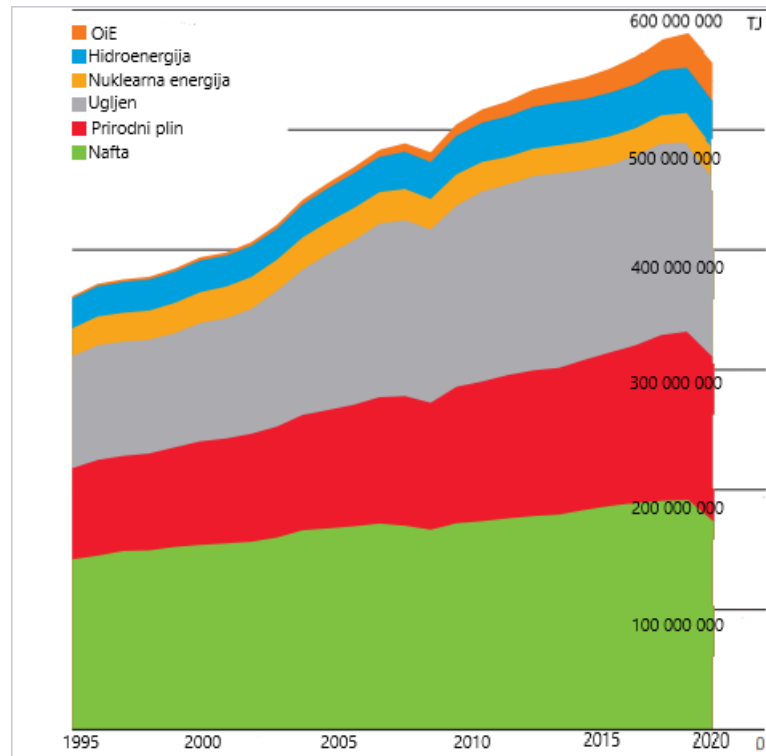
Nazivaju se neobnovljivi izvori energije zbog njihovog ciklusa nastanka koji je 300 milijuna godina za fosilna goriva, odnosno značajno dulje nego što je vrijeme u kojem će se utrošiti, 200 godina. drugi nazivaj koji imaju su još komercijalni ili konvencionalni oblici primarne energije.[3]

Fosilna goriva nalaze primjenu u svakodnevnome životu, na primjer za pokretanje prijevoznih sredstava, energetske postrojenja, za održavanje sustava grijanja i PTV-a te drugih sličnih potreba. U fosilna goriva ubrajaju se nafta, prirodni i naftni plin, ugljen, treset i drugi. Zbog straha od presušivanja naftnih bušotina, nedostatkom vađenja ugljena te najvećega faktora zagađenja zraka i okoliša, potrebno je smanjit njihovu primjenu ili ih zamijeniti drugim gorivima koja imaju manji utjecaj na okoliš, zrak i kvalitetu življenja čovjeka.

Nuklearna energija, iako pripada ovoj skupini, koristi se većinom za pogon elektrana te pogon brodova ili podmornica. Ova vrsta energije je čišća od energije dobivenih iz fosilnih goriva te

ima duži radni vijek iskorištavanja, ali problem nastaje zbog skladištenja nuklearnog otpada koji ima utjecaj na okoliš i život čovjeka ako nije adekvatno upravljano skladištenje.[3]

Na slici 2.1. biti će prikazan graf potrošnje primarne energije na svjetskoj razini u razdoblju od 1995. do 2020. godine.



Slika 2.1. Potrošnja primarne energije na svjetskoj razini u teradžulima u razdoblju od 1995. do 2020. godine[3]

Prednosti neobnovljivih izvora su:

- Konstantnost izvora
- Prilagodljivi potrebama potrošača
- Lakše skladištenje i transport u izvornom obliku
- Niži troškovi gradnje postrojenja za njihovo dobivanje, pretvorbu i uporabu
- Niži troškovi pogona i održavanja za instaliranu snagu
- Veće tehničke mogućnosti i bolja ekonomska opravdanost korištenja

### 2.1.2. Obnovljivi oblici primarne energije

Obnovljivi izvori energije su oni izvori energije čiji se potencijal obnavlja u kratkom vremenu, naspram vremena korištenja. Odnosno energetska izvor je obnovljiv ako je njegova

potrošnja manja ili najviše jednaka generiranoj energiji u istome vremenskom razdoblju. [3]  
Drugi naziv za obnovljive izvore je novi ili alternativni izvori energije.

U skupinu obnovljivih izvora energije pripadaju:

- Drvo, biomasa
- Biogoriva – bioetanol, biodizel, bioplin...
- Hidro-energija – koriste hidroelektrane za proizvodnju električne energije
- Energija vjetra – koriste vjetrenjače za proizvodnju električne energije
- Sunčeva energija – dijeli sa toplinsku i fotonaponsku
  - Toplinska energija – za sustave grijanja i PTV-a
  - Fotonaponska energija – za proizvodnju električne energije
- Geotermalna energija – toplinska energija koristi se za rad termoelektrane i u kućanstvima kao toplinski izvor pri radu dizalice topline
- Energija mora – dijeli se na energiju plime i oseke te energiju valova, obje energije služe za proizvodnju električne energije

## **2.2. Mogućnost smanjenja primarne energije**

Potrošnju primarne energije moguće je smanjiti. Pokušat će se smanjiti na način da se ostavi sustav radijatora i PTV-a te se plinski bojler zamjeni dizalicom topline sa solarnim kolektorima ili fotonaponskim panelima. Sustavi sa iskorištavanjem obnovljivih izvora energije imaju manju potrošnju primarne energije.

Dizalica topline za razliku od bojlera imati će potrošnju primarne energije umjesto plina električnu energiju, čime će sustav biti spojen na gradsku mrežu. Kako bi sustav manje ovisio o električnoj energiji kao potrošnji primarne energije, biti će postavljeni fotonaponski paneli ili solarni kolektori.

Fotonaponski paneli pomoći će podržavati rad dizalice topline i višak električne energije prodat će se kako bi se sustav prije isplatio.

Solarni kolektori pomoći će pri dobavi topline za zagrijavanje vode u akumulacijskom spremniku, smanjenju opterećenja u radnom režimu dizalice topline i smanjenju potrošnje primarne energije.

Više o sustavima koji iskorištavaju obnovljive izvore energije biti će rečeno u poglavljima prilikom odabira opreme za sustav.

### 2.3. Izračun primarne energije i bilanca obiteljske kuće

Izračun potrošnje primarne energije za plin za jedan mjesec prikazana je izrazom (2.2)[24] i on će biti potreban kasnije u poglavljima prilikom usporedbe rezultata simulacije i računa za potrošnju primarne energije plina.

$$E_{\text{prim,PL}} = V \cdot f \cdot H_{\text{ds}} \quad (2.2.)$$

-gdje je:

$E_{\text{prim,PL}}$  – potrošnja primarne energije plina [kWh]

$V$  – volumen potrošenoga plina kroz mjesec dana [ $\text{m}^3$ ]

$f$  – faktor korekcije [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]

$H_{\text{ds}}$  – donja ogrjevna vrijednost plina za obračunsko razdoblje [ $\text{kWh}/\text{m}^3$ ]

Dalje će biti prikazan izrazom (2.3.)[2] izračun potrošnje primarne energije električne struje za jedan mjesec. Ovaj izraz će biti potreban kasnije prilikom usporedbe potrošnje primarne energije električne struje i računa za potrošnju primarne energije plina.

$$E_{\text{prim,EL}} = F \cdot \sum E_{\text{uređaja}} \quad (2.3.)$$

-gdje je:

$E_{\text{prim,EL}}$  – potrošnja primarne energije električne struje [kWh]

$F$  – faktor primarne energije ( $F = 1.614$ )[18]

$\sum E_{\text{uređaja}}$  – suma potrošnje električne energije svih uređaja u sustavu [kWh]

U nastavku će biti prikazani izrazi (2.4.) i (2.5.)[4] koji prikazuju toplinske bilance za obiteljsku kuću. Izraz (2.4.) prikazivat će toplinske gubitke, dok izraz (2.5.) toplinsko

opterećenje. Ti izrazi su bitni jer se prema njima određuje potreban učin grijanja i hlađenja za sve zone.

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (2.4.)$$

-gdje su:

$\Phi_{T,i}$  – transmisijski toplinski gubici i – toga grijanog prostora, [kW]

$\Phi_{V,i}$  – ventilacijski gubici topline i – toga grijanog prostora, [kW]

Transmisijski toplinski gubici su zbog gubitka topline od grijane prostorije prema vanjskom okolišu, tlu i susjednim prostorijama.

$$\Phi_{UK} = \Phi_{UN} + \Phi_{VAN} \quad (2.5.)$$

-gdje su:

$\Phi_{UN}$  – zbroj unutarnjih opterećenja, [kW]

$\Phi_{VAN}$  – zbroj vanjskih opterećenja, [kW]

Unutarnja opterećenja predstavljaju toplinu koju odaju osobe, toplinu rasvjetnih tijela, strojeva i uređaja, toplinu koju odaju predmeti i tvari prilikom prenošenja kroz prostorije te toplinu koju odaju ostali izvori.

Vanjska opterećenja su toplina dovedena iz okoliša na zidove ili krov obiteljske kuće, toplina dovedena iz okoliša kroz prozore, toplina dovedena zračenjem kroz ostakljene površine, toplina dovedena iz okoliša prirodnom ventilacijom i toplina dovedena iz susjednih prostora kroz unutarnje zidove, vrata, pod ili strop.



### 3. MODELIRANJE OBITELJSKE KUĆE

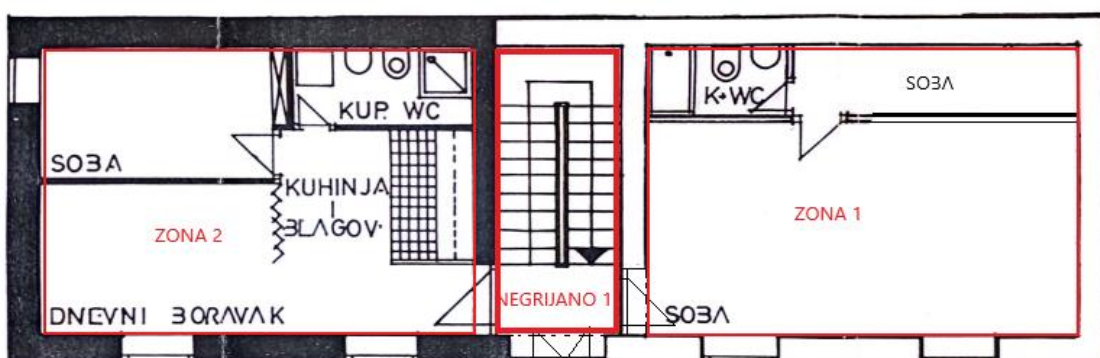
#### 3.1. Imenovanje toplinskih zona u obiteljskoj kući

U uvodu je detaljno definirana prva obiteljska kuća te kasnija adaptacija te koje su se prostorije nadodale. Kako bi se prikazalo da objekt postoji na slici 3.1. biti će prikazana geolokacija obiteljske kuće sa karte. Kuća je orijentirana tako da su bočne strane orijentirane sjever – jug.

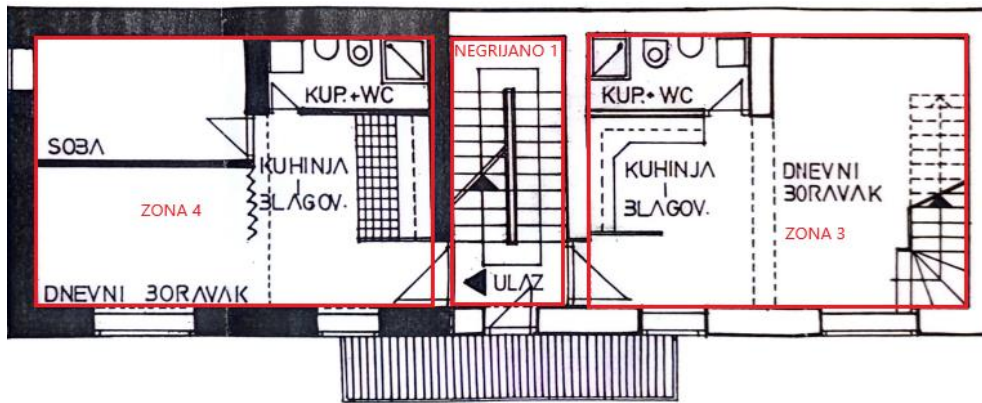


Slika 3.1. Prikaz lokacije obiteljske kuće [5]

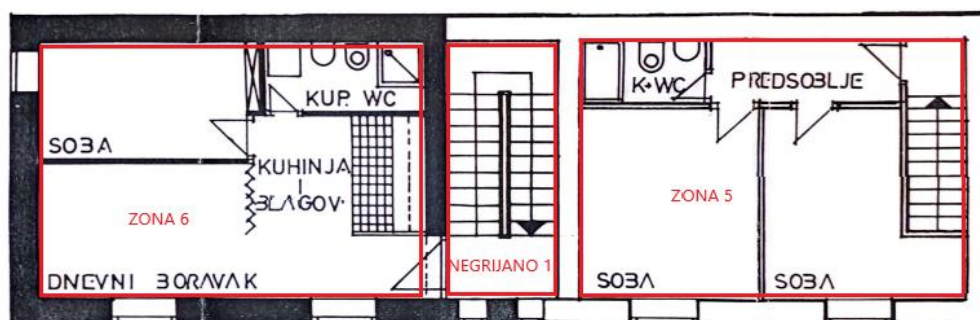
U nastavku će na slikama 3.2., 3.3. i 3.4. biti prikazani katovi sa prostorijama te nakon toga objasniti na koji način su odabrane zone unutar obiteljske kuće za modeliranje kuće.



Slika 3.2. Tlocrt prizemlja obiteljske kuće[1]



Slika 3.3. Tlocrt prvoga kata obiteljske kuće[1]



Slika 3.4. Tlocrt drugoga kata obiteljske kuće[1]

Za zone će se uzimati unutarnja površina stana bez obzira na zidove i pregrade, također sve te zone označene su crvenim pravokutnicima. To je bitno kako bi se lakše mogla modelirati obiteljska kuća u programu SketchUp. U nastavku će biti prikaz podijeljenih zona te njihovi nazivi koji će se koristiti prilikom modeliranja, ali i same simulacije u programu TRNsys.

Nazivi zona:

ZONA 1 = GRIJANO 1 (prizemlje)

ZONA 2 = GRIJANO 2 (prizemlje)

ZONA 3 = GRIJANO 3 (prvi kat)

ZONA 4 = GRIJANO 4 (prvi kat)

ZONA 5 = GRIJANO 5 (drugi kat)

ZONA 6 = GRIJANO 6 (drugi kat)

NEGRIJANO 1 = NEGRIJANO 1 (stubište)

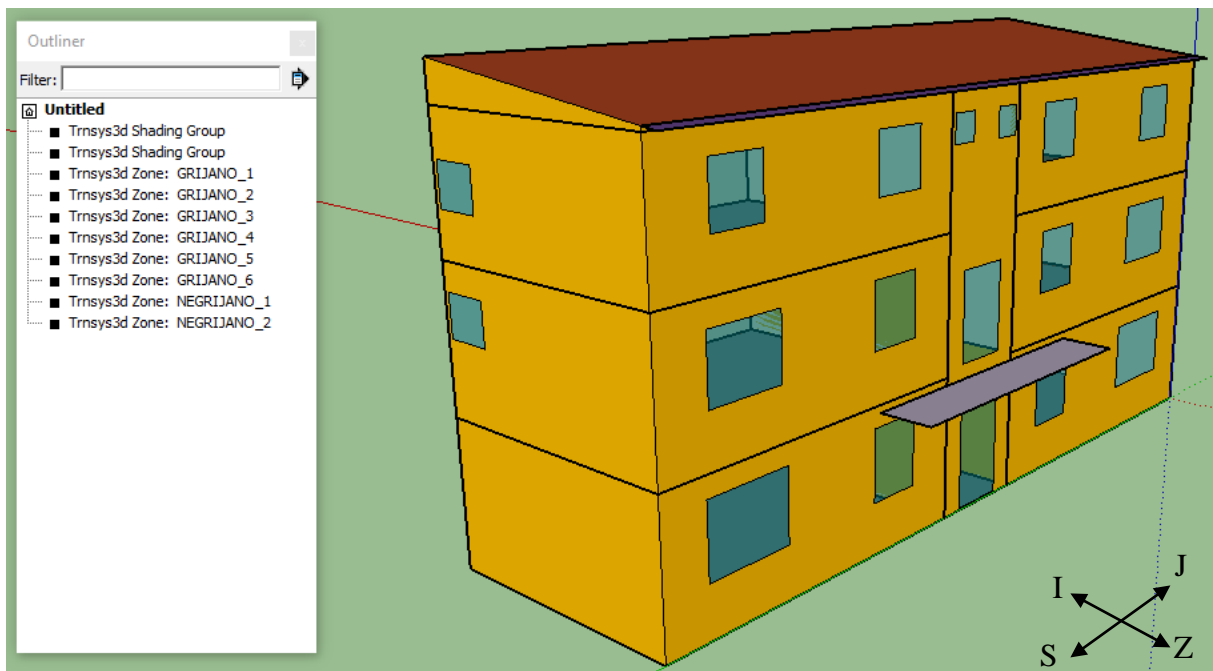
Tavan = NEGRIJANO 2

Bitno je napomenuti kako zone 3 i 5 te zone 4 i 6 spojene su stepenicama. Zone 3 i 5 spojene su prilikom adaptacije, a zone 4 i 6 spojene su kasnije.

### 3.2. Modeliranje kuće u programu SketchUp

Program koji će se koristiti za modeliranje obiteljske kuće u 3D je Google SketchUp uz pomoć TRNsys dodataka za modeliranje.

Kako je prije spomenuto dimenzije za toplinske zone biti će unutarnja površina prostorije bez obzira na zidove i pregrade. Isto što je potrebno postaviti elemente zasjenjenja kao što su balkon te vrh krova koji je duži od zgrade. Zasjenjenja se postavljaju zbog hlada koji nastaje ovisno o kretnji Sunca tijekom dana te samim time utječe na toplinske gubitke i dobitke prostorije. Na slici 3.5. nalazi se model obiteljske kuće u programu Google SketchUp.



Slika 3.5. Model obiteljske kuće – Google SketchUp

Nakon modeliranja zgrade potrebno je definirati vrste konstrukcijskih elemenata za svaku zonu te odrediti im funkciju. Elementi koji su u programu normalno se postavljaju kod zona, ali potrebno je dodati ostale elemente koje program nije ponudio, a potrebni su. Primjerice to su susjedni zidovi, odnosno zidovi između grijanih prostorija i stubišta, onda međukat između grijanih prostorija te strop između grijanih prostorija, stubišta i tavana. Vanjski elementi označeni su kraticom VAN, a unutarnji UN. Za potrebe ovoga modela korišteno je 6 različitih elemenata.

## Zidovi:

- VAN\_ZID – vanjski zidovi zgrade
- VAN\_KROV – vanjski krov zgrade
- UN\_ZID – unutarnji zidovi (zidovi između grijanih prostorija i stubišta)
- MEDUKAT – međukat (strop između grijanih prostorija)
- STROP\_TAVAN – strop (strop između grijanog prostora i tavana te stubišta i tavana)
- PRIZEMLJE – pod prema tlu (tlo zgrade)

Za svaki element potrebno je definirati i rubni uvjet s druge strane elementa koji definira toplinsku zonu, a to može biti druga zona, tlo ili okolina. Vanjski uvjeti odnose se na vanjsku temperaturu, relativnu vlažnost ili dozračenu energiju sunca. Ako je rubni uvjet druga zona potrebno je odrediti o kojoj se zoni radi. Idući korak je ucrtavanje prozora i vrata na model kuće. Prozori i vrata označeni su VAN\_PROZOR\_1 , ali u TRNsys-u kasnije je postavljeno kao VAN\_VRATA. Kada je 3D model izrađen, potrebno ga je unijeti u Simulation Studio (TRNsys) gdje se dalje vrši proračun.

## 4. POSTAVLJANJE SUSTAVA ZA DOBIVANJE KORISNE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

### 4.1. O programu TRNsys

TRNsys je program u kojemu se vrše simulacije prilikom izrade projekata gradnje ili adaptacije kuća, zgrada i drugih građevinskih objekata. Služi za prikazivanje potrošnje primarne energije, mijenjanje toplinskih svojstava objekta tijekom godine ili traženja optimalnog sustava pri kojem bi objekt mogao biti pogodan za život ili drugu funkciju kojoj je namijenjen.

Osim za vršenje simulacija prilikom izrade projekata gradnje ili adaptacije građevinskih objekata, u njemu se vrše i simulacije za procesna postrojenja, ako je potrebna provjera sustava, mogućnost poboljšavanja sustava ili planiranje postavljanja novoga sustava.

U ovome programu je moguće provjeravati kroza simulacije svojstva raznih komponenti zasebno, neovisno o objektu u koji se ugrađuje. Primjerice učin grijanja radijatora, učini grijanja i hlađenja dizalice topline, izmjena topline u akumulacijskom spremniku sa izmjenjivačem topline i drugi.

### 4.2. Uvoz modela iz programa SketchUp-a

Model obiteljske kuće sprema se u obliku .idf datoteke, što omogućuje da se učita u programu Simulation Studio kod već pripremljene podloge za izračun potrošnje primarne energije pod 3D Building Project (multizone). Obiteljsku kuću nije potrebno zakrenuti za određeni kut jer prema slici 4.1. prednji dio zgrade gleda prema zapadu, a zadnji prema istoku te je pravilnog oblika bez bilo kakvih trapeznih oblika.



Slika 4.1. Orijentacija kuće - Google Earth[5]

Prilikom učitavanja kuće, program nudi da se odaberu meteorološki uvjeti za lokaciju na kojoj se nalazi. Odabrani su podaci za obiteljsku kuću, lokacija Hrvatska, grad Zagreb. Idući korak potrebno je vidjeti je li model bez greške. Ako nema greške moguće je otvoriti radni prozor u kojemu će se dalje vršiti proračun te se dodaju ostali potrebni elementi za rad.

### 4.3. Konstrukcijski elementi obiteljske kuće

U sučelju TRNBuild-a pod prozorom gdje se definiraju vrste zidova unose se slojevi materijala zida, međukata, stropa, poda i krova. Podaci o svojstvu materijala uzeti su iz Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.[4]

Tablica 4.1. prikazuje sastav susjednih zidova, odnosno sastav zida koji graniči sa grijanim prostorom i stubištem. Susjedni zidovi se u programu po slojevima slažu od unutra prema van.

➤ UN\_ZID

Tablica 4.1. Sastav unutarnjeg zida

| Materijal      | $d$ [cm] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | $c$ [J/kgK] |
|----------------|----------|-----------------------------|------------------|-------------|
| Fina žbuka     | 0,5      | 1600                        | 0,8              | 1000        |
| Gruba žbuka    | 1,5      | 1800                        | 1,8              | 1000        |
| Šuplji blokovi | 47       | 1100                        | 0,48             | 900         |
| Gruba žbuka    | 1,5      | 1800                        | 1,8              | 1000        |
| Fina žbuka     | 0,5      | 1600                        | 0,8              | 1000        |

Tablica 4.2. prikazuje sastav krova obiteljske kuće. Krov kuće se u programu po slojevima slaže od unutra prema van.

➤ VAN\_KROV

*Tablica 4.2. Sastav krova obiteljske kuće*

| Materijal       | $d$ [cm] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | $c$ [J/kgK] |
|-----------------|----------|-----------------------------|------------------|-------------|
| Parna brana     | 0,1      | 1100                        | 0,23             | 1000        |
| Mineralna vuna  | 12       | 200                         | 0,04             | 1030        |
| Zračni sloj     | 15       | 1,298                       | 0,0251           | 1005        |
| Letvice         | 1        | 700                         | 0,18             | 1600        |
| Krovna ljepenka | 0,1      | 1100                        | 0,23             | 1000        |
| Letvice         | 1        | 700                         | 0,18             | 1600        |
| Lim             | 0,2      | 8200                        | 4,772            | 460         |

Tablica 4.3. prikazuje sastav vanjskih zidova obiteljske kuće. Vanjski zidovi se u programu po slojevima slažu od unutra prema van.

➤ VAN\_ZID

*Tablica 4.3. Sastav vanjskoga zida*

| Materijal      | $d$ [cm] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | $c$ [J/kgK] |
|----------------|----------|-----------------------------|------------------|-------------|
| Fina žbuka     | 0,5      | 1600                        | 0,8              | 1000        |
| Gruba žbuka    | 1,5      | 1800                        | 1,8              | 1000        |
| Šuplji blokovi | 47       | 1100                        | 0,48             | 900         |
| Gruba žbuka    | 1,5      | 1800                        | 1,8              | 1000        |
| Fina žbuka     | 0,5      | 1600                        | 0,8              | 1000        |
| Fasada         | 1        | 1000                        | 0.38             | 1000        |

Tablica 4.4. prikazuje sastav poda, odnosno temelja kuće. Temelj kuće se u programu po slojevima slaže od gore prema dole.

➤ PRIZEMLJE

*Tablica 4.4. Sastav temelja kuće*

| Materijal               | $d$ [cm] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | $c$ [J/kgK] |
|-------------------------|----------|-----------------------------|------------------|-------------|
| Parket                  | 1        | 500                         | 0,13             | 1600        |
| Cementni estrih         | 4        | 2000                        | 1,6              | 1100        |
| Ekspandirani polistiren | 4        | 20                          | 0,032            | 1260        |
| Bitumenska traka        | 0,8      | 1100                        | 0,828            | 1000        |
| Armirani beton          | 20       | 2500                        | 2,6              | 1000        |
| Pijesak i sitni šljunak | 15,2     | 1100                        | 0,81             | 1000        |

Tablica 4.5. prikazuje sastav međukata kuće. Međukatna konstrukcija se u programu po slojevima slažu od gore prema dole.

➤ MEDUKAT

*Tablica 4.5. Sastav međukatne konstrukcije kuće*

| Materijal               | $d$ [cm] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | $c$ [J/kgK] |
|-------------------------|----------|-----------------------------|------------------|-------------|
| Parket                  | 2        | 500                         | 0,13             | 1600        |
| Cementni estrih         | 6        | 2000                        | 1,6              | 1100        |
| Armirani beton          | 15       | 2500                        | 2,6              | 1000        |
| Daska colerica          | 2,5      | 700                         | 0,18             | 1600        |
| Zračni sloj             | 10,5     | 1,298                       | 0,0251           | 1005        |
| Drvena vuna             | 0,5      | 400                         | 0,08             | 1470        |
| Ekspandirani polistiren | 1        | 20                          | 0,032            | 1260        |
| Drvena vuna             | 0,5      | 400                         | 0,08             | 1470        |



Tablica 4.6. prikazuje sastav stropa, koji je granica između tavana i grijane prostorije. Strop se u programu po slojevima slaže od gore prema dole.

➤ STROP\_TAVAN

Tablica 4.6. Sastav stropa obiteljske kuće

| Materijal               | $d$ [cm] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | $c$ [J/kgK] |
|-------------------------|----------|-----------------------------|------------------|-------------|
| Fina žbuka              | 2        | 1600                        | 0,8              | 1000        |
| Drvena vuna             | 2,5      | 400                         | 0,08             | 1470        |
| Ekspandirani polistiren | 1        | 20                          | 0,032            | 1260        |
| Drvena vuna             | 2,5      | 400                         | 0,08             | 1470        |

Nakon toga potrebno je definirati koeficijente apsorpcije sunčevoga zračenja te koeficijente konvektivnog prijelaza topline. Podatke o tome prikazuje tablica 4.7.[4]

Tablica 4.7. Vrijednosti koeficijenata apsorpcije zračenja i prijelaza topline konvekcijom

| Element                | Koeficijent apsorpcije sunčevoga zračenja $\varepsilon$ [-] |                 | Koeficijent prijelaza topline $\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K] |                 |
|------------------------|---|-----------------|---|-----------------|
|                        | Prednja strana  | Stražnja strana | Prednja strana  | Stražnja strana |
| Vanjski zid            | 0,25  | 0,3             | 3,06  | 17,78           |
| Međukatna konstrukcija | 0,25  | 0,4             | 3,06  | 3,06            |
| Kosi krov              | 0,6   | 0,4             | 3,06  | 17,78           |
| Podovi na tlu          | 0,4   | 0,6             | 3,06  | 0,0003          |
| Strop prema tavanu     | 0,3   | 0,4             | 3,06  | 17,78           |

Idući korak potrebno je navesti ostakljene površine na obiteljskoj kući i definirati njihova svojstva unutar programa. U nastavku će u tablici 4.8. za svaku zonu biti definiran broj prozora i vrata.

Tablica 4.8. Broj ostakljenih površina na obiteljskoj kući

| Zone        | Broj vrata | Broj prozora |
|-------------|------------|--------------|
| Zona 1      | 0          | 2            |
| Zona 2      | 0          | 2            |
| Zona 3      | 0          | 3            |
| Zona 4      | 0          | 4            |
| Zona 5      | 0          | 3            |
| Zona 6      | 0          | 4            |
| Stubište    | 2          | 2            |
| Niski tavan | 0          | 0            |

Svi prozori i vrata na sebi imaju dvostruko ostakljenje koje je punjeno inertnim plinom argonom. Ispod će biti definirana svojstva za prozore i vrata u programu TRNsys.

➤ VAN\_PROZOR

- predstavlja vanjske prozore i vrata
- prozor ima dvostruko ostakljenje debljine 4 mm, prostor između ispunjen je inertnim plinom argonom i debljina sloja između dva stakla iznosi 16 mm
- površina okvira u odnosu na ostakljenu površinu iznosi 10 % za prozor
- za vrata udio neprozirnog elementa iznosi 65 %
- koeficijent prolaza topline kroz staklo:  $k_{st} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- toplinska vodljivost okvira:  $\lambda_{ok} = 1.1 \text{ W/mK}$
- u programu oznaka za tu vrstu ostakljene površine je 2104

#### 4.4. Postavljanje aktivnog zasjenjenja

Kako su postavljena svojstva prozora i vrata, potrebno je postaviti iduće aktivno zasjenjenje. Ono se postavlja na prozorima kako bi propustilo ili ne propustilo sunčevo zračenje u prostor. Postoje dvije vrste zračenja a to su vanjsko i unutarnje te intenzitet o godišnjome dobu. Aktivno zasjenjenje može predstavljati zavjese u kući, rolete ispred prozora ili bilo koji drugi element koji može prigušiti intenzitet sunčeva zračenja. Tijekom perioda zimskih mjeseci nije uključeno zbog što veće potrebe energije iz Sunca, a tijekom ljetnih mjeseci je uključeno zbog sprječavanja dodatnoga zagrijavanja unutarnjih prostorija uslijed sunčevoga zračenja.

U zimskim mjesecima aktivno zasjenjenje će se aktivirati ako intenzitet sunčeva zračenja bude veći od  $1040 \text{ W/m}^2$  i isključuje se kada intenzitet sunčeva zračenja padne ispod  $1020 \text{ W/m}^2$ .

U ljetnim mjesecima aktivno zasjenjenje će se aktivirati ako intenzitet sunčeva zračenja bude veći od  $140 \text{ W/m}^2$  i isključuje se kada intenzitet sunčeva zračenja padne ispod  $120 \text{ W/m}^2$ .

#### 4.5. Infiltracija zraka

Potrebno je i odrediti infiltraciju zraka, a to je moguće pomoću proračuna u nastavku.[6] Definira se kao broj izmjena zraka u jednom satu i računa se prema algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade prema HRN EN ISO 13790.

- Broj izmjena zraka uslijed infiltracije ako nema mehaničke infiltracije

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50}, [\text{h}^{-1}] \quad (4.1.)$$

-gdje je:

$n_{50}$  – broj izmjena zraka pri narinutoj razlici tlaka od 50 Pa,  $[\text{h}^{-1}]$

- mjerena vrijednost ili uzeta vrijednost iz tablice 4.9.

$e_{wind}$  – faktori zasićenosti zgrade od vjetra, [-]

- uzeto iz tablice 4.10.

Tablica 4.9. Proračunske vrijednosti  $n_{50}$  za netestirane zgrade - DIN V 18599-2[6]

| Kategorije za općenito određivanje zrakopropusnosti zgrade   | Proračunske vrijednosti za $n_{50} [\text{h}^{-1}]$ |
|--|---|
| I  | a) 2; b) 1  |
| II   | 4   |
| III  | 6   |
| IV   | 10  |
| Kategorija I: Zgrade kojih se testiranje zrakopropusnosti izvodi nakon završetka zgrade  |   |
| a) zgrade bez HVAC sustava   |   |
| b) zgrade sa HVAC sustavom   |   |
| Kategorija II: Zgrade, ili dijelovi zgrada koje će tek biti završene, za koje se ne planiraju raditi testiranja zrakopropusnosti |   |
| Kategorija III: Zgrade koje ne spadaju u kategorije I, II ni IV  |   |
| Kategorija IV: Zgrade s očitim otvorima kroz koje slobodno ulazi zrak, kao što su pukotine u ovojnici zgrade                     |   |

Odabire se za obiteljsku kuću vrijednost iz tablice 4.9., I kategorija pod slovom b).

Tablica 4.10. Koeficijent  $e_{wind}$  i  $f_{wind}$  - HRN EN ISO 13789

| Koeficijent $e_{wind}$ za klasu zaklonjenosti:                                 | Izloženo više od jedne fasade | Izložena jedna fasada |
|--|-------------------------------|-----------------------|
| Nezaklonjene: zgrade na otvorenom, visoke zgrade u gradskim centrima           | 0,1                           | 0,03                  |
| Srednje zaklonjene: zgrade okružene drvećem ili drugim zgradama, predgrađa     | 0,07                          | 0,02                  |
| Jako zaklonjene: zgrade prosječnih visina u gradskim centrima, zgrade u šumama | 0,04                          | 0,01                  |
| Koeficijent $f_{wind}$   | 15                            | 20                    |

Kako je obiteljska kuća smještena u centru grada, prosječne je visine i izloženo je više od jedne fasade vjetru, uzima se vrijednosti iz trećeg reda i prvoga stupca.

Prema izrazu (4.1.) izračunat će se broj izmjena zraka te biti će prikazano ispod.

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} = 0,04 \cdot 1 = 0,04 \text{ h}^{-1}$$

Potrebno je još i odabrati minimalni protok zraka koji je određen Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama ili prema projektnom zadatku ( $n_{min} = 0,5 \div 2,0 \text{ h}^{-1}$ , ovisno o vrsti prostorije: prostor za boravak  $0,5 \text{ h}^{-1}$ ; uredski prostor  $1,0 \text{ h}^{-1}$ ; kuhinja ili kupaonica s prozorom  $1,5 \text{ h}^{-1}$ ; soba za sastanke, učionica  $2,0 \text{ h}^{-1}$ ). Usvojiti će se vrijednost za prostoriju boravka koja ima pola promjena zraka po satu.

Izrazom (4.2.) usvaja se veća vrijednost protoka između  $n_{inf}$  i  $n_{min}$ .

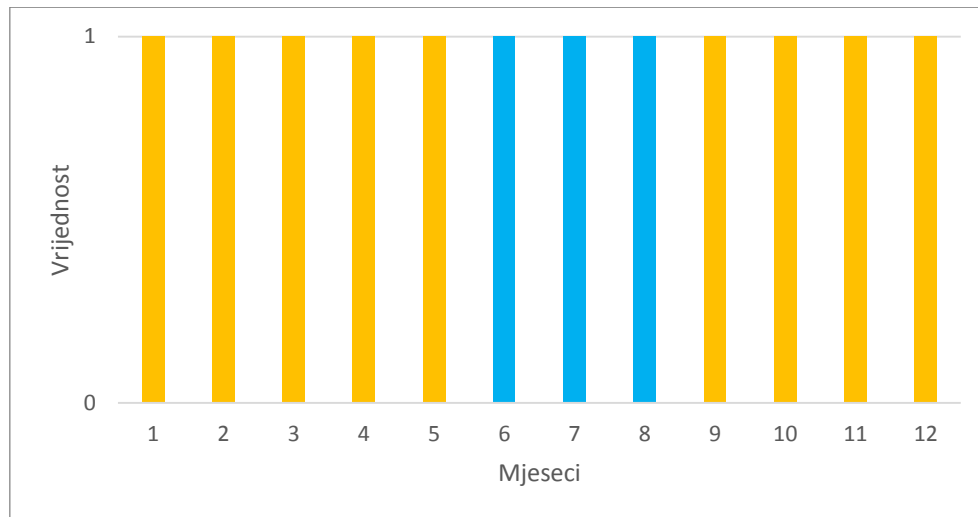
$$n_{inf} + n_{win} = \max[n_{inf} + n_{win}; n_{min}], [\text{h}^{-1}]$$

(4.2.)

$$\max[n_{inf} + n_{win}; n_{min}] = \max[0,04; 0,5] = n_{min} = 0,5 \text{ h}^{-1}$$

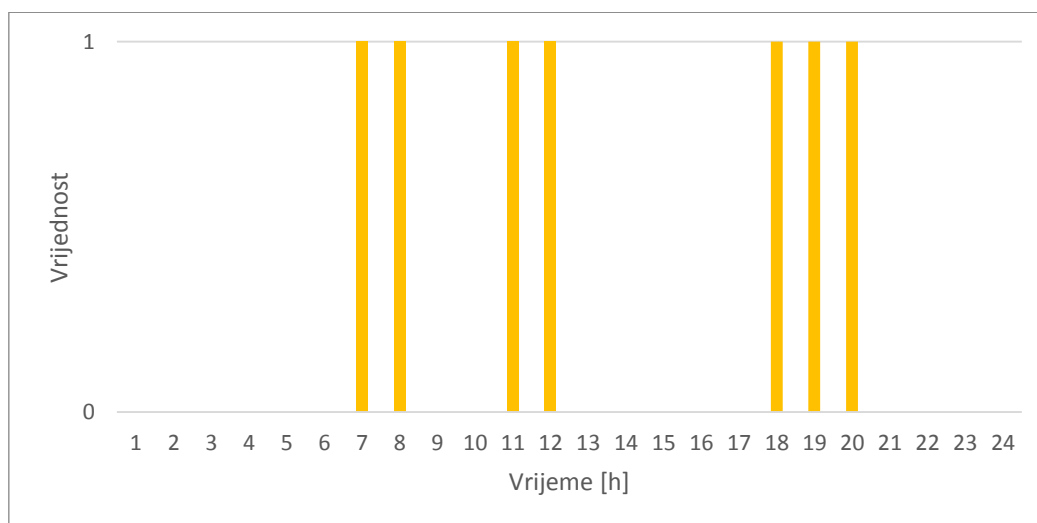
#### 4.6. Postavljanje sustava za dobivanje korisne energije za grijanje i hlađenje

Iduće je potrebno postaviti sustav grijanja i hlađenja u obiteljskoj kući tijekom jedne godine. U nastavku na slici 4.2. biti će prikazan raspored koji će se postaviti u programu TRNsys. Kada je vrijednosti 1 onda je jedan režim u pogonu, dok drugi ima vrijednost 0 i miruje.



Slika 4.2. Sezona grijanja (žuta boja) i hlađenja (plava boja)

Sezona grijanja, zbog pokretanja simulacije koja počinje od prvoga mjeseca, dijeli se u dva dijela. Prva dio sezone grijanja traje od prvoga do petoga mjeseca, a drugi dio sezone grijanja od devetoga do dvanaestoga mjeseca. Razlog tako dugih perioda grijanja je lokacija obiteljske kuće koja se nalazi u kontinentalnoj Hrvatskoj te vrijeme zime traje duže nego u primorskim predjelima. Prije pokretanja simulacije potrebno je postaviti raspored grijanja sa prekidima u jednom danu, biti će prikazano na slici 4.3.



Slika 4.3. Raspored paljenja tijekom sezone grijanja za jedan dan

Kod postavljanja grijanja, postavlja se kod svih zona osim Zona 1, stubište i niski tavan. Zona 1 neće se grijati, razlog tome je da jedna obitelj ne živi u njoj duži niz godina, dok zone stubište i tavan ionako ne maju potrebu grijanja. Temperatura koja će se postaviti za grijane prostore iznosi 20 °C. Za simulacije uzima se slučaj idealnog grijača neograničenog učinka, gdje njegova svrha ima ulogu odrediti jačinu koja bi mogla dati dovoljno topline da održi temperaturu prostorije na 20 °C.

Sezona hlađenja kako je prikazano na slici 4.2. je tijekom šestoga, sedmoga i osmoga mjeseca. Ono što je potrebno napraviti je prilikom hlađenja uključiti ovlaživanje zraka kako zrak tijekom ljetnih mjeseci ne bi bio suh, nego da stvori ugodan prostor za boravak. Postavlja se zadana temperatura prostorije da iznosi 23 °C, a relativna vlažnost zraka na 50 %.

Ovime je određen raspored grijanja i hlađenja tijekom cijele godine

#### 4.7. Postavljanje toplinskih dobitaka

Toplinski dobitci mogu biti rezultat odavanja topline osoba u prostoriji, kućnih ljubimaca, rasvjete te ostalih dobitaka uzrokovano uređajima koji odaju toplinu.

Za obiteljsku kuću normirani toplinski dobitci iznose 5 W/m<sup>2</sup> prema normi HRN EN 13790, te se ta vrijednost unosi u program TRNsys.

#### 4.8. Usporedba rezultata efikasne energije dobivene simulacijom i finalnom energije plina

Prije postavljanja tablica rezultata simulacije idealnoga grijanja i hlađenja, potrebno je prikazati rezultate primarne potrošnje energije plina u obiteljskoj kući, koja se nalazi u tablici 4.11.

Tablica 4.11. Godišnja potrošnja finalne energije plina

|      |         | Potrošnja finalne energije plina [kWh] |      |      |     |     |      |      |      |     |     |     |      |    |
|------|---------|--|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|------|----|
|      |         | Mjesec                                 | 1    | 2    | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8   | 9   | 10  | 11   | 12 |
| ZONE | Zona 1  | 0                                      | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0    | 0  |
|      | Zona 2  | 839                                    | 1037 | 1135 | 197 | 147 | 138  | 150  | 198  | 49  | 79  | 173 | 588  |    |
|      | Zona 3  | 1047                                   | 1155 | 1232 | 49  | 59  | 148  | 99   | 247  | 49  | 99  | 138 | 505  |    |
|      | Zona 4  | 1138                                   | 1275 | 1442 | 117 | 98  | 314  | 108  | 432  | 10  | 20  | 44  | 652  |    |
|      | Zona 5  | 1106                                   | 1244 | 1382 | 138 | 98  | 306  | 257  | 198  | 79  | 148 | 276 | 587  |    |
|      | Zona 6  | 1078                                   | 1207 | 1334 | 88  | 69  | 147  | 696  | 196  | 10  | 20  | 34  | 585  |    |
|      | Ukupno: | 5208                                   | 5918 | 6525 | 589 | 471 | 1053 | 1310 | 1271 | 197 | 366 | 665 | 2917 |    |
| Σ    |         | 26490                                  |      |      |     |     |      |      |      |     |     |     |      |    |

Podatci o potrošnji finalne energije plina su dobiveni na način praćenja računa za svaki mjesec u 2022. godini. Iz godišnje potrošnje plina moguće je izračunati primarnu energiju plina koji je predao toplinu vodi prilikom izgaranja u plinskome bojleru. To se izračunava pomoću izraza (4.3.)

$$E_{\text{prim}} = E_{\text{fin}} \cdot F \quad (4.3.)$$

-gdje je:

$E_{\text{prim}}$  – primarna energija plina [kWh]

$E_{\text{fin}}$  – finalna energija dobavljenoga plina [kWh]

$F$  – faktor primarne energije ( $F = 1,149$ )[18]

$$E_{\text{prim}} = 26490 \cdot 1,149 = 30437 \text{ kWh}$$

Prije postavljanja rezultata simulacije za dobivanje korisne energije za grijanje potrebno je iz tablice 4.11. razdvojiti potrošnju na grijanje i PTV.

Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode za obiteljske kuće računa se temeljem HRN EN (5), prikazano izrazom (4.4.).

$$Q_{\text{W}} = \frac{Q_{\text{W,A,a}}}{365} \cdot A_{\text{k}} \cdot d \quad (4.4.)$$

-gdje je:

$A_{\text{k}}$  – korisna površina zgrade, [m<sup>2</sup>]

-uzima se ukupna površina svih 6 grijanih toplinskih zona

$d$  – broj dana u promatranom periodu, [dan]

-uzima se cijela godina, 365 dana

$Q_{\text{W}}$  – toplinska energija za pripremu PTV-a u promatranom periodu, [kWh]

$Q_{\text{W,A,a}}$  – specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a, [kWh/m<sup>2</sup>]

$-Q_{W,A,a} = 16 \text{ kWh/m}^2$  za zgrade s više od 3 stambene jedinice (prema PECZ NN 36/10)

$$Q_W = \frac{16}{365} \cdot 225 \cdot 365 = 3600 \text{ kWh}$$

Dobije se 3600 kWh toplinske energije za pripremu PTV-a, čime se može odrediti finalna energija plina za grijanje tijekom godine.

$$E_{\text{Fin,gr}} = E_{\text{Fin}} - \frac{Q_W}{0,9} = 26490 - \frac{3600}{0,9} = 22490 \text{ kWh}$$

Dalje će se prikazati rezultati simulacije za korisnu energiju za grijanje.

Tablica 4.12. Rezultati korisne energije za grijanje u simulaciji

|          |         | Korisna energija za grijanje [kWh] |      |      |     |     |   |   |   |     |      |      |      |
|----------|---------|------------------------------------|------|------|-----|-----|---|---|---|-----|------|------|------|
|          | Mjesec  | 1                                  | 2    | 3    | 4   | 5   | 6 | 7 | 8 | 9   | 10   | 11   | 12   |
| ZONE     | Zona 1  | 0                                  | 0    | 0    | 0   | 0   | 0 | 0 | 0 | 0   | 0    | 0    | 0    |
|          | Zona 2  | 960                                | 799  | 640  | 345 | 192 | 0 | 0 | 0 | 130 | 406  | 688  | 974  |
|          | Zona 3  | 736                                | 587  | 415  | 145 | 51  | 0 | 0 | 0 | 6   | 181  | 458  | 746  |
|          | Zona 4  | 708                                | 553  | 384  | 131 | 38  | 0 | 0 | 0 | 7   | 175  | 434  | 703  |
|          | Zona 5  | 753                                | 583  | 414  | 154 | 54  | 0 | 0 | 0 | 13  | 195  | 460  | 741  |
|          | Zona 6  | 771                                | 596  | 419  | 154 | 49  | 0 | 0 | 0 | 15  | 203  | 470  | 753  |
|          | Ukupno: | 3928                               | 3118 | 2272 | 929 | 384 | 0 | 0 | 0 | 171 | 1160 | 2510 | 3917 |
| $\Sigma$ | 18389   |                                    |      |      |     |     |   |   |   |     |      |      |      |

Nakon dobivene korisne energije za grijanje iz simulacije moguće je izračunati finalnu energiju pomoću izraza (4.5.).

$$E_{\text{Fin,gr;sim}} = \frac{E_{\text{Kor}}}{\eta_{\text{sust}}} \quad (4.5.)$$

-gdje je:

$E_{\text{Fin,gr;sim}}$  – finalna energija za grijanje [kWh]

$E_{\text{Kor}}$  – Korisna energija iz simulacije [kWh]

$\eta_{\text{sust}}$  – učinkovitost sustava ( $\eta_{\text{sust}} = 0,85$ )



$$E_{\text{Fin.gr;sim}} = \frac{18389}{0,85} = 21634 \text{ kWh}$$

Razlika između korisne energije za grijanje u simulaciji i finalne energije plina iznosi 856 kWh. Ta razlika će biti uzeta kao potrošnja finalne energije plina za kuhanje, pošto su u svim zonama postavljeni plinski štednjaci.

#### 4.9. Specifični učinak grijanja i hlađenja

Za određivanje veličine opreme ugrađene u sustav, simulacijom će se oponašati uvjeti proračuna prema normama prihvaćenim u RH za određivanje učinka za grijanje i hlađenje. Norma koja se koristi za određivanje projektni učinak grijanja je HRN EN 12831, a za određivanje projektnog učinka hlađenja je VDI 2078.

Prilikom postavljanja simulacije za određivanje specifičnog učinka grijanja potrebno je zadovoljiti iduće uvjete:

- Stacionarni uvjeti provođenja topline
- Konstantna temperatura vanjskog zraka postavljena na vanjsku projektnu temperaturu
- Konstantna temperatura tla
- Sunčevo zračenje nije pristupno
- Unutarnji dobici nisu prisutni
- Toplinske zone se zagrijavaju na projektnu temperaturu prostora bez prekida

Ono što je još potrebno postaviti vanjsku projektnu temperaturu od -12,8 °C i to za temperaturu prostorije, tla i zraka.[7] Također simulacija se postavlja za period najhladnijeg mjeseca u trajanju od 0 do 744 sata.

U tablici 4.14. biti će prikazani specifični učinci grijanja po zonama bez prekida.

*Tablica 4.13. Specifični učinak grijanja po zonama bez prekida*

| Zona   | Specifični učinak grijanja [kW/m <sup>2</sup> ] |
|--------|---|
| Zona 2 | 0,064   |
| Zona 3 | 0,062   |
| Zona 4 | 0,059   |
| Zona 5 | 0,061   |
| Zona 6 | 0,062   |

Idući korak je pokrenuti istu simulaciju i dobiti specifični učinak grijanja sa prekidima. Na slici 4.6. biti će prikazan graf specifičnih učinaka sa prekidima.

U tablici 4.14. biti će prikazani specifični učinci grijanja po zonama sa prekidima.

*Tablica 4.14. Specifični učinak grijanja po zonama sa prekidima*

| Zona   | Specifični učinak grijanja [kW/m <sup>2</sup> ] |
|--------|---|
| Zona 2 | 0,088   |
| Zona 3 | 0,083   |
| Zona 4 | 0,081   |
| Zona 5 | 0,084   |
| Zona 6 | 0,084   |

Iz rezultata je vidljivo kako kod rasporeda sa prekidima je veći specifični učinak grijanja radi učestaloga paljenja i gašenja sustava tijekom dana kako bi se održala temperatura prostorije u zadanim periodima, dok u simulaciji bez prekida taj specifični učinak grijanja je manji. Radi toga će se kasnije pri odabiru komponenti sustava sa iskorištavanjem obnovljivih izvora energije uzimati u obzir tablica specifičnih učinaka grijanja sa prekidima. U tablici 4.15. biti će prikazani apsolutni učinci grijanja.

*Tablica 4.15. Apsolutni učinak grijanja po zonama sa prekidima*

| Zona   | Apsolutni učinak grijanja [kW] |
|--------|--------------------------------|
| Zona 2 | 3,245                          |
| Zona 3 | 3,078                          |
| Zona 4 | 2,980                          |
| Zona 5 | 3,110                          |
| Zona 6 | 3,125                          |

Idući korak je određivanje specifičnog učinka hlađenja. U nastavku će biti postavljeni potrebni uvjeti:

- Konstantna temperatura, relativna vlažnost vanjskoga zraka – projektni uvjeti
- Sunčevo zračenje je uključeno i periodički se ponavlja najtopliji dan u godini
- Unutarnji dobici su prisutni
- Toplinske zone se hlade i razvlažuju na projektne uvjete prostora bez prekida

Potrebna temperatura prostorije koja će se postaviti je 23 °C i temperatura vanjskoga zraka 33 °C. Period u kojemu će se provoditi simulacija je za najtoplije mjeseci u godini gdje je najveći intenzitet sunčeva zračenja, a to su šesti, sedmi i osmi mjesec. Također provodit će se simulacije sa i bez prekida paljenja rashladnoga uređaja.

U tablici 4.16. biti će prikazani specifični učinci hlađenja po zonama u obiteljskoj kući bez prekida.

*Tablica 4.16. Specifični učinak hlađenja po zonama bez prekida*

| Zona   | Specifični učinak hlađenja [kW/m <sup>2</sup> ] |
|--------|---|
| Zona 2 | 0,022   |
| Zona 3 | 0,035   |
| Zona 4 | 0,036   |
| Zona 5 | 0,035   |
| Zona 6 | 0,0357  |

U tablici 4.17. biti će prikazani specifični učinci hlađenja po zonama u obiteljskoj kući sa prekidima.

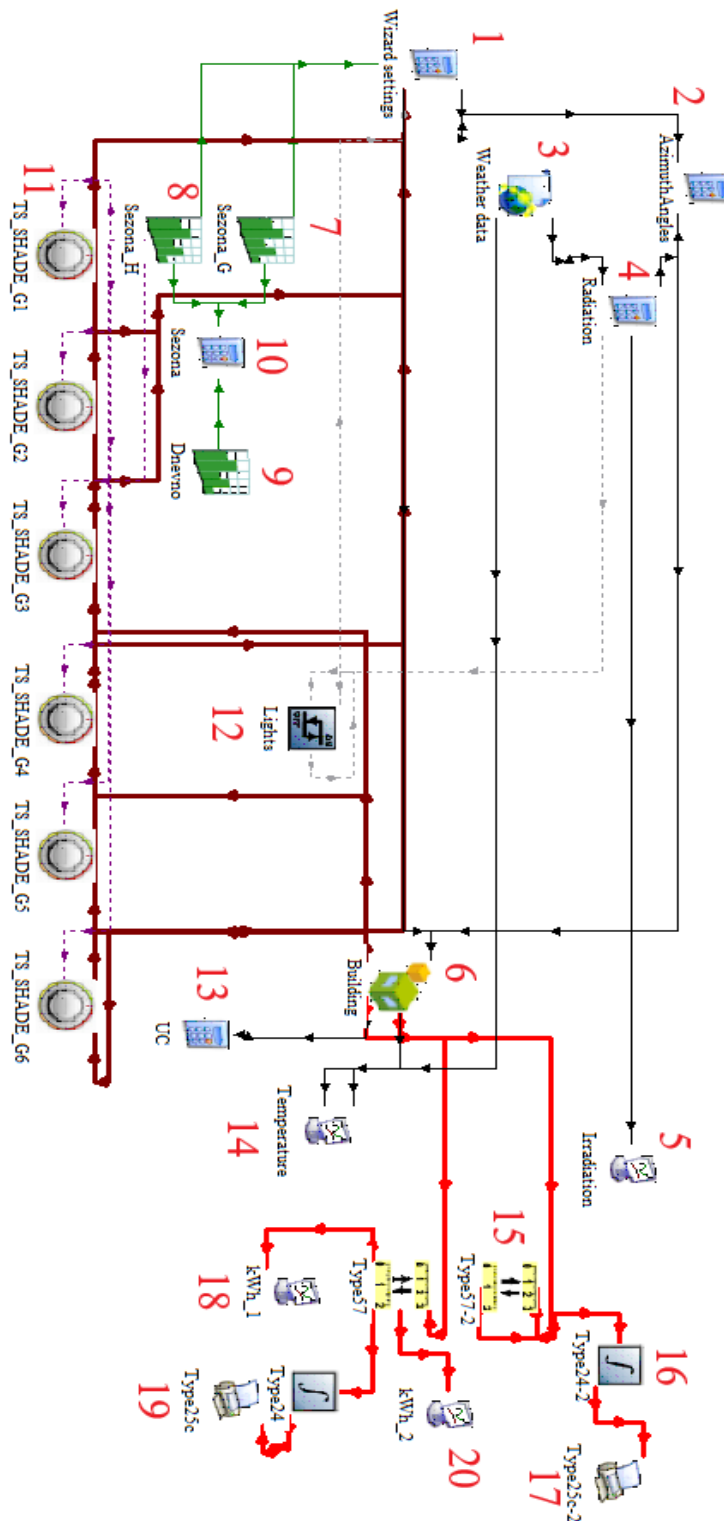
*Tablica 4.17. Specifični učinak hlađenja po zonama sa prekidima*

| Zona   | Specifični učinak hlađenja [kW/m <sup>2</sup> ] |
|--------|---|
| Zona 2 | 0,030   |
| Zona 3 | 0,054   |
| Zona 4 | 0,056   |
| Zona 5 | 0,058   |
| Zona 6 | 0,060   |

Za daljnju provjeru trenutnog postavljenoga sustava u obzir će se uzimati tablica specifičnih učinaka sa prekidima.

#### 4.10. Shema sustava u programu TRNsys

Na slici 4.9. prikazana je shema u sučelju TRNsys programa za sustav idealnoga grijanja i hlađenja i hlađenja.



Slika 4.4. Sustav idealnoga grijanja i hlađenja u sučelju programa TRNsys

U nastavku će biti definirane numerirani elementi sa slike 4.9.

Elementi:

- 1 – kalkulator za aktivno zasjenjenje tijekom jedne godine
- 2 – kalkulator za praćenje kretanja sunca tijekom godine
- 3 – mapa sa meteorološkim podacima za lokaciju na kojoj se obiteljska kuća nalazi
- 4 – kalkulator za sunčeva intenziteta zračenja tijekom godine
- 5 – element za prikaz ispisivanja krivulje sunčeva intenziteta zračenja tijekom godine u grafu
- 6 – element za učitavanje i definiranje svojstava kuće u simulaciji
- 7 – raspored grijanja
- 8 – raspored hlađenja
- 9 – raspored sa prekidima tijekom dana
- 10 – kalkulator koji povezuje rasporede sa kućom i drugim elementima
- 11 – element koji kontrolira vanjsko zasjenjenje tijekom godine
- 12 – element sa rasporedom paljenja i gašenja svjetala tijekom dana
- 13 – kalkulator koji pretvara podatke za osjetnu i latentnu toplinu tijekom godine
- 14 – element za prikaz ispisivanja krivulja vanjske temperature i temperatura u zonama u grafu
- 15 – pretvarač mjernih jedinica
- 16 – integrator
- 17 – pisac koji zapisuje podatke o simulaciji vezano za ukupnu potrošnju primarne energije
- 18 – element za prikazivanje krivulje učinka grijanja i hlađenja za svaku zonu u grafu
- 19 – pisac koji zapisuje podatke o simulaciji vezano za potrošnju primarne energije po svakoj zoni
- 20 – element za prikazivanje krivulje ukupnog učinka grijanja i hlađenja u grafu

## 5. POSTAVLJANJE POSTOJEĆEGA SUSTAVA GRIJANJA I PTV-A U SIMULACIJI

### 5.1. Komponente postojećega sustava u obiteljskoj kući

Postojeći postavljen sustav u obiteljskoj kući sastoji se od plinskog bojlera koji podržava dobavu tople vode radijatorima te u isto vrijeme služi za PTV.

#### 5.1.1. Radijatori u obiteljskoj kući i njihova svojstva

Radijatori koji se nalaze u obiteljskoj kući su od proizvođača Lipovica tip SOLAR 500/80, prikazano na slici 5.1.



Slika 5.1. Izgled radijatora proizvođača Lipovica tip SOLAR 500/80 u obiteljskoj kući

U nastavku će biti prikazana svojstva jednoga članka radijatora u tablici 5.1.[8]

Tablica 5.1. Svojstva jednoga radijatorskoga članka

| Jedan radijatorski članak                           |      |
|---|------|
| Visina članka [mm]                                  | 576  |
| Priključna mjera [mm]                               | 500  |
| Širina članka [mm]                                  | 80   |
| Ugradbena dubina [mm]                               | 80   |
| Površina prijenosa topline [m <sup>2</sup> /članku] | 0,41 |
| Sadržaj vode u članku [l]                           | 0,34 |
| Masa članka [kg]                                    | 1,25 |

Iduće u tablici 5.2. biti će prikazan broj radijatorskih članaka po zonama u obiteljskoj kući.

*Tablica 5.2. Broj radijatorskih članaka po zonama u obiteljskoj kući*

| Broj članaka | Zona                    |
|--------------|-------------------------|
| 54           | Zona 2, Zona 5 i Zona 6 |
| 55           | Zona 3 i Zona 4         |

Za sustav radijatora postavljen je temperaturni režim 60/50 °C, gdje je ulaz vode 60 °C, a izlaz 50 °C. Sa time podatkom odlazi se u katalog proizvođača i očitava se učinak jednoga radijatorskoga članka te on iznosi 73 W.

U tablici 5.3. biti će prikazan trenutni učinak grijanja po zonama, koji će se kasnije prije pokretanja simulacije unijeti u svojstvo radijatora po zonama. Isto tako u tablici će biti postavljen projektni učinak grijanja dobiven iz simulacije prije te izračunat iz specifičnog učinka grijanja.

*Tablica 5.3. Učinci grijanja za obiteljsku kuću po zonama*

| Zona     | Trenutni učinak grijanja [W] | Projektni učinak grijanja [W] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|
| Zona 2   | 3942                         | 3289                          |
| Zona 3   | 4015                         | 3119                          |
| Zona 4   | 4015                         | 3020                          |
| Zona 5   | 3942                         | 3152                          |
| Zona 6   | 3942                         | 3167                          |
| Ukupno:  | 19856                        | 15747                         |
| Razlika: | 4109                         |                               |

Kasnije u drugim poglavljima prilikom odabira uređaja koji iskorištavaju obnovljive izvore energije će se razmatrati o niskotemperaturnim sustavima koji će moći zadovoljiti potrebe grijanja obiteljske kuće te samim time smanjiti potrošnju primarne energije.

### 5.1.2. Plinski bojler i PTV u obiteljskoj kući

U svakoj grijanoj zoni nalazi se plinski bojler proizvođača Vaillant tip THERMOcompact VU 182/1 E. Prednost ovoga bojlera je podržavanje sustava grijanja i PTV-a u isto vrijeme i to bez prekida rada jednoga ili drugoga sustava. Na slici 5.2. biti će prikazan plinski bojler u obiteljskoj kući.[9]



*Slika 5.2. Plinski bojler Vaillant tip THERMOcompact VU 182/1*

U nastavku će biti prikazana tablica 5.4. sa svojstvima bojlera.

*Tablica 5.4. Svojstva plinskoga bojlera*

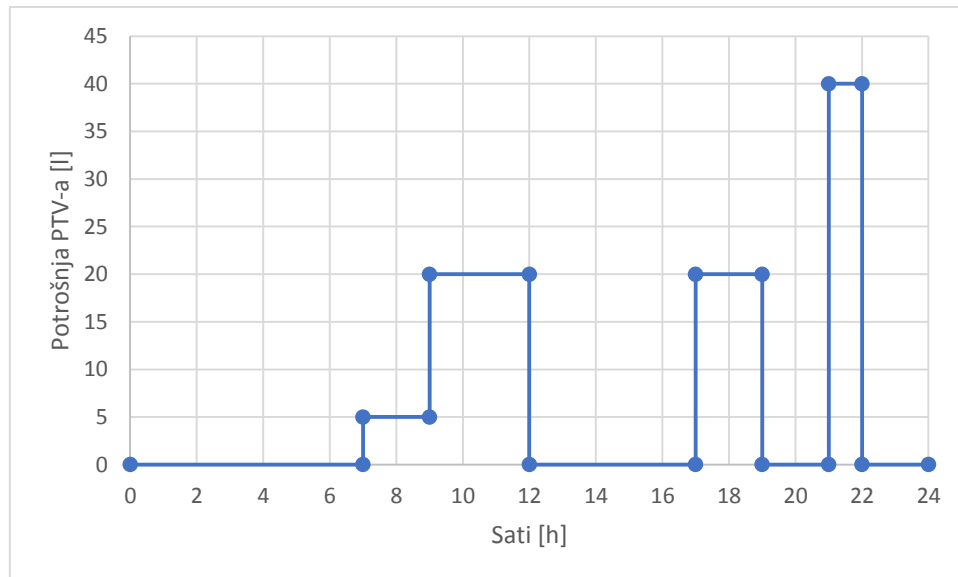
| Vaillant VU 182/1 E                               |          |
|---|----------|
| Max. unos topline [kW]                            | 22       |
| Raspon toplinske snage [kW]                       | 7,2-18,0 |
| Ulazni radni tlak plina [mbar]                    | 20       |
| Dobava plina [MJ/m <sup>3</sup> ]                 | 37,8     |
| Max. Tlak plinskog plamenika [mbar]               | 10,2     |
| Tlak pri paljenju plinskog plamenika [mbar]       | 2        |
| Maksimalni protok plina (PTV) [m <sup>3</sup> /h] | 2,09     |
| Raspon temperature vode [°C]                      | 40 - 90  |
| Protok vode [l/h]                                 | 774      |
| Pritisak pumpe [bar]                              | 0,25     |
| Masa [kg]   | 42       |
| Obujam [l]  | 65       |
| Napon [V -/Hz]                                    | 230/50   |
| Ulazna snaga [W]                                  | 130      |
| Stupanj djelovanja [%]                            | 80       |

Kod sustava grijanja rad bojlera regulira se ručnim termostatom koji je po jedan smješten u svakoj zoni obiteljske kuće. Svaki put se namješta tijekom zimskih mjeseci na 20 °C, a raspored paljenja je postavljen na slici 4.3.



Treba napomenuti kako je plinski bojler podešen da temperatura PTV-a iznosi najviše 60 °C prilikom tuširanja ili drugih higijenskih potreba u obiteljskoj kući.

Na slici 5.3. biti će prikazan graf potrošnje PTV-a tijekom dana u jednoj zoni. Uzima se u obzir ista potrošnja za sve zone.



Slika 5.3. Graf potrošnje PTV-a u jednom danu po jednoj zoni u obiteljskoj kući

## 5.2. Sustav grijanja i PTV-a u programu TRNsys

U sučelju će se postaviti sustav grijanja i PTV-a, ali svaki od tih sustava će biti odvojen radi smanjenja kompleksnosti samoga sustava unutar simulacije te bržega dobivanja rezultata. Plinski bojler za oba sustava po zoni će imati ista svojstva. Naravno rezultati koji se dobiju za primarnu potrošnju energije plina iz simulacije trenutnoga sustava gledati će se zajedno.

### 5.2.1. Postojeći sustav grijanja

Za simulaciju se postavljaju rubni uvjeti. Kod radijatora se unosi za svaku zonu učinak koji je izračunat pri temperaturi okoline od 20 °C, a za plinski bojler su unesena njegova svojstva i režim na koji je podešen kako bi zadovoljavao temperaturni režim radijatora 60/50 °C.

### 5.2.2. Postojeći sustav PTV-a

Kako je prije navedeno da se radi o plinskom bojleru koji omogućuje rad sustava grijanja i PTV-a u isto vrijeme, on nema akumulacijski spremnik koji u sebi sadrži toplu vodu za tuširanje i higijenske potrepštine nego direktno iz sustava vodovoda uzima vodu i zagrijava te dalje šalje na mjesto potrebe u zoni, bilo to kupaonica ili kuhinja.

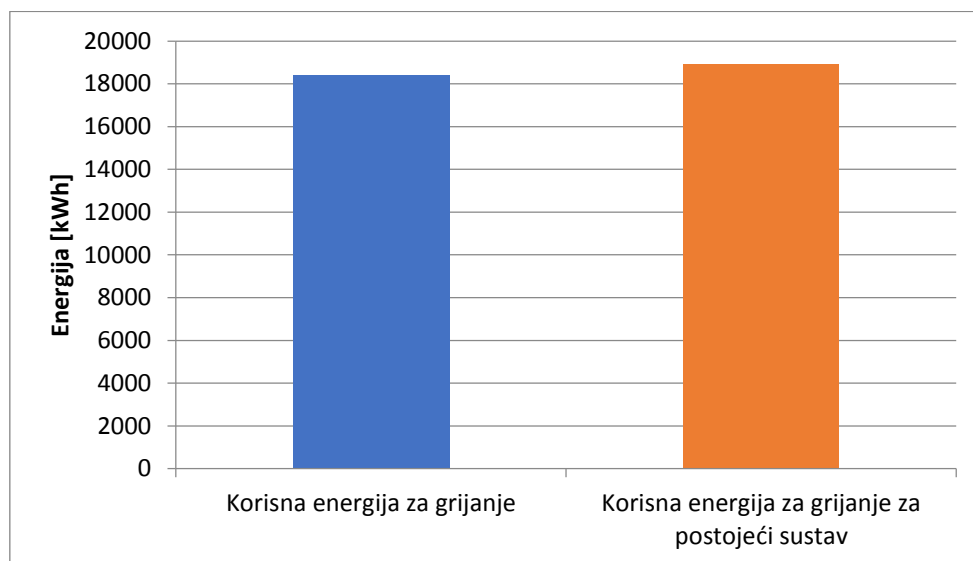
### 5.3. Rezultati simulacije za postojeći sustav u obiteljskoj kući

U nastavku će biti prikazani rezultati simulacije za postojeći sustav grijanja i PTV-a. U tablici 5.5. biti će prikazana korisna energija koja je dobivena u simulaciji prije, biti će prikazana finalna energija i potrošnja primarne energije plina se dobila umnoškom faktora primarne energije plina i finalne energije.

Tablica 5.5. Rezultati simulacije za postojeći sustav u obiteljskoj kući

| Energija u simulacijama [kWh]                                 |       |
|---|-------|
| Korisna energija za grijanje (mjerenje)                       | 18389 |
| Korisna energija za grijanje za postojeći sustav (simulacija) | 18948 |
| Korisna energija za PTV za postojeći sustav (simulacija)      | 3072  |
| Finalna energija za grijanje za postojeći sustav (izračun)    | 21771 |
| Finalna energija za PTV za postojeći sustav (izračun)         | 3530  |

Rezultati u tablici su za cijelu godinu. Vidljivo je iz tablice kako korisna i finalna energija za grijanje su slične te razlika između njih je 559 kWh, što je 3% i time su rezultati u prihvatljivim granicama. Za lakšu usporedbu rezultata biti će prikazan graf na slici 5.4.

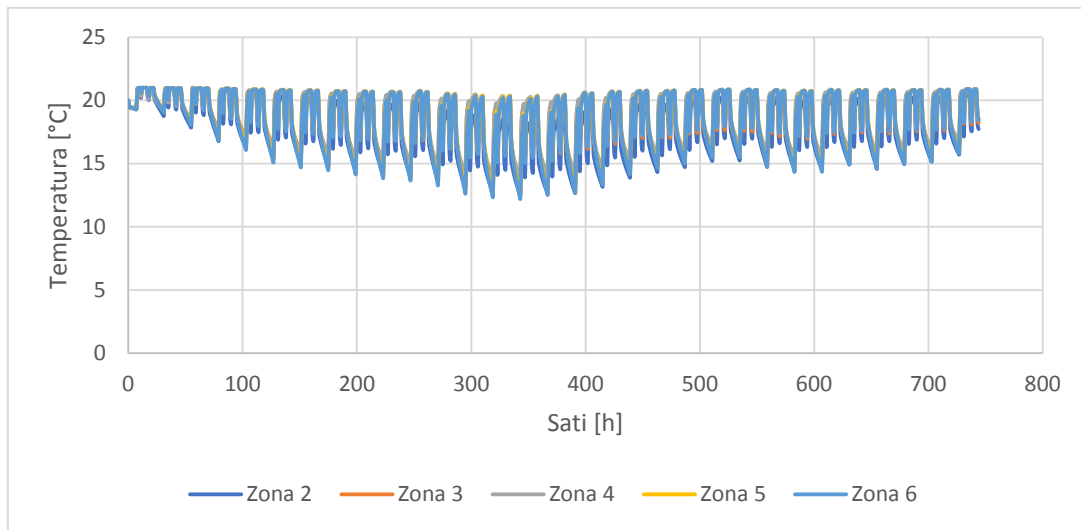


Slika 5.4. Graf usporedbe rezultata - mjerenje(plava) i simulacija (narančasta)

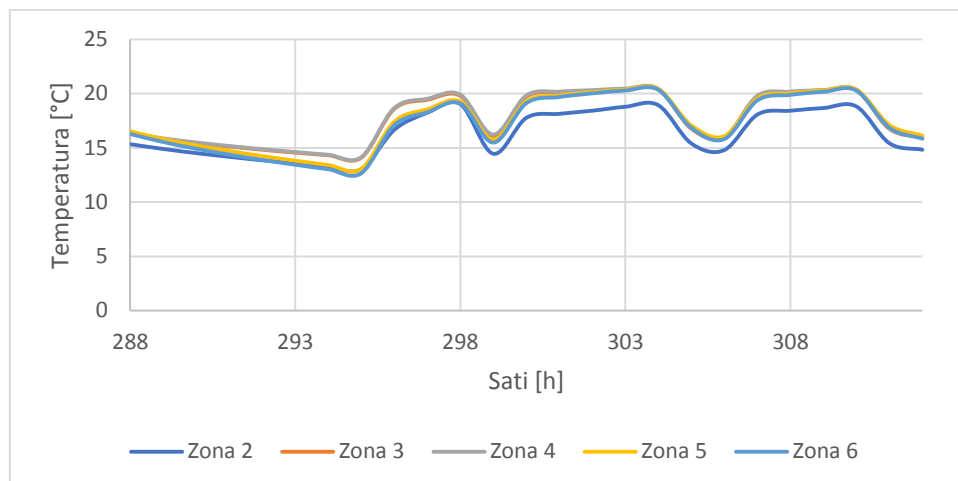
Kako su rezultati u prihvatljivim granicama, sam postavljeni postojeći sustav u programu TRNsys uravnotežen je sa postojećim sustavom u obiteljskoj kući i moguće je dalje taj sustav poboljšati pomoću odabira potrebnih zamjenskih uređaja i nižih temperaturnih režima, ali to će se obrađivati u idućem poglavlju.

Kako bi se pokazalo da trenutni sustav u obiteljskoj kući koji je složen u programu TRNsys zadovoljava potrebe i zadane uvjete, na slici 5.5. biti će prikazana graf temperatura prostorija

u periodu prvoga mjeseca, odnosno najhladnijeg mjeseca u godini, a na slici 5.6. će biti prikazano za najhladniji dan u godini.



Slika 5.5. Temperatura zona za simulaciju trenutnoga sustava u obiteljskoj kući u programu TRNsys za najhladniji mjesec u godini

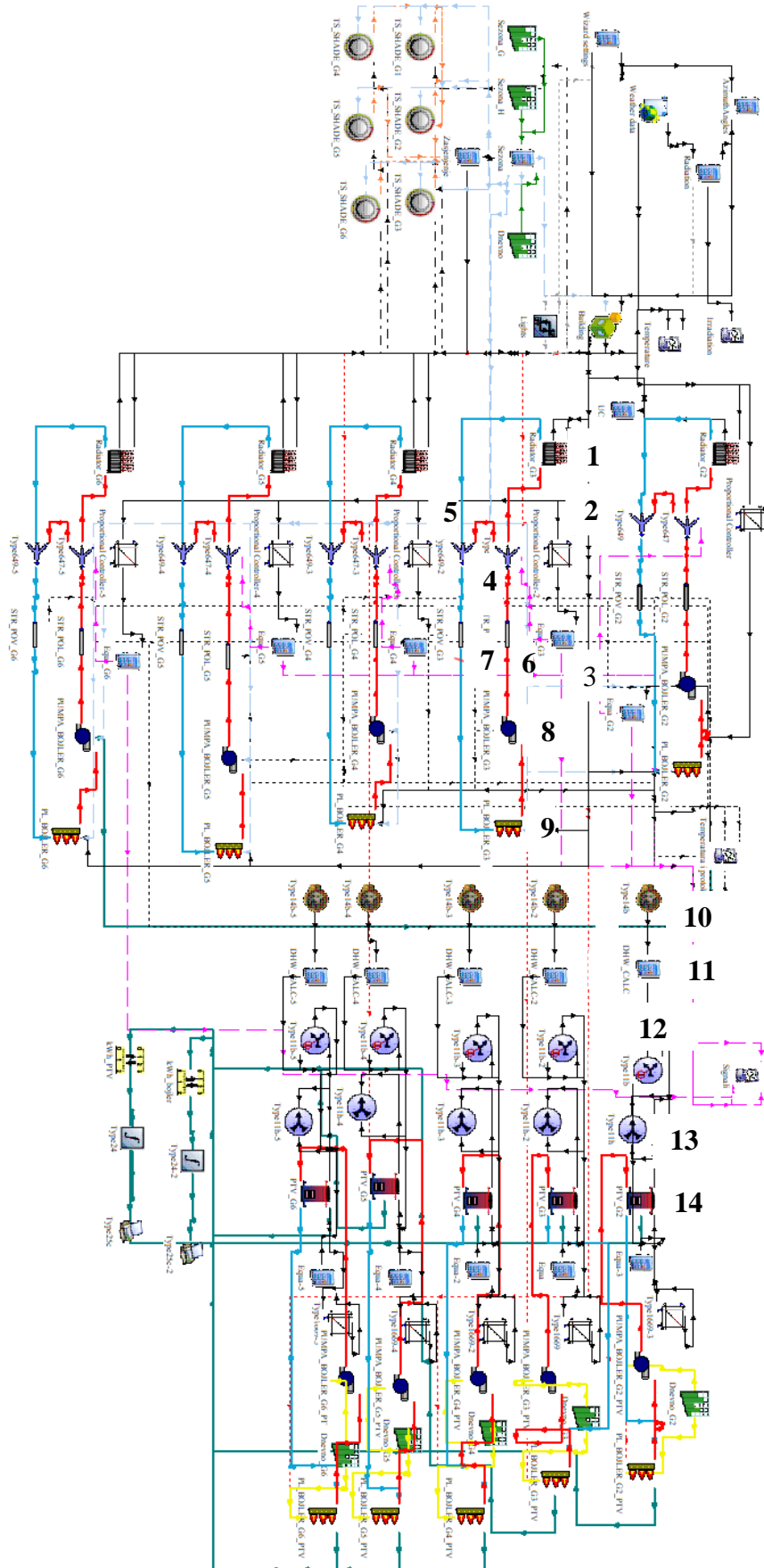


Slika 5.6. Temperatura zona za simulaciju trenutnoga sustava u obiteljskoj kući u programu TRNsys za najhladniji dan u godini

Treba napomenuti kako su ovi skokovi zapravo prekidi koji su postavljeni prema rasporedu paljenja i gašenja sustava tijekom sezone grijanja.

#### 5.4. Shema trenutnoga sustava grijanja i PTV-a u programu TRNsys

Na slici 5.7. biti će prikazana shema trenutnoga sustava grijanja i PTV-a u programu TRNsys, a ispod slike će biti napisani numerirani elementi korišteni u simulaciji. Prijašnji elementi kod idealnoga sustava koji su korišteni neće se ponovno imenovati.



Slika 5.7. Shema trenutnoga sustava grijanja i PTV-a u obiteljskoj kući

Elementi:

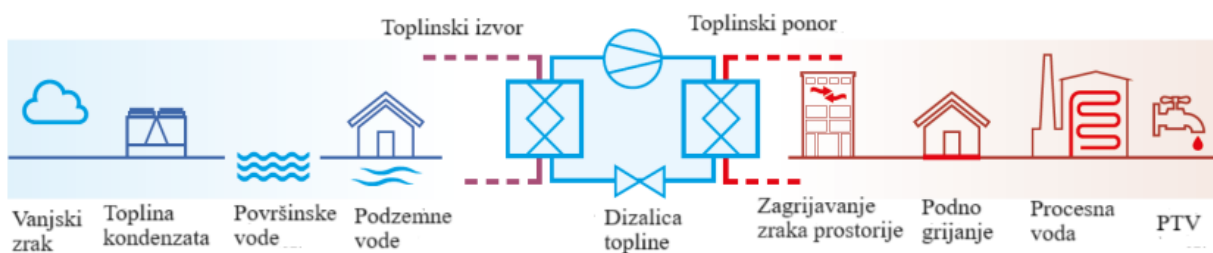
- 1 – Radijator
- 2 – Proporcionalni davač signala za termostatski ventil ovisno o temperaturi prostorije
- 3 – Kalkulator koji pretvara signal proporcionalnog davača signala za dobavu ili preusmjeravanje tople vode u radijator
- 4 – Cijev za račvanje
- 5 – Cijev za miješanje
- 6 – Polazna cijev
- 7 – Povratna cijev
- 8 – Cirkulacijska pumpa- nalazi se unutar plinskoga bojlera
- 9 – Plinski bojler
- 10 – Element za dovod vode u zonu za PTV sa rasporedom potrošnje
- 11 – Kalkulator za ulazne parametre vode iz vodovoda
- 12 – Ventil za račvanje- dobava vode za zagrijavanje i miješanje vodovodne vode sa zagrijanom vodom
- 13 – T ventil
- 14 – Akumulacijski spremnik

Elementi kojih ima više iste vrste, kao što su plinski bojler, cirkulacijske pumpe, proporcionalni davači signala, polazna i povratna cijev, cijev za račvanje i cijev za miješanje, imaju ista svojstva te rubne uvjete. Ono što je drugačije u shemi su učinci na radijatorima, gdje radijatori za zone 2, 5 i 6 imaju iste učinke te zone 3 i 4 imaju iste učinke.

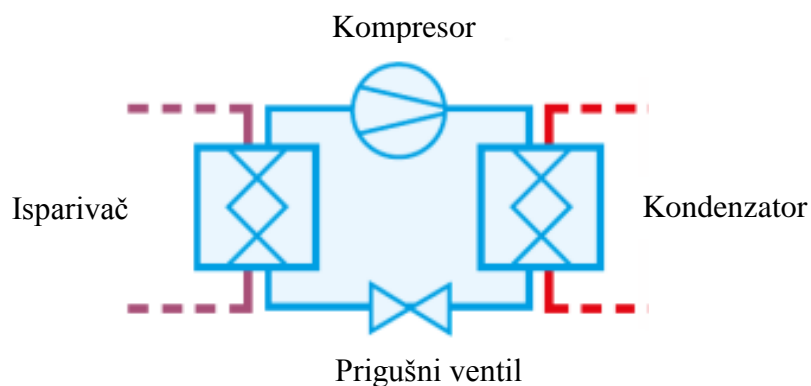
## 6. TEHNIČKI SUSTAV ZA GRIJANJE I PTV SA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

### 6.1. O dizalicama topline

Dizalica topline je svaki uređaj koji podiže toplinu s niže na višu energetska razinu, temperaturu, uz uloženi mehanički rad, toplina ili električna energija, s ciljem korištenja topline više razine[2][12]. Cilj dizalice topline jest korištenje topline izmijenjene u visokotemperaturnom izmjenjivaču, primjerice za grijanje. Suprotno, rashladni uređaj koristi toplinu izmijenjenu u niskotemperaturnom izmjenjivaču. Toplinski spremnici različitih temperaturnih razina pritom su toplinski izvor i toplinski ponor. Toplinski izvor je prostor ili medij niže temperaturne razine kojem se odvodi toplina, a toplinski ponor prostor ili medij više temperaturne razine kojem se dovodi toplina. Izvor topline za dizalicu topline može biti zrak, tlo, voda, ili kao kod kaskadnih sustava, toplina od nekog drugog rashladnog sustava ili bilo koja raspoloživa otpadna toplina. Primjer za toplinske izvore i ponore prikazan je na slici 6.1.

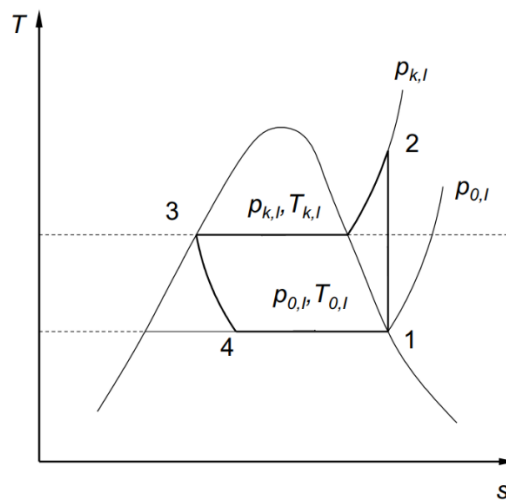


Slika 6.1. Prikaz toplinskih izvora (plavo) i toplinskih ponora (crveno) za dizalicu topline[2]  
Osnovni dijelovi dizalice topline su isparivač, kompresor, kondenzator, prigušni ventil, radna tvar. Na slici 6.2. prikazana je pojednostavljen crtež jedne dizalice topline.



Slika 6.2. Shema dizalice topline[2]

Na slici 5.3. prikazan je T-s dijagram radnog procesa dizalice topline.



Slika 6.3. T-s dijagram radnog procesa dizalice topline[12]

Kružni proces dizalice topline:

U dijagramu od točke 4 do točke 1 u isparivaču radna tvar isparuje pri tlaku isparivanja najčešće pri konstantnoj temperaturi, primajući toplinu od fluida koji hladi. Temperatura isparavanja niža je od temperature medija koji se hladi u isparivaču. U točki 4 radna tvar je u kapljevitom stanju, dok u točki 1 se nalazi u suhozasićenom ili blago pregrijanom stanju. Od točke 1 do točke 2 kompresor usisava pregrijanu paru radne tvari na tlaku isparavanja i komprimira ju na tlak kondenzacije, odnosno na temperaturu koja je viša od okolišne. U kondenzator radna tvar ulazi kao pregrijana para, točka 2. Kod kondenzatora radna tvar se toplinom predaje grijanom mediju i radna tvar se počinje hladiti na temperaturu kondenzacije, a daljnjim dovođenjem topline kondenzira. Zbog bolje učinkovitosti rada uređaja poželjno je da radna tvar na izlazu iz kondenzatora pothladi za nekoliko Celzijevih stupnjeva. Toplina kondenzacije predana grijanom mediju jednaka je toplini izmijenjenoj u isparivaču uvećanoj za energiju koja je dovedena kompresoru. Od točke 3 do točke 4 ukapljeni radni medij pri visokom tlaku ulazi u prigušni ventil koji snižava tlak radne tvari, s tlaka kondenzacije na tlak isparavanja, ujedno i temperatura radne tvari pada. Prilikom prigušenja radna tvar ekspandira te na ulazu je u većoj mjeri u kapljevitom stanju, ali sadrži parnu fazu.

Za rad dizalice topline potrebna je električna energija. Bitno je isto tako da dizalica topline proizvedenu energiju ima značajno veću nego primarnu energiju koja je bila potrebna za rad samoga uređaja, računa se prema izrazu (6.1.).

$$COP = \frac{\dot{Q}}{P_{el}}$$

(6.1.)

-gdje je:

$COP$  – sezonski faktor grijanja

$\dot{Q}$  – proizvedena toplina od strane dizalice topline [kW]

$P_{el}$  – potrebna električna snaga za rad kompresora [kW]

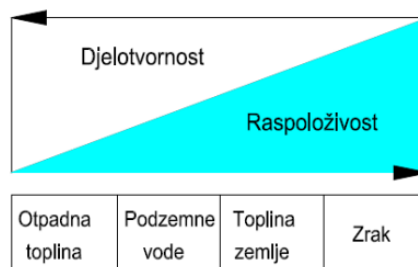
Dizalica topline kako bi bila ekonomična potrebno je zadovoljiti iduće uvjete[2]:

- raspoloživost toplinskog izvora dovoljno visoke i razmjerno stalne temperature dulje vrijeme
- mala udaljenost toplinskoga izvora i ponora
- umjerena temperaturna razina toplinskoga ponora
- veliki broj sati rada tijekom godine, radi veće isplativosti
- visoka cijena drugih izvora energije, gdje se ostvaruje veća ušteda

Potrebno je imati isto i na raspolaganju izvore topline za dizalice topline, a za pogon koriste se[2]:

- zrak
- vode – mogu biti površinske, podzemne...
- tlo
- sunčeva energija
- otpadna toplina

Na slici 5.4. prikazana je raspoloživost izvora, ali i njihova djelotvornost.



Slika 6.4. Izvori topline za dizalice topline[10]



Uvjeti koji moraju biti zadovoljeni toplinski izvori su[2]:

- toplinski izvor treba osigurati potrebnu toplinu u svakom trenutku i na što višoj temperaturnoj razini
- troškovi priključenja toplinskog izvora na dizalicu topline moraju biti što manji
- potrošnja energije za prijenos topline od izvora do isparivača dizalice topline treba biti što manja

Za slučaj u kontinentalnoj Hrvatskoj, točnije lokacija grad Zagreb, valja napomenuti kako u blizini rijeke Save i podnožju Medvednice ima podzemnih voda i na većim dubinama geotermalnih izvora koji mogu poslužiti kao toplinski izvori.

## **6.2. Podjela dizalica topline s obzirom na toplinski izvor**

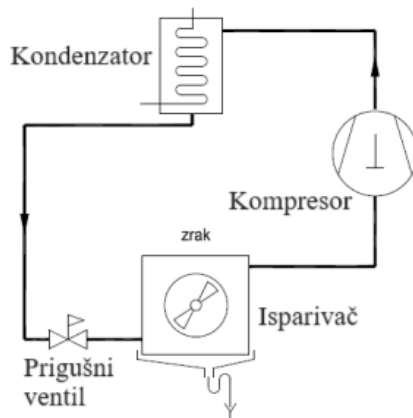
Dizalice topline dijele se u tri skupine s obzirom na toplinski izvor[13]:

- dizalice topline tlo – voda -kao toplinski izvor koriste se slojevi tla
- dizalice topline voda – voda -kao toplinski izvor koriste se podzemne, površinske ili otpadne vode
- dizalice topline zrak – voda ili zrak – zrak -kao toplinski izvor koriste okolišni

Dizalice topline koje će se promatrati za smanjenje potrošnje primarne energije i mogućnosti ugrađivanja s obzirom na lokaciju na kojoj se obiteljska kuća nalazi su zrak – voda i voda – voda.

### **6.2.1. Dizalica topline zrak – voda**

Zrak kao medij je najveći i najpristupačniji spremnik topline za dizalice topline. Iz toga razloga se ovi uređaji najviše koriste te su jednostavnih izvedbi. Ono što je problem da pri nižim temperaturama je kritično područje zraka zbog sadržaja vlage i dolazi do zamrzavanja isparivača, iako u današnje vrijeme novije dizalice temperature mogu raditi u monovalentnom načinu rada do  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Isto jedan od problema kako je medij je zrak da pri radu dizalice topline stvara se buka, za to je potrebno napraviti zvučnu izolaciju i postaviti na mjesto gdje buka neće ometati okolinu. Potrebno je pri dimenzioniranju ne postaviti dizalicu topline na puno opterećenje, odnosno najnepovoljniju radnu točku. Također loša strana zraka kao izvora je da su varijacije njegove temperature, gdje utječe na faktor grijanja dizalice topline. Primjer jedne dizalice topline zrak – voda prikazano je na slici 6.5.[13]

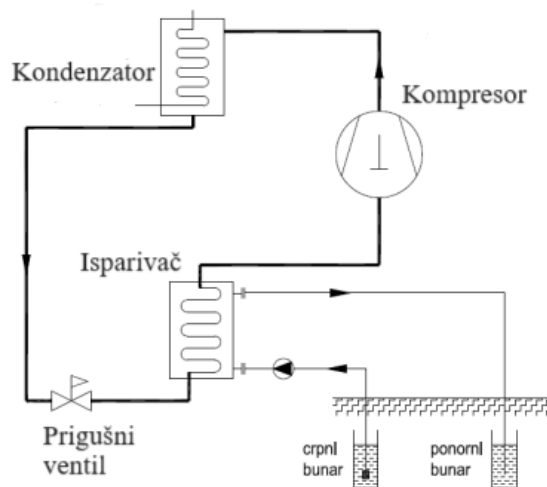


Slika 6.5. Dizalica topline zrak – voda [2]

Treba napomenuti kako kontinentalni dio Hrvatske tijekom zime ima niže temperature zraka nego područje uz more i zahtjevi će biti stroži za odabir dizalice topline ovakvoga tipa.

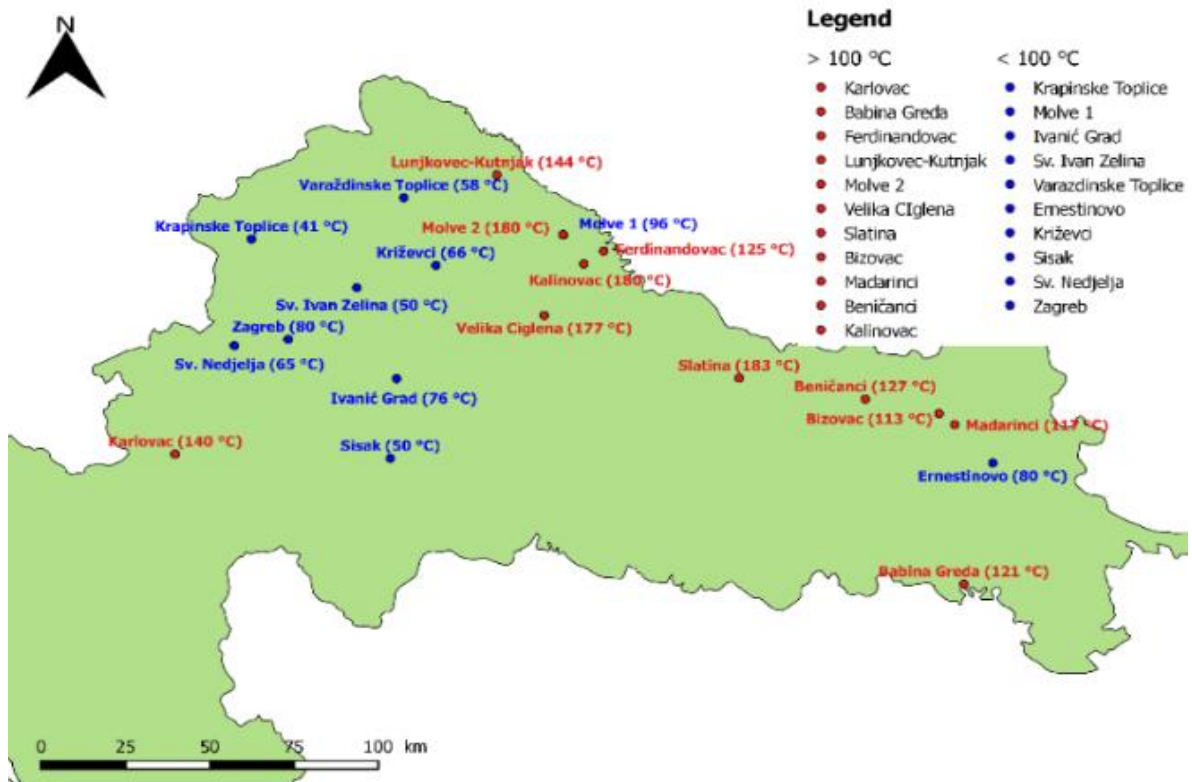
#### 6.2.2. Dizalica topline voda – voda

Za ove dizalice topline koriste se geotermalni izvori. Za geotermalne izvore vrijedi da je temperatura podzemnih voda između 8 °C i 12 °C, naravno to ovisi o dubini iz koje se voda crpi. Prednost ovakvih dizalica topline je što s temperatura podzemnih voda ne mijenja i ne ovisi o klimatološkim uvjetima i zato su najpovoljniji izvor topline pri pogonu dizalica topline. Za crpljenje podzemnih voda potrebna su dva bunara, a to su crpni bunar i ponorni bunar. Potrebno je imati što veći razmak između njih, preko 10 m minimalno. Jedan od uvjeta koji crpni bunar treba zadovoljiti u svim uvjetima pogona je dovoljna količina vode. Problem sa ovim dizalicama topline je što bušenje rupa za bunare ima visoku cijenu, ali i zaštitu podzemnih vodotokova. Na slici 6.6. prikazan je tip takve dizalice topline.[2]



Slika 6.6. Dizalica topline voda – voda [2]

Ova dizalica topline će se razmatrati kako je lokacija obiteljske kuće smještena u gradu Zagrebu, koji se nalazi u kontinentalnim predjelima Hrvatske. Na slici 6.7. biti će prikazana slika kontinentalne Hrvatske sa geotermalnim izvorima i njihovim temperaturama.



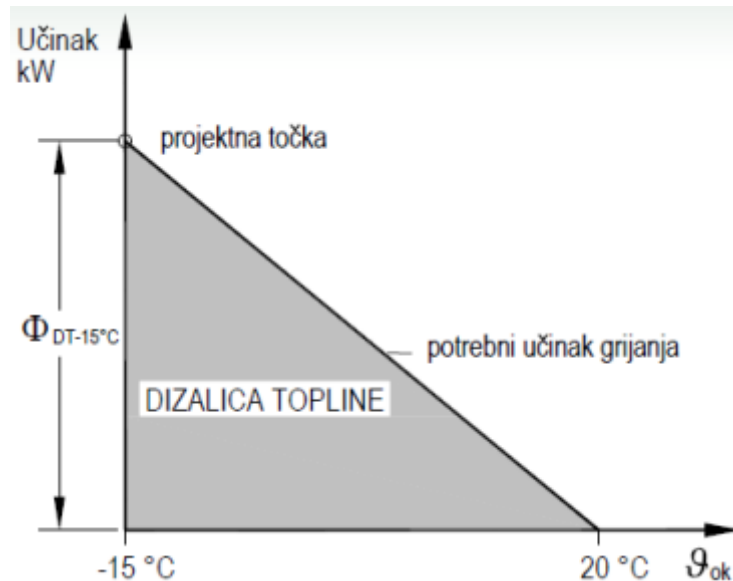
Slika 6.7. Geotermalni izvori u kontinentalnoj Hrvatskoj[14]

Vidljivo je iz slike kako temperatura geotermalnog izvora iznosi 80 °C, ali na većim dubinama. Primjer iskorištavanja geotermalnog izvora u gradu zagrebu je bazen za građanstvo Mladost koji tijekom zime imaju veliku potrebu za zagrijavanjem velikih količina vode i održavanjem temperature te vode. Uzrok toliko geotermalnih izvora u Zagrebu i okolici je Medvednica koja je u prošlosti bila vulkan. [14]

Također kako je lokacija smještena u blizini rijeke Save ima veliki potencijal korištenja podzemnih voda kao izvor. Ono što će biti potrebno je napraviti crpni i ponorni bunar u blizini kuće, koji mogu biti duboki od 10 do 100 metara, naravno ovisi o geološkim uvjetima i razini podzemne vode. Način na koji radi ovakva dizalica topline je da se podzemna voda pumpa kroz cijev iz jedne bušotine i vodi se do dizalice topline gdje predaje toplinsku energiju, te se zatim vraća u podzemnu vodu preko druge bušotine. Ono što je važno prije upotrebe podzemne vode potrebno je izvršiti mjerenja protoka i analizu podzemne vode jer voda mora biti pogodna za takvo iskorištavanje.[15]

### 6.3. Monovalentni način rada dizalice topline

Kod ovakvoga sustava sve toplinske gubitke obiteljske kuće pokriva isključivo dizalica topline, gdje se njezin učinak projektira prema vanjskoj temperaturi zraka. Najčešće dizalice topline za to su sa sustavom voda – voda, primarno za hladnije krajeve podzemne vode, a toplije krajeve jezera, rječice, rijeke i mora. Moguće je i za sustav zrak – voda gdje je primarno za toplije krajeve zbog varijacije svojstava zraka radi vanjske temperature okoline.[2] Graf na slici 6.8. će prikazati monovalentni način rada dizalice topline.



Slika 6.8. Graf učinka dizalice topline u odnosu na vanjsku temperaturu – monovalentni način rada[2]

Treba napomenuti za dizalice sa monovalentnim načinom rada za što nižu vanjsku temperaturu cijena je time viša, isto kako bi se ta cijena opravdala i isplatila potrebno je imati sto dulje periode grijanja ili hlađenja. Na primjer po zimi nije moguće bilo postići stalnu temperaturu prostorije zbog uštede i visoke cijene plina te se nakon kraćega perioda isključivao sustav, gdje bi ako bi se ugradila dizalica topline imao termostat koji bi isključivao i uključivao grijanje bez potrebe za štednjom i temperatura prostorije bi bila održiva.[2]

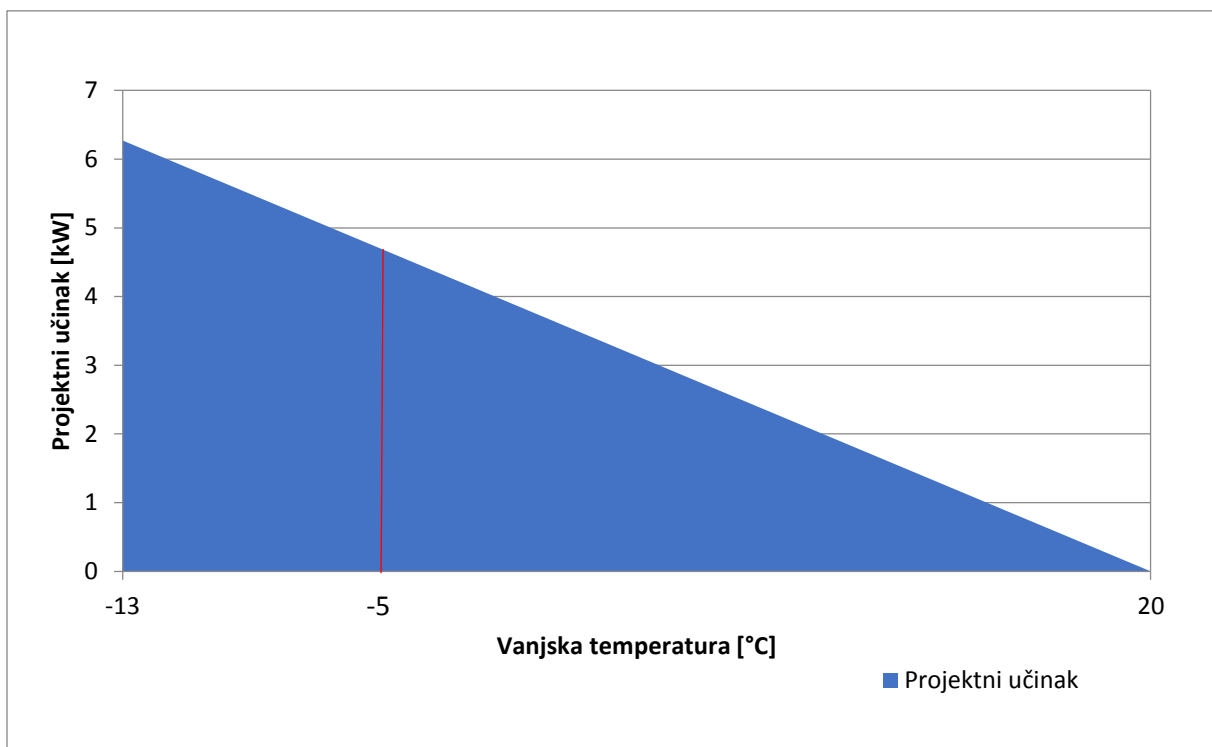
### 6.4. Odabir novog temperaturnog režima

Kako je cilj smanjenje potrošnje primarne energije u svrhu toga odabrati će se niži temperaturni režim. Temperaturni režim koji se odabire mora biti unutar temperaturne razlike od 5 °C između polaza i povrata vode kako bi dizalica topline mogla podržati sustav. Dizalica topline ima sposobnost mijenjanja temperaturnih režima u sustavu u kojemu je postavljena

ovisno o vanjskoj temperaturi. Temperaturni režim se određuje na način da se odredi projektni učinak grijanja za najnižu temperaturu u godini, koja je za ovaj slučaj  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nakon toga se crta graf gdje na x-osi su vanjske temperature od  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , smatra se da pri vanjskoj temperaturi od  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  nije potreban rad dizalice topline jer prostorija zadržava toplinu dulje vremena i ta točka je na nuli. Na y-osi se nalaziti će se potreban učinak grijanja ovisno o vanjskoj temperaturi i on pada od najniže temperature prema najvišoj dok vrijednost ne bude nula. Taj način određivanja temperaturnog režima prikazat će se u nastavku. Za temperaturne režime i njihove učinke gledati će se u katalogu od proizvođača Lipovica tip Solar 500/80.

Prije toga podijeliti će se zone obiteljske kuće. Za potrebni projektni učinak zone obiteljske kuće, zone se dijele na zonu 3 i 5, zonu 4 i 6 te zonu 2 te su izračunati iz specifičnih projektnih učinaka.

Prvo će se određivati temperaturni režimi za zonu 3 i 5 koja će se gledati zajedno. Na slici 6.9. biti će prikazan graf projektnih učinaka grijanja ovisno o vanjskoj temperaturi.



Slika 6.9. Graf projektnih učinaka grijanja ovisno o vanjskoj temperaturi za zonu 3 i 5

Iz grafa je moguće za vanjske temperature odrediti projektne učinke, biti će učinci prikazani za vanjske temperature  $-13$ ,  $-10$ ,  $-5$ ,  $0$ ,  $5$ ,  $10$  i  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  u tablici 6.1. i isto će se prikazati odabrani temperaturni režimi koje će moći mijenjati dizalica topline.

Tablica 6.1. Novi temperaturni režimi ovisno o projektnim učincima za zonu 3 i 5

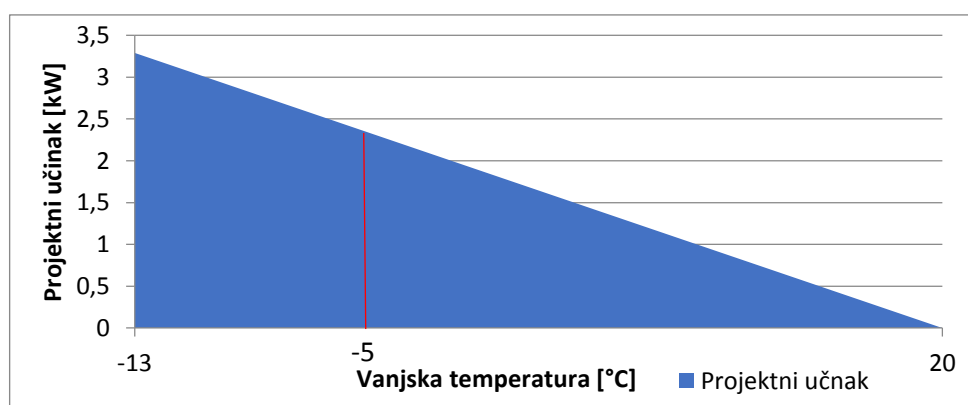
| Vanjska temperatura [°C] | Projektni učinak grijanja [W] | Temperaturni režim [°C] | Učinak grijanja temperaturnog režima [W] |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| -13                      | 6271                          | 55/50                   | 6649                                     |
| -10                      | 5701                          | 50/45                   | 5777                                     |
| -5                       | 4751                          | 50/45                   | 5777                                     |
| 0                        | 3800                          | 45/40                   | 4469                                     |
| 5                        | 2850                          | 40/35                   | 3270                                     |
| 10                       | 1900                          | 35/30                   | 2725                                     |
| 15                       | 950                           | 30/25                   | 2289                                     |

Na isti način će biti prikazano sa zonu 4 i 6 tablicom 6.2., a graf za određivanje izgleda slično zbog sličnih vrijednosti.

Tablica 6.2. Novi temperaturni režimi ovisno o projektnim učincima za zonu 4 i 6

| Vanjska temperatura [°C] | Projektni učinak grijanja [W] | Temperaturni režim [°C] | Učinak grijanja temperaturnog režima [W] |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| -13                      | 6187                          | 55/50                   | 6649                                     |
| -10                      | 5625                          | 50/45                   | 5777                                     |
| -5                       | 4688                          | 50/45                   | 5777                                     |
| 0                        | 3749                          | 45/40                   | 4469                                     |
| 5                        | 2812                          | 40/35                   | 3270                                     |
| 10                       | 1874                          | 35/30                   | 2725                                     |
| 15                       | 937                           | 30/25                   | 2289                                     |

Zona 2 je samostalna i zato na slici 6.10. biti će prikazan graf projektnih učinaka ovisno o vanjskoj temperaturi.



Slika 6.10. Graf projektnih učinaka grijanja ovisno o vanjskoj temperaturi za zonu 2

Za vanjske temperature -13, -10, -5, 0, 5, 10 i 15 °C biti će prikazani projektni učinci u tablici 6.3. za zonu 2.

*Tablica 6.3. Novi temperaturni režimi ovisno o projektnim učincima za zonu 2*

| Vanjska temperatura [°C] | Projektni učinak grijanja [W] | Temperaturni režim [°C] | Učinak grijanja temperaturnog režima [W] |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| -13                      | 3289                          | 55/50                   | 3294                                     |
| -10                      | 2990                          | 50/45                   | 2862                                     |
| -5                       | 2429                          | 50/45                   | 2862                                     |
| 0                        | 1993                          | 45/40                   | 2214                                     |
| 5                        | 1495                          | 40/35                   | 1620                                     |
| 10                       | 997                           | 35/30                   | 1350                                     |
| 15                       | 499                           | 30/25                   | 1134                                     |

Sa ovim dobivenim podacima o projektnim učincima grijanja i novim temperaturnim režimima mogu se odrediti uređaji koji će se koristiti.

## 6.5. Odabir dizalica topline

Slijedeće je potrebno odabrati dizalice topline. Odabire se monovalentni tip dizalice topline gdje pri nižim temperaturama može izdržati zahtjeve za održavanje sustava samostalno bez ikakve pomoći grijača ili drugog sredstva za izvor topline.

### 6.5.1. Proračun PTV-a

Prije odabira uređaja potrebno je još napraviti proračun za PTV jer temperatura vode umjesto 60 °C će iznositi 40 °C.[10] Također ovaj proračun vrijedi za toplinske zone u obiteljskoj kući te tri dizalice topline osim sustava grijanja opskrbljivati će sustav PTV-a u kući.

Podaci za toplinsku zonu 2:

Određivanje potrošnje, učinka za grijanje i profila potrošnje PTV-a:

- Obiteljska kuća ( $37 \text{ m}^2 * 2 * 12,5 \text{ kWh/m}^2 / 365 = 2,53 \text{ kWh dnevno}$ )
- Prisutnost 2 osobe u jednoj toplinskoj zoni
- Temperatura tople vode 40 °C
- Temperatura hladne vode 13,5 °C
- Potrošnja tople vode računa se kao ( $2,53 \text{ kWh} / (1,163 * (40 - 13,5)) = 82,1 \text{ l dnevno}$ )

Projektiranje sustava:

- Tuš 2 x 45 l vode na sat
- Trenutni učinak  $Q = 90 \cdot (40 - 13,5) \cdot 4,19/3600 = 2,77 \text{ kW}$
- $z_A = 1 \text{ h}$  (vrijeme zagrijavanja)
- $z_B = 2 \text{ h}$  vrijeme pogona (vršna potreba = 90 litara tijekom 2 h)
- Učinak grijača  $Q_g = Q \cdot z_B/(z_A + z_B) = 2,77 \cdot 2/(1 + 2) = 1,85 \text{ kW}$

Akumulacijski sustav

- Kapacitet  $C = z_A \cdot Q_g = 1 \cdot 1,85 = 1,85 \text{ kWh}$
- Volumen spremnika  $V_s = C \cdot b/(c \cdot \Delta t) = 1,85 \cdot 1.1/(1,163 \cdot 20) = 0,087 \text{ m}^3$
- Uzimaju se najveći zahtjevi za ukupnu dnevnu potrošnju za domaćinstva

Podaci za toplinsku zonu 3 i 5 te 4 i 6:

Određivanje potrošnje, učinka za grijanje i profila potrošnje PTV-a:

- Obiteljska kuća ( $74 \text{ m}^2 * 2 * 12,5 \text{ kWh/m}^2 / 365 = 5,06 \text{ kWh}$  dnevno)
- Prisutnost 2 osobe u jednoj toplinskoj zoni
- Temperatura tople vode  $40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura hladne vode  $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Potrošnja tople vode računa se kao ( $5,06 \text{ kWh} / (1,163 * (40 - 13,5)) = 164,18 \text{ l}$  dnevno)

Projektiranje sustava:

- Tuš 2 x 50 l vode na sat
- Trenutni učinak  $Q = 100 \cdot (40 - 13,5) \cdot 4,19/3600 = 3,08 \text{ kW}$
- $z_A = 1 \text{ h}$  (vrijeme zagrijavanja)
- $z_B = 2 \text{ h}$  vrijeme pogona (vršna potreba = 100 litara tijekom 2 h)
- Učinak grijača  $Q_g = Q \cdot z_B/(z_A + z_B) = 3,08 \cdot 2/(1 + 2) = 2,05 \text{ kW}$

Akumulacijski sustav

- Kapacitet  $C = z_A \cdot Q_g = 1 \cdot 2,05 = 2,05 \text{ kWh}$
- Volumen spremnika  $V_s = C \cdot b/(c \cdot \Delta t) = 2,05 \cdot 1.1/(1,163 \cdot 20) = 0,097 \text{ m}^3$
- Uzimaju se najveći zahtjevi za ukupnu dnevnu potrošnju za domaćinstva



Sa ovime podatkom učinka grijača za PTV, može se nadodati na jačinu dizalicu topline prilikom odabira uređaja. Kasnije će se odabrati akumulacijski spremnik za PTV za svaku zonu, poslije odabira dizalica topline.

Program koji će se koristiti za odabir i dobivanje informacija o svojstvima samih uređaja je Magellano od proizvođača Aermec.

#### 6.5.2. Odabir dizalice topline zrak – voda

Kod odabira ove dizalice topline važno je da pri vanjskoj temperaturi od  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , odnosno najhladniji dan u godini, može imati dovoljan učinak grijanja kako bi podržao sustav grijanja obiteljske kuće. Također treba i podržati sustav PTV-a svaki dan bez obzira na rad sustava grijanja. Za zonu 3 i 5 odabrati će se jedna dizalica topline te na isti način za zonu 4 i 6 te zonu 2. Napomena da zone 3 i 5 te zone 4 i 6 spojene su stepenicama unutar obiteljske kuće.

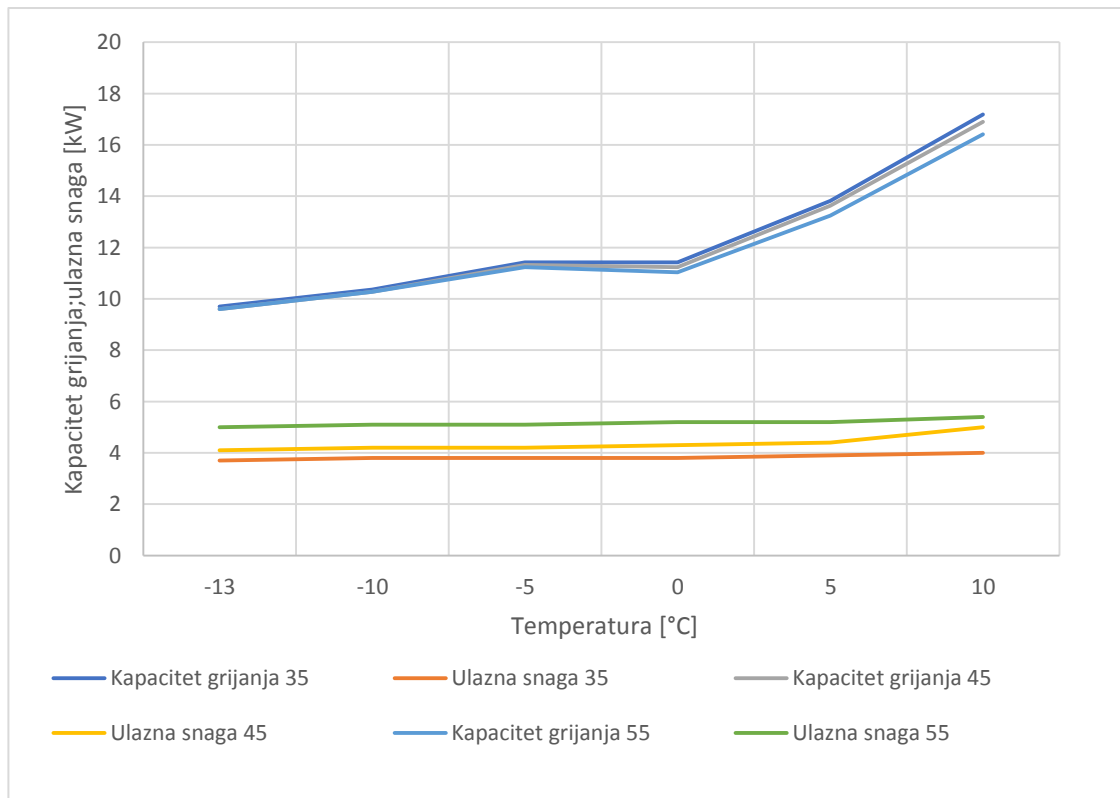
U obiteljskoj kući za zonu 3 i 5 te zonu 4 i 6 odabrana je dizalica topline proizvođača Aermec tip ANKI 070, prikazano na slici 6.11.



*Slika 6.11. Dizalica topline zrak – voda proizvođača Aermec tip ANKI 070[16]*

Za mapu efikasnosti dizalice topline uzeo se nazivni kapacitet grijanja  $9,6\text{ kW}$ , a ulazna snaga  $5\text{ kW}$  pri temperaturi izlaza vode od  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  i vanjskoj temperaturi zraka  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cijela mapa efikasnosti izrađena je uz pomoć Aermecovog programa Magellano gdje su se za različite vanjske temperature zraka te različite temperature izlaza vode dobili kapaciteti grijanja i ulazne snage uređaja.[16]

Ova mapa efikasnosti biti će potrebna prilikom simulacija kako bi se tijekom rada znala svojstva dizalica topline. Graf mape efikasnosti uređaja biti će prikazano na slici 6.12.



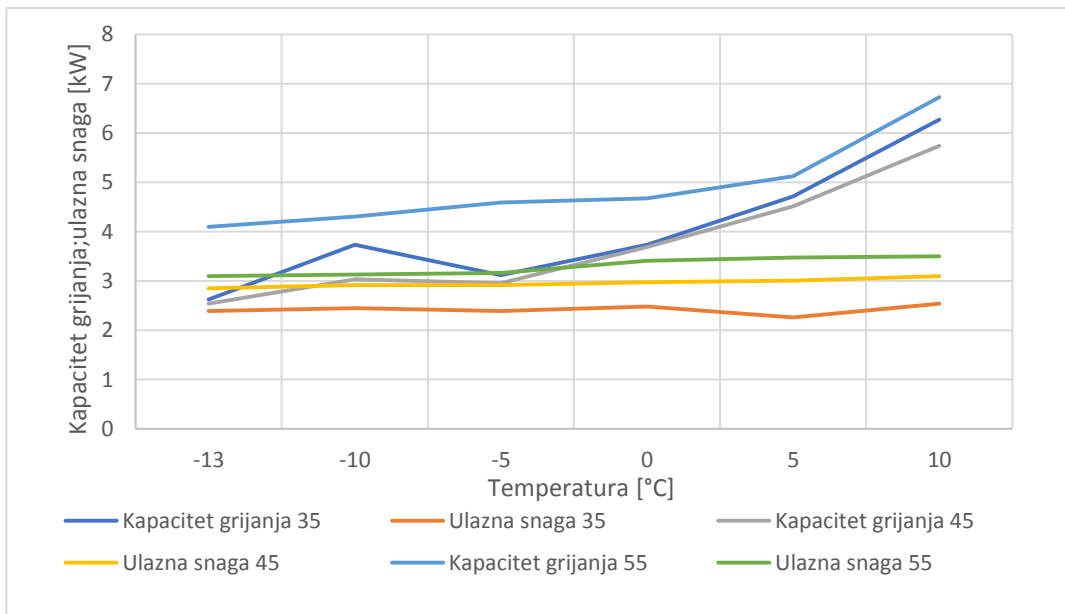
Slika 6.12. Graf efikasnosti dizalice topline zrak – voda ANKI 070

Za zonu 2 obiteljske kuće odabrana je dizalica topline proizvođača Aermec tip ANKI 040. Nazivni kapacitet grijanja uređaja iznosi 4,1 kW, a ulazna snaga 3,1 kW pri temperaturi izlaza vode od 55 °C i vanjskoj temperaturi zraka -13 °C.[16] Izgled uređaja nalazi se na slici 6.13.



Slika 6.13. Dizalica topline zrak – voda proizvođača Aermec tip ANKI 040[16]

Graf mape efikasnosti uređaja biti će prikazano na slici 6.14. za ovu dizalicu topline.

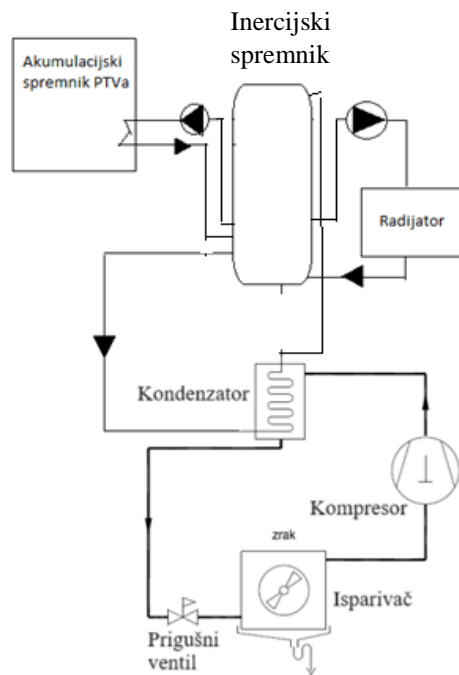


Slika 6.14. Graf efikasnosti dizalice topline zrak – voda ANKI 040

Vidljivo je kako ovaj graf za manji uređaj je drugačiji i razlog tome je manji kapacitet uređaja.

Shema sustava sa dizalicama topline zrak – vode za obiteljsku kuću prikazana je na slici 6.15.

Radna tvar s kojom rade dizalice topline je R 410a.



Slika 6.15. Shema sustava sa dizalicama topline zrak – voda (SUSTAV 2)

### 6.5.3. Odabir dizalice topline voda – voda

U odnosu na dizalice topline zrak – voda, dizalice topline voda – voda imaju drugačije uvjete i zahtjeve kojih se moraju pridržavati, pošto izvor nije više zrak nego podzemne vode. Prednost ove dizalice topline je da ovisi o temperaturi izvora, što je u ovome slučaju podzemna voda i temperatura joj se tijekom godine ne mijenja zbog dubine na kojoj se nalazi. Samim time ima prednost u odnosu na dizalicu topline zrak – voda, ali investicijski troškovi koji će se kasnije obrađivati mogu biti veći.

Isto je potrebno da ova dizalica topline podrži sustav grijanja pri vanjskoj temperaturi od  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Važno je i da podrži sustav PTV-a za svaki dan.

Napraviti će se raspored dizalica topline po obiteljskoj kući kao i za prethodni odabir uređaja.

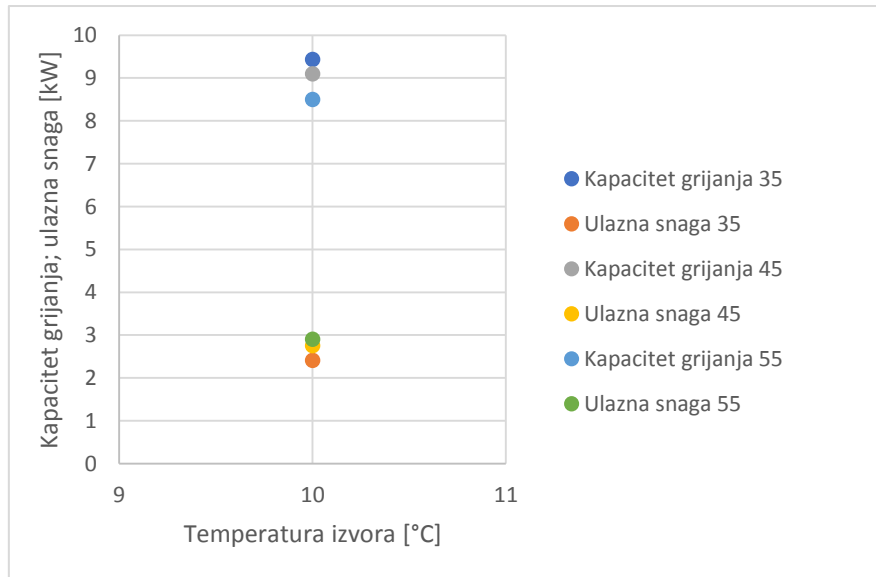
Treba napomenuti kako mape efikasnosti će biti drugačije i ovisiti će umjesto o temperaturi vanjskoga zraka nego o temperaturi podzemnih voda, koje se minimalno mijenjaju tijekom godine i nemaju velike temperaturne razlike kao zrak.

U obiteljskoj kući za zonu 3 i 5 te zonu 4 i 6 odabrana je dizalica topline proizvođača Aermec tip WRL 031. Toplinski kapacitet grijanja uređaja je 8,5 kW i ulazna snaga 2,9 kW pri temperaturi izvora podzemne vode od  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [17] Uređaj je prikazan na slici 6.16.



*Slika 6.16. Dizalica topline voda – voda proizvođača Aermec tip WRL 031 [17]*

Na slici 6.17. biti će prikazan graf efikasnosti uređaja.

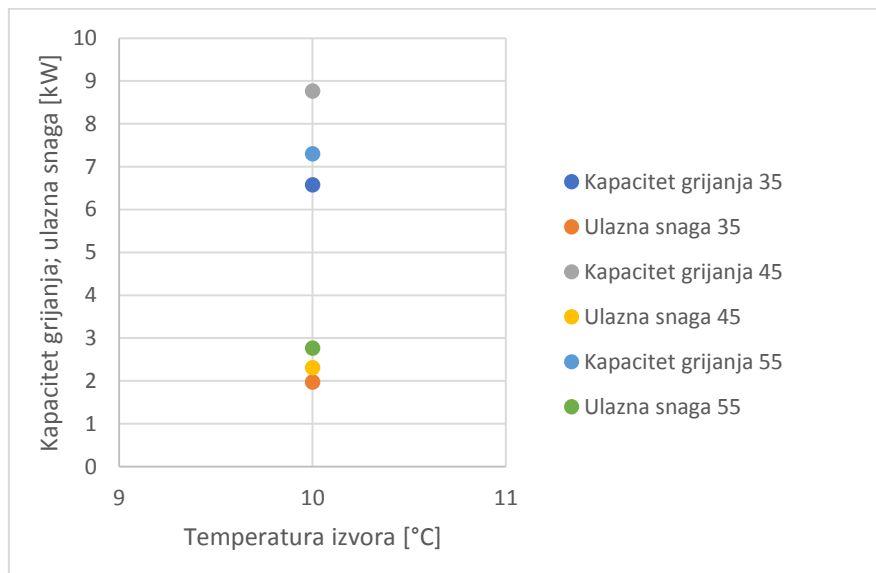


Slika 6.17. Graf efikasnosti dizalice topline voda – voda WRL 031

Za zonu 2 obiteljske kuće odabrana je dizalica topline proizvođača Aermec tip WRL 026. Ovaj uređaj ima nazivni toplinski kapacitet od 7,3 kW te nazivnu ulaznu snagu od 2,4 kW pri temperaturi izvora podzemne vode od 10 °C.[17]

Uređaj ima iste dimenzije i vanjski izgled kao i WRL 031 te iz toga razloga neće se prikazati slika uređaja.

Na slici 6.18. biti će prikazan graf efikasnosti uređaja.

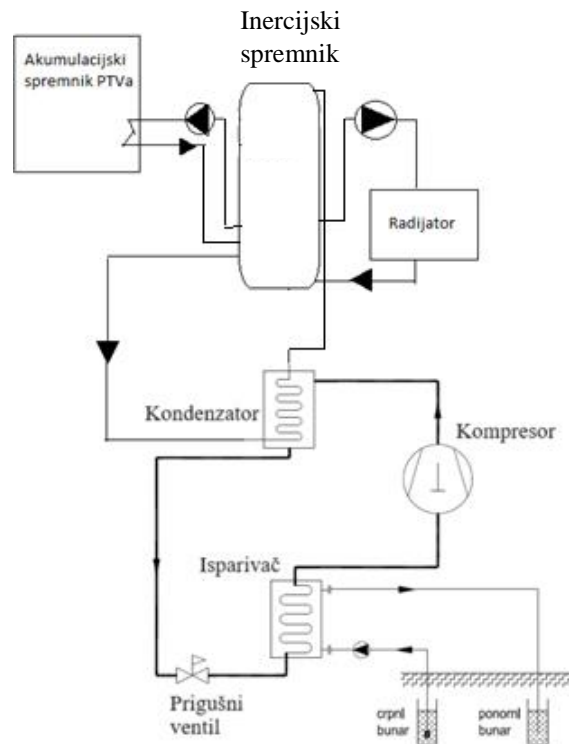


Slika 6.18. Graf efikasnosti dizalice topline voda – voda WRL 026

Radna tvar s kojom rade dizalice topline je R 410a.

Ove mape efikasnosti će biti potrebne za definiranje svojstava dizalica topline u programu.

Na slici 6.19. biti će prikazana shema sustava sa dizalicama topline voda – voda u obiteljskoj kući.



Slika 6.19. Shema sustava sa dizalicama topline voda – voda (SUSTAV 3)

## 6.6. Simulacija za dizalice topline

Za podlogu simulacija dizalica topline uzima se trenutni sustav grijanja koji se nalazi u obiteljskoj kući. Ostaje sustav radijatora, ali se otklanjaju plinski bojleri. U trenutnom sustavu jedan plinski bojler je spojen na jednu zonu, a za budući sustav će biti tri dizalice topline koje će opskrbljivati sustav grijanja i PTV-a. Zone 3 i 5, 4 i 6 opskrbljuju dvije jače dizalice topline dok zonu 2 opskrbljuje slabija dizalica topline. Mape efikasnosti za dizalice topline se unose u svojstva rada uređaja te nazivni toplinski kapaciteti i nazivne ulazne snage. Pomoću toga će se ovisno o vanjskoj temperaturi ili temperaturi podzemne vode te satu u godini mijenjati efikasnost uređaja. Iduće se postavlja u radijatorima učinak umjesto trenutnog temperaturnog režima 60/50 °C na učinak temperaturnog režima 55/50 °C. Zbog toga je potrebno dodati račve i cijevi koje dobavljaju i odvođe toplu vodu za sustav grijanja ili PTV. Također prilikom toga definirati njihova svojstva. Cirkulacijske pumpe se nalaze unutar uređaja, ali u programu će biti potrebno prikazati odvojeno kako bi sustav funkcionirao.

## 6.7. Rezultati simulacija

Simulacija se kao i prije provodila za period jedne cijele godine i promatra se potrošnja primarne energije, gdje cilj smanjiti sa korištenjem obnovljivih izvora energije. Rezultati sustava grijanja i PTV-a za dizalicu topline zrak – voda

### 6.7.1. Rezultati sustava grijanja i PTV-a za dizalicu topline zrak – voda

U tablici 6.8. biti će prikazani rezultati sustava za dizalicu topline koja opskrbljuje zonu 2.

Tablica 6.4. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline zrak – voda za zonu 2

| MJESEC  | Grijanje + PTV [kWh] | Toplinska energija [kWh] | Potrošnja električne energije [kWh] | COP  |
|---------|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|------|
|         | Zona 2               |                          |                                     |      |
| 1       | 486                  | 635                      | 354                                 | 1,59 |
| 2       | 477                  | 609                      | 328                                 | 1,66 |
| 3       | 590                  | 756                      | 379                                 | 1,90 |
| 4       | 570                  | 802                      | 384                                 | 2,01 |
| 5       | 448                  | 870                      | 411                                 | 2,22 |
| 6       | 75                   | 130                      | 62                                  | 2,68 |
| 7       | 79                   | 137                      | 67                                  | 2,73 |
| 8       | 81                   | 140                      | 69                                  | 2,77 |
| 9       | 95                   | 152                      | 77                                  | 2,62 |
| 10      | 595                  | 831                      | 398                                 | 2,14 |
| 11      | 560                  | 711                      | 363                                 | 1,95 |
| 12      | 518                  | 661                      | 630                                 | 1,73 |
| Ukupno: | 4574                 | 6434                     | 3522                                |      |
| Σ       | 4574                 |                          |                                     |      |

U tablici 6.9. biti će prikazani rezultati sustava za dizalicu topline koja opskrbljuje zonu 3 i 5.

Tablica 6.5. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline zrak – voda za zonu 3 i 5

| MJESEC  | Grijanje + PTV [kWh] |        | Toplinska energija [kWh] | Potrošnja električne energije [kWh] | COP  |
|---------|----------------------|--------|--------------------------|-------------------------------------|------|
|         | Zona 3               | Zona 5 |                          |                                     |      |
| 1       | 542                  | 535    | 945                      | 598                                 | 1,60 |
| 2       | 524                  | 513    | 923                      | 551                                 | 1,68 |
| 3       | 548                  | 532    | 1192                     | 634                                 | 1,90 |
| 4       | 348                  | 336    | 1291                     | 637                                 | 2,05 |
| 5       | 160                  | 153    | 1501                     | 669                                 | 2,27 |
| 6       | 76                   | 74     | 326                      | 155                                 | 2,68 |
| 7       | 79                   | 78     | 331                      | 161                                 | 2,75 |
| 8       | 81                   | 79     | 335                      | 165                                 | 2,79 |
| 9       | 78                   | 86     | 340                      | 178                                 | 2,58 |
| 10      | 368                  | 368    | 1345                     | 658                                 | 2,10 |
| 11      | 549                  | 364    | 1109                     | 608                                 | 1,92 |
| 12      | 581                  | 572    | 996                      | 606                                 | 1,73 |
| Ukupno: | 3934                 | 3690   | 10634                    | 5620                                |      |
| Σ       | 7624                 |        |                          |                                     |      |

U tablici 6.10. biti će prikazani rezultati sustava za dizalicu topline koja opskrbljuje zonu 4 i 6.



Tablica 6.6. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline zrak – voda za zonu 4 i 6

| MJESEC  | Grijanje + PTV [kWh] |        | Toplinska energija [kWh] | Potrošnja električne energije [kWh] | COP  |
|---------|----------------------|--------|--------------------------|-------------------------------------|------|
|         | Zona 4               | Zona 6 |                          |                                     |      |
| 1       | 538                  | 538    | 936                      | 598                                 | 1,61 |
| 2       | 512                  | 519    | 917                      | 551                                 | 1,67 |
| 3       | 517                  | 538    | 1181                     | 635                                 | 1,89 |
| 4       | 311                  | 339    | 1288                     | 638                                 | 2,03 |
| 5       | 126                  | 149    | 1425                     | 669                                 | 2,26 |
| 6       | 75                   | 74     | 325                      | 153                                 | 2,70 |
| 7       | 77                   | 76     | 330                      | 160                                 | 2,75 |
| 8       | 79                   | 80     | 332                      | 162                                 | 2,81 |
| 9       | 71                   | 98     | 349                      | 181                                 | 2,60 |
| 10      | 345                  | 345    | 1338                     | 658                                 | 2,11 |
| 11      | 528                  | 379    | 1104                     | 608                                 | 1,90 |
| 12      | 570                  | 577    | 990                      | 606                                 | 1,69 |
| Ukupno: | 3749                 | 3712   | 10515                    | 5619                                |      |
| Σ       | 7461                 |        |                          |                                     |      |

Iz dobivenih podataka izračunat će se potrošnja primarne energije pomoću izraza (6.6.).[19]

$$E_{\text{prim}} = (E_{\text{DTZV1}} + E_{\text{DTZV2}} + E_{\text{DTZV3}}) \cdot F$$

(6.6.)

-gdje je:

$E_{\text{prim}}$  – potrošnja primarne energije [kWh]

$E_{\text{DTZV1}}$  – potrošnja električne energije za dizalicu topline zrak – voda za zonu 2 [kWh]

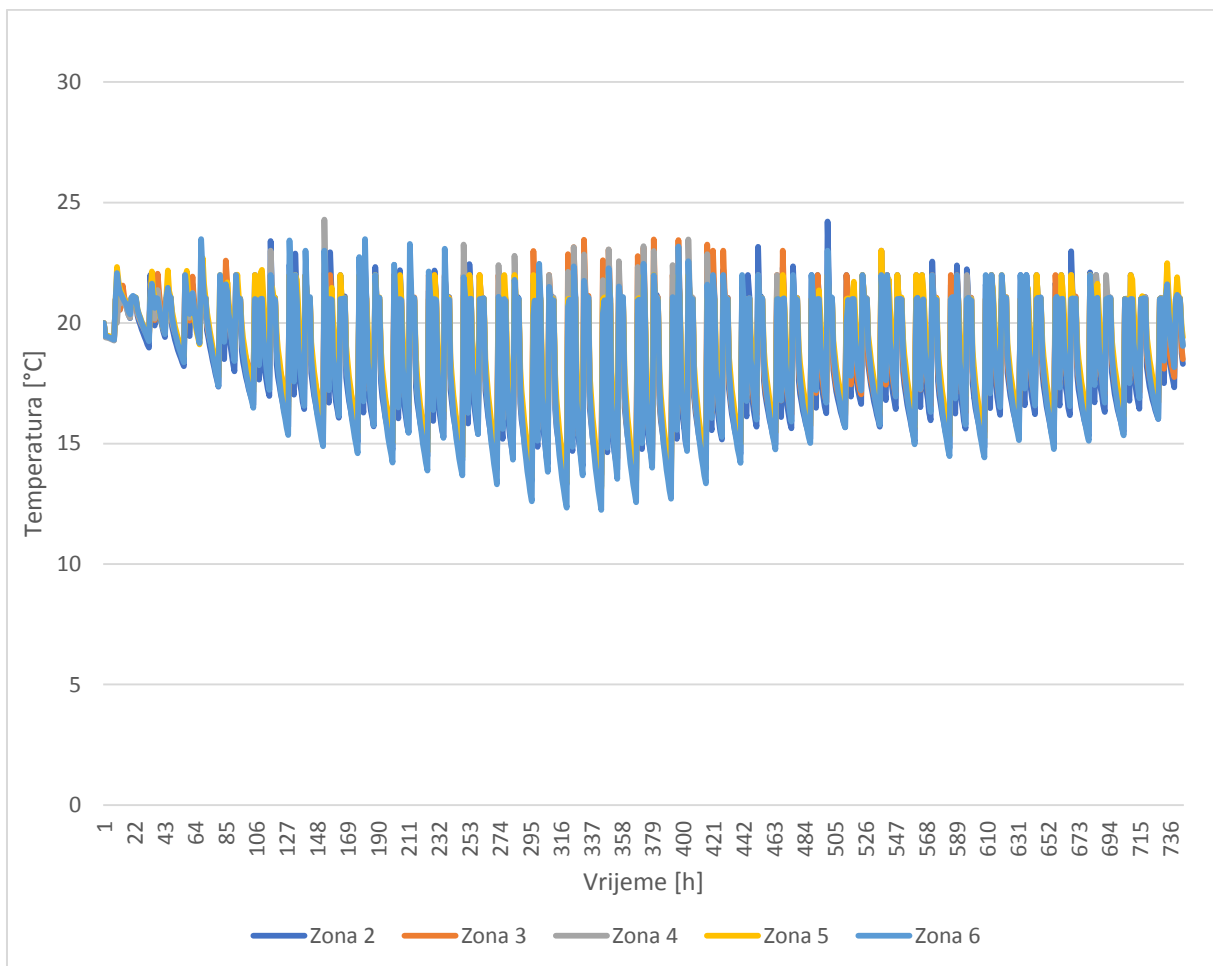
$E_{\text{DTZV2}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline zrak – voda za zonu 3 i 5 [kWh]

$E_{\text{DTZV3}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline zrak – voda za zonu 4 i 6 [kWh]

$F$  – faktor primarne energije ( $F = 1,614$ )[19]

$$E_{\text{prim}} = (3522 + 5620 + 5619) \cdot 1,614 = 23825 \text{ kWh}$$

Kako bi se pokazalo da dizalice topline podržavaju sustav grijanja za cijelu obiteljsku kuću, pokazat će se na slici 6.20. grafom temperatura prostorija za najhladniji mjesec u godini.



Slika 6.20. Graf temperatura prostorija za sustav sa dizalicama topline zrak – voda

### 6.7.2. Rezultati sustava grijanja i PTV-a za dizalicu topline voda – voda

U tablici 6.11. biti će prikazani rezultati sustava za dizalicu topline koja opskrbljuje zonu 2.

*Tablica 6.7. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline voda – voda za zonu 2*

| MJESEC  | Grijanje + PTV [kWh] | Toplinska energija [kWh] | Potrošnja električne energije [kWh] | COP  |
|---------|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|------|
|         | Zona 2               |                          |                                     |      |
| 1       | 488                  | 636                      | 172                                 | 2,60 |
| 2       | 475                  | 611                      | 181                                 | 2,42 |
| 3       | 595                  | 754                      | 193                                 | 2,81 |
| 4       | 568                  | 806                      | 195                                 | 3,00 |
| 5       | 444                  | 875                      | 201                                 | 3,20 |
| 6       | 73                   | 129                      | 45                                  | 5,45 |
| 7       | 72                   | 135                      | 47                                  | 5,48 |
| 8       | 79                   | 137                      | 51                                  | 4,12 |
| 9       | 91                   | 145                      | 58                                  | 4,08 |
| 10      | 596                  | 835                      | 176                                 | 3,15 |
| 11      | 553                  | 716                      | 183                                 | 2,77 |
| 12      | 510                  | 652                      | 192                                 | 2,51 |
| Ukupno: | 4544                 | 6431                     | 1694                                |      |
| Σ       | 4544                 |                          |                                     |      |

U tablici 6.12. biti će prikazani rezultati sustava za dizalicu topline koja opskrbljuje zonu 3 i 5.

Tablica 6.8. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline voda – voda za zonu 4 i 6

| MJESEC   | Grijanje + PTV [kWh] |        | Toplinska energija [kWh] | Potrošnja električne energije [kWh] | COP  |
|----------|----------------------|--------|--------------------------|-------------------------------------|------|
|          | Zona 3               | Zona 5 |                          |                                     |      |
| 1        | 545                  | 534    | 938                      | 373                                 | 2,51 |
| 2        | 526                  | 511    | 920                      | 395                                 | 2,35 |
| 3        | 547                  | 530    | 1179                     | 421                                 | 2,80 |
| 4        | 344                  | 333    | 1273                     | 427                                 | 2,98 |
| 5        | 161                  | 157    | 1429                     | 451                                 | 3,17 |
| 6        | 75                   | 72     | 331                      | 62                                  | 5,34 |
| 7        | 78                   | 76     | 337                      | 65                                  | 5,18 |
| 8        | 80                   | 79     | 341                      | 69                                  | 4,11 |
| 9        | 73                   | 85     | 346                      | 73                                  | 4,05 |
| 10       | 370                  | 369    | 1336                     | 432                                 | 3,10 |
| 11       | 551                  | 366    | 1111                     | 401                                 | 2,77 |
| 12       | 583                  | 575    | 978                      | 397                                 | 2,46 |
| Ukupno:  | 3933                 | 3687   | 10519                    | 3566                                |      |
| $\Sigma$ | 7620                 |        |                          |                                     |      |

U tablici 6.13. biti će prikazani rezultati sustava za dizalicu topline koja opskrbljuje zonu 4 i 6.

Tablica 6.9. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline voda – voda za zonu 3 i 5

| MJESEC  | Grijanje + PTV [kWh] |        | Toplinska energija [kWh] | Potrošnja električne energije [kWh] | COP  |
|---------|----------------------|--------|--------------------------|-------------------------------------|------|
|         | Zona 4               | Zona 6 |                          |                                     |      |
| 1       | 534                  | 535    | 936                      | 369                                 | 2,54 |
| 2       | 511                  | 514    | 917                      | 391                                 | 2,36 |
| 3       | 512                  | 517    | 1181                     | 418                                 | 2,77 |
| 4       | 309                  | 323    | 1288                     | 422                                 | 2,95 |
| 5       | 123                  | 154    | 1425                     | 447                                 | 3,14 |
| 6       | 74                   | 75     | 325                      | 63                                  | 5,33 |
| 7       | 78                   | 77     | 330                      | 66                                  | 5,19 |
| 8       | 81                   | 79     | 332                      | 71                                  | 4,09 |
| 9       | 72                   | 85     | 349                      | 73                                  | 4,02 |
| 10      | 342                  | 345    | 1338                     | 428                                 | 3,12 |
| 11      | 526                  | 381    | 1104                     | 404                                 | 2,75 |
| 12      | 565                  | 574    | 990                      | 399                                 | 2,48 |
| Ukupno: | 3727                 | 3659   | 10515                    | 3551                                |      |
| Σ       | 7386                 |        |                          |                                     |      |

Na temelju priloženih rezultat može se izračunati potrošnja primarne energije prema izrazu (6.7.).

$$E_{\text{prim}} = (E_{\text{DTVV1}} + E_{\text{DTVV2}} + E_{\text{DTVV3}}) \cdot F$$

(6.7.)

-gdje je:

$E_{\text{prim}}$  – potrošnja primarne energije [kWh]

$E_{\text{DTVV1}}$  – potrošnja električne energije za dizalicu topline voda – voda za zonu 2 [kWh]

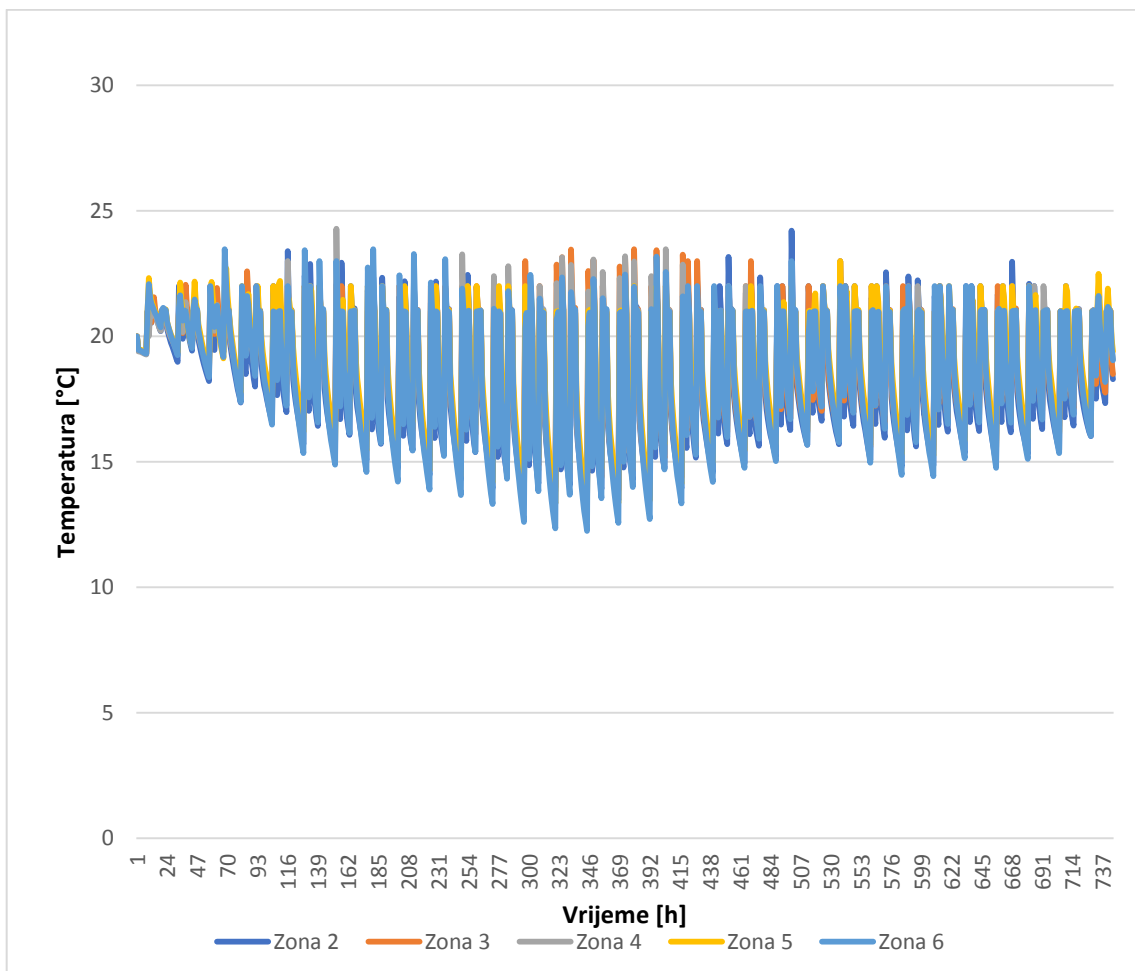
$E_{\text{DTVV2}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline voda – voda za zonu 3 i 5 [kWh]

$E_{\text{DTVV3}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline voda – voda za zonu 4 i 6 [kWh]

$F$  – faktor primarne energije ( $F = 1,614$ )[18]

$$E_{\text{prim}} = (1694 + 3566 + 3551) \cdot 1,614 = 14221 \text{ kWh}$$

Kako bi se dokazalo da sustav može opskrbljivati zone u obiteljskoj kući na slici 6.21. biti će prikazan graf temperatura prostorija za najhladniji mjesec u godini.



Slika 6.21. Graf temperatura prostorija za sustav sa dizalicama topline voda – voda

### 6.8. Usporedba rezultata potrošnje primarne energije dizalica toplina

U tablici 6.14. biti će prikazani rezultati potrošnje primarne energije dizalica toplina dobiveni simulacijama u programu TRNsys i potrošena primarna energija plina za grijanje i PTV.

*Tablica 6.10. Usporedba potrošnji primarnih energija*

| Potrošnja primarne energije za grijanje i PTV [kWh]       |       |
|---|-------|
| Plin  | 25841 |
| Električna energija za pogon dizalica toplina zrak - voda | 23825 |
| Električna energija za pogon dizalica toplina voda - voda | 14221 |

Iz tablice je vidljivo kako se u oba slučaja sa dizalicama topline ima manju potrošnju primarne energije nego kada se koristi sustav sa plinom.

Razlika između potrošnje primarne energije plina i električne energije za pogon dizalice topline zrak – voda je 2016 kWh, dok ona za dizalicu topline voda – voda iznosi 11620 kWh. Iz toga vidi se kako dizalica topline voda – voda ima veću učinkovitost nego dizalica topline zrak – voda, ali u poglavlju gdje će se razmatrati troškovi toga pogona vidjet će se koji je sustav isplativiji.

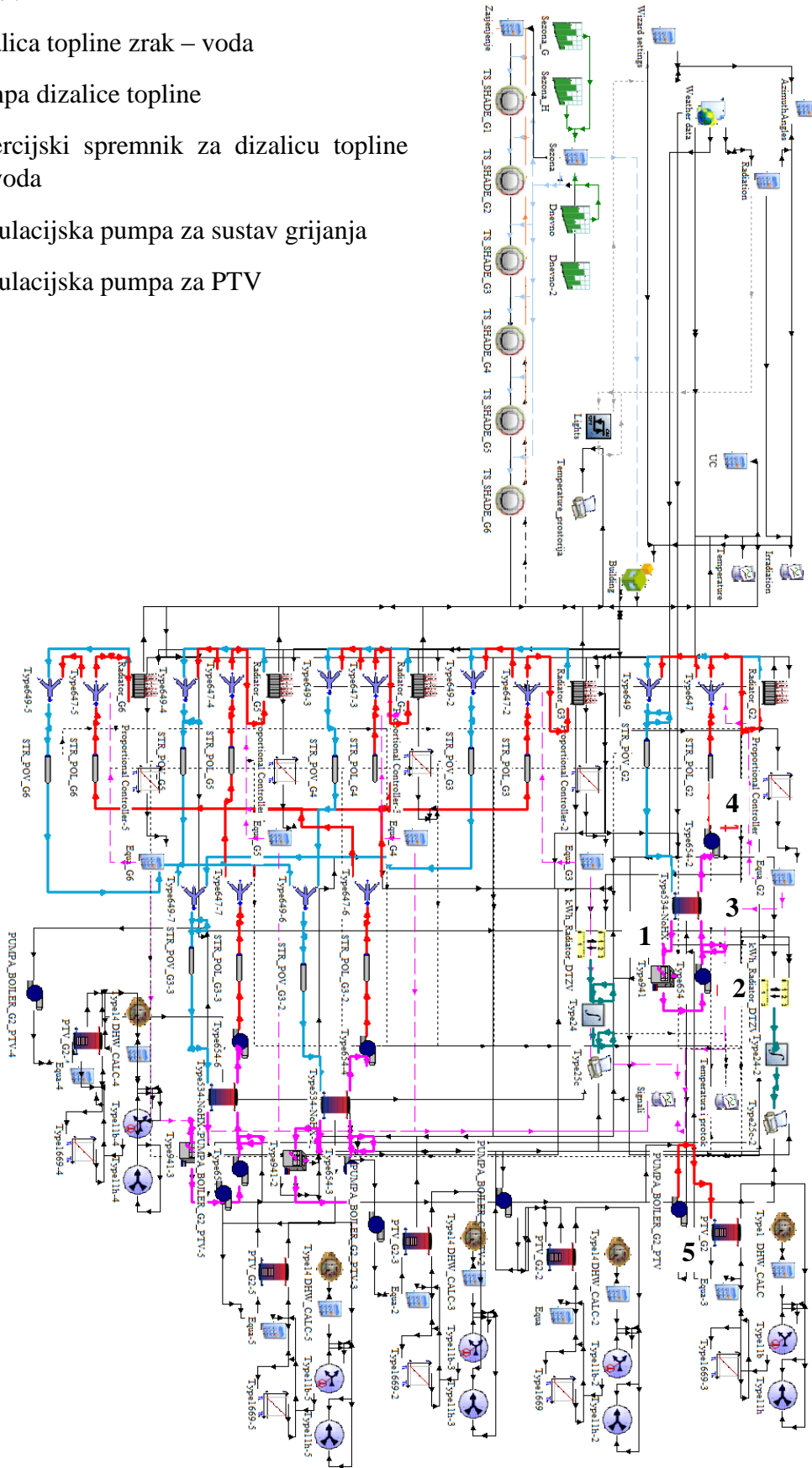
### 6.9. Sheme dizalica toplina u programu TRNsys

U nastavku će biti prikazan sustav sa dizalicama topline kako izgleda raspored složenih elemenata u sučelju programa u kojemu se pokreće simulacija.

Na slici 6.22. će biti prikazan sustav sa dizalicama topline zrak – voda te ispod slike će biti napisani nazivi numeriranih elemenata. Za sustav sa dizalicama topline voda – voda biti će prikazan na slici 6.23. te biti će označeni samo novi elementi i njihov naziv biti će napisan ispod slike.

Elementi:

- 1 – dizalica topline zrak – voda
- 2 – pumpa dizalice topline
- 3 – inercijski spremnik za dizalicu topline zrak – voda
- 4 – cirkulacijska pumpa za sustav grijanja
- 5 – cirkulacijska pumpa za PTV



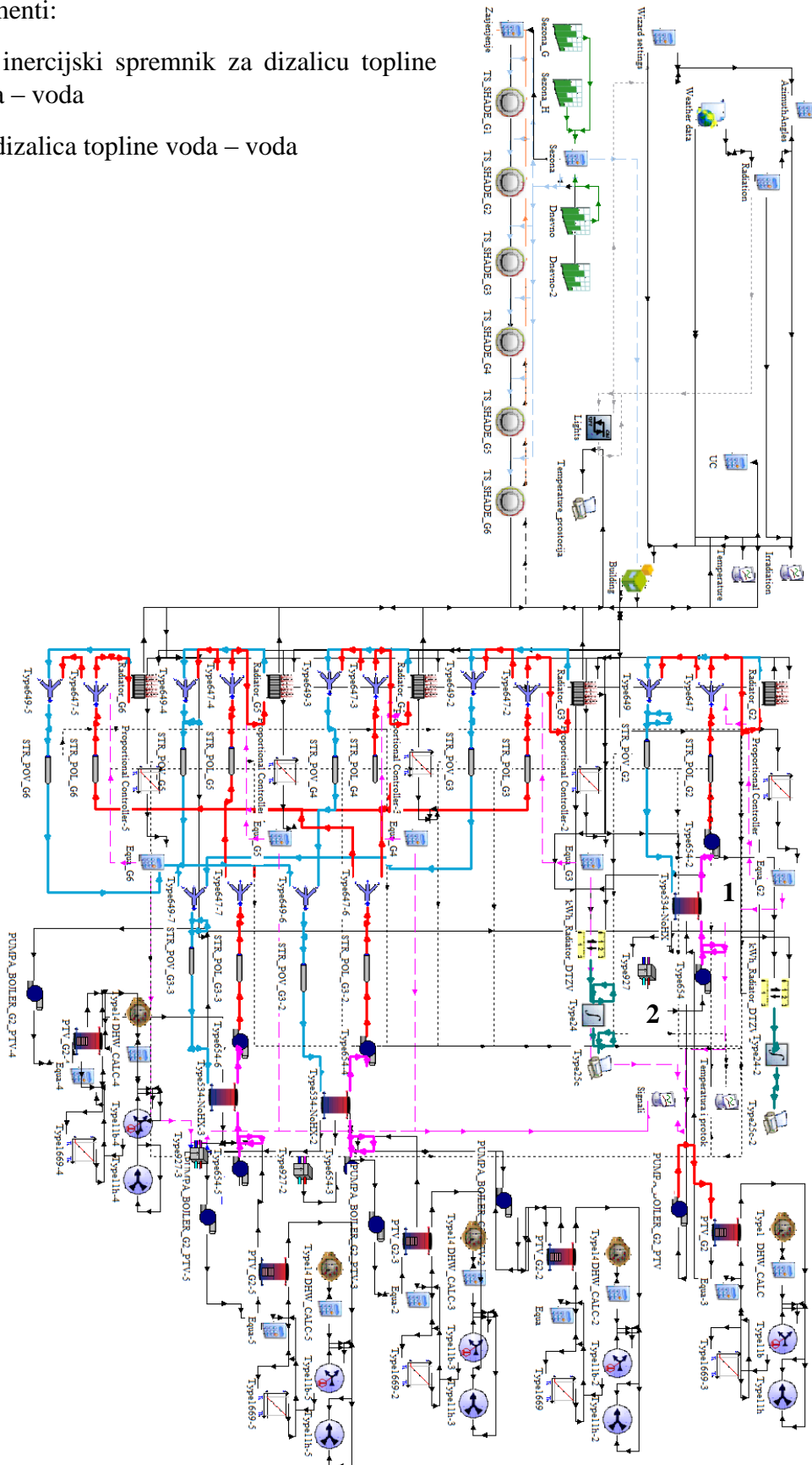
Slika 6.22. Shema sustava sa dizalicama topline zrak - voda u programu TRNsys



Elementi:

1 – inercijski spremnik za dizalicu topline voda – voda

2 – dizalica topline voda – voda



Slika 6.23. Shema sustava sa dizalicama topline voda - voda u programu TRNsys

## 7. FOTONAPONSKI SUSTAV

### 7.1. O fotonaponskim panelima

Definicija fotonaponskih panela je da su to poluvodički elementi koji izravno pretvaraju sunčevu energiju u električnu. Radi na principu da prilikom izlaganja panela djelovanju sunčeva zračenja na njezinim se krajevima inducira elektromotorna sila gdje fotonaponska ćelija postaje izvorom istosmjernje struje. [19]

Elektromotorna sila je generirani napon u unutrašnjosti električnoga izvora, a napon se definira kao razlika električnoga potencijala između dviju točki, a dobiva se na način da elektroni se odvedu s jednoga mjesta u izvoru i prenesu na drugo. U tom trenutku nastaje pol sa viškom elektrona i pozitivni pol sa manjkom elektrona. Negativna elektroda električnoga izvora je anoda, a njegova pozitivna elektroda je katoda.[19] Primjer jednog sustava fotonaponskog panela prikazan je na slici 7.1.



*Slika 7.1. Sustav fotonaponskih panela na Tehničkom fakultetu u Rijeci[20]*

Primjena fotonaponskih panela je široka. Koriste se za proizvodnju električne energije na obiteljskim kućama, stambenim zgradama, proizvodnim pogonima i naravno koriste se kao sunčane elektrane za pokrivanje distribucije električne mreže za manja mjesta pa sve do većih gradova.

Za ovaj slučaj fotonaponski paneli bi dobro došli u obiteljskoj kući, kao izvor električne energije za omogućavanje smanjenje potrošnje primarne energije struje te mogućnost prodaje električne energije.

## 7.2. Odabir fotonaponskih panela i njenih komponenti

Prije odabira broja fotonaponskih panela bitno je odrediti površinu na kojoj će se postaviti, a to su većinom krovovi kuća, kuća i drugih objekata.

Dimenzije krova su dužine 5,5 m i širine 18 m, što omogućuje iskoristivu površinu od 99 m<sup>2</sup>. Nagib krovništa obiteljske kuće iznosi 11°. S ovim podacima moguće je dalje odrediti sustav fotonaponskih panela.

Odabrani fotonaponski panel je od proizvođača Luxor tip M144/545W, prikazano na slici 7.2.



Slika 7.2. Fotonaponski panel proizvođača Luxor tip M144/545W[22]

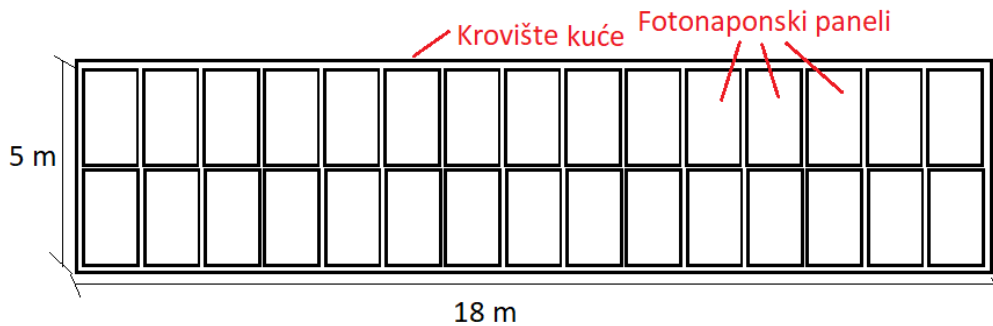
U tablici 7.1. prikazana su svojstva odabranoga svojstva fotonaponskoga panela.[21]

Tablica 7.1. Svojstva fotonaponske ploče Luxor M144/545W

| Podaci za standardne uvjete                      |              |
|--|--------------|
| Nazivna snaga [W]                                | 545          |
| Nazivna struja [A]                               | 13,22        |
| Nazivni napon [V]                                | 41,25        |
| Učinkovitost panela [%]                          | 21,56        |
| Učinkovitost panela pri 200 W/m <sup>2</sup> [%] | 21,05        |
| Podaci za nazivnu radnu temperaturu ćelije       |              |
| Snaga [W]  | 404,61       |
| Struja [A]                                       | 10,68        |
| Napon[V]   | 37,89        |
| Granične vrijednosti                             |              |
| Maksimalni napon sustava [V]                     | 1500         |
| Maksimalna povratna struja [A]                   | 25           |
| Razred sigurnosti                                | A            |
| Raspon rada panela [°C]                          | od -40 do 80 |
| Broj ćelija                                      | 144          |
| Dimenzije LxWxH [mm]                             | 2279x1134x35 |
| Masa [kg]  | 29           |

Standardni uvjeti za rad fotonaponskog panela su intenzitet sunčeva zračenja od  $1000 \text{ W/m}^2$  i vanjska temperatura zraka od  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Za nazivnu radnu temperaturu ćelije su uvjeti intenziteta sunčeva zračenja od  $800 \text{ W/m}^2$ , brzine vjetra od  $1 \text{ m/s}$  te temperature okoline od  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Površina jednoga fotonaponskoga panela iznosi  $2,58 \text{ m}^2$  te moguće je napraviti raspored od 30 panela. Shema rasporeda je prikazana na slici 7.3.



*Slika 7.3. Shema rasporeda fotonaponskih panela na krovu obiteljske kuće*

Ako se postavi 30 panela na krov davat će nazivnu snagu od  $16,35 \text{ kW}$ . Raspored panela na krovu obiteljske kuće sastoji se od 15 redova spojenih u seriju, a jedan red je paralelno spojen sa 2 fotonaponska panela. Naravno treba uzeti u obzir kako fotonaponski paneli služe isključivo za pokrivanje rada sustava dizalica topline, a ne za proizvodnju viška električne energije i prodaju toga viška ako je on u većoj mjeri nego opskrbljivanje sustava.

Iduće je potrebno odabrati inverter Nakon toga će se provesti simulacija kako bi se moglo razmatrati na uštedi potrošnje primarne energije koristeći vlastitu proizvedenu.

Inverter će biti od proizvođača Sungrow tip SG17RT , radi nazivne snage sustava panela od  $17 \text{ kW}$ . [22] Uređaj je prikazan na slici 7.4.



*Slika 7.4. Inverter proizvođača Sungrow tip SG17RT [22]*

Svojstva invertera su prikazan u tablici 7.2.

Tablica 7.2. Svojstva invertera Sungrow tip SG15RT

| Ulaz DC                          |              |
|----------------------------------|--------------|
| Maks. ulazna snaga FN [kWp]      | 22,5         |
| Maks. ulazni napon FN [V]        | 1100         |
| Min. ulazni napon FN [V]         | 180          |
| Nazivni ulazni napon [V]         | 600          |
| Maks. ulazna struja [A]          | 50           |
| Maks. struja za DC konektor [A]  | 30           |
| Izlaz AC                         |              |
| Nazivna AC izlazna snaga [W]     | 17000        |
| Maks. AC izlazna struja [A]      | 25           |
| Nazivna AC izlazna struja (230V) | 21,7         |
| Nazivni AC napon [V]             | 280          |
|                                  | 400          |
|                                  | 415          |
| Raspon AC napona [V]             | 180-276      |
| Nazivna frekvencija [Hz]         | 50           |
| Frekvencija mreže [Hz]           | 45-55        |
| Učinkovitost [%]                 | 98,5         |
| Dimenzije LxWxH [mm]             | 370x480x195  |
| Masa [kg]                        | 21           |
| Raspon rada u okolini [°C]       | od -25 do 60 |

Nakon odabranih fotonaponskih panela i invertera koji pretvara i šalje dalje električnu energiju, potrebno je napraviti simulaciju.

### 7.3. Simulacija fotonaponskih panela

U programu TRNsys provest će se simulacija za odabrani model fotonaponskih panela i invertera za obiteljsku kuću. Uvjete koje je potrebno unutar simulacije postaviti su okolina te svojstva panela i invertera koji su navedeni u tablicama prije iz kataloga proizvođača. Također potrebno je obratiti pažnju i na nagib krova te orijentaciju. Krov ima nagib od 11° i orijentiran je istok – zapad, s time da je vrh krova orijentiran prema istoku.[1] Za uvjete okoline ulaze vanjska temperatura, brzina vjetera i intenzitet sunčeva zračenja tijekom dana. Raspored panela je postavljen gdje je 15 redova spojeno u seriju, gdje se u redu paralelno spojena 2 fotonaponska panela. Simulacija se provodi za cijelu godinu. Shema u sučelju će biti prikazana na kraju ovoga poglavlja.

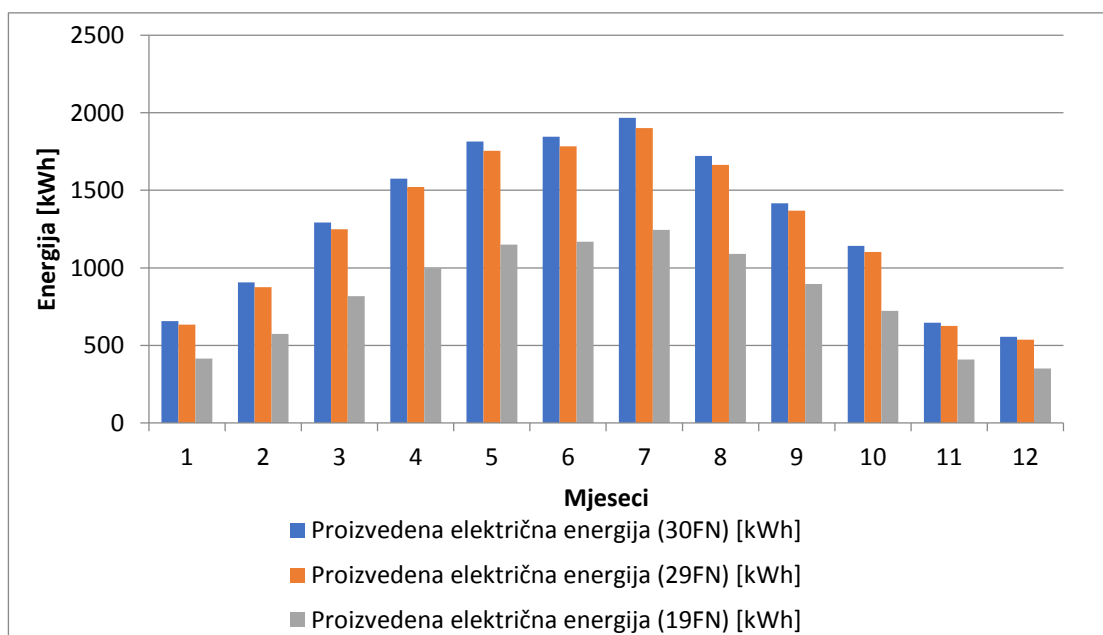
#### 7.4. Rezultati simulacije fotonaponskih panela

U tablici 7.3. prikazat će se rezultati simulacije za proizvedenu električnu energiju od strane 30 fotonaponskih panela sa inverterom.

Tablica 7.3. Proizvedena električna energija za krov pokriven fotonaponskim panelima te za dizalice topline da pokrije njihov rad

| Mjesec  | Proizvedena električna energija (30FN) [kWh] | Proizvedena električna energija za DT zrak – voda (29FN) [kWh] | Proizvedena električna energija za DT voda – voda (19FN) [kWh] |
|---------|--|--|--|
| 1       | 656  | 634  | 415  |
| 2       | 906  | 876  | 574  |
| 3       | 1292   | 1249   | 818  |
| 4       | 1574   | 1522   | 997  |
| 5       | 1814   | 1754   | 1149   |
| 6       | 1845   | 1784   | 1169   |
| 7       | 1966   | 1900   | 1245   |
| 8       | 1722   | 1665   | 1091   |
| 9       | 1416   | 1369   | 897  |
| 10      | 1141   | 1103   | 723  |
| 11      | 646  | 624  | 409  |
| 12      | 555  | 537  | 352  |
| Ukupno: | 15533  | 15015  | 9838   |

Za bolji prikaz rezultat na slici 7.5. biti će prikazan graf proizvedene električne energije.



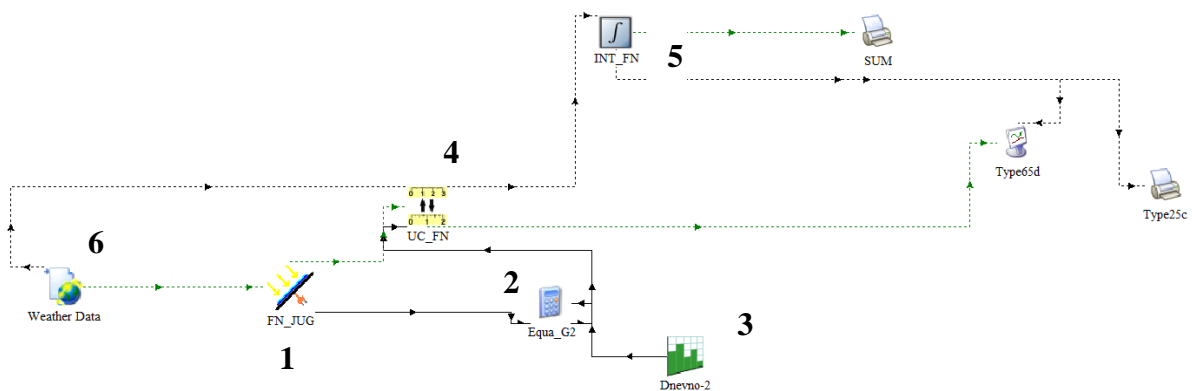
Slika 7.5. Graf proizvedene električne energije fotonaponskih panela

Moguće je vidjeti iz grafa kako proizvodnja električne energije za zimske mjesec je niža, to je zbog kraćega trajanja dana, manjeg broja sunčanih dana zbog naoblake i lošega vremena te niske vanjske temperature.

Iz rezultata može se uočiti kako je proizvedeno 15533 kWh električne energije za 30 fotonaponskih panela. Za rad dizalice topline zrak – voda, 29 fotonaponskih panela podržava sustav te proizvodi 15015 kWh od čega je višak 254 kWh i vraća se u mrežu. Za rad dizalice topline voda – voda, 19 fotonaponskih panela podržava sustav te proizvodi 9838 kWh od čega je višak 1027 kWh i vraća se u mrežu.

### 7.5. Shema fotonaponskih panela u programu TRNsys

Na slici 7.7. biti će prikazana shema fotonaponskih panela u programu, a ispod slike će biti napisani nazivi numeriranih elemenata.



Slika 7.6. Shema Fotonaponskih panela u programu TRNsys

Elementi:

- 1 – Fotonaponski paneli
- 2 – Kalkulator
- 3 – Raspored paljenja dizalice topline
- 4 – Pretvarač mjernih jedinica
- 5 – Integrator koji je namješten da zapisuje period od jednog mjeseca
- 6 – Meteorološki podaci

## 8. ANALIZA TROŠKOVA POTROŠNJE PRIMARNE ENERGIJE, INVESTICIJSKIH TROŠKOVA I ISPLATIVOST

### 8.1. Potrošnja finalne energije i cijena korištenja

Prije pogleda da li je isplativ novi sustav potrebno je pogledati troškove potrošnje finalne energije i investicijske troškove postavljanja novoga sustava.

#### 8.1.1. Cijena i troškovi korištenja finalne energije plina u obiteljskoj kući

Prvo će se razmatrati troškovi potrošnje finalne energije plina radi trenutnoga sustava koji se nalazi unutar kuće te koliko godišnji trošak iznosi. Podaci o cijeni plina preuzeti su iz Gradske plinare Zagreb.

Obiteljska kuća spada pod tarifni model TM 3 pošto njena potrošnja finalne energije za sustav grijanja i PTV-a iznosi 26 490 kWh. Sa tim podatkom moguće je dalje pomoću izraza (8.1.) izračunati godišnji trošak potrošnje finalne energije plina.

$$T_{\text{GOD}} = 1,25 \cdot H \cdot (Ts1 \cdot S + Ts2 \cdot 12) \quad (8.1.)$$

-gdje je:

$T_{\text{GOD}}$  – cijena za godišnju potrošnju plina [EUR]

$Ts1$  – tarifna stavka za distribuiranu količinu plina bez PDV-a [kWh/EUR]

$S$  – godišnja potrošnja plina [kWh]

$Ts2$  – fiksna mjesečna naknada bez PDV-a [kWh/EUR]

$H$  – dodatni prinosi –  $H = 1,189$

$$T_{\text{GOD}} = 1,25 \cdot 1,189 \cdot (0,0668 \cdot 26490 + 2,65 \cdot 12) = 2678 \text{ EUR}$$

#### 8.1.2. Cijene i troškovi korištenja finalne energije struje

Ovaj dio analize i izračuna troškova odnosit će se na sustav sa dizalicama toplina i kolika bi bila cijena potrošnja finalne energije struje u tom slučaju. Cijene korištenja električne energije uzete su sa stranice HEP-a i nalaze se u tablici 8.3.[25]



Tablica 8.1. Cijene električne energije

| Kategorija |             | Tarifni model | Tarifni element      |          |          |                             |
|------------|-------------|---------------|----------------------|----------|----------|-----------------------------|
|            |             |               | Radna energija [kWh] |          |          | Naknada za opskrbu [Mjesec] |
|            |             |               | JT                   | VT       | NT       |                             |
|            |             |               | EUR                  | EUR      | EUR      | EUR                         |
| Kućanstvo  | Niski napon | Plavi         | 0,070276             | -        | -        | 0,982                       |
|            |             | Bijeli        | -                    | 0,074789 | 0,036697 | 0,982                       |
|            |             | Crveni        | -                    | 0,074789 | 0,036697 | 0,982                       |
|            |             | Crni          | 0,029                | -        | -        | 0,053                       |

Cijene koje se nalaz u tablici, nije im uračunat PDV, a on iznosi 13 %. PDV će se uzeti u obzir kasnije u izračunu.

Kako bi se dalje mogao izračunati godišnji trošak potrebno je odabrati tarifni model, a to je moguće naći u tablici 8.4.

Tablica 8.2. Tarifni modeli za potrošnju električne energije

| Tarifni model | Vrsta upotrebe  |
|---------------|---|
| Plavi         | Kupci na niskom naponu s jedno tarifnim brojilom ili višetarifnim brojilom                                |
| Bijeli        | Kupci na niskom naponu s višetarifnim brojilom  |
| Crveni        | Korisnici mreže s priključnom snagom većom od 22 kW   |
| Crni          | Korisnik sam određuje daljinskim dobavu električne energije u kućanstvo i najmanje smije koristiti 8 sati |

Tarifni model koji će pripadati obiteljskoj kući je Plavi tarifni model. Kućanstvo i ako ima ugrađeni sustav dizalica topline neće premašiti priključnu snagu od 22 kW. Tarifni element koji se uzima je JT. Pomoću izraza (8.2.) prikazati će se godišnja cijena troška korištenja električne energije.

$$T_{\text{GOD}} = (1 + I_{\text{PDV}}) \cdot (T_{\text{M}}(\text{JT}) \cdot E_{\text{el}} + N_{\text{NAK1}}(\text{JT}) \cdot 12 + E_{\text{el}} \cdot E_{\text{OIE}}) \quad (8.2.)$$

-gdje je:

$T_{\text{GOD}}$  – cijena za godišnju potrošnju električne energije u kućanstvu [EUR/god]

$T_{\text{M}}(\text{JT})$  – tarifni model Plavi, tarifni element JT [EUR/kWh ]

$E_{\text{el}}$  – godišnja potrošnja električne energije od strane kućanstva [kWh/god]

$N_{\text{NAK1}}(\text{JT})$  – mjesečna naknada za opskrbu [EUR]

$E_{\text{OIE}}$  – naknada za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju [EUR/kWh]

$I_{\text{PDV}}$  – PDV

Za sustav sa dizalicama topline zrak – voda:

$$T_{\text{GODdtzv}} = (1 + 0,13) \cdot (0,070276 \cdot 14761 + 0,982 \cdot 12 + 14761 \cdot 0,013936)$$

$$T_{\text{GODdtzv}} = 1418 \text{ EUR}$$

Za sustav sa dizalicama topline voda – voda:

$$T_{\text{GODdtvv}} = (1 + 0,13) \cdot (0,070276 \cdot 8811 + 0,982 \cdot 12 + 8811 \cdot 0,013936)$$

$$T_{\text{GODdtvv}} = 852 \text{ EUR}$$

Cijena godišnje potrošnje primarne energije struje za dizalicu topline zrak – voda iznosi 1418 EUR, a za dizalicu topline voda – voda 852 EUR.

### 8.1.3. Otkup električne energije

U ovome dijelu razmatrati će se o smanjenju troškova potrošnje finalne energije struje za dizalice topline iskorištavanjem proizvedene električne energije od strane fotonaponskih panela.

Prije usporedbe rezultata izračuna cijena potrebno je izračunati otkup električne energije u slučaju da sva proizvedena električna energija se isporučuje nazad u mrežu. Cijena otkupa električne energije za jedinicu EUR/kWh računa se prema izrazu (8.5.).[25]

$$C_i = 0,9 \cdot P_{kci} \quad (8.5.)$$

-gdje je:

$C_i$  – cijena prodane električne energije [EUR/kWh]

$P_{kci}$  – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza [EUR/kWh]

$$C_i = 0,9 \cdot 0,070276 = 0,0869661 \text{ EUR/kWh}$$

Cijena otkupa električne energije za sustave sa dizalicama topline sa fotonaponskim panelima iznosi 0,0869661 EUR/kWh.

Dalje je moguće izračunati kolika je godišnja ukupna cijena otkupa električne energije za proizvedenu električnu energiju prema izrazu (8.6.)

$$T_{GODot} = F \cdot C_i \cdot E_{FN} \quad (8.6.)$$

-gdje je:

$T_{GODot}$  – cijena za godišnji otkup električne energije [EUR/god]

$F$  – faktor primarne energije ( $F = 2,5$ )[18]

$$T_{GODotDTZV} = 2,5 \cdot 0,0869661 \cdot 254 = 56 \text{ EUR/god}$$

$$T_{GODotDTVV} = 2,5 \cdot 0,0869661 \cdot 1027 = 224 \text{ EUR/god}$$

Godišnja cijena otkupa električne energije koje proizvedu fotonaponski paneli u kombinaciji sa dizalicom topline zrak – voda iznosi 56 EUR/god, dok kod kombinacije fotonaponskih panela sa dizalicom topline voda – voda ona iznosi 224 EUR/god.

## 8.2. Troškovi zahvata podzemne vode

Ako se razmatra o postavljanju sustava sa dizalicom topline voda – voda i za izvor da se uzimaju podzemne vode, potrebno je izračunati trošak zahvata podzemnih voda. Prema NN 82/2010 2335 visina naknade za korištenje voda za potrebe grijanja i hlađenja stambenih građevina i poslovnih prostora, osim za termalne i termomineralne vode, iznosi 0,0132 EUR za prostorni metar ( $1 \text{ m}^3$ ) zahvaćene vode.[27] Zahvat vode za sustav sa dizalicama topline voda – voda dobilo se pomoću ranijih simulacija te on iznosi ukupno  $8439 \text{ m}^3$  godišnje. Trošak zahvata vode računa se prema izrazu (8.7.).

$$T_{\text{zahvat}} = V_{\text{zahvat}} \cdot C_{\text{zahvat}} \quad (8.7.)$$

-gdje je:

$T_{\text{zahvat}}$  – cijena godišnjeg zahvata podzemnih voda [EUR]

$V_{\text{zahvat}}$  – godišnji zahvat podzemnih voda [ $\text{m}^3$ ]

$C_{\text{zahvat}}$  – naknada za zahvat podzemnih voda [EUR/ $\text{m}^3$ ]

$$T_{\text{zahvat}} = 8439 \cdot 0,0132 = 112 \text{ EUR}$$

## 8.3. Investicijski troškovi postavljanja sustava

Kako je potrebno vidjeti da li su sustavi sa obnovljivim izvorima energije isplativi potrebno je poznavati cijene uređaja, priključaka, montaže i održavanja.

Sustav 1 će biti sustav sa plinskim bojlerom, odnosno postojeći sustav u obiteljskoj kući i za njega neće se računati investicijski troškovi.

### 8.3.1. Investicijski troškovi sustav sa dizalicama topline zrak – voda – Sustav 2

U tablici 8.3. biti će prikazani troškovi postavljanja sustava 2. Trošak ogrijevnih tijela neće biti uključen u cijenu jer se nalazi u postojećem sustavu. Cijene dizalica toplina dane su od strane proizvođača bez PDV-a. Potrebno je napomenuti kako će u troškovniku biti uključeno i sufinanciranje dizalica topline od strane Republike Hrvatske, ono iznosi 10 500 EUR. [27]

Tablica 8.3. Cijena opreme i montaže sustava sa dizalicama topline zrak – voda – Sustav 2

| SUSTAV 2                                    |                                 | Cijena [EUR] | Količina | Ukupna cijena [EUR] |
|---|---------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| Dizalica topline zrak - voda                | Aermec ANKI 040                 | 3564         | 1        | 3564                |
|   | Upravljački i hidraulički modul |              |          |                     |
| Dizalica topline zrak - voda                | Aermec ANKI 070                 | 5751         | 2        | 11503               |
|   | Upravljački i hidraulički modul |              |          |                     |
| Spremnik za PTV                             | Centrometal PUK 100             | 605          | 3        | 1815                |
| Cijevi                                      | DN 20 izolirano; po m           | 5            | 24       | 120                 |
| Priključci za vodu                          | Conex                           | 8            | 4        | 32                  |
| Ventili                                     | Zaporni DN 20                   | 4            | 10       | 40                  |
| Inercijski spremnik                         | Terma 200l                      | 303          | 3        | 909                 |
| <b>UKUPNO</b>                               |                                 |              |          | 17983               |
| Sufinanciranje RH za dizalice topline       |                                 |              |          | 10500               |
| <b>UKUPNO SA SUFINANCIRANJEM</b>            |                                 |              |          | 7483                |
| Montaža, transport, potrošni materijal, 30% |                                 |              |          | 2245                |
| <b>UKUPNO S MONTAŽOM</b>                    |                                 |              |          | 9728                |
| PDV 25%                                     |                                 |              |          | 1871                |
| <b>SVEUKUPNO</b>                            |                                 |              |          | 11599               |

### 8.3.2. Investicijski troškovi sustav sa dizalicama topline voda – voda – Sustav 3

Naspram sustava sa dizalicama topline zrak – voda, sustav sa dizalicama topline voda – voda ima kompleksniji sustav radi opskrbe izvora vode iz tla za uređaj, te povrata vode nazad u zemlju. Isto kao i prije uključit će se sufinanciranje države za dizalice topline. Cijene bušenja tla za izvor vode za dizalice topline uzete su od firme koja se bavi bušotinama za bunare i druge potrebne radove vezano za vodu.[26]

U tablici 8.4. biti će prikazani troškovi postavljanja sustava bez kombinacije fotonaponskih panela.

Tablica 8.4. Cijena opreme i montaže sustava sa dizalicama topline voda – voda – Sustav 3

| SUSTAV 3                                    |                                 | Cijena [EUR] | Količina | Ukupna cijena [EUR] |
|---|---------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| Dizalica topline zrak - voda                | Aermec WRL 031                  | 4738         | 2        | 9476                |
|   | Upravljački i hidraulički modul |              |          |                     |
| Dizalica topline zrak - voda                | Aermec WRL 041                  | 3674         | 1        | 3674                |
|   | Upravljački i hidraulički modul |              |          |                     |
| Spremnik za PTV                             | Centrometal PUK 100             | 605          | 3        | 1815                |
| Cijevi                                      | DN 20 izolirano; po m           | 5            | 20       | 100                 |
| Priključci za vodu                          | Conex                           | 8            | 4        | 32                  |
| Ventili                                     | Zaporni DN 20                   | 4            | 10       | 40                  |
| Cijevi za bunare                            | DN 50 izolirano; po m           | 3            | 26       | 87                  |
| Koljena cijevi                              | HT koljeno                      | 2            | 6        | 11                  |
| Priključci za cijevi                        | HT prijelzana cijev             | 3            | 4        | 11                  |
| Ventili                                     | Zaporni DN 20                   | 5            | 10       | 53                  |
| Inercijski spremnik                         | Terma 200l                      | 405          | 3        | 1215                |
| <b>UKUPNO</b>                               |                                 |              |          | 16516               |
| Sufinanciranje RH za dizalice topline       |                                 |              |          | 10500               |
| <b>UKUPNO SA SUFINANCIRANJEM</b>            |                                 |              |          | 6016                |
| Montaža, transport, potrošni materijal, 30% |                                 |              |          | 1805                |
| <b>UKUPNO S MONTAŽOM</b>                    |                                 |              |          | 7820                |
| Bušenje (10 m)                              |                                 |              |          | 5000                |
| <b>UKUPNO S BUŠENJEM</b>                    |                                 |              |          | 12820               |
| PDV 25%                                     |                                 |              |          | 1955                |
| <b>SVEUKUPNO</b>                            |                                 |              |          | 14775               |

8.3.3. Investicijski troškovi za sustave sa fotonaponskim panelima – Sustav 4 i Sustav 5  
 Sustav 4 će predstavljati kombinaciju sustava sa dizalicama toplina zrak – voda i fotonaponski paneli. Sustav 5 će predstavljati kombinaciju sustava sa dizalicama topline voda – voda i fotonaponskih panela.

Republika Hrvatska sufinancira projekte sa fotonaponskim panelima do 50 %. Treba napomenuti kako pri kupnji solarnih panela ne uračunava se PDV.[27]

U tablici 8.5. biti će prikazani troškovi Sustava 4.

*Tablica 8.5. Cijena opreme i montaže sustava sa kombinacijom dizalica topline zrak - voda i fotonaponski paneli - Sustav 4*

| SUSTAV 4                                    |                 | Cijena [EUR] | Količina | Ukupna cijena [EUR] |
|---|-----------------|--------------|----------|---------------------|
| Fotonaponski panel                          | Luxor M144/545W | 320          | 29       | 9280                |
| Inverter                                    | Sungrow SG15RT  | 240          | 1        | 240                 |
| Nosači                                      | TRB F10-NS1     | 3            | 96       | 288                 |
| Kablovi za struju                           | PV Solar; po m  | 2            | 200      | 400                 |
| <b>UKUPNO</b>                               |                 |              |          | 10208               |
| Sufinanciranje RH za dizalice topline       |                 |              |          | 5104                |
| <b>UKUPNO SA SUFINANCIRANJEM</b>            |                 |              |          | 5104                |
| Montaža, transport, potrošni materijal, 30% |                 |              |          | 1531                |
| <b>UKUPNO S MONTAŽOM</b>                    |                 |              |          | 6635                |
| Sustav 2                                    |                 |              |          | 11599               |
| <b>SVEUKUPNO</b>                            |                 |              |          | 18234               |

U tablici 8.6. biti će prikazani troškovi sustava 5.

Tablica 8.6. Cijena opreme i montaže sustava sa kombinacijom dizalica topline zrak - voda i fotonaponski paneli - Sustav 5

| SUSTAV 5                                    |                 | Cijena [EUR] | Količina | Ukupna cijena [EUR] |
|---|-----------------|--------------|----------|---------------------|
| Fotonaponski panel                          | Luxor M144/545W | 320          | 19       | 6080                |
| Inverter                                    | Sungrow SG15RT  | 240          | 1        | 240                 |
| Nosači                                      | TRB F10-NS1     | 3            | 96       | 288                 |
| Kablovi za struju                           | PV Solar; po m  | 2            | 200      | 400                 |
| <b>UKUPNO</b>                               |                 |              |          | 7008                |
| Sufinanciranje RH za dizalice topline       |                 |              |          | 3504                |
| <b>UKUPNO SA SUFINANCIRANJEM</b>            |                 |              |          | 3504                |
| Montaža, transport, potrošni materijal, 30% |                 |              |          | 1051                |
| <b>UKUPNO S MONTAŽOM</b>                    |                 |              |          | 4555                |
| Sustav 3                                    |                 |              |          | 11599               |
| <b>SVEUKUPNO</b>                            |                 |              |          | 16154               |

#### 8.4. Pogonski troškovi sustava i troškovi održavanja

U nastavku za svaki sustav biti će postavljena tablica pogonskih troškova za jednu godinu, isto tako biti će u to postavljena cijena održavanja toga sustava. Cijena održavanja je između 1-2 % investicijskog troška sustava.

U tablici 8.8. bit će prikazani pogonski troškovi i troškovi održavanja svih sustava.

Tablica 8.7. Pogonski troškovi i troškovi održavanja

|          | Pogonski troškovi [EUR] | Troškovi održavanja [EUR] | Otkup [EUR] | Zahvat [EUR] | Ukupno [EUR] |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Sustav 1 | 2678                    | 100                       | -           | -            | 2778         |
| Sustav 2 | 1418                    | 115                       | -           | -            | 1533         |
| Sustav 3 | 852                     | 147                       | -           | 112          | 1111         |
| Sustav 4 | 0                       | 115                       | 56          | -            | 59           |
| Sustav 5 | 0                       | 147                       | 224         | 112          | 35           |



## 8.5. Isplativost sustava

Kako bi se sustav isplatio potrebno je uzeti tri određena parametara.

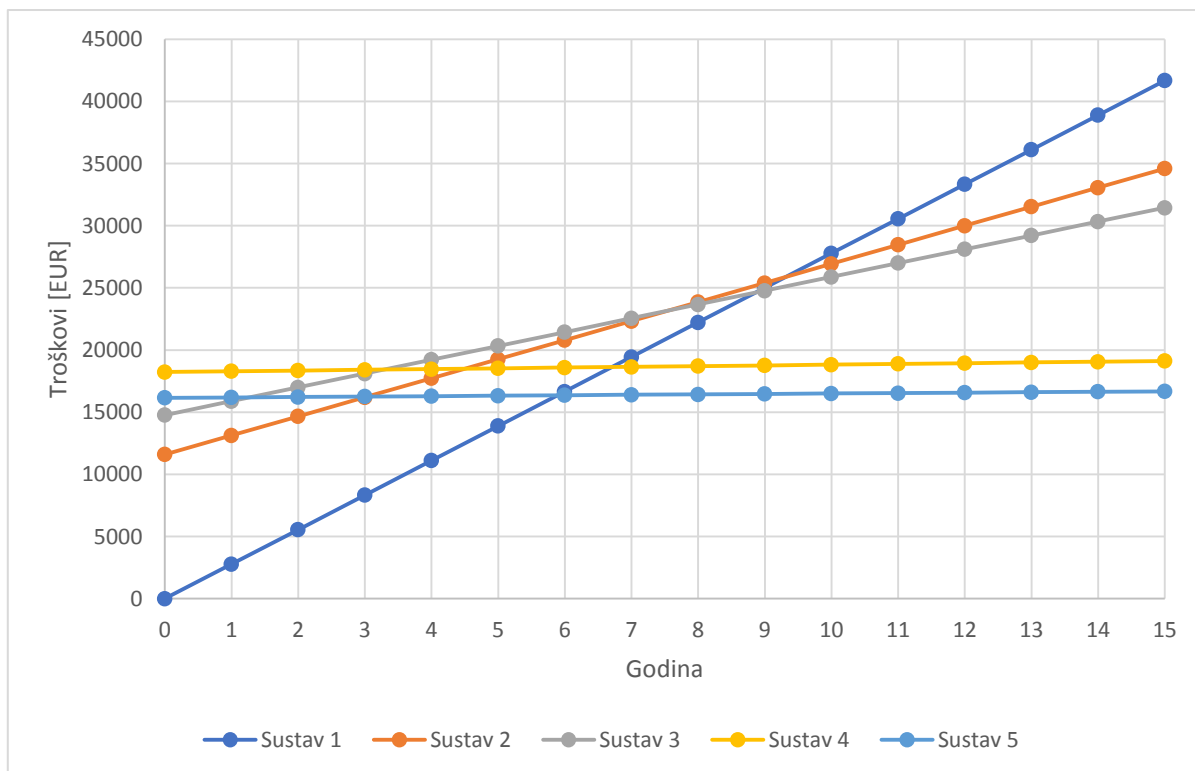
Prvi parametar koji se gleda je radni vijek uređaja koji su odabrani. Radni vijek dizalica toplina od odabranoga proizvođača je 20 godina uz održavanje i ekonomski način rada. Za fotonaponske panele proizvođač osigurava vijek trajanja 25 godina uz održavanje panela.

Drugi parametar koji se uzima su pogonski troškovi i troškovi održavanja sustava koji moraju biti niži od pogonskih troškova postojećega sustava sa plinom.

Treći parametar koji se uzima je otkup proizvedene električne energije fotonaponskih panela koji će pridonijeti bržoj isplativosti samoga sustava, to će vrijediti za Sustav 4 i Sustav 5.

U grafu na slici 8.1. sustavi će biti prikazani na idući način:

- Sustav 1 koji je postojeći sustav u obiteljskoj kući kreće od nulte godine sa 0 EUR troškova jer nema ulaganja u taj sustav, a u prvoj godini će biti godišnji trošak toga sustava i on raste za svaku godinu
- Sustav 2, 3, 4 i 5 će u nultoj godini imati investicijski trošak, dok od prve godine se na taj investicijski trošak nadodaju pogonski troškovi i troškovi održavanja sustava



Slika 8.1. Graf isplativosti

Iz grafa je vidljivo kako Sustav 2 i Sustav 3 isplativi su za manje od 9 godina, dok Sustav 4 isplativ je za manje od 7 godina te Sustav 5 za manje od 6 godina.

Od svih sustava najisplativiji je Sustav 5, koji predstavlja kombinaciju sustav sa dizalicama topline voda – voda i fotonaponskim panelima.

## 9. ZAKLJUČAK

U prvome dijelu opisana je obiteljska kuća, njena povijest, lokacija te plan adaptacije koji je izvršen pomoću razrađenoga projekta. Zatim je u programu SketchUp postavljen adaptirani model obiteljske kuće. U tome programu kuća je podijeljena na toplinske zone u kojima ukućani žive. Imenovane su vrste zidova na kući kako bi se kasnije mogla definirati njihova svojstva. Uveden je model obiteljske kuće u program TRNsys. U programu su se definirala svojstva zidova i njihova struktura te lokacija na kojoj se kuća nalazi. Idući korak bio je uravnoteženje kuće po efikasnoj energiji i usporedba sa finalnom energijom plina radi omogućavanja daljnjeg nalaženja rješenja za ovaj rad. Postavljen je postojeći sustav grijanja te nakon toga dobiveni rezultati uspoređeni su sa finalnom energijom plina za grijanje. Razlog usporedbe je potvrda uravnoteženosti postojećega sustava u simulaciji i u stvarnosti. U slijedećem koraku bilo je potrebno odabrati monovalentne uređaje koji iskorištavaju obnovljive izvore energije i iste postaviti u postojeći sustav zamjenjujući sustav sa plinom. Odabrana su četiri sustava. Prvi sustav je sustav sa plinskim bojlerima, drugi sustav sastojao se od samostalne dizalice topline zrak – voda, treći sustav sastojao se od samostalne dizalice topline voda – voda, četvrti sustav bio je kombinacija dizalice topline zrak – voda i fotonaponskih panela te peti sustav je kombinacija dizalice topline voda – voda i fotonaponskih panela. Nakon provedenih simulacija bilo je potrebno provesti ekonomsku analizu i ustvrditi isplativost sustava. U obzir se uzimao otkup proizvedene električne energije, pogonski troškovi, troškovi održavanja i sufinanciranje od strane države.

Na kraju je utvrđeno kako su svi sustavi isplativi unutar 9 godina ili manje, a pogotovo sustavi u kombinaciji sa fotonaponskim panelima, što ulazi u manje od polovicu radnoga vijeka svih uređaja. Najisplativiji je sustav u kombinaciji sa dizalicama topline voda – voda i fotonaponskim panelima, gdje je isplativo za manje od 6 godina.

Zaključak je kako su sustavi koji su isključivo ovisni o obnovljivim izvorima energije isplativi, pogotovo ako su kombinaciji sa više njih, te su oni budućnost na koju se trebamo usmjeriti. Samim time potiče se na smanjenje korištenja fosilnih energenata, ali i povećavanje istraživanja za nove obnovljive izvore energije. Naravno u budućnosti kako će cijena fosilnih energenata rasti ovisno o ekonomsko-političkoj situaciji u svijetu, a tehnologija i istraživanja napredovati, obnovljivi izvori energije će biti jedini isplativi izvor energije za grijanje, PTV i hlađenje u kućanstvima bez zagađenja okoline ili onečišćenja na bilo koji drugi način. Posljedično će se smanjiti primarna energija, mjesečni troškovi potrošnje finalne energije i povećati kvaliteta života čovjeka.

## 10. LITERATURA

- [1] ARHING 2: „Projekt adaptacije kuće“,1997.
- [2] Prof. dr. sc. Wolf I.: Predavanja i vježbe iz kolegija „Obnovljivi izvori energije“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2022.
- [3] S interneta, [https://enerpedia.net/index.php/PRIMARNA\\_ENERGIJA](https://enerpedia.net/index.php/PRIMARNA_ENERGIJA), 5.10.2023.
- [4] Tehnički propisi o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, [https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_09\\_102\\_1922.html](https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_09_102_1922.html), 24.9.2020.
- [5] S interneta, [earth.google.com/static/multi-threaded/versions/10.43.0.2/index.html?](http://earth.google.com/static/multi-threaded/versions/10.43.0.2/index.html?), 2020.
- [6] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade; HRN EN ISO 137900
- [7] Narodne novine: „Tablični prikazi meteoroloških veličina, položaj i visina za klimatski mjerodavne meteorološke postaje (meteoroloških parametri u tablicama po postajama)“, 2020.
- [8] Karakteristika radijatora napravljenih od aluminijskih, [https://lipovica.hr/upload\\_data/site\\_files/tehnicki-katalog-lipovica.pdf](https://lipovica.hr/upload_data/site_files/tehnicki-katalog-lipovica.pdf), 2017.
- [9] Karakteristika plinskoga bojlera, <https://www.manualslib.com/products/Vaillant-Thermocompact-Vu-182-1-E-8710999.html>, 10.9.2023
- [10] Izv. Prof. Dr. sc. Delač B.: Predavanja i vježbe iz kolegija „Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2022.
- [11] Karakteristika akumulacijskog spremnika, <https://www.centrometal.hr/portfolio/puk/>, 10.9.2023.
- [12] Prof. Dr. sc. Pavković B., Izv. Prof. Dr. sc. Delač B.: Predavanje i vježbe iz kolegija „Tehnika hlađenja“, 2022.
- [13] S interneta, Dizalice topline - Što su, kako rade i zašto se isplate? ([fero-term.hr](http://fero-term.hr)), 2022.
- [14] Tumara D.: „Geotermalna energija i njezin potencijal u vremenu energetske diversifikacije i tranzicije Republike Hrvatske“, s interneta <https://hrcak.srce.hr/231958>, 8.1.2020.

- [15] Geotermalna dizalica topline: prednosti, funkcija i planiranje, <https://www.bosch-homecomfort.com/hr/hr/stambeni/korisne-informacije/dizalice-topline-savjeti/dizalica-topline-zemlja-voda/>, 1.12. 2023.
- [16] Karakteristike dizalice topline zrak – voda, [https://download.aermec.com/docs/schede/ANKI-020-080-HP\\_Y\\_UN50\\_08.pdf](https://download.aermec.com/docs/schede/ANKI-020-080-HP_Y_UN50_08.pdf), 4.12.2023.
- [17] Karakteristike dizalice topline voda – voda, [https://download.aermec.com/docs/schede/WRL-026-161-HP-W\\_Y\\_UN50\\_10.pdf](https://download.aermec.com/docs/schede/WRL-026-161-HP-W_Y_UN50_10.pdf), 4.12.2023.
- [18] Faktori primarne energije, [Tablice\\_faktori\\_prim.en-1.4.2022..pdf](#) (gov.hr), 1.4.2022.
- [19] S interneta, Fotonaponski paneli - Vrste, prednosti i nedostaci (klimatizacija.hr), 13.2.2023.
- [20] S interneta, Laboratorij za električna postrojenja i sekundarne sustave (uniri.hr), 2019.
- [21] Karakteristika odabranoga fotonaponskoga panela, [LX\\_EL\\_HC\\_SF\\_M144\\_525-545W\\_182\\_EN.pdf](#) (luxor.solar), 2022.
- [22] Karakteristika odabranoga invertera, [DS\\_20210415\\_SG15\\_17\\_20RT Datasheet\\_V1.1.3\\_EN.pdf](#) (sungrowpower.com), 2022.
- [23] Karakteristike odabrane baterije, GREENROCK Blue Sky baterije 48V 5-30kWh: Solar Shop (solarno.hr), 2022.
- [24] Cijene tarifa za potrošnju plina, <https://www.plinara-zagreb.hr/izvjestaji-i-dokumenti/tarifne-stavke-za-distribuciju-plina/92>, 28.9.2022.
- [25] Cijene za tarifu potrošnje električne energije, <https://www.hep.hr/ods/kupci/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/160>, 1.4.2022.
- [26] S interneta, Bušenje bunara, bušotina za vodu Cijena :: emajstor.hr, 2022.
- [27] S interneta, Energetska obnova 2024., [energetska-obnova.hr](https://energetska-obnova.hr), 4.2.2024.
- [28] S interneta, Uredba o visini naknade za korištenje voda, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_07\\_82\\_2335.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_82_2335.html), 1.7.2010.

## 11. POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1.1. Obiteljska kuća iz 1938.....  | 9  |
| Slika 1.2. Adaptirana obiteljska kuća.....   | 10 |
| Slika 2.1. Potrošnja primarne energije na svjetskoj razini u teradžulima u razdoblju od 1995. do 2020. godine[3] .....                 | 12 |
| Slika 3.1. Prikaz lokacije obiteljske kuće [5] .....   | 16 |
| Slika 3.2. Tlocrt prizemlja obiteljske kuće[1] .....   | 16 |
| Slika 3.3. Tlocrt prvoga kata obiteljske kuće[1] .....   | 17 |
| Slika 3.4. Tlocrt drugoga kata obiteljske kuće[1] .....  | 17 |
| Slika 3.5. Model obiteljske kuće – Google SketchUp.....  | 18 |
| Slika 4.1. Orijentacija kuće - Google Earth[5].....  | 20 |
| Slika 4.2. Sezona grijanja (žuta boja) i hlađenja (plava boja).....  | 28 |
| Slika 4.3. Raspored paljenja tijekom sezone grijanja za jedan dan.....   | 28 |
| Slika 4.4. Sustav idealnoga grijanja i hlađenja u sučelju programa TRNsys.....   | 35 |
| Slika 5.1. Izgled radijatora proizvođača Lipovica tip SOLAR 500/80 u obiteljskoj kući .....  | 37 |
| Slika 5.2. Plinski bojler Vaillant tip THERMOcompact VU 182/1 .....  | 39 |
| Slika 5.3. Graf potrošnje PTV-a u jednom danu po jednoj zoni u obiteljskoj kući .....  | 40 |
| Slika 5.4. Graf usporedbe rezultata - mjerenje(plava) i simulacija (narančasta) .....  | 41 |
| Slika 5.5. Temperatura zona za simulaciju trenutnoga sustava u obiteljskoj kući u programu TRNsys za najhladniji mjesec u godini ..... | 42 |
| Slika 5.6. Temperatura zona za simulaciju trenutnoga sustava u obiteljskoj kući u programu TRNsys za najhladniji dan u godini .....    | 42 |
| Slika 5.7. Shema trenutnoga sustava grijanja i PTV-a u obiteljskoj kući .....  | 43 |
| Slika 6.1. Prikaz toplinskih izvora (plavo) i toplinskih ponora (crveno) za dizalicu topline[2] .....                                  | 45 |
| Slika 6.2. Shema dizalice topline[2].....  | 45 |
| Slika 6.3. T-s dijagram radnog procesa dizalice topline[12].....   | 46 |
| Slika 6.4. Izvori topline za dizalice topline[10] .....  | 47 |
| Slika 6.5. Dizalica topline zrak – voda [2] .....  | 49 |
| Slika 6.6. Dizalica topline voda – voda [2] .....  | 49 |
| Slika 6.7. Geotermalni izvori u kontinentalnoj Hrvatskoj[14].....  | 50 |
| Slika 6.8. Graf učinka dizalice topline u odnosu na vanjsku temperaturu – monovalentni način rada[2] .....                             | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 6.9. Graf projektnih učinaka grijanja ovisno o vanjskoj temperaturi za zonu 3 i 5 ..... | 52 |
| Slika 6.10. Graf projektnih učinaka grijanja ovisno o vanjskoj temperaturi za zonu 2 .....    | 53 |
| Slika 6.11. Dizalica topline zrak – voda proizvođača Aermec tip ANKI 070[16] .....            | 56 |
| Slika 6.12. Graf efikasnosti dizalice topline zrak – voda ANKI 070.....                       | 57 |
| Slika 6.13. Dizalica topline zrak – voda proizvođača Aermec tip ANKI 040[16] .....            | 57 |
| Slika 6.14. Graf efikasnosti dizalice topline zrak – voda ANKI 040.....                       | 58 |
| Slika 6.15. Shema sustava sa dizalicama topline zrak – voda (SUSTAV 2) .....                  | 58 |
| Slika 6.16. Dizalica topline voda – voda proizvođača Aermec tip WRL 031[17].....              | 59 |
| Slika 6.17. Graf efikasnosti dizalice topline voda – voda WRL 031 .....                       | 60 |
| Slika 6.18. Graf efikasnosti dizalice topline voda – voda WRL 026.....                        | 60 |
| Slika 6.19. Shema sustava sa dizalicama topline voda – voda (SUSTAV 3) .....                  | 61 |
| Slika 6.20. Graf temperatura prostorija za sustav sa dizalicama topline zrak – voda.....      | 65 |
| Slika 6.21. Graf temperatura prostorija za sustav sa dizalicama topline voda – voda.....      | 69 |
| Slika 6.22. Shema sustava sa dizalicama topline zrak - voda u programu TRNsys.....            | 71 |
| Slika 6.23. Shema sustava sa dizalicama topline voda - voda u programu TRNsys.....            | 72 |
| Slika 7.1. Sustav fotonaponskih panela na Tehničkom fakultetu u Rijeci[20] .....              | 73 |
| Slika 7.2. Fotonaponski panel proizvođača Luxor tip M144/545W[22].....                        | 74 |
| Slika 7.3. Shema rasporeda fotonaponskih panela na krovu obiteljske kuće.....                 | 75 |
| Slika 7.4. Inverter proizvođača Sungrow tip SG17RT[22].....                                   | 75 |
| Slika 7.5. Graf proizvedene električne energije fotonaponskih panela.....                     | 77 |
| Slika 7.6. Shema Fotonaponskih panela u programu TRNsys.....                                  | 78 |
| Slika 8.1. Graf isplativosti.....   | 89 |

## 12. POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 4.1. Sastav unutarnjeg zida.....  | 21 |
| Tablica 4.2. Sastav krova obiteljske kuće .....   | 22 |
| Tablica 4.3. Sastav vanjskoga zida.....   | 22 |
| Tablica 4.4. Sastav temelja kuće .....  | 23 |
| Tablica 4.5. Sastav međukatne konstrukcije kuće.....  | 23 |
| Tablica 4.6. Sastav stropa obiteljske kuće.....   | 24 |
| Tablica 4.7. Vrijednosti koeficijenata apsorpcije zračenja i prijelaza topline konvekcijom....  | 24 |
| Tablica 4.8. Broj ostakljenih površina na obiteljskoj kući.....                                 | 25 |
| Tablica 4.9. Proračunske vrijednosti $n_{50}$ za netestirane zgrade - DIN V 18599-2[6] .....    | 26 |
| Tablica 4.10. Koeficijent $e_{wind}$ i $f_{wind}$ - HRN EN ISO 13789 .....                      | 27 |
| Tablica 4.11. Godišnja potrošnja finalne energije plina.....                                    | 29 |
| Tablica 4.12. Rezultati korisne energije za grijanje u simulaciji .....                         | 31 |
| Tablica 4.13. Specifični učinak grijanja po zonama bez prekida.....                             | 32 |
| Tablica 4.14. Specifični učinak grijanja po zonama sa prekidima.....                            | 33 |
| Tablica 4.15. Apsolutni učinak grijanja po zonama sa prekidima .....                            | 33 |
| Tablica 4.16. Specifični učinak hlađenja po zonama bez prekida.....                             | 34 |
| Tablica 4.17. Specifični učinak hlađenja po zonama sa prekidima.....                            | 34 |
| Tablica 5.1. Svojstva jednoga radijatorskoga članka .....                                       | 37 |
| Tablica 5.2. Broj radijatorskih članaka po zonama u obiteljskoj kući .....                      | 38 |
| Tablica 5.3. Učinci grijanja za obiteljsku kuću po zonama .....                                 | 38 |
| Tablica 5.4. Svojstva plinskoga bojlera .....   | 39 |
| Tablica 5.5. Rezultati simulacije za postojeći sustav u obiteljskoj kući .....                  | 41 |
| Tablica 6.1. Novi temperaturni režimi ovisno o projektnim učincima za zonu 3 i 5.....           | 53 |
| Tablica 6.2. Novi temperaturni režimi ovisno o projektnim učincima za zonu 4 i 6.....           | 53 |
| Tablica 6.3. Novi temperaturni režimi ovisno o projektnim učincima za zonu 2 .....              | 54 |
| Tablica 6.4. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline zrak – voda za zonu 2 .....    | 62 |
| Tablica 6.5. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline zrak – voda za zonu 3 i 5 .... | 63 |
| Tablica 6.6. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline zrak – voda za zonu 4 i 6 ...  | 64 |
| Tablica 6.7. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline voda – voda za zonu 2 .....    | 66 |
| Tablica 6.8. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline voda – voda za zonu 4 i 6 ...  | 67 |
| Tablica 6.9. Rezultati simulacije za sustav sa dizalicom topline voda – voda za zonu 3 i 5 ...  | 68 |
| Tablica 6.10. Usporedba potrošnji primarnih energija.....                                       | 70 |



|   |    |
|---|----|
| Tablica 7.1. Svojstva fotonaponske ploče Luxor M144/545W .....  | 74 |
| Tablica 7.2. Svojstva invertera Sungrow tip SG15RT .....  | 76 |
| Tablica 7.3. Proizvedena električna energija za krov pokriven fotonaponskim panelima te za dizalice topline da pokrije njihov rad ..... | 77 |
| Tablica 8.1. Cijene električne energije .....   | 80 |
| Tablica 8.2. Tarifni modeli za potrošnju električne energije .....  | 80 |
| Tablica 8.3. Cijena opreme i montaže sustava sa dizalicama topline zrak – voda – Sustav 2.  | 84 |
| Tablica 8.4. Cijena opreme i montaže sustava sa dizalicama topline voda – voda – Sustav 3   | 85 |
| Tablica 8.5. Cijena opreme i montaže sustava sa kombinacijom dizalica topline zrak - voda i fotonaponski paneli - Sustav 4 .....        | 86 |
| Tablica 8.6. Cijena opreme i montaže sustava sa kombinacijom dizalica topline zrak - voda i fotonaponski paneli - Sustav 5 .....        | 87 |
| Tablica 8.8. Pogonski troškovi i troškovi održavanja .....  | 87 |

### 13. POPIS OZNAKA

$E_{\text{prim,PL}}$  – potrošnja primarne energije plina [kWh]

$V$  – volumen potrošenoga plina kroz mjesec dana [ $\text{m}^3$ ]

$f$  – faktor korekcije [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]

$H_{\text{ds}}$  – donja ogrjevna vrijednost plina za obračunsko razdoblje [ $\text{kWh}/\text{m}^3$ ]

$E_{\text{prim,EL}}$  – potrošnja primarne energije električne struje [kWh]

$F$  – faktor primarne energije ( $F = 1.614$ ) [18]

$\sum E_{\text{uređaja}}$  – suma potrošnje električne energije svih uređaja u sustavu [kWh]

$\Phi_{\text{T,i}}$  – transmisijski toplinski gubici  $i$  – toga grijanog prostora, [kW]

$\Phi_{\text{V,i}}$  – ventilacijski gubici topline  $i$  – toga grijanog prostora, [kW]

$\Phi_{\text{UN}}$  – zbroj unutarnjih opterećenja, [kW]

$\Phi_{\text{VAN}}$  – zbroj vanjskih opterećenja, [kW]

$n_{50}$  – broj izmjena zraka pri narinutoj razlici tlaka od 50 Pa, [ $\text{h}^{-1}$ ]

$e_{\text{wind}}$  – faktori zasićenosti zgrade od vjetra, [-]

$E_{\text{prim}}$  – finalna energija plina [kWh]

$E_{\text{Potrošeno,pl}}$  – potrošena energija dobavljenoga plina [kWh]

$A_{\text{k}}$  – korisna površina zgrade, [ $\text{m}^2$ ]

$d$  – broj dana u promatranom periodu, [dan]

$Q_{\text{W}}$  – toplinska energija za pripremu PTV-a u promatranom periodu, [kWh]

$Q_{\text{W,A,a}}$  – specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a, [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ]

$COP$  – sezonski faktor grijanja

$\dot{Q}$  – proizvedena topline od strane dizalice topline [kW]

$P_{\text{el}}$  – potrebna električna snaga za rad kompresora [kW]

$\eta_{\text{tp}}$  – efikasnost uređaja za toplinski kapacitet [kW/kW]

$\dot{Q}_{\text{naz}}$  – nazivni kapacitet grijanja za dizalicu topline [kW]

$\dot{Q}_{\text{temp}}$  – kapacitet grijanja ovisno o vanjskoj temperaturi [kW]

$\eta_{\text{us}}$  – efikasnost uređaja za ulaznu snagu [kW/kW]

$\dot{P}_{\text{naz}}$  – nazivna ulazna snaga za dizalicu topline [kW]

$\dot{P}_{\text{temp}}$  – ulazna snaga za dizalicu topline ovisno o vanjskoj temperaturi [kW]

$E_{\text{DTZV1}}$  – potrošnja električne energije za dizalicu topline zrak – voda za zonu 2 [kWh]

$E_{\text{DTZV2}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline zrak – voda za zonu 3 i 5 [kWh]

$E_{\text{DTZV3}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline zrak – voda za zonu 4 i 6 [kWh]

$E_{\text{DTVV1}}$  – potrošnja električne energije za dizalicu topline voda – voda za zonu 2 [kWh]

$E_{\text{DTVV2}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline voda – voda za zonu 3 i 5 [kWh]

$E_{\text{DTVV3}}$  – potrošnja električne energija za dizalicu topline voda – voda za zonu 4 i 6 [kWh]

$T_{\text{GOD}}$  – cijena za godišnju potrošnju plina [EUR]

$T_{\text{s1}}$  – tarifna stavka za distribuiranu količinu plina bez PDV-a [kWh/EUR]

$S$  – godišnja potrošnja plina [kWh]

$T_{\text{s2}}$  – fiksna mjesečna naknada bez PDV-a [kWh/EUR]

$H$  – dodatni prinosi

$T_{\text{GOD}}$  – cijena za godišnju potrošnju električne energije u kućanstvu [EUR/god]

$T_{\text{M}}(\text{JT})$  – tarifni model Plavi, tarifni element JT [EUR/kWh ]

$E_{\text{el}}$  – godišnja potrošnja električne energije od strane kućanstva [kWh/god]

$N_{\text{NAK1}}(\text{JT})$  – mjesečna naknada za opskrbu [EUR]

$E_{\text{OIE}}$  – naknada za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju [EUR/kWh]

$I_{\text{PDV}}$  – PDV

$C_i$  – cijena prodane električne energije [EUR/kWh]

$E_{\text{pi}}$  - ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja [kn/kWh]

$E_{ii}$  - ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, [kn/kWh]

$P_{kci}$  – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza [EUR/kWh]

$T_{GODot}$  – cijena za godišnji otkup električne energije [EUR/god]

## 14. SAŽETAK

Na početku se opisivala povijest kuće od prve postojeće kuće pa do kasnije adaptirane obiteljske kuće. Zatim se prema projektu adaptacije napravio model u programu SketchUp i u njemu su se definirali zidovi. Model se uveo u program TRNsys gdje su se definirala struktura i svojstvo zidova. Iduće je bilo potrebno uravnotežiti sustav dobivajući iz rezultata simulacije efikasnu energiju grijanja koja je morala biti približna finalnoj energiji plina za grijanje obiteljske kuće. Nakon uravnoteženja postavio se postojeći sustav grijanja i PTV-a sa plinskim bojlerima i dobio se rezultat potrošnje primarne energije skoro jednak potrošnji primarne energije plina. Samim time postojeći sustav u simulaciji je uravnotežen i može se dalje poboljšavati. Slijedio je odabir dizalica topline zrak – voda i voda – voda te se novi sustav postavio u postojeći zamjenom tih uređaja za plinske bojlere u simulaciji. Nakon toga odabrao se set fotonaponskih panela koji bi bili na krovu kuće i opskrbljivali električnom energijom dizalicu topline tijekom rada, dok ostatak bi se isporučivao nazad u mrežu. Po završetku simulacija išlo se u ekonomsku analizu i promatranje isplativosti sustava, gdje je sustav isplativ ukoliko je povezan sa fotonaponskim panelima i isporukom struje nazad u mrežu.

**Ključne riječi:** adaptacija kuće, sustav grijanja, sustav PTV-a, plinski sustav, Sketch-up, TRNSYS, obnovljivi izvori energije, ekonomska analiza, isplativost

## 15. ABSTRACT

At the beginning, the history of the house was described from the first existing house to the later renovated family house. Then, according to the adaptation project, a model was made in the SketchUp software and the walls were defined in it. The model was introduced into the TRNSys software where the structure and property of the walls were defined. Next, it was necessary to balance the system by obtaining from the results of the simulation an efficient heating energy that had to be approximate to the final energy of the gas for heating the family house. After balancing, the existing system of heating and DHW system with gas, the result of primary energy consumption was obtained almost equal to the consumption of primary energy of gas. Thus, the existing system in the simulation is balanced and can be further improved. The selection of air – water and water – water heat pumps followed, and the new system was installed in the existing one by replacing these devices for gas system in the simulation. After that, a set of photovoltaic panels were selected that would be on the roof of the house and supply electricity to the heat pump during operation, while the rest would be delivered back to the grid. Upon completion of the simulations, it was conducted in economic analysis and observation of the cost-effectiveness of the system, where the system is profitable if it is connected to photovoltaic panels and the delivery of electricity back to the network.

**Keywords:** house adaptation, heating system, DHW system, gas system, Sketch-up, TRNSYS, renewable energy sources, economic analysis, cost-effectiveness